



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

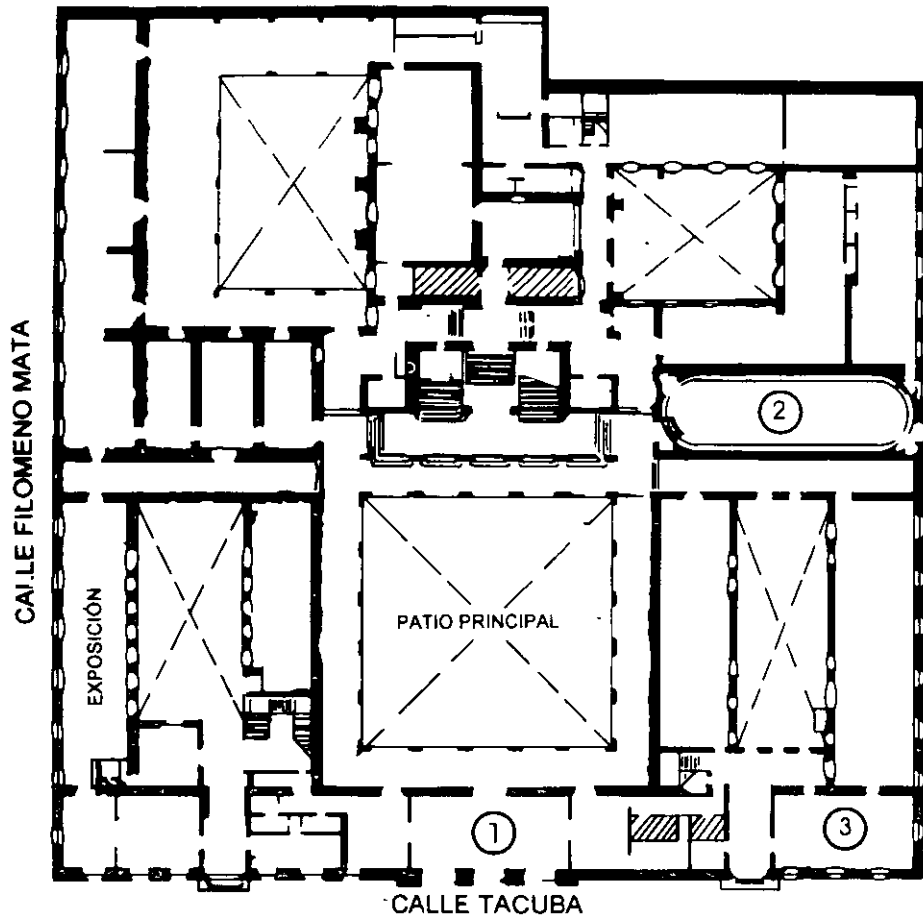
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

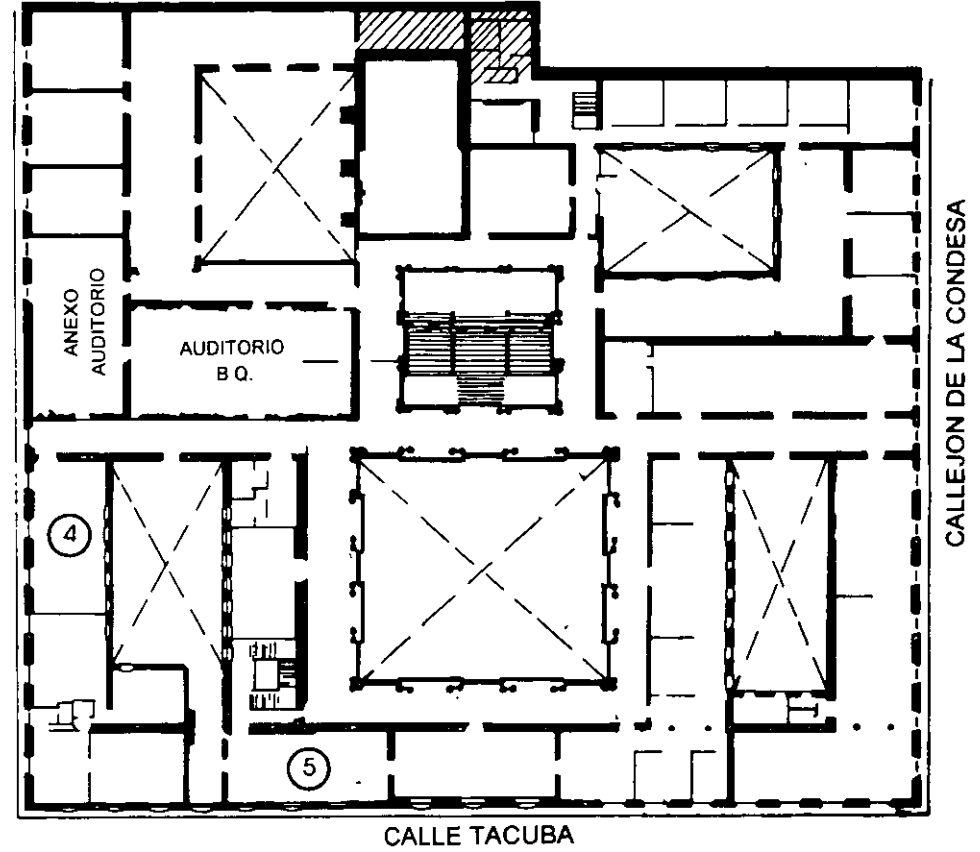
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

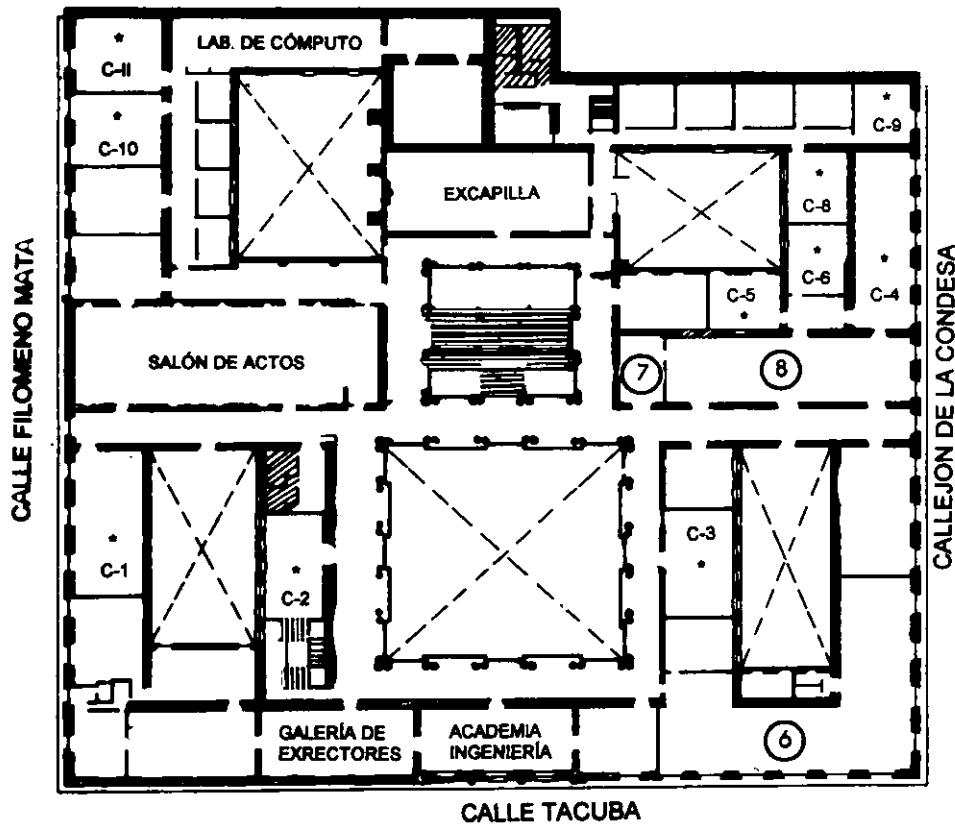


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



1er. PISO

GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS
VIAS TERRESTRES
para
EL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
del 25 al 29 de agosto de 1997

TEMA: Métodos Estadísticos de Control de Calidad

Profesor: Dr. Octavio Rascón Chávez

DIPLOMADO DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

MÓDULO I: MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA CONTROL DE CALIDAD

1.1 INTRODUCCIÓN AL CURSO

Prof: Dr. Octavio A. Rascón Chávez

CALIDAD:

CONJUNTO DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS QUE DAN A UNA OBRA LA CAPACIDAD DE CUBRIR SATISFACTORIAMENTE LAS NECESIDADES EXPLÍCITAS E IMPLÍCITAS INVOLUCRADAS EN LA UTILIZACIÓN DE LA MISMA.

LA CALIDAD GLOBAL EN UNA OBRA ES EL RESULTADO DE LA CALIDAD QUE SE LOGRA EN CADA UNA DE LAS ETAPAS DE PLANEACIÓN, PROYECTO, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN CORRESPONDIENTES.

LA FALTA DE CALIDAD EN UNA ETAPA OCASIONA TRASTORNOS A LA CALIDAD GLOBAL, GASTOS ADICIONALES PARA MEJORAR LAS COSAS Y PROBLEMAS POSTERIORES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA OBRA.

LA CALIDAD REQUERIDA EN UNA OBRA SE ESTABLECE MEDIANTE UN MARCO CONTRACTUAL DE ESPECIFICACIONES.

POR TANTO, LA CALIDAD SE CONSIGUE A TRAVÉS DE UNA ADECUADA REALIZACIÓN DE TODO EL PROCESO DE LA OBRA, POR LO QUE DEBE ESTAR BIEN PLANIFICADO, PROGRAMADO Y EJECUTADO, PARA PREVENIR ERRORES, CORRECCIONES E INCONFORMIDADES.

EL CONTROL DE LA CALIDAD REQUIERE CONTROLES DE ACEPTACIÓN Y CONTROLES DE PRODUCCIÓN.

EN CONSECUENCIA:

LA CALIDAD ES EL RESULTADO DE APLICAR UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD QUE AFECTA TODAS LAS ETAPAS DEL PROCESO.

ALGUNOS BENEFICIOS QUE PRODUCE LA CALIDAD:

PARA EL CONSTRUCTOR EN:

- * TIEMPO, MATERIALES Y MANO DE OBRA
- * DISCUSIONES CON LA ADMINISTRACIÓN Y EL CLIENTE
- * MEJOR CAPACIDAD COMPETITIVA

PARA LA ADMINISTRACIÓN Y CLIENTES:

- * MAYOR SATISFACCIÓN POR EL PRODUCTO
- * MEJORES PRECIOS Y OFERTAS
- * MENOS CONTROLES SOBRE EL CONSTRUCTOR

LA CORRECTA Y EFECTIVA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD REQUIERE QUE TODOS LOS PARTICIPANTES EN EL PROCESO DE LA OBRA TENGAN CABAL CONCIENCIA DE SU IMPORTANCIA, Y SE REALICEN ACCIONES PERMANENTES PARA MANTENER VIGENTE EL ESPÍRITU DE COMPETITIVIDAD CON BASE EN LA CALIDAD.

2. FILOSOFIA

LAS DOS PREMISAS O PILARES EN QUE SE FUNDAMENTA LA FILOSOFÍA Y ESENCIA DEL ASEGURAMIENTO TOTAL DE LA CALIDAD SON:

- 1) **CUALQUIER OPERACIÓN O ACTIVIDAD DE TRABAJO DEBE VERSE COMO UN PROCESO.**
- 2) **LA PERSONA MÁS IMPORTANTE RELACIONADA CON UN PROCESO ES EL CLIENTE.**

DE ESTA FORMA EL ASEGURAMIENTO TOTAL DE LA CALIDAD PUEDE DEFINIRSE COMO:

EL ESTILO DE TRABAJO BASADO EN UNA METODOLOGÍA OPERATIVA, Y TOTALMENTE COMPROMETIDO CON EL CONTINUO MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS PARA MAXIMIZAR LA SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES.

3. ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS.

LOS ELEMENTOS OPERATIVOS FUNDAMENTALES DEL ASEGURAMIENTO TOTAL DE LA CALIDAD SON:

- A) ENFOQUE EN EL CONTINUO MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS.
 - CUALQUIER ACTIVIDAD ES UN PROCESO.
 - EMPLEO DE DATOS Y MÉTODOS CIENTÍFICOS DE ANÁLISIS.
 - SU META ES ALCANZAR LA PERFECCIÓN.

- B) REQUIERE DE PARTICIPACIÓN UNIVERSAL.
 - TODAS LAS PERSONAS PUEDEN Y DEBEN PRACTICARLO INDEPEDIENTEMENTE DE SU POSICIÓN Y FUNCIONES.
 - DEBE APLICARSE EN TODAS PARTES EN UNA ORGANIZACIÓN.
 - NECESITA, Y A LA VEZ PROPICIA, UN TRABAJO EN EQUIPO EFECTIVO.

- C) PRODUCE LA SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES.
 - EXCEDIENDO SUS NECESIDADES Y EXPECTATIVAS.
 - ELIMINANDO LAS PREOCUPACIONES DE CLIENTES EXTERNOS E INTERNOS.

LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL ASEGURAMIENTO TOTAL DE LA CALIDAD QUE COMPLEMENTAN SU DEFINICIÓN, PUEDEN SINTETIZARSE DE LA SIGUIENTE MANERA:

- 1) **REPRESENTA UNA ALTERNATIVA PARA GENERAR NUEVAS IDEAS Y UTILIZAR ENFOQUES DIFERENTES, QUE ROMPAN CON LA PELIGROSA COSTUMBRE DE HACER LAS COSAS SIEMPRE DE LA MISMA FORMA.**

- 2) **OFRECE UNA METODOLOGÍA ESTRUCTURADA PARA IDENTIFICAR Y RESOLVER PROBLEMAS EN LUGAR DE VIVIR "APAGANDO FUEGOS".**

- 3) **PARA RESULTAR CONVINCENTE Y EXITOSO EN UNA ORGANIZACIÓN, REQUIERE ANTES QUE NADA EL COMPROMISO Y EVIDENCIA DE SER APRENDIDO Y UTILIZADO POR LOS DIRECTIVOS DE MÁS ALTO NIVEL, Y CONTINUAR SU EXPANSIÓN HACIA ABAJO HASTA LLEGAR AL ÚLTIMO DE LOS EMPLEADOS.**

- 4) **UTILIZA CONCEPTOS Y TÉCNICAS DE CONTROL ESTADÍSTICO COMO SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES ENCAMINADA AL MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS.**

- 5) **ES UNA SOLUCIÓN PERMANENTE QUE EN FORMA PAULATINA SE CONVIERTE EN UN ESTILO DE VIDA.**

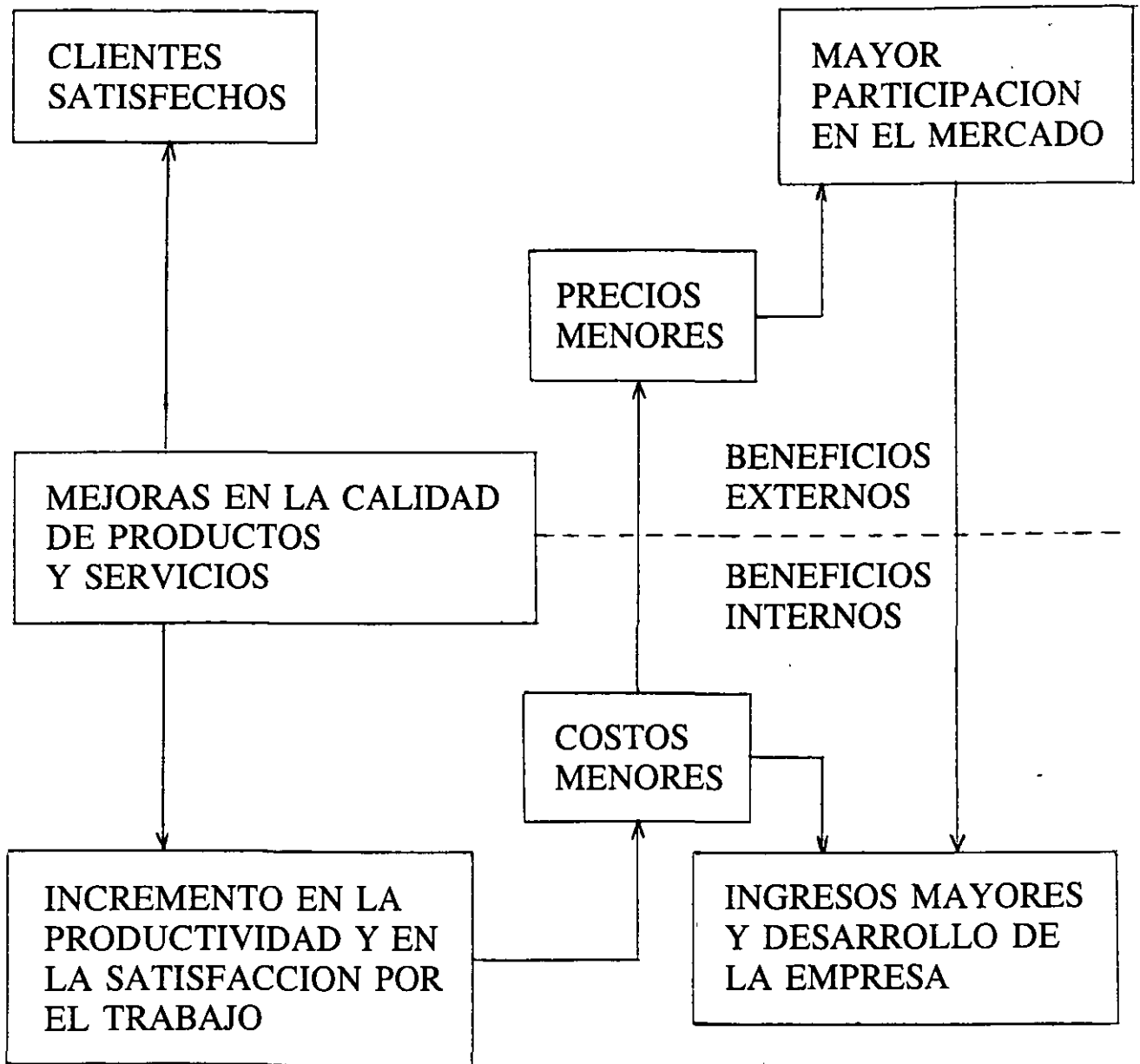


FIGURA 1. BENEFICIOS INTERNOS Y EXTERNOS DEL ASEGURAMIENTO TOTAL DE LA CALIDAD.

4. METODOLOGIA PARA EL MEJORAMIENTO CONTINUO DE LOS PROCESOS

ASEGURAMIENTO TOTAL DE LA CALIDAD:

PROCESO CUYA MISIÓN PRIMORDIAL ES SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DE LOS CLIENTES.

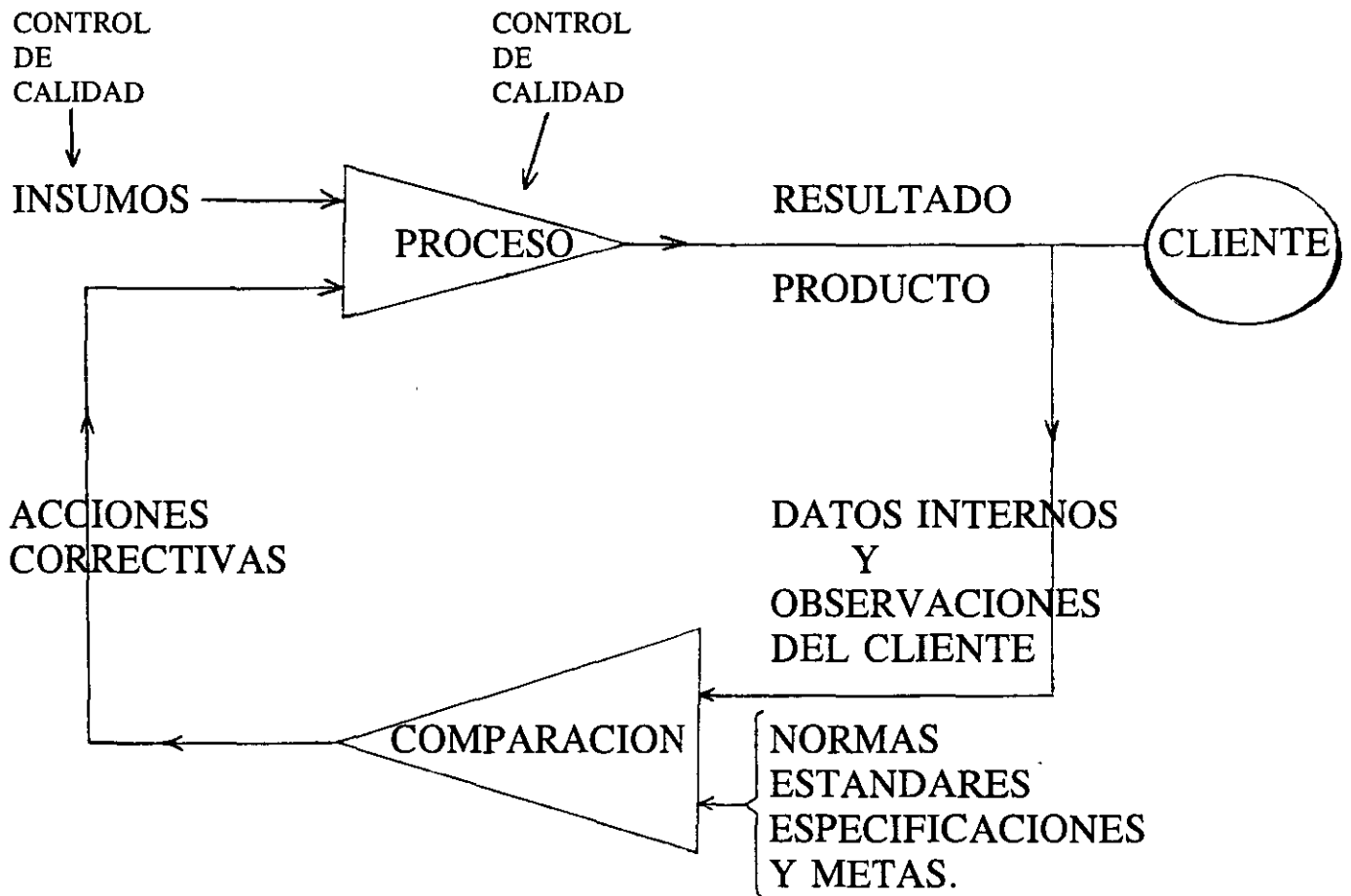


FIGURA 2. SISTEMA DE MONITOREO Y RETROALIMENTACION EN EL ASEGURAMIENTO TOTAL DE LA CALIDAD.

5. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS

- * LA CALIDAD DE UN PRODUCTO O MATERIAL SE CARACTERIZA POR EL COMPORTAMIENTO DE UNA O MÁS CARACTERÍSTICAS (ATRIBUTOS O VARIABLES) DEL MISMO

- * LOS ATRIBUTOS Y LAS VARIABLES SE REPRESENTAN MEDIANTE ALGUNA **MEDIDA**

- * PARA **MEDIR** SE REQUIEREN MÉTODOS, TÉCNICAS Y APARATOS ADECUADOS, CON EL FIN DE OBTENER DATOS FIDEDIGNOS

- * LAS MEDICIONES DEBEN PODER REPETIRSE PARA OBTENER EL MISMO TIPO DE INFORMACIÓN EN CADA UNIDAD DEL PRODUCTO O MATERIAL, Y OBTENER ASÍ **COLECCIONES DE DATOS O MUESTRAS**

5.1 HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD ESTADÍSTICO

1. **CARTAS DE CONTROL, PARA CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD MENSURABLES.** SE TRABAJA CON LOS PROMEDIOS ARITMÉTICOS, LAS DESVIACIONES ESTÁNDAR Y LOS RANGOS DE LAS MUESTRAS QUE SE OBTIENEN PARA MONITOREAR LA CALIDAD DEL PROCESO. (GRÁFICA DE \bar{X} , R y σ).
2. **CARTAS DE CONTROL PARA LA FRACCIÓN O PORCENTAJE DE ELEMENTOS DEFECTUOSOS.** (GRÁFICA P).
3. **CARTAS DE CONTROL PARA EL NÚMERO DE DEFECTOS POR UNIDAD.** (GRÁFICAS C).
4. **MUESTREO DE ACEPTACIÓN, PARA EVALUAR ESTADÍSTICAMENTE LA CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y LOS PRODUCTOS TERMINADOS O EN ALGUNA ETAPA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.**

5.2 CARTAS DE CONTROL

LA CALIDAD DE UN PRODUCTO MANUFACTURADO ESTÁ SIEMPRE SUJETA A UNA **CIERTA VARIACIÓN**, COMO RESULTADO DEL AZAR.

SIEMPRE EXISTE UN **PATRÓN** DE CAUSAS CASUALES ESTABLE, QUE ES INHERENTE A CUALQUIER ESQUEMA DE PRODUCCIÓN Y DE INSPECCIÓN.

LA VARIACIÓN DENTRO DE ESTE PATRÓN ESTABLE ES INEVITABLE Y MEDIBLE EN TÉRMINOS ESTADÍSTICOS. TAMBIÉN EXISTEN CAUSAS **ADICIONALES** DE VARIACIÓN QUE SON **EXTERNAS** A ESTE PATRÓN, PERO QUE PUEDEN SER DETECTADAS Y CORREGIDAS.

LAS **CARTAS DE CONTROL** SON HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS QUE PERMITEN DETERMINAR CUÁNDO SE PRESENTAN LAS VARIACIONES EXTERNAS. POR TANTO, HACEN POSIBLE EL **DIAGNÓSTICO** Y **CORRECCIÓN** DE MUCHOS PROBLEMAS DE PRODUCCIÓN, POR LO QUE DAN PAUTAS PARA REALIZAR ACCIONES EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN, QUE LLEVEN A MEJORAS CONSIDERABLES EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO Y A LA REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS Y REPROCESADO.

AL DETERMINAR ESTADÍSTICAMENTE CUÁLES SON LAS BANDAS DE VARIACIÓN DE LA CALIDAD, OCASIONADA POR ELEMENTOS INEVITABLES, ASOCIADAS A **CIERTAS PROBABILIDADES** DE QUE LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES SE MANTENGAN DENTRO DE ELLAS, LA CARTA DE CONTROL INDICA CUÁNDO EL PROCESO ESTÁ **BAJO CONTROL** Y, DE ESTA FORMA, EVITA AJUSTES INNECESARIOS AL MISMO, O CUANDO SE HA SALIDO DE CONTROL Y ES NECESARIO TOMAR ACCIONES CORRECTIVAS.

5.3 *CARTAS DE CONTROL: BENEFICIOS*

1. **LA VIABILIDAD BÁSICA DE LA CARACTERÍSTICA DE CALIDAD.**

CUANDO SE HAN ESPECIFICADO TANTO UN VALOR SUPERIOR COMO UNO INFERIOR TOLERABLES PARA UNA CARACTERÍSTICA DE LA CALIDAD, UN PROBLEMA TÉCNICO IMPORTANTE QUE SE PRESENTA, CONSISTE EN DETERMINAR SI LA VARIABILIDAD BÁSICA (CASUAL) DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN, ES TAN GRANDE QUE SEA MUY DIFÍCIL FABRICAR "TODO" EL PRODUCTO DENTRO DE LOS LÍMITES ESPECIFICADOS.

2. **EL NIVEL GENERAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD.**

AUN CUANDO LA VARIABILIDAD BÁSICA DE UN PROCESO, SEA TAL QUE LA GAMA NATURAL DE VARIACIÓN SEA MÁS ESTRECHA QUE LA GAMA DE TOLERANCIA ESPECIFICADA, Y QUE EL PROCESO SE ENCUENTRE BAJO CONTROL, EL PRODUCTO PUEDE SER NO SATISFACTORIO PARA UNA CLIENTELA EN PARTICULAR, DADO QUE EL NIVEL DE CALIDAD ESPECIFICADO ES DEMASIADO BAJO.

3. **LA CONSISTENCIA DEL RENDIMIENTO.**

LA VARIABILIDAD DE LA CARACTERÍSTICA DE CALIDAD PUEDE SEGUIR UN PATRÓN CASUAL O PUEDE COMPORTARSE ERRÁTICAMENTE DEBIDO A LAS CAUSAS ASIGNABLES. AL DETECTARSE CUÁL SITUACIÓN PREVALECE, SE DA LA PAUTA PARA DECIDIR SOBRE DEJAR AL PROCESO COMO ESTÁ O TOMAR ACCIONES PARA CORREGIR LOS MOTIVOS DE LAS DIFICULTADES.

5.4 MUESTREO DE ACEPTACION

LA INSPECCIÓN DE ACEPTACIÓN ES UNA PARTE NECESARIA DE LA MANUFACTURA, Y PUEDE SER APLICADA A LOS MATERIALES QUE SE RECIBEN, A LOS PRODUCTOS PARCIALMENTE ACABADOS EN DIFERENTES ETAPAS INTERMEDIAS DEL PROCESO DE MANUFACTURA, Y AL PRODUCTO FINAL. LA INSPECCIÓN DE ACEPTACIÓN PUEDE LLEVARSE A CABO EXTERIORMENTE POR EL COMPRADOR.

MUCHA DE ESTA INSPECCIÓN DE ACEPTACIÓN SE LLEVA A CABO MEDIANTE MUESTREO, YA QUE A MENUDO LA INSPECCIÓN DEL TOTAL RESULTA IMPRACTICABLE O CLARAMENTE ANTIECONÓMICA.

DEBE RECONOCERSE QUE MIENTRAS UNA PARTE DEL PRODUCTO SEA DEFECTUOSA, ES POSIBLE QUE ALGUNOS ELEMENTOS SEAN PASADOS POR ALTO, CUALQUIERA QUE SEA EL ESQUEMA DEL MUESTREO DE ACEPTACIÓN.

EL MUESTREO DE ACEPTACIÓN PERMITE VALUAR EL RIESGO ASUMIDO CON PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO ALTERNOS, Y TOMAR UNA DECISIÓN ACERCA DEL **GRADO DE PROTECCIÓN** NECESARIO EN CUALQUIER CASO, EL CUAL SE DETERMINA MEDIANTE PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS.

ES POSIBLE, ENTONCES, SELECCIONAR UN MODELO DE MUESTREO DE ACEPTACIÓN, QUE PROPORCIONE UN **GRADO DESEADO DE PROTECCIÓN**, CON LA DEBIDA CONSIDERACIÓN A LOS DIFERENTES COSTOS INVOLUCRADOS.

CURSO: CONTROL DE CALIDAD
APLICADO A LAS VIAS
TERRESTRES

TEMA: METODOS ESTADISTICOS
DE CONTROL DE
CALIDAD

PROFESOR: DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ



PROCEDIMIENTO PARA OBTENER MUESTRAS EN UN TRAMO CARRETERO

Para obtener muestras o realizar pruebas en un segmento carretero, se puede utilizar la Tabla I de Números aleatorios, con el fin de seleccionar los sitios donde se colectarán los datos. El procedimiento es el siguiente:

- 1.- Definir la longitud del o de los tramos a muestrear.
- 2.- Determinar el número de datos que se colectarán de cada tramo o señalar el espaciamiento "promedio" de los sitios correspondientes.
- 3.- De una tabla de números aleatorios común, leer números del 1 al 28, para seleccionar las subcolumnas A de la Tabla I que se emplearán para cada tramo.
- 4.- En cada columna seleccionada, localizar los números iguales o menores que el número de datos requeridos para cada tramo.
- 5.- Multiplicar la longitud de cada tramo por los valores decimales correspondientes que se ubican en la subcolumna B, y adicionar este resultado al cadenamiento del inicio del tramo para obtener el cadenamiento de la sección a muestrear.
- 6.- Multiplicar el ancho del tramo por los valores decimales de la subcolumna C correspondientes, para obtener la distancia medida a partir del lado izquierdo del camino, donde se ubicará el sitio de muestreo.

EJEMPLO:*

Para evaluar la calidad del pavimento, se obtendrán muestras de un camino con ancho de 6 m. y longitud de 5030 m., que va del cadenamiento 10 + 00 al 60 + 30. Un análisis visual del camino indica que este puede dividirse en los tres tramos siguientes, con diferentes condiciones de la superficie de rodamiento:

1. Longitud de cada tramo:

Tramo 1	10 + 00	a	28 + 90	(1890 m)
Tramo 2	28 + 90	a	42 + 62	(1372 m)
Tramo 3	42 + 62	a	60 + 30	(1768 m)

2. Número de datos para cada tramo.

Se desean obtener muestras de la estructura del camino a cada 500 m a intervalos promedio de 500 m en los tramos 1 y 3, y de 300 m en el tramo 2. El número de datos de cada tramo sería:

Tramo 1 $n = 1890/500 = 3.8 = 4$ sitios

Tramo 2 $n = 1372/300 = 4.5 = 5$ sitios

Tramo 3 $n = 1768/500 = 3.5 = 4$ sitios

3. Determinación de columnas de Tabla I para el muestreo.

De una tabla de números aleatorios se sacan, para seleccionar las columnas A de la Tabla I, 3 números del 1 al 28, y éstos resultan ser: 23, 16 y 15.

4. Números aleatorios obtenidos.

Para el tramo 1, se usa la columna 23 y se encuentra que:

Columna A	Columna B	Columna C
4	.515	.993
3	.053	.256
2	.623	.271
1	.937	.714

Para el tramo 2, con la columna 16 se tiene:

Columna A	Columna B	Columna C
5	.147	.864
4	.516	.396
3	.548	.688
2	.739	.298
1	.331	.925

Para el tramo 3, se usa la columna 15:

Columna A	Columna B	Columna C
4	.951	.482
3	.523	.519
2	.977	.172
1	.139	.230

5. Determinación de posiciones longitudinales (cadenamientos) de los sitios de muestreo.

Con los números de la columna B de los cuadros anteriores se tienen que:

Para el tramo 1, de 1890 m:

Longitud del tramo	x	Columna B	= Distancia +	Cadenamiento inicial	= Cadenamiento de muestreo
1890		0.515	973	10+00	19+73
1890		0.053	100	10+00	11+00
1890		0.623	1177	10+00	21+77
1890		0.937	1771	10+00	27+71

Para el tramo 2, de 1372 m:

Longitud del tramo	x	Columna B	= Distancia +	Cadenamiento inicial	= Cadenamiento de muestreo
1372		0.147	202	28+90	30+92
1372		0.516	708	28+90	35+98
1372		0.548	752	28+90	36+42
1372		0.739	1014	28+90	39+04
1372		0.331	454	28+90	33+44

Para el tramo 3, de 1768m:

Longitud del tramo	x	Columna B	= Distancia +	Cadenamiento inicial	= Cadenamiento de muestreo
1768		0.951	1681	42+62	59+43
1768		0.523	925	42+62	51+87
1768		0.977	1727	42+62	59+89
1768		0.139	246	42+62	45+08

6. Determinación de las posiciones transversales de muestreo.

Puesto que el ancho del camino es de 6m, se tiene que:

Para el tramo 1:

Ancho del camino	x	Columna C	=	Distancia del borde izquierdo, m
6		0.993		5.9
6		0.256		1.5
6		0.271		1.6
6		0.714		4.3

Para el tramo 2:

Ancho del camino	x	Columna C	=	Distancia del borde izquierdo, m
6		0.864		5.2
6		0.396		2.4
6		0.688		4.1
6		0.298		1.8
6		0.925		5.6

Para el tramo 3:

Ancho del camino	x	Columna C	=	Distancia del borde izquierdo, m
6		0.482		2.9
6		0.519		3.1
6		0.172		1.0
6		0.230		1.4

7. Puntos de muestreo.

<i>Tramo</i>	<i>Cadenamiento</i>	<i>Distancia del borde izquierdo, m</i>
Sección 1	11+00	1.5
	19+73	5.9
	21+77	1.6
	27+71	4.3
Sección 2	30+92	5.2
	33+44	5.6
	35+98	2.4
	36+42	4.1
	39+04	1.8
Sección 3	45+08	1.4
	51+87	3.1
	59+43	2.9
	59+89	1.0

Estos puntos de muestreo se presentan en la figura 1.

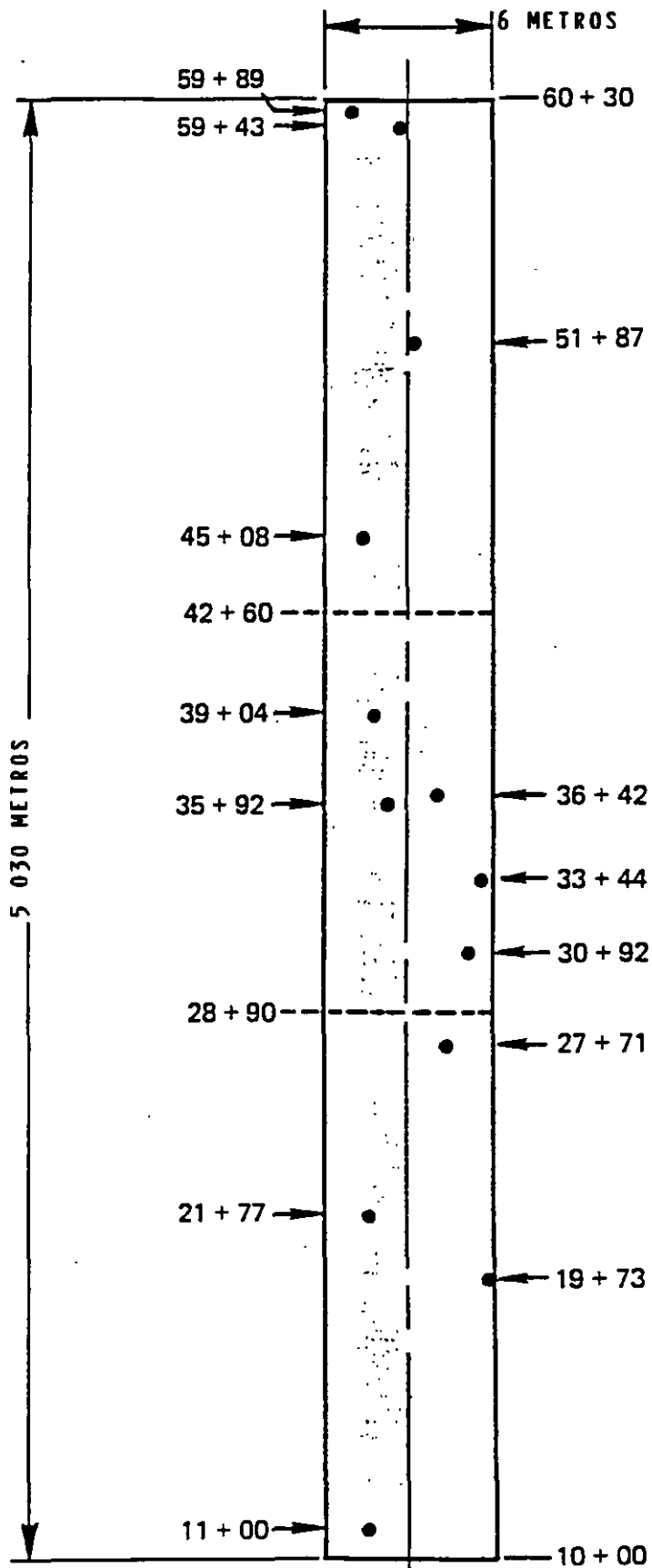


FIGURA 1 PUNTOS DE MUESTREO

TABLA I - NUMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Col. No. 1			Col. No. 2			Col. No. 3			Col. No. 4			Col. No. 5			Col. No. 6			Col. No. 7		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	.033	.576	05	.048	.879	21	.013	.220	18	.089	.716	17	.024	.863	30	.030	.901	12	.029	.386
21	.101	.300	17	.074	.156	30	.036	.853	10	.102	.330	24	.060	.032	21	.096	.198	18	.112	.284
23	.129	.916	18	.102	.191	10	.052	.746	14	.111	.925	26	.074	.639	10	.100	.161	20	.114	.848
30	.158	.434	06	.105	.257	25	.061	.954	28	.127	.840	07	.167	.512	29	.133	.388	03	.121	.656
24	.177	.397	28	.179	.447	29	.062	.507	24	.132	.271	28	.194	.776	24	.138	.062	13	.178	.640
11	.202	.271	26	.187	.844	18	.087	.887	19	.285	.899	03	.219	.166	20	.168	.564	22	.209	.421
16	.204	.012	04	.188	.482	24	.105	.849	01	.326	.037	29	.264	.284	22	.232	.953	16	.221	.311
08	.208	.418	02	.208	.577	07	.139	.159	30	.334	.938	11	.282	.262	14	.259	.217	29	.235	.356
19	.211	.798	03	.214	.402	01	.175	.641	22	.405	.295	14	.379	.994	01	.275	.195	28	.264	.941
29	.233	.070	07	.245	.080	23	.196	.873	05	.421	.282	13	.394	.405	06	.277	.475	11	.287	.199
07	.260	.073	15	.248	.831	26	.240	.981	13	.451	.212	06	.410	.157	02	.296	.497	02	.336	.992
17	.262	.308	29	.261	.087	14	.255	.374	02	.461	.023	15	.438	.700	26	.311	.144	15	.393	.488
25	.271	.180	30	.302	.883	06	.310	.043	06	.487	.539	22	.453	.635	05	.351	.141	19	.437	.655
06	.302	.672	21	.318	.088	11	.316	.653	08	.497	.396	21	.472	.824	17	.370	.811	24	.466	.773
01	.409	.406	11	.376	.936	13	.324	.585	25	.503	.893	05	.488	.118	09	.388	.484	14	.531	.014
13	.507	.693	14	.430	.814	12	.351	.275	15	.594	.603	01	.525	.222	04	.410	.073	09	.562	.678
02	.575	.654	27	.438	.676	20	.371	.535	27	.620	.894	12	.561	.980	25	.471	.530	06	.601	.675
18	.591	.318	08	.467	.205	08	.409	.495	21	.629	.841	08	.652	.508	13	.486	.779	10	.612	.859
20	.610	.821	09	.474	.138	16	.445	.740	17	.691	.583	18	.668	.271	15	.515	.867	26	.673	.112
12	.631	.597	10	.492	.474	03	.494	.929	09	.708	.689	30	.736	.634	23	.567	.798	23	.738	.770
27	.651	.281	13	.499	.892	27	.543	.387	07	.709	.012	02	.763	.253	11	.618	.502	21	.753	.614
04	.661	.953	19	.511	.520	17	.625	.171	11	.714	.049	23	.804	.140	28	.636	.148	30	.758	.851
22	.692	.089	23	.591	.770	02	.699	.073	23	.720	.695	25	.828	.425	27	.650	.741	27	.765	.563
05	.779	.346	20	.604	.730	19	.702	.934	03	.748	.413	10	.843	.627	16	.711	.508	07	.780	.534
09	.787	.173	24	.654	.330	22	.816	.802	20	.781	.603	16	.858	.849	19	.778	.812	04	.818	.187
10	.818	.837	12	.728	.523	04	.838	.166	26	.830	.384	04	.903	.327	07	.804	.675	17	.837	.353
14	.895	.631	16	.753	.344	15	.904	.116	04	.843	.002	09	.912	.382	08	.806	.952	05	.854	.818
26	.912	.376	01	.806	.134	28	.969	.742	12	.884	.582	27	.935	.162	18	.841	.414	01	.867	.133
28	.920	.163	22	.878	.884	09	.974	.046	29	.926	.700	20	.970	.582	12	.918	.114	08	.915	.538
03	.945	.140	25	.939	.162	05	.977	.494	16	.951	.601	19	.975	.327	03	.992	.399	25	.975	.584

TABLA I - NUMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Col. No. 8			Col. No. 9			Col. No. 10			Col. No. 11			Col. No. 12			Col. No. 13			Col. No. 14		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
09	.042	.071	14	.061	.935	26	.038	.023	27	.074	.779	16	.073	.987	03	.033	.091	26	.035	.175
17	.141	.411	02	.065	.097	30	.066	.371	06	.084	.396	23	.078	.056	07	.047	.391	17	.089	.363
02	.143	.221	03	.094	.228	27	.073	.876	24	.098	.524	17	.096	.076	28	.064	.113	10	.149	.681
05	.162	.899	16	.122	.945	09	.095	.568	10	.133	.919	04	.153	.163	12	.066	.360	28	.238	.075
03	.285	.016	18	.158	.430	05	.180	.741	15	.187	.079	10	.254	.834	26	.076	.552	13	.244	.767
28	.291	.034	25	.193	.469	12	.200	.851	17	.227	.767	06	.284	.628	30	.087	.101	24	.262	.366
08	.369	.557	24	.224	.572	13	.259	.327	20	.236	.571	12	.305	.616	02	.127	.187	08	.264	.651
01	.436	.386	10	.225	.223	21	.264	.681	01	.245	.988	25	.319	.901	06	.144	.068	18	.285	.311
20	.450	.289	09	.233	.838	17	.283	.645	04	.317	.291	01	.320	.212	25	.202	.674	02	.340	.131
18	.455	.789	20	.290	.120	23	.363	.063	29	.350	.911	08	.416	.372	01	.247	.025	29	.353	.478
23	.488	.715	01	.297	.242	20	.364	.366	26	.380	.104	13	.432	.556	23	.253	.323	06	.359	.270
14	.496	.276	11	.337	.760	16	.395	.363	28	.425	.864	02	.489	.827	24	.320	.651	20	.387	.248
15	.503	.342	19	.389	.064	02	.423	.540	22	.487	.526	29	.503	.787	10	.328	.365	14	.392	.694
04	.515	.693	13	.411	.474	08	.432	.736	05	.552	.511	15	.518	.717	27	.338	.412	03	.408	.077
16	.532	.112	20	.447	.893	10	.476	.468	14	.564	.357	28	.524	.998	13	.356	.991	27	.440	.280
22	.557	.357	22	.478	.321	03	.508	.774	11	.572	.306	03	.542	.352	16	.401	.792	22	.461	.830
11	.559	.620	29	.481	.993	01	.601	.417	21	.594	.197	19	.585	.462	17	.423	.117	16	.527	.003
12	.650	.216	27	.562	.403	22	.687	.917	09	.607	.524	05	.695	.111	21	.481	.838	30	.531	.486
21	.672	.320	04	.566	.179	29	.697	.862	19	.650	.572	07	.733	.838	08	.560	.401	25	.678	.360
13	.709	.273	08	.603	.758	11	.701	.605	18	.664	.101	11	.744	.948	19	.564	.190	21	.725	.014
07	.745	.687	15	.632	.927	07	.728	.498	25	.674	.428	18	.793	.748	05	.571	.054	05	.797	.595
30	.780	.285	06	.707	.107	14	.745	.679	02	.697	.674	27	.802	.967	18	.587	.584	15	.801	.927
19	.845	.097	28	.737	.161	24	.819	.444	03	.767	.928	21	.826	.487	15	.604	.145	12	.836	.294
26	.846	.366	17	.846	.130	15	.840	.823	16	.809	.529	24	.835	.832	11	.641	.298	04	.854	.982
29	.861	.307	07	.874	.491	25	.863	.568	30	.838	.294	26	.855	.142	22	.672	.156	11	.884	.928
25	.906	.874	05	.880	.828	06	.878	.215	13	.845	.470	14	.861	.462	20	.674	.887	19	.886	.832
24	.919	.809	23	.931	.659	18	.930	.601	08	.855	.524	20	.874	.625	14	.752	.881	07	.929	.932
10	.952	.555	26	.960	.365	04	.954	.827	07	.867	.718	30	.929	.056	09	.774	.560	09	.932	.206
06	.961	.504	21	.978	.194	28	.963	.004	12	.881	.722	09	.935	.582	29	.921	.752	01	.970	.692
27	.969	.811	12	.982	.183	19	.988	.020	23	.937	.872	22	.947	.797	04	.959	.099	23	.973	.082

8

TABLA I - NUMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Col. No. 15			Col. No. 16			Col. No. 17			Col. No. 18			Col. No. 19			Col. No. 20			Col. No. 21		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	.023	.979	19	.062	.588	13	.045	.004	25	.027	.290	12	.052	.075	20	.030	.881	01	.010	.946
11	.118	.465	25	.080	.218	18	.086	.878	06	.057	.571	30	.075	.493	12	.034	.291	10	.014	.939
07	.134	.172	09	.131	.295	26	.126	.990	26	.059	.026	28	.120	.341	22	.043	.893	09	.032	.346
01	.139	.230	18	.136	.381	12	.128	.661	07	.105	.176	27	.145	.689	28	.143	.073	06	.093	.180
16	.145	.122	05	.147	.864	30	.146	.337	18	.107	.358	02	.209	.957	03	.150	.937	15	.151	.012
20	.165	.520	12	.158	.365	05	.169	.470	22	.128	.827	26	.272	.818	04	.154	.867	16	.185	.455
06	.185	.481	28	.214	.184	21	.244	.433	23	.156	.440	22	.299	.317	19	.158	.359	07	.227	.277
09	.211	.316	14	.215	.757	23	.270	.849	15	.171	.157	18	.306	.475	29	.304	.615	02	.304	.400
14	.248	.348	13	.224	.846	25	.274	.407	08	.220	.097	20	.311	.653	06	.369	.633	30	.316	.074
25	.249	.890	15	.227	.809	10	.290	.925	20	.252	.066	15	.348	.156	18	.390	.536	18	.328	.799
13	.252	.577	11	.280	.898	01	.323	.490	04	.268	.576	16	.381	.710	17	.403	.392	20	.352	.288
30	.273	.088	01	.331	.925	24	.352	.291	14	.275	.302	01	.411	.607	23	.404	.182	26	.371	.216
18	.277	.489	10	.399	.992	15	.361	.155	11	.297	.589	13	.417	.715	01	.415	.457	19	.448	.754
22	.372	.958	30	.417	.787	29	.374	.882	01	.358	.305	21	.472	.484	07	.437	.696	13	.487	.598
10	.461	.075	08	.439	.921	08	.432	.139	09	.412	.089	04	.478	.885	24	.446	.546	12	.546	.640
28	.519	.536	20	.472	.484	04	.467	.266	16	.429	.834	25	.479	.080	26	.485	.768	24	.550	.038
17	.520	.090	24	.498	.712	22	.508	.880	10	.491	.203	11	.566	.104	15	.511	.313	03	.604	.780
03	.523	.519	04	.516	.396	27	.632	.191	28	.542	.306	10	.576	.659	10	.517	.290	22	.621	.930
26	.573	.502	03	.548	.688	16	.661	.836	12	.563	.091	29	.665	.397	30	.556	.853	21	.629	.154
19	.634	.206	23	.597	.508	19	.675	.629	02	.593	.321	19	.739	.298	25	.561	.837	11	.634	.908
24	.635	.810	21	.681	.114	14	.680	.890	30	.692	.198	14	.749	.759	09	.574	.599	05	.696	.459
21	.679	.841	02	.739	.298	28	.714	.508	19	.705	.445	08	.756	.919	13	.613	.762	23	.710	.078
27	.712	.366	29	.792	.038	06	.719	.441	24	.709	.717	07	.798	.183	11	.698	.783	29	.726	.585
05	.780	.497	22	.829	.324	09	.735	.040	13	.820	.739	23	.834	.647	14	.715	.179	17	.749	.916
23	.861	.106	17	.834	.647	17	.741	.906	05	.848	.866	06	.837	.978	16	.770	.128	04	.802	.186
12	.865	.377	16	.909	.608	11	.747	.205	27	.867	.633	03	.849	.964	08	.815	.385	14	.835	.319
29	.882	.635	06	.914	.420	20	.850	.047	03	.883	.333	24	.851	.109	05	.872	.490	08	.870	.546
08	.902	.020	27	.958	.856	02	.859	.356	17	.900	.443	05	.859	.935	21	.885	.999	28	.871	.539
04	.951	.482	26	.981	.976	07	.870	.612	21	.914	.483	17	.863	.220	02	.958	.177	25	.971	.369
02	.977	.172	07	.983	.624	03	.916	.463	29	.950	.753	09	.863	.147	27	.961	.980	27	.984	.252

TABLA I - NUMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Col. No. 22			Col. No. 23			Col. No. 24			Col. No. 25			Col. No. 26			Col. No. 27			Col. No. 28		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
12	.051	.032	26	.051	.187	08	.015	.521	02	.039	.005	16	.026	.102	21	.050	.952	29	.042	.039
11	.068	.980	03	.053	.256	16	.068	.994	16	.061	.599	01	.033	.886	17	.085	.403	07	.105	.293
17	.089	.309	29	.100	.159	11	.118	.400	26	.068	.054	04	.088	.686	10	.141	.624	25	.115	.420
01	.091	.371	13	.102	.465	21	.124	.565	11	.073	.812	22	.090	.602	05	.154	.157	09	.126	.612
10	.100	.709	24	.110	.316	18	.153	.158	07	.123	.649	13	.114	.614	06	.164	.841	10	.205	.144
30	.121	.744	18	.114	.300	17	.190	.159	05	.126	.658	20	.136	.576	07	.197	.013	03	.210	.054
02	.166	.056	11	.123	.208	26	.192	.676	14	.161	.189	05	.138	.228	16	.215	.363	23	.234	.533
23	.179	.529	09	.138	.182	01	.237	.030	18	.166	.040	10	.216	.565	08	.222	.520	13	.266	.799
21	.187	.051	06	.194	.115	12	.283	.077	28	.248	.171	02	.233	.610	13	.269	.477	20	.305	.603
22	.205	.543	22	.234	.480	03	.286	.318	06	.255	.117	07	.278	.357	02	.288	.012	05	.372	.223
28	.230	.688	20	.274	.107	10	.317	.734	15	.261	.928	30	.405	.273	25	.333	.633	26	.385	.111
19	.243	.001	21	.331	.292	05	.337	.844	10	.301	.811	06	.421	.807	28	.348	.710	30	.422	.315
27	.267	.990	08	.346	.085	25	.441	.336	24	.363	.025	12	.426	.583	20	.362	.961	17	.453	.783
15	.283	.440	27	.382	.979	27	.469	.786	22	.378	.792	08	.471	.708	14	.511	.989	02	.460	.916
16	.352	.089	07	.387	.865	24	.473	.237	27	.379	.959	18	.473	.738	26	.540	.903	27	.461	.841
03	.377	.648	28	.411	.776	20	.475	.761	19	.420	.557	19	.510	.207	27	.587	.643	14	.483	.095
06	.397	.769	16	.444	.999	06	.557	.001	21	.467	.943	03	.512	.329	12	.603	.745	12	.507	.375
09	.409	.428	04	.515	.993	07	.610	.238	17	.494	.225	15	.640	.329	29	.619	.895	28	.509	.748
14	.465	.406	17	.518	.827	09	.617	.041	09	.620	.081	09	.665	.354	23	.623	.333	21	.583	.804
13	.499	.651	05	.539	.620	13	.641	.648	30	.623	.106	14	.680	.884	22	.624	.076	22	.587	.993
04	.539	.972	02	.623	.271	22	.664	.291	03	.625	.777	26	.703	.622	18	.670	.904	16	.689	.339
18	.560	.747	30	.637	.374	04	.668	.856	08	.651	.790	29	.739	.394	11	.711	.253	06	.727	.298
26	.575	.892	14	.714	.364	19	.717	.232	12	.715	.599	25	.759	.386	01	.790	.392	04	.731	.814
29	.756	.712	15	.730	.107	02	.776	.504	23	.782	.093	24	.803	.602	04	.813	.611	08	.807	.983
20	.760	.920	19	.771	.552	29	.777	.548	20	.810	.371	27	.842	.491	19	.843	.732	15	.833	.757
05	.847	.925	23	.780	.662	14	.823	.223	01	.841	.726	21	.870	.435	03	.844	.511	19	.896	.464
25	.872	.891	10	.924	.888	23	.848	.264	29	.862	.009	28	.906	.367	30	.858	.299	18	.916	.384
24	.874	.135	12	.929	.204	30	.892	.817	25	.891	.873	23	.948	.367	09	.929	.199	01	.948	.610
08	.911	.215	01	.937	.714	28	.943	.190	04	.917	.264	11	.956	.142	24	.931	.263	11	.976	.799
07	.946	.065	25	.974	.398	15	.975	.962	13	.958	.990	17	.993	.989	15	.939	.947	24	.978	.633

10

CURSO: CONTROL DE CALIDAD
APLICADO A LAS VIAS
TERRESTRES

TEMA: METODOS ESTADISTICOS
DE CONTROL DE
CALIDAD

PROFESOR: DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

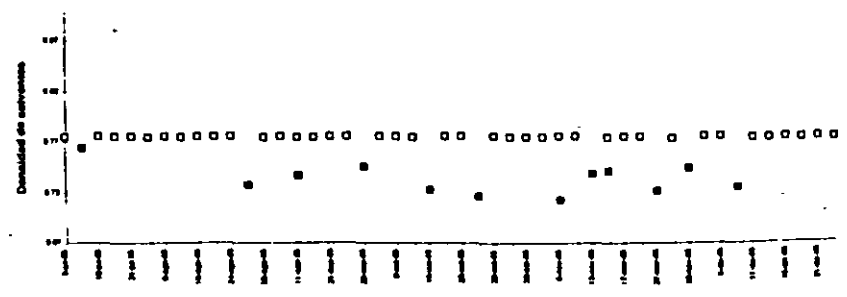
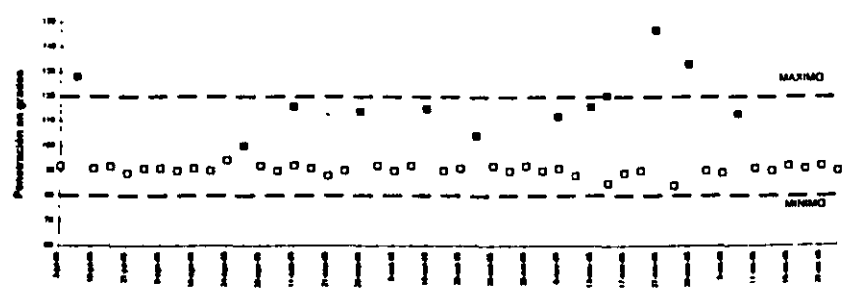
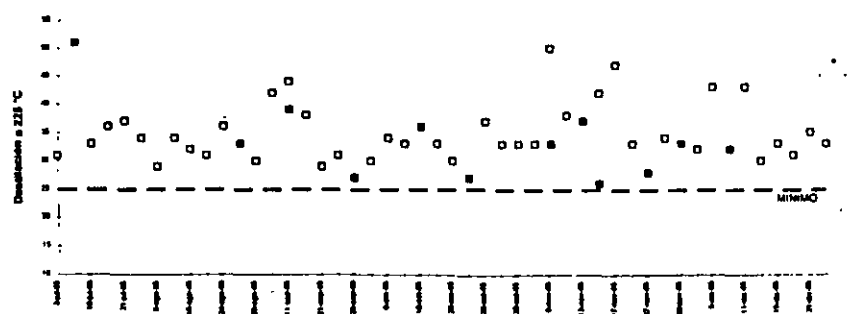
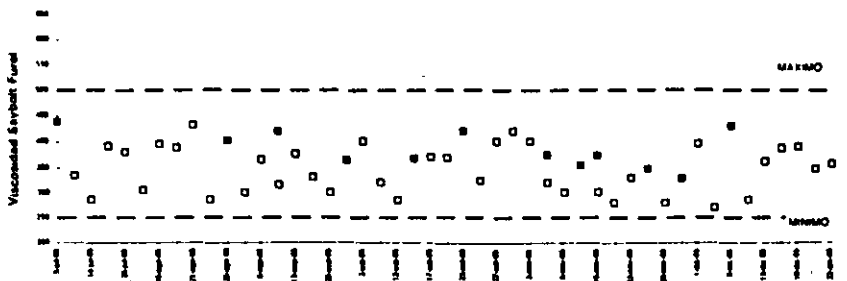


EJEMPLO
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DIRECCION DE APOYO TECNICO
SUBDIRECCION DE CONTROL DE CALIDAD

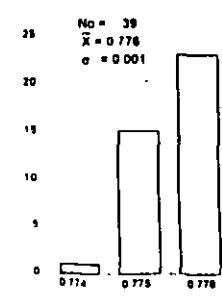
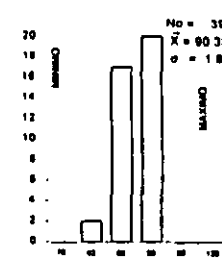
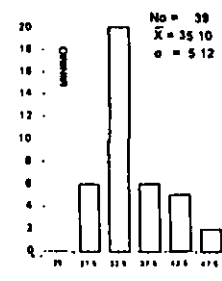
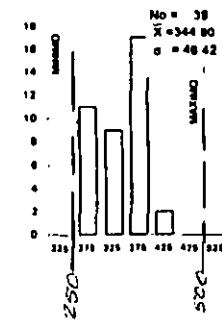
VALORES ESTADISTICOS DE LA CALIDAD DEL ASFALTO REBAJADO FR-3

REFINERIA: ANTONIO M. AMOR DE PEMEX EN SALAMANCA, GTO. PERIODO: JULIO/DICIEMBRE 1995

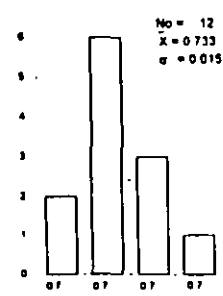
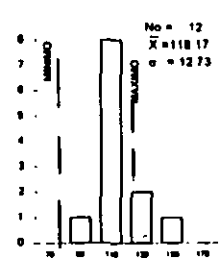
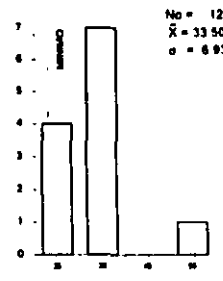
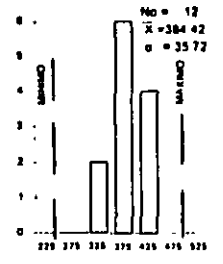
M E S	NUM. DE DATOS N	VALOR PROM. X	DESV. ESTANDAR S	V A L O R E S MIN. MAX.	
Viscosidad Saybolt-Furol a 60°C, en seg				Norma SCT: 250-500	
Julio	1	439.0	-	439	439
Agosto	1	400.0	-	400	400
Septiembre	2	391.0	39.6	363	419
Octubre	2	393.0	36.8	367	419
Noviembre	5	355.4	19.1	328	374
Diciembre	1	429.0	-	429	429
RESUMEN	12	401.2	31.8	328	439
Destilación a 225°C, en %				Norma SCT: 25 % min.	
Julio	1	51.0	-	51	51
Agosto	1	33.0	-	33	33
Septiembre	2	33.0	8.5	27	39
Octubre	2	31.5	6.4	27	36
Noviembre	5	31.4	4.4	26	37
Diciembre	1	32.0	-	32	32
RESUMEN	12	35.3	6.4	26	51
Penetración en grados a 25°C, 10 g, 5 seg				Norma SCT: 80-120	
Julio	1	128.0	-	128	128
Agosto	1	100.0	-	100	100
Septiembre	2	115.0	1.4	114	116
Octubre	2	109.5	7.8	104	115
Noviembre	5	125.6	14.3	112	147
Diciembre	1	113.0	-	113	113
RESUMEN	12	115.2	7.8	100	147
Densidad de Solventes					
Julio	1	0.764	-	0.764	0.764
Agosto	1	0.728	-	0.728	0.728
Septiembre	2	0.742	0.006	0.737	0.746
Octubre	2	0.720	0.005	0.716	0.723
Noviembre	5	0.732	0.014	0.713	0.744
Diciembre	1	0.726	-	0.726	0.726
RESUMEN	12	0.735	0.008	0.713	0.764



CD. MADER O TAMPS. O



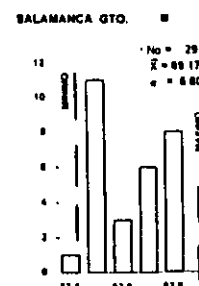
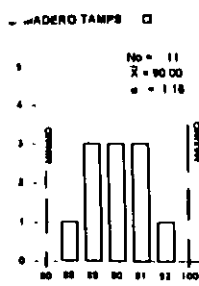
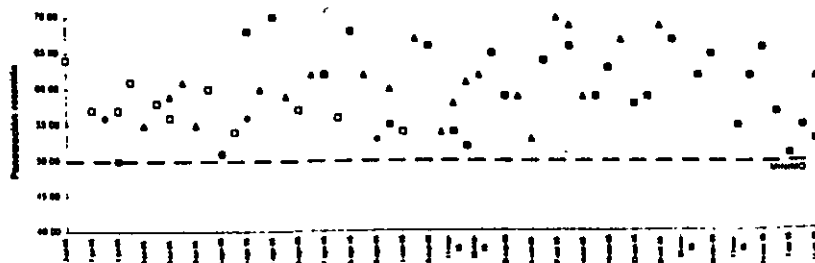
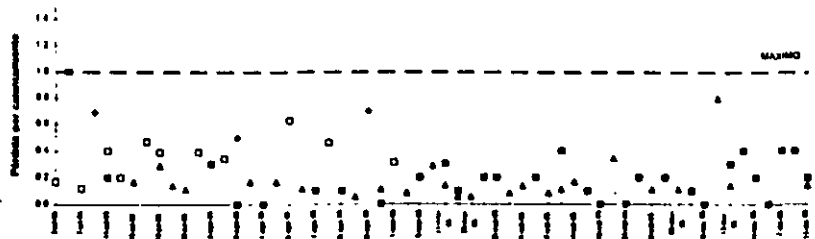
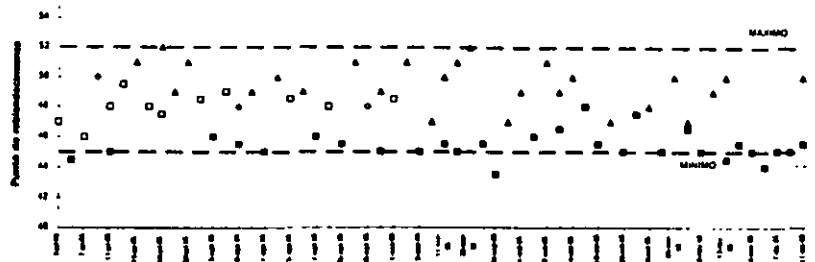
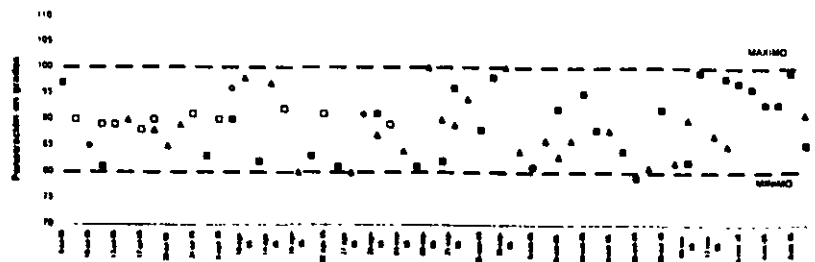
BALAMANCA, GTO. #



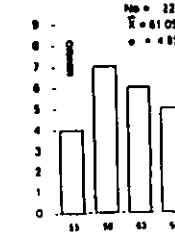
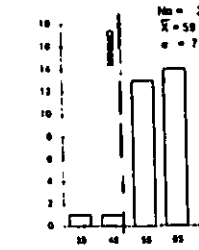
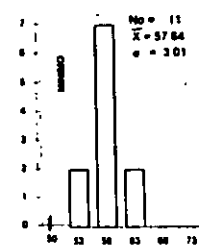
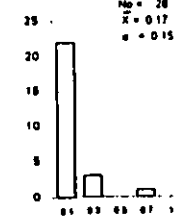
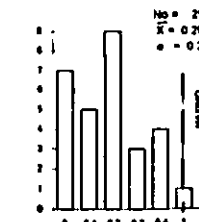
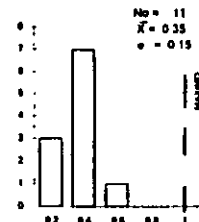
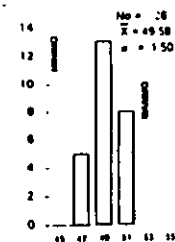
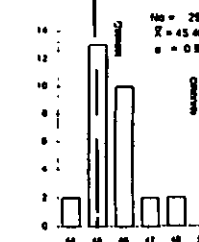
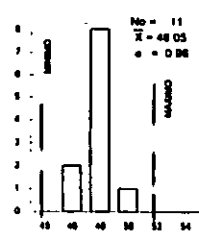
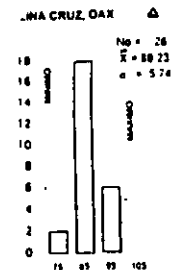
26



REFINERIA DE PEMEX EN.



CADEREYTA NL
(SIN HISTOGRAMAS)



W

EJEMPLO

METODOS ESTADISTICOS PARA LA INTERPRETACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO

FUENTE: CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO, POR ING. ALVARO ORTIZ FERNANDEZ, FUNDEC, A.C.

PROPIETARIO : ALVARO ORTIZ VIZAIRO

ORRA : GRANJA "EL CARACOL" AMECAMECA EDO. DE MEXICO

CONSTRUCTORA : SERVICIOS DE INGENIERIA S. A. DE C.V.

PREMIERCLADOR : CONCRETOS MARSA S.A. DE C.V.

FECHA DE EVALUACION : 15 DE SEPTIEMBRE DE 1985

PERIODO DE MUESTREO : DEL 20 DE MAYO AL 15 DE AGOSTO DE 1985

EDAD DE ENSAYE : 28 DIAS.

F'c DE PROYECTO : 258 KG/CM²

NUMERO DE MUESTRAS EN ESTUDIO : 185

NUMERO DE CILINDROS POR MUESTRA : 2

METODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL : DISEÑO PLASTICO

MUESTRA NO.	LOCALIZACION	RESISTENCIA (KG/CM ²)		PROMEDIO (KG/CM ²)	(RANGO) INTERVALO (KG/CM ²)	PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS
		CIL. 1	CIL. 2			
PM-1	ZAPATAB DE CIMENTACION	253	253	253.0	} →	287.3
PM-2	BASE DE DADOS CIMENTACION	318	315	316.5		296.3
PM-3	BASE DE DADOS CIMENTACION	291	294	292.5		261.5
PM-4	BASE DE DADOS CIMENTACION	288	288	288.0		264.3
PM-5	ZAPATAB Y BASE DE DADOS CIMENTACION	211	213	212.0	2	251.0
PM-6	ZAPATAB Y BASE DE DADOS CIMENTACION	381	381	381.0	0	288.7
PM-7	ZAPATAB Y BASE DE DADOS CIMENTACION	248	248	248.0	0	268.3
PM-8	ZAPATAB Y BASE DE DADOS CIMENTACION	382	388	381.0	2	275.5

LABORATORIO DE CONTROL, S.A.
(GRUPO SACHA)

PM-9	BASE DE COLUMNAS CIMENTACION	264	264	264.0	0	264.3
PM-10	BASE DE COLUMNAS CIMENTACION	259	264	261.5	3	260.2
PM-11	ZAPATAS DE CIMENTACION	274	274	274.0	0	283.0
PM-12	ZAPATAS DE CIMENTACION	270	260	269.0	2	292.2
PM-13	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	311	306	308.5	3	302.0
PM-14	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	300	290	299.0	2	302.0
PM-15	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	301	301	301.0	0	299.3
PM-16	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	304	311	307.5	7	290.0
PM-17	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	290	289	289.5	1	284.0
PM-18	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	301	290	299.5	3	282.5
PM-19	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	265	266	265.5	1	266.7
PM-20	ZAPATAS CIMENTACION	204	201	202.5	3	201.7
PM-21	ZAPATAS CIMENTACION	249	255	252.0	6	246.0 **
PM-22	ZAPATAS CIMENTACION	249	252	250.5	3	233.3 **
PM-23	ZAPATAS CIMENTACION	230	230	230.0	0	231.7 **
PM-24	DADO CIMENTACION	207	216	211.5 *	9	230.0 **
PM-25	DADO CIMENTACION	244	247	245.5	3	245.0 **
PM-26	DADO CIMENTACION	234	232	233.0	2	242.7 **
PM-27	DADO CIMENTACION	260	250	259.0	2	261.0
PM-28	COLUMNA	234	230	236.0	4	256.0
PM-29	COLUMNA	207	209	208.0	2	246.3 **
PM-30	COLUMNA	244	244	244.0	0	233.3 **
PM-31	COLUMNA	204	210	207.0 *	6	244.0 **
PM-32	COLUMNAS	240	250	249.0	2	261.7
PM-33	COLUMNAS	276	276	276.0	0	270.0
PM-34	COLUMNAS	260	260	260.0	0	17.5 **
PM-35	COLUMNAS	214	214	214.0 *	0	225.7 **
PM-36	COLUMNAS	236	241	238.5	3	211.7 **
PM-37	DADOS Y COLUMNAS	217	226	221.5	9	244.2 **
PM-38	COLUMNAS	244	242	241.0	2	251.3

LABORATORIO DE ENSAYOS S.A.
(GRUPO BALMAU)

PH-39	COLUMNAS	271	259	270.0	7	259.3
PH-40	DADO Y COLUMNA	234	247	243.0	0	260.5
PH-41	DADO Y COLUMNA	265	265	265.0	0	261.5
PH-42	DADO Y COLUMNA	274	273	273.5	1	264.5
PH-43	DADO Y COLUMNA	246	246	246.0	0	254.0
PH-44	COLUMNA	275	273	274.0	2	252.7
PH-45	COLUMNA	250	251	250.5	1	259.0
PH-46	COLUMNA	232	235	233.5	3	275.0
PH-47	COLUMNAS	294	297	295.5	3	295.3
PH-48	COLUMNAS	294	291	292.5	3	307.0
PH-49	COLUMNA	297	299	298.0	2	315.7
PH-50	COLUMNA	337	341	339.0	4	303.2
PH-51	COLUMNA	309	311	310.0	2	270.0
PH-52	TRABE PORTANTE	240	241	240.5	1	250.0
PH-53	TRABE PORTANTE	240	244	242.0	4	240.0 **
PH-54	TRABE PORTANTE	250	250	250.0	0	241.7 **
PH-55	TRABE PORTANTE	227	229	228.0	2	230.5 **
PH-56	TRABES DE CIMENTACION	292	294	293.0	2	247.0 **
PH-57	TRABE	232	237	234.5	5	254.7
PH-58	TRABE	254	251	252.5	5	250.0
PH-59	TRABES DE LIGA	274	274	274.0	0	241.0
PH-60	TRABES DE LIGA	249	245	247.0	4	244.7
PH-61	TRABE DE LIGA	240	240	240.0	0	300.2
PH-62	TRABE DE LIGA Y COLUMNA	207	207	207.0	0	301.0
PH-63	TRABE DE LIGA Y COLUMNA	354	351	352.5	0	292.0
PH-64	MENSULA	240	270	265.0	10	250.0
PH-65	COLUMNA	240	235	237.5	5	259.2
PH-66	TRABE	205	240	221.5	7	201.5
PH-67	TRABE	270	247	240.5	3	279.0
PH-68	MENSULA	324	323	324.5	3	277.3
PH-69	COLUMNA Y TRABE	245	240	244.5	3	247.3 **

LABORATORIO DE CONTROL "B.A."
(GRUPO SACHAS)

PH-70	TRABE	241	241	241.0	0	241.3	00
PH-71	TRABE	236	233	234.5	3	228.2	00
PH-72	TRABE	226	231	228.5	5	223.3	00
PH-73	TRABE	224	219	221.5	5	217.8	00
PH-74	TRABE	219	221	220.0	2	213.0	00
PH-75	TRABE	211	213	212.0	2	224.3	00
PH-76	TRABE	205	209	207.0	4	239.8	00
PH-77	TRABE	260	260	260.0	0	251.0	
PH-78	TRABE	258	258	258.0	0	248.7	00
PH-79	FIRME	241	245	243.0	4	227.7	00
PH-80	FIRME	226	232	229.0	6	228.8	00
PH-81	FIRME	211	211	211.0	0	232.8	00
PH-82	FIRME	249	244	246.5	5	240.5	00
PH-83	FIRME	236	241	238.5	5	241.8	00
PH-84	FIRME	238	235	236.5	3	245.7	00
PH-85	FIRME	232	249	238.5	3	249.5	00
PH-86	FIRME	248	252	250.0	4	245.7	00
PH-87	FIRME	202	244	240.0	0	248.5	00
PH-88	FIRME	237	241	239.0	4	246.3	00
PH-89	FIRME	241	256	258.5	5	250.3	
PH-90	LOBA DE PISO	245	238	241.5	7	246.8	00
PH-91	LOBA DE PISO	274	277	275.0	4	237.3	00
PH-92	LOBA DE PISO	227	221	224.0	6	219.0	00
PH-93	LOBA DE PISO	211	215	213.0	4	214.3	00
PH-94	LOBA DE PISO	219	221	220.0	2	215.3	00
PH-95	LOBA DE PISO	218	218	218.0	0	205.5	00
PH-96	LOBA DE PISO OFICINA	215	217	216.0	2	204.0	00
PH-97	LOBA DE PISO FLAMABLES	189	192	190.5	3	199.0	00
PH-98	LOBA DE PISO	204	207	205.5	3	202.2	00
PH-99	LOBA DE PISO ANDEN	200	199	201.5	9	209.5	00

7

PM-100	LIBRA DE FIBRO ANILIN	196	199	197.5 *	1	210.0 **
PM-101	LIBRA DE FIBRO	225	210	217.5	5	220.5 **
PM-102	LIBRA DE FIBRO	231	210	221.5	3	211.2 **
PM-103	LIBRA DE FIBRO	226	227	226.5	1	224.0 **
PM-104	LIBRA DE FIBRO	238	245	241.5	7	
PM-105	LIBRA DE FIBRO	203	210	206.5 *	7	

* INDICA AQUELLOS PROMEDIOS DE LOS CATORCES DE LAS MUESTRAS CUYA RESISTENCIA ES DE MAS DE 35 KG/CM2 POR DEBAJO DE LA FIC DE PROYECTO (N O M - C - 1 5 5 - 1 9 8 4 - 5 - 1 - 1 - 2 1).

** INDICA AQUELLOS PROMEDIOS DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS CUYA RESISTENCIA ES MENOR QUE LA FIC DE PROYECTO (N O M - C - 1 5 5 - - - 1 9 8 4 - 5 - 1 - 1 - 2 1).

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Para interpretar los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto, se requiere conocer las normas al respecto.

Grado de uniformidad de la fabricación del concreto.

La siguiente tabla, tomada del ACI-214-77, sirve como guía para evaluar el **grado de control en la uniformidad** de la fabricación del concreto, en función de la desviación estándar.

TABLA No. 1

EVALUACION PARA EL GRADO DE CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DE LA FABRICACION DEL CONCRETO, EN TERMINOS DE LA DESVIACION ESTANDAR (kg/cm²)

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Por debajo	de	de	de	Sobre
de				
25	25 a 35	35 a 40	40 a 50	50

NOTA: Esta evaluación representa el promedio de resultados de especímenes ensayados a la edad especificada.

Grado de control del laboratorio

Para evaluar la calidad del trabajo del laboratorio de prueba, se puede emplear el procedimiento que se describe a continuación.

Si \bar{R} es el promedio de los rangos de las pruebas en los especímenes de cada muestra, la desviación estándar, S_1 , y el coeficiente de variación, V_1 , de los ensayos se calculan con las fórmulas

$$S_1 = \frac{1}{d} \bar{R}$$

$$V_1 = \frac{S_1}{\bar{X}}$$

donde \bar{X} es el promedio de todas las muestras, y d se obtiene de la siguiente tabla:

TABLA No. 2*

FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACION ESTANDAR DE LOS ENSAYES

Número de Especímenes	d	1/d
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299

La siguiente tabla, tomada del AC1 214-77, califica el grado de control del laboratorio en función de los valores del coeficiente de variación de los ensayos:

TABLA No. 3

**EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL DEL LABORATORIO EN
FUNCION DEL COEFICIENTE DE VARIACION**

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Por debajo	de	de	de	Arriba
de 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	de 6

*GRADOS DE CALIDAD DEL CONCRETO, SEGÚN LA NORMA
N.O.M. -C- 155 - 1984.*

Grados de calidad A (sólo para resistencia a compresión)

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia tengan valor inferior a la resistencia especificada $f'c$; se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia consecutiva será inferior a la resistencia especificada.
- c) No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada menos 50 kg/cm^2 .

Grado de calidad B (resistencia a compresión y resistencia a flexión)

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia consecutiva puede ser igual o menor que la resistencia especificada.
- c) No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos 35 kg/cm², o resistencia especificada a la flexión "MR" menos 4 kg/cm².

Interpretación de los Resultados

$$\text{Promedio aritmético} = \bar{X} = 253.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Desviación estándar} = S = 32.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{32.1}{253.4} = 0.1266$$

$$\text{Promedio de los rangos de los ensayos} = \bar{R} = 3.03$$

$$\text{Desviación estándar de los ensayos} = \frac{1}{1.128} \times 3.03 = 2.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Coeficiente de variación de los ensayos} = V_1 = \frac{2.7}{253.4} \times 100 = 1.1\%$$

Conclusiones

- a) Como $S = 32.1$, de acuerdo con la tabla 1, el **control de la uniformidad** de la fabricación es "muy bueno".
- b) Como $V_1 = 1.1\%$, de acuerdo con la tabla 3, el **control del laboratorio** se califica como "excelente".
- c) El número de muestras con promedio de resistencias inferior a $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ es de 52, o sea, 49.5%. Como este valor es mayor que el tolerable, de 10%, se concluye que el concreto **no cumple** la norma N.O.M. -C- 155 - 1984, grado de calidad B.
- d) El número de promedios de 3 muestras consecutivas inferiores a $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, es de 50, o sea 47.6%.

Como este valor es superior al 1% de la norma, se concluye que dicha norma **no se cumple**.

- e) El número de promedios de muestras con deficiencia de más de 35 kg/cm^2 es de 13, o sea 12.4%. Como este valor es superior al 1% señalado como límite en la norma, se concluye que dicha norma **no se cumple**.

CURSO: CONTROL DE CALIDAD
APLICADO A LAS VIAS
TERRESTRES

TEMA: METODOS ESTADISTICOS
DE CONTROL DE
CALIDAD

PROFESOR: DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ



INFERENCIA ESTADISTICA

Por: M en I Augusto Villarreal Aranda*

1. Introducción

La parte de la estadística que proporciona las reglas para inferir ciertas características de una población a partir de muestras extraídas de ella, junto con indicaciones probabilísticas de la veracidad de tales inferencias, se llama *inferencia estadística*.

En la inferencia estadística se estudian las relaciones existentes entre una población, las muestras obtenidas de ella, y las técnicas para estimar parámetros, tales como la media y la variancia, o bien para determinar si las diferencias entre dos muestras son debidas al azar, etc.

2. Distribuciones muestrales

Si se consideran todas las muestras posibles de tamaño

Secretario Académico, División de Estudios Superiores, Facultad de Ingeniería, UNAM y Profesor investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

al azar todas las bolas que constituyen la muestra sin regresarlas a la urna, siendo entonces un muestreo *sin remplazo*.

4. Distribución muestral del promedio aritmético

Supóngase que se extraen sin remplazo todas las muestras posibles de tamaño n de una población finita de tamaño $N_p > n$. Si la media y la desviación estándar de la distribución muestral del promedio aritmético se denotan con $\mu_{\bar{X}}$ y $\sigma_{\bar{X}}$, y la media y la desviación estándar de la población con μ y σ , respectivamente, entonces es posible demostrar que se cumplen las siguientes ecuaciones

$$\mu_{\bar{X}} = \mu$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}}$$

Además, si la población es infinita (o el muestreo es con remplazo), los resultados anteriores se reducen a

$$\mu_{\bar{X}} = \mu$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

puesto que

$$\lim_{N_p \rightarrow \infty} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

	\bar{X}_i		\bar{X}_i
1, 2, 3	6/3	3, 4, 5	12/3
1, 2, 4	7/3	3, 4, 1	8/3
1, 2, 5	8/3	4, 5, 1	10/3
2, 3, 4	9/3	4, 5, 2	11/3
2, 3, 5	10/3	5, 1, 3	9/3

Para calcular la media y la desviación estándar, se emplea la siguiente tabla

\bar{X}_i	6/3	7/3	8/3	8/3	9/3	9/3	10/3	10/3	11/3	12/3
\bar{X}_i^2	36/9	49/9	64/9	64/9	81/9	81/9	100/9	100/9	121/9	144/9

$$\sum_{i=1}^{10} \bar{X}_i = 90/3$$

$$\sum_{i=1}^{10} \bar{X}_i^2 = 840/9$$

$$\mu_{\bar{X}} = \bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \bar{X}_i = \frac{1}{10} \cdot \frac{90}{3} = 3$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \bar{X}_i^2 - \bar{X}^2 = \frac{1}{10} \cdot \frac{840}{9} - (3)^2 =$$

$$= 9.333 - 9.000 = 0.333 \Rightarrow \sigma_{\bar{X}} = \sqrt{0.333} = 0.577$$

Es decir, $\mu_{\bar{X}} = 3$ y $\sigma_{\bar{X}} = 0.577$

Segundo procedimiento.

Por tratarse de una población finita, se verifica que

Para la distribución muestral del promedio, se tiene que $\mu_{\bar{X}} = \mu = 5.02$ kg y, por tratarse de una población finita,

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}} = \frac{0.30}{\sqrt{100}} \sqrt{\frac{5000 - 100}{5000 - 1}} = 0.027$$

a. El peso total de la muestra estará entre 496 y 500 kg si el peso promedio de las cien varillas se encuentra entre 4.96 y 5.00 kg. Puesto que la muestra es mayor de 30 elementos se puede considerar como aproximadamente normal a la distribución muestral, y los valores estándar correspondientes a $\bar{X} = 4.96$ y a $\bar{X} = 5.00$ se obtienen mediante la transformación

$$z = \frac{\bar{X} - \mu_{\bar{X}}}{\sigma_{\bar{X}}}$$

es decir,

$$z_1 = \frac{4.96 - 5.02}{0.027} = -2.22$$

$$z_2 = \frac{5.00 - 5.02}{0.027} = -0.74$$

En la fig 4.1 se puede apreciar que

$$\begin{aligned} P[496 \leq X \leq 500] &= P[-2.22 \leq Z \leq -0.74] = \\ &= P[-2.22 \leq Z \leq 0] - P[-0.74 \leq Z \leq 0] \end{aligned}$$

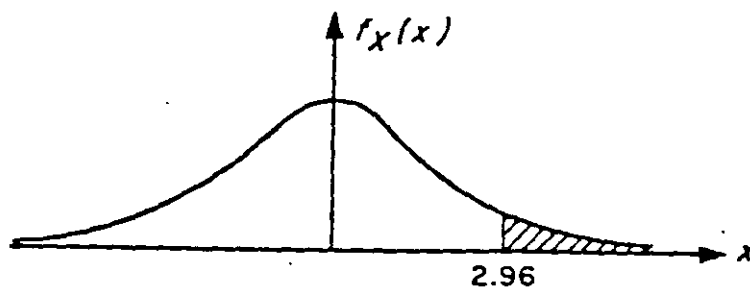


Fig 4.2 Distribución normal correspondiente al ejemplo

5. Distribución muestral de diferencias de promedios aritméticos

Con frecuencia se presenta el caso en el que se tienen datos de dos poblaciones con variables aleatorias asociadas X y Y , respectivamente, surgiendo la duda de si estas se pueden considerar como una sola, es decir, si $X = Y$. Para probar estadísticamente esta hipótesis (como se verá más adelante), es necesario obtener las distribuciones muestrales de la diferencia de los promedios y de las variancias de las muestras de ambas variables.

Sean \bar{X} y \bar{Y} los promedios aritméticos obtenidos de muestras aleatorias de tamaño n_X y n_Y de dos poblaciones con características X y Y , respectivamente. Se puede demostrar que la distribución muestral de la diferencia de los promedios correspondientes a poblaciones infinitas con medias μ_X y μ_Y y desviaciones estándar σ_X y σ_Y , tiene los siguientes parámetros:

$$\begin{aligned} \mu_{\bar{X} - \bar{Y}} &= \mu_{\bar{X}} - \mu_{\bar{Y}} = \mu_X - \mu_Y \\ \sigma_{\bar{X} - \bar{Y}} &= \sqrt{\sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2} = \sqrt{\frac{\sigma_X^2}{n_X} + \frac{\sigma_Y^2}{n_Y}} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc} 3 - 2 & , 7 - 2 & 8 - 2 \\ 3 - 4 & 7 - 4 & 8 - 4 \end{array} \implies \begin{array}{ccc} 1 & 5 & 6 \\ -1 & 3 & 4 \end{array}$$

Es decir,

$$\mu_{\bar{X}-\bar{Y}} = \frac{-1+1+3+4+5+6}{6} = \frac{18}{6} = 3$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}^2 &= \frac{(-1-3)^2 + (1-3)^2 + (3-3)^2 + (4-3)^2 + (5-3)^2 + (6-3)^2}{6} = \\ &= \frac{34}{6} = \frac{17}{3} \end{aligned}$$

Segundo procedimiento

Se sabe que

$$\mu_{\bar{X}-\bar{Y}} = \mu_{\bar{X}} - \mu_{\bar{Y}} ; \quad \sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}^2 = \sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2$$

Por ello,

$$\mu_{\bar{X}} = \frac{3+7+8}{3} = \frac{18}{3} = 6$$

$$\mu_{\bar{Y}} = \frac{2+4}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{(3-6)^2 + (7-6)^2 + (8-6)^2}{3} = \frac{14}{3}$$

$$\sigma_{\bar{Y}}^2 = \frac{(2-3)^2 + (4-3)^2}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

$$\mu_{\bar{X}-\bar{Y}} = 6 - 3 = 3$$

$$\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}^2 = \frac{14}{3} + 1 = \frac{17}{3}$$

La variable estandarizada de la diferencia de los promedios es

$$Z = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B) - \mu_{\bar{X}_A - \bar{X}_B}}{\sigma_{\bar{X}_A - \bar{X}_B}} = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B) - 0.20}{0.05}$$

a. Estandarizando la diferencia de 0.35 kg se llega a

$$z_1 = \frac{0.35 - 0.20}{0.05} = \frac{0.15}{0.05} = 3$$

La probabilidad deseada es el área bajo la curva normal a la derecha de $Z = 3$, es decir

$$P[\bar{X}_A \geq \bar{X}_B + 0.35] = P[Z \geq 3] = 0.500 - 0.4987 = 0.0013$$

b. Al estandarizar la diferencia de 0.10 kg, la variable Z resulta

$$z_2 = \frac{0.10 - 0.20}{0.05} = \frac{-0.1}{0.05} = -2$$

La probabilidad requerida es el área bajo la curva normal a la derecha de $Z = -2$, es decir

$$P[\bar{X}_A \geq \bar{X}_B + 0.10] = P[Z \geq -2] = 0.5 + 0.4772 = 0.9772$$

hace más grande el tamaño de la muestra, entonces la estadística recibe el nombre de *estimador consistente* del parámetro.

Empleando símbolos, si

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \theta$$

resulta que la estadística S_n es un estimador consistente. Por ejemplo, el promedio aritmético es un estimador insesgado y consistente de la media, y la variancia de la muestra es un estimador sesgado y consistente de la variancia de la población.

Si las distribuciones muestrales de varias estadísticas tienen el mismo valor de la media, se dice que la estadística que cuenta con la menor variancia es un *estimador eficiente* de dicha media, en tanto que las estadísticas restantes se conocen como *estimadores ineficientes* del parámetro.

Por ejemplo, las distribuciones muestrales del promedio aritmético y de la mediana cuentan con medias que son, en ambos casos, iguales a la media de la población. Sin embargo, la variancia de la distribución muestral del promedio aritmético es menor que la de la distribución de la mediana, por lo que el promedio aritmético obtenido de una muestra aleatoria proporciona un estimador eficiente de la media de la población, en tanto que la mediana obtenida de la muestra proporciona un estimador ineficiente de dicho parámetro.

TABLA 8.1 VALORES DE z_c PARA DISTINTOS NIVELES DE CONFIANZA

Nivel de confianza, en porcentaje	z_c
99.73	3.00
99.00	2.58
98.00	2.33
96.00	2.05
95.45	2.00
95.00	1.96
90.00	1.64
80.00	1.28
68.27	1.00
50.00	0.674

Ejemplo 8.1

Sea el promedio aritmético \bar{X} una estadística con distribución normal. Las probabilidades o niveles de confianza de que $\mu_{\bar{X}}$ (o μ de la población) se encuentre localizada entre los límites $\bar{X} \pm \sigma_{\bar{X}}$, $\bar{X} \pm 2 \sigma_{\bar{X}}$ y $\bar{X} \pm 3 \sigma_{\bar{X}}$ son 68.26, 95.44 y 99.73%, respectivamente, obteniéndose dichos valores de la tabla de áreas bajo la curva normal. Lo anterior significa que el intervalo $\bar{X} \pm 3 \sigma_{\bar{X}}$ contendrá a $\mu_{\bar{X}}$ en el 99.73 por ciento de las muestras de tamaño n , por lo que los intervalos de confianza de 68.26, 95.44 y 99.73 por ciento para estimar a μ son $(\bar{X} - \sigma_{\bar{X}}, \bar{X} + \sigma_{\bar{X}})$ ($\bar{X} - 2 \sigma_{\bar{X}}, \bar{X} + 2 \sigma_{\bar{X}}$) y $(\bar{X} - 3 \sigma_{\bar{X}}, \bar{X} + 3 \sigma_{\bar{X}})$, lo cual se aprecia en la fig 8.1 siguiente.

en caso de que el muestreo se haga a partir de una población infinita o de que se efectúe con remplazo a partir de una población finita, o por

$$\bar{X} \pm z_c \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}}$$

si el muestreo es sin remplazo a partir de una población finita de tamaño N_p .

Ejemplo 9.1

Las mediciones de los diámetros de una muestra aleatoria de 100 tubos de albañal mostraron una media de 32 cm y una desviación estándar de 2 cm. Obténganse los límites de confianza de

- a. 95 por ciento
- b. 97 por ciento

para el diámetro medio de todos los tubos.

- a. De la tabla 8.1, los límites de confianza del 95 por ciento son

$$\bar{X} \pm 1.96\sigma/\sqrt{n} = 32 \pm 1.96(2/\sqrt{100}) = 32 \pm 0.392 \text{ cm}$$

o sea 31.608 y 32.392, en donde se ha empleado el valor de S_x para estimar el de σ de la población, puesto que la muestra es suficientemente grande (mayor de 30 elementos). Esto significa

a. Si se estima a σ de la población con S_x de la muestra y se considera que la población es finita, los límites de confianza son, puesto que $\bar{x} = 72$, $z_c = 1.96$, $S_x = 10$, $N_p = 1018$ y $n = 50$,

$$72 \pm 1.96 \frac{10}{\sqrt{50}} \sqrt{\frac{1018 - 50}{1018 - 1}}$$

$$72 \pm 1.96 (1.4142) (0.9755)$$

$$72 \pm 2.704$$

y el intervalo de confianza respectivo es:

$$(69.296, 74.704)$$

b. Puesto que el error en la estimación de la media es, para población finita,

$$\text{Error en la estimación} = z_c \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}}$$

en este caso se tendría

$$z_c \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}} < 2$$

o sea, para un nivel de confianza de 95%,

$$1.96 \frac{10}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1018 - n}{1018 - 1}} < 2$$

$$\frac{19.6}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1018 - n}{1018 - 1}} < 2$$

El área bajo la curva normal estándar entre 0 y $z_c = 0.725$ es, por interpolación lineal, igual a 0.2657. Por lo tanto, el nivel de confianza es igual al doble del área anterior, es decir, $2(0.2657) = 0.5314$ (o 53.14%), tal como se muestra en la fig 9.1.

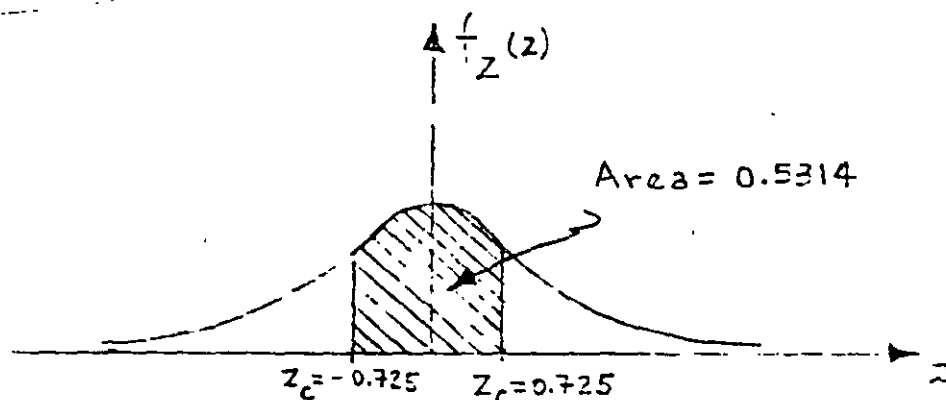


Fig 9.1

10. Intervalos de confianza para diferencias de medias

Los límites de confianza para la diferencia de las medias cuando las poblaciones X y Y son infinitas, o cuando el muestreo se realiza con remplazo de poblaciones finitas, se encuentran dados por

$$\bar{X} - \bar{Y} \pm z_c \sigma_{\bar{X} - \bar{Y}} = \bar{X} - \bar{Y} \pm z_c \sqrt{\frac{\sigma_X^2}{n_X} + \frac{\sigma_Y^2}{n_Y}}$$

en donde \bar{X} , n_X y \bar{Y} , n_Y son los respectivos promedios aritméticos y tamaños de las dos muestras extraídas de las poblaciones, y σ_X y σ_Y las desviaciones estándar de estas últimas.

Ejemplo 10.2

Se tienen en una bodega 3000 focos de marca X, y 5000 de marca Y. Se extrae una muestra aleatoria de 150 focos de la marca X, y se obtiene una duración promedio de 1400 horas, con desviación estándar igual a 120 horas. Otra muestra aleatoria de 200 focos de la marca Y tuvo una duración promedio de 1200 horas, con desviación estándar igual a 80 horas. Obtener intervalos de confianza de

a. 95%

b. 99%

para la diferencia de los tiempos medios de duración de los focos de ambas marcas.

a: Puesto que se trata de poblaciones finitas y $\bar{X} = 1400$ h, $S_X = 120$ h, $N_X = 3000$, $n_X = 150$, $\bar{Y} = 1200$ h, $S_Y = 80$ h, $N_Y = 5000$ y $n_Y = 200$, se obtiene, estimando a σ_X y σ_Y con S_X y S_Y , respectivamente

$$1400 - 1200 \pm 1.96 \sqrt{\frac{(120)^2}{150} \frac{3000 - 150}{3000 - 1} + \frac{(80)^2}{200} \frac{5000 - 200}{5000 - 1}}$$

$$200 \pm 1.96 (11.04)$$

$$200 \pm 21.638$$

o sea, (178.362, 221.638), puesto que de la tabla 8.1, para un nivel de confianza de 95%, $Z_c = 1.96$.

b. En este caso, al emplear la tabla 8.1 se obtiene

En el caso particular de una *prueba de hipótesis* solamente se tienen dos cursos de acción posibles, los que se denotarán como H_0 y H_1 . A la acción H_0 se le llama *hipótesis nula*, y a la H_1 , *hipótesis alternativa*. Por ejemplo, si la hipótesis nula establece que $\mu_1 = \mu_2$, la hipótesis alternativa puede ser una de las siguientes:

$$\mu_1 > \mu_2, \mu_1 < \mu_2 \text{ o } \mu_1 \neq \mu_2$$

Al realizar una prueba de hipótesis, se prueba siempre la verdad de la hipótesis nula H_0 , aun cuando de antemano se de sea rechazarla.

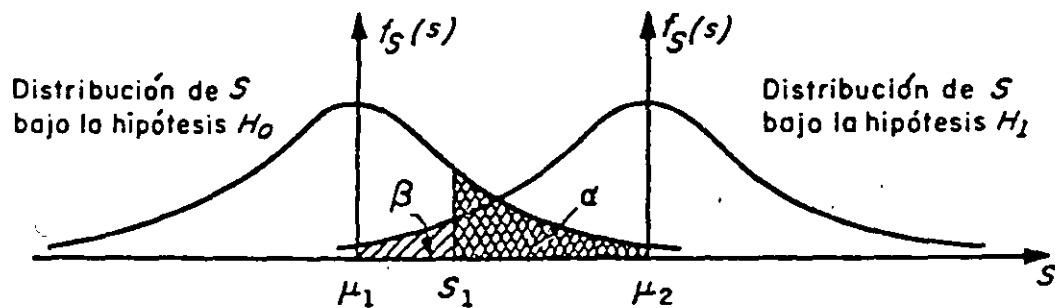
12. Errores de los tipos I y II. Nivel de significancia

En muchas ocasiones se presenta el caso de que se rechaza una hipótesis nula cuando en realidad debería ser aceptada; cuando esto sucede se dice que se ha cometido un *error de tipo I*. En otras ocasiones se acepta una hipótesis nula siendo en realidad falsa; en este caso se dice que se ha cometido un *error de tipo II*.

Al probar una hipótesis nula, a la máxima probabilidad con la que se está dispuesto a cometer un error del tipo I se le llama *nivel de significancia*, α , de la prueba, el cual dentro de la práctica se acostumbra establecer de 5 por ciento (0.05) o 10 por ciento (0.1). El complemento del nivel de significancia, $1 - \alpha$, se conoce como *nivel de confianza*.

de que $S < S_1$, o sea la de aceptar H_0 siendo falsa (error tipo II).

Obsérvese que si se aumenta el valor de S_1 se reduce la probabilidad α , pero se incrementa la β ; lo contrario sucede si se disminuye el valor de S_1 .



$$P[S > S_1] = \alpha \text{ (error tipo I)}$$

$$P[S < S_1] = \beta \text{ (error tipo II)}$$

Fig 13.1 Probabilidades de los errores tipos I y II en pruebas de hipótesis.

En realidad, la única forma posible en la cual se pueden minimizar simultáneamente los errores de tipos I y II es aumentando el tamaño de la muestra, para hacer más "picudas" las distribuciones muestrales de la estadística bajo las hipótesis H_0 y H_1 .

Al observar la fig 13.2 siguiente, es posible concluir

14. Regiones críticas, de rechazo ó de significancia. Regiones de aceptación:

Cuando una hipótesis nula no se acepta se dice que se rechaza a un nivel de significancia del α por ciento, o que el valor estandarizado de la estadística involucrada es significativo a un nivel de significancia α .

Al conjunto de los valores de la estadística en el que se rechaza la hipótesis nula se le denomina *región crítica, de rechazo, o de significancia*. Por el contrario, al conjunto de los valores de la estadística en que se acepta la hipótesis, se le llama *región de aceptación*.

Considérese que la distribución muestral de la estadística S es normal con desviación estándar σ_S , que la variable Z resulta de estandarizar a S , que la hipótesis nula, H_0 , es que la media de S vale μ_S , y que la hipótesis alternativa H_1 es que dicha media es diferente de μ_S , es decir, que

$$Z = \frac{S - \mu_S}{\sigma_S}$$

H_0 : media de la distribución muestral de $S = \mu_S$

H_1 : media de la distribución muestral de $S \neq \mu_S$

Si se adopta la regla de decisión de aceptar la hipótesis H_0 , si el valor de Z cae dentro del intervalo central que encierra al 99 por ciento del área de la distribución de probabilidades, entonces H_0 se aceptará en el caso en que

En la tabla 14.1 se presentan los valores de la variable estandarizada, z , que limitan las regiones de aceptación y de rechazo para el caso en el que la estadística involucrada en la prueba tenga distribución muestral normal. Cuando en alguna prueba de hipótesis se consideren niveles de significancia diferentes a los que aparecen en la tabla mencionada, resulta necesario emplear la de áreas bajo la curva normal estándar.

TABLA 14.1 VALORES CRITICOS DE z

Nivel de significancia, α	Valores de z para pruebas de una cola	Valores de z para pruebas de dos colas
0.1	-1.281 o 1.281	-1.645 y 1.645
0.05	-1.645 o 1.645	-1.960 y 1.960
0.01	-2.326 o 2.326	-2.575 y 2.575
0.005	-2.575 o 2.575	-2.810 y 2.810

15. Pruebas de una y de dos colas

En la prueba de hipótesis del ejemplo anterior, la región de rechazo de la hipótesis nula quedó en ambos extremos (colas) de la distribución muestral de la estadística involucrada en la prueba; a las pruebas de este tipo se les denomina *pruebas de dos colas*. Cuando la región de rechazo se encuentra solamente en un extremo de la distribución muestral en cuestión, se les llama *pruebas de una cola*.

Las pruebas de dos colas se presentan cuando en la hipótesis alternativa aparece el signo \neq (diferente de), como en el siguiente caso

$$z = \frac{\bar{X} - \mu_{\bar{X}}}{\sigma_{\bar{X}}} = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Para el caso de muestreo sin remplazo de población finita, se tiene que $\sigma_{\bar{X}} = \sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}}$, en donde N_p es el tamaño de la población, por lo que la variable estandarizada será

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N_p - n}{N_p - 1}}}$$

En los dos casos anteriores, el valor de Z correspondiente al de \bar{X} de la muestra es el que se debe comparar con el valor crítico correspondiente al nivel de significancia fijado, para así aceptar o no la hipótesis nula (prueba de una cola). Si se trata de una prueba de dos colas, el valor de Z se debe comparar con los dos valores críticos que corresponden al valor de α seleccionado. En cualquiera de los casos anteriores, el valor o valores críticos se pueden obtener de la tabla 14.1, para valores comunes de α .

Ejemplo 16.1

Se sabe que el promedio de calificaciones de una muestra aleatoria de tamaño 100 de los estudiantes de tercer año de ingeniería civil es de 7.6, con una desviación estándar de 0.2. Si μ denota la media de la población de esas calificaciones, X , y se supone que \bar{X} tiene distribución normal, probar la hipótesis

a. Para la prueba de dos colas a un nivel de significancia de 0.05 se establece la siguiente regla de decisión

Aceptar H_0 si el valor Z correspondiente al valor del promedio de la muestra se encuentra dentro del intervalo de -1.96 a 1.96 (tabla 14.1).

En caso contrario, rechazar H_0 .

Puesto que

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\hat{\sigma}/\sqrt{n}} = \frac{7.6 - 7.65}{0.02} = -2.5$$

se encuentra fuera del rango de -1.96 a 1.96, se rechaza la hipótesis H_0 a un nivel de significancia de 0.05.

b. Si el nivel de significancia es 0.01, el intervalo de -1.96 a 1.96 de la regla de decisión del inciso a se reemplaza por el de -2.58 a 2.58 tabla (14.1). Entonces, puesto que el valor muestral $Z = -2.5$ se encuentra dentro de este intervalo, se acepta la hipótesis H_0 a un nivel de significancia de 0.01.

Ejemplo 16.2

La resistencia media a la ruptura de cables de acero fabricados por la empresa X es de 905 kg. Una empresa consultora sugiere a X que cambie su proceso de manufactura, con lo cual incrementará la resistencia de sus cables. Se prueba el nuevo proceso, y se extrae una muestra aleatoria de 50 cables, obteniéndose para ellos una resistencia promedio de 926 kg, con des-

En virtud de que

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_{\bar{X}}}{\sigma_{\bar{X}}} = \frac{926 - 905}{5.94} = 3.535$$

es mayor de 2.326, se rechaza H_0 a un nivel de significancia de 1%, concluyéndose que en realidad el nuevo proceso sí incrementa la resistencia de los cables.

17. Pruebas de diferencias de medias

Sean \bar{X} y \bar{Y} los promedios aritméticos obtenidos de dos muestras de tamaños n_X y n_Y , extraídas respectivamente de dos poblaciones con medias μ_X y μ_Y , y desviaciones estándar σ_X y σ_Y . Se trata de probar la hipótesis nula, H_0 , de que no existe diferencia entre las medias, es decir, que $\mu_X = \mu_Y$. Si n_X y n_Y son suficientemente grandes (>30), la distribución muestral de las diferencias de los promedios es aproximadamente normal. Dicha distribución muestral es rigurosamente normal si las variables aleatorias X y Y asociadas a la población tienen distribución normal, aunque n_X y n_Y sean menores de 30. Para esta distribución muestral, la variable estandarizada Z , que se comparará con los valores críticos correspondientes, se encuentra dada por

$$Z = \frac{X - Y - \mu_{\bar{X}-\bar{Y}}}{\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}} = \frac{X - Y - 0}{\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}} = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sigma_{\bar{X}-\bar{Y}}}$$

con la cual se puede probar la hipótesis nula H_0 en contra de otras hipótesis alternativas, H_1 , a un nivel apropiado de significancia.

a. Puesto que se trata de una prueba de dos colas a un nivel de significancia de 0.05, la diferencia es significativa si el valor de Z se encuentra fuera del intervalo de -1.96 a 1.96. Como este es el caso, puede concluirse que efectivamente existe diferencia significativa en la ganancia en voltaje de los transistores.

b. Si la prueba es a un nivel de significancia de 0.01, la diferencia es significativa si Z se encuentra fuera del rango de -2.58 a 2.58. Partiendo del hecho de que $Z = 2$, la diferencia entre las ganancias es producto del azar, y se acepta la hipótesis de que ambos tipos de transistores tienen igual ganancia media en voltaje a un nivel de confianza de 99 por ciento.

Ejemplo 17.2

La estatura promedio de 50 estudiantes varones tomados al azar que participan en actividades deportivas es de 173 cm, con desviación estándar de 6.3 cm. Otra muestra aleatoria de 50 estudiantes varones que no participan en ese tipo de actividades tiene promedio de estatura igual a 171 cm, con desviación estándar igual a 7.1 cm. Probar la hipótesis de que los estudiantes varones que practican deportes son más altos que los que no lo hacen, a un nivel de significancia de 0.05.

Se debe decidir entre las hipótesis

$$H_0 : \mu_X = \mu_Y$$

$$H_1 : \mu_X > \mu_Y$$

tiene ordenadas mayores de cero en el lado de las abscisas negativas. De hecho, la estadística S_x^2 se puede estudiar si se consideran muestras aleatorias de tamaño n extraídas de una población normal con desviación estándar σ_x y si para cada muestra se calcula el valor de la estadística.

$$\chi^2 = \frac{n S_x^2}{\sigma^2} \quad (3.14)$$

donde S_x^2 es la variancia de la muestra.

El número de grados de libertad, ν , de una estadística se define como

$$\nu = n - k$$

siendo n el tamaño de la muestra y k el número de parámetros de la población que deben estimarse a partir de ella.

La distribución muestral de la estadística χ^2 está dada por la ecuación:

$$f(\chi^2) = U \chi^{\nu-2} e^{-1/2 \chi^2}$$

en la que U es una constante que hace que el área total bajo la curva resulte igual a uno, y $\nu = n - 1$ es el número de grados de libertad. Esta distribución se llama *Ji cuadrada*, misma que se presenta en la fig 21 para distintos valores de ν .

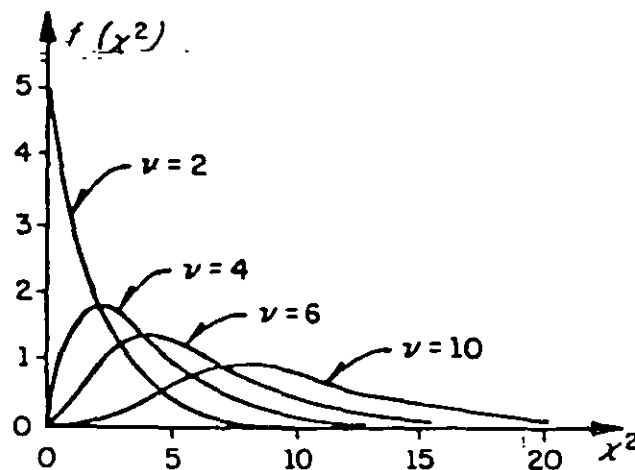
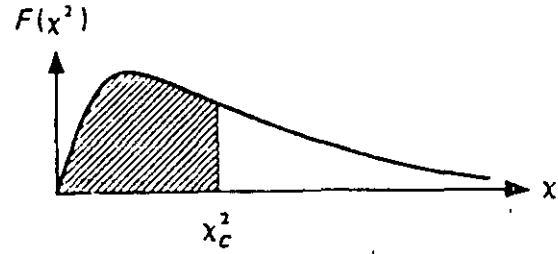


Fig 21. Distribución Ji cuadrada para distintos valores de ν

TABLA 8. VALORES CRITICOS χ^2_c



ν	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.25}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.005}$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	.455	.102	.016	.0039	.0010	.0002	.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	.575	.211	.103	.0506	.0201	.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	.584	.352	.216	.115	.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.76	5.39	3.36	1.92	1.06	.711	.483	.297	.207
5	16.7	15.2	12.8	11.15	9.2	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	.831	.554	.413
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	.872	.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.18	1.69	1.24	.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.35	7.57	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.2	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.2	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.7	30.6	27.5	25.1	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.25	5.22	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.73	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.45	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.8	35.6	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.02
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.64
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.26
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.5	13.15	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.5	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	63.7	59.3	55.8	51.8	45.7	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	43.0	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.6	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.12	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

veinte tiempos, para la cual la variancia resulta ser igual a 62 min. ¿Es significativo el aumento del tiempo de elaboración a un nivel de significancia de

- a) ~~0.05~~
- b) 0.01?

Se debe decidir de entre las hipótesis

$$H_0 : \sigma^2 = 40 \text{ min}$$

$$H_1 : \sigma^2 > 40 \text{ min}$$

Suponiendo que la hipótesis nula es correcta, el valor de la estadística χ^2 para la muestra considerada es

$$\chi^2 = \frac{n S_X^2}{\sigma^2} = \frac{(20)(62)}{40} = 31$$

a) Como se trata de una prueba de una cola, la hipótesis H_0 se rechazaría si el valor de la estadística χ^2 fuera mayor que el de χ^2 para un nivel de significancia igual a 0.05, el cual, para $\nu = 20 - 1 = 19$ grados de libertad resulta ser 30.1 (tabla 8). Como $31 > 30.1$, H_0 se rechaza a un nivel de significancia de 0.05.

b) En este caso, el valor de χ^2 para un nivel de significancia de 0.01 y 19 grados de libertad es igual a 36.2. Puesto que $31 < 36.2$, se acepta H_0 a un nivel de significancia de 0.01.

3.4.2 Distribución F

Al efectuar la prueba de hipótesis de igualdad de medias para muestras pequeñas, en la siguiente sección se supondrá que las variancias de las poblaciones a las que corresponden tales muestras son iguales. Por lo tanto, es necesario probar antes si tal suposición es correcta. Para ello, debe considerarse que si S_X^2 , n_X y S_Y^2 , n_Y son respectivamente la variancia y el tamaño de dos muestras extraídas de poblaciones normales que tienen igual variancia, entonces

$$F = \frac{S_X^2}{S_Y^2} \quad (3.15)$$

resulta ser el valor de una variable aleatoria (estadística) que tiene distribución F , con parámetros $\nu_X = n_X - 1$ y $\nu_Y = n_Y - 1$. Esta distribución (fig 22) cuenta con dos parámetros, ν_X y ν_Y , que son los grados de libertad que corresponden a la variancia del numerador y del denominador de la ec 3.15, respectivamente. Cuando se hace referencia a una distribución F en particular, siempre se dan primero los grados de libertad para la variancia del numerador; es decir, $F(\nu_X, \nu_Y)$. En la tabla 9 se presentan los valores críticos F_c para distintos valores de ν_X y ν_Y y un nivel de significancia de 0.01. Cuando los grados de libertad ν_X o ν_Y no se encuentren en dicha tabla, el valor de F se puede obtener mediante interpolación lineal. Si se desea probar la hipótesis a otros niveles de significancia, es factible emplear las tablas de la distribución F (refs 9 y 11).

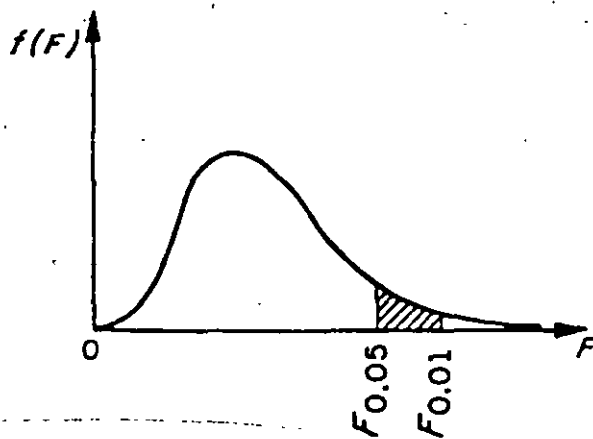


Fig 22. Distribución F .

De acuerdo con lo anterior, se puede probar la hipótesis nula

$$H_0: \sigma_X^2 = \sigma_Y^2$$

en contra de alguna hipótesis alternativa adecuada haciendo uso del hecho de que el cociente S_X^2/S_Y^2 es una estadística que tiene distribución F .

Ejemplo

Una empresa manufacturera de cartón prensado va a decidir acerca del empleo de una prensadora A o una B a fin de obtener un grosor determinado en su producto. El problema estriba en que ambas prensadoras proporcionan grosores muy similares, es decir, que la variancia de los grosores para las dos máquinas es la misma. Para decidir acertadamente, se toma una muestra aleatoria de 31 cartones prensados por la máquina A y otra de 41 por la B. Como las variancias del grosor para los cartones de las muestras resul-

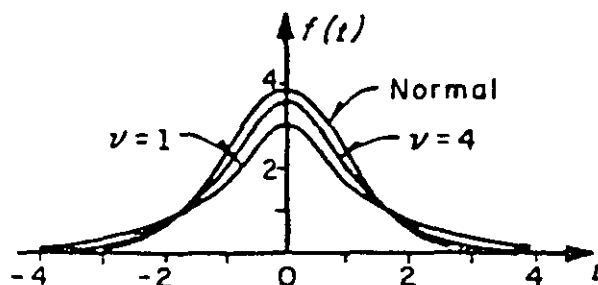


Fig 23. Distribución t de Student para distintos valores de ν

En la fig 23 se aprecia que conforme ν (o n , el tamaño de la muestra) aumenta, la distribución de $f(t)$ se aproxima a la distribución normal.

3.4.3.1 Límites e intervalos de confianza

De manera similar a como se hizo con la distribución normal, es posible estimar los límites de confianza de la media, μ , de una población mediante los valores críticos, t_c , de la distribución t , que dependen del tamaño de la muestra y del nivel de confianza deseado, encontrándose dichos valores en la tabla 10.

Así pues,

$$-t_c < \frac{\bar{X} - \mu}{S_x} \sqrt{n-1} < t_c$$

representa un intervalo de confianza para t , a partir del cual se puede estimar que μ se encuentra dentro del intervalo

$$\bar{X} - t_c \frac{\sigma_x}{\sqrt{n-1}} < \mu < \bar{X} + t_c \frac{\sigma_x}{\sqrt{n-1}}$$

En términos generales, los límites de confianza para la media de la población se representan como

$$\bar{X} \pm t_c \frac{\sigma_x}{\sqrt{n-1}}$$

Solución

Para probar la hipótesis de igualdad de medias es indispensable saber primero si las muestras provienen de dos poblaciones normales de igual variancia. En ese caso, si σ_X^2 y σ_Y^2 denotan a las variancias de la producción de maíz en la zona tratada y en la no tratada, respectivamente, se debe probar la hipótesis nula $H_0: \sigma_X^2 = \sigma_Y^2$ en contra de la hipótesis alternativa $H_1: \sigma_X^2 > \sigma_Y^2$ a los dos niveles de significancia establecidos.

El valor de la estadística F es, de la ec 3.15,

$$F = \frac{S_X^2}{S_Y^2} = \frac{(0.40)^2}{(0.36)^2} = 1.27$$

y el valor crítico de $F(11, 11)$, obtenido de la tabla 9 mediante interpolación lineal, resulta 4.47. Por lo tanto, como $1.27 < 4.47$, se acepta la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.01.

El valor crítico de $F(11, 11)$ a un nivel de significancia de 0.05 (ref 9) es 2.82, de ahí que como $1.27 < 2.82$, también se acepta la hipótesis H_0 .

Con base en lo anterior, se debe decidir entre las hipótesis

$H_0: \mu_X = \mu_Y$ (la diferencia en los promedios se debe al azar)

$H_1: \mu_X > \mu_Y$ (el fertilizante mejora la producción)

Bajo la hipótesis H_0 , se tiene que

$$\epsilon = \sqrt{\frac{n_X S_X^2 + n_Y S_Y^2}{n_X + n_Y - 2}} = \sqrt{\frac{12(0.40)^2 + 12(0.36)^2}{12 + 12 - 2}} = 0.397$$

por lo cual

$$t = \frac{5.3 - 5.0}{0.397 \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{12}}} = 1.85$$

a) Puesto que se trata de una prueba de una cola a un nivel de significancia de 0.01, se rechaza la hipótesis H_0 si t es mayor que el valor crítico, t_c , correspondiente a dicho nivel, el cual para $\nu = n_x + n_y - 2 = 12 + 12 - 2 = 22$ grados de libertad, se obtiene de la tabla 8 como $t_c = 2.51$. Como $t < t_c$, la hipótesis H_0 no se puede rechazar a un nivel de significancia de 0.01.

b) Si el nivel de significancia de la prueba es de 0.05, se rechaza H_0 si t es mayor que el valor t_c respectivo que para 22 grados de libertad es $t_c = 1.72$, por lo que de acuerdo con lo anterior, H_0 se rechaza a un nivel de significancia de 0.05.

CURSO: CONTROL DE CALIDAD
APLICADO A LAS VIAS
TERRESTRES

TEMA: METODOS ESTADISTICOS
DE CONTROL DE
CALIDAD

PROFESOR: DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ



CARTAS DE CONTROL

Por: M. en I. Augusto Villarreal A. *

INTRODUCCIÓN

Aunque existe la tendencia generalizada a pensar que el Control de Calidad es de desarrollo reciente, realmente no existe nada nuevo en la idea básica de elaborar un producto caracterizado por un alto grado de uniformidad.

Durante siglos, hábiles artesanos han procurado elaborar productos que se distingan por su superior calidad, y una vez que han logrado obtener un cierto estándar de calidad óptimo, eliminar dentro de lo posible la variación entre productos que nominalmente deben resultar iguales.

La idea de que la Estadística puede resultar un instrumento muy útil para asegurar un estándar adecuado de calidad para los productos manufacturados, se remonta no más allá del advenimiento de la producción masiva, y el uso extendido de los métodos estadísticos para resolver problemas de control de calidad es aún más reciente.

Muchos problemas que aparecen durante la elaboración de un producto son susceptibles de ser resueltos empleando tratamientos estadísticos, por lo que al hablar de control estadístico de calidad, nos estaremos refiriendo esencialmente a las dos técnicas especiales que se discutirán en esta parte del curso: uso de las Cartas de Control y muestreo de aceptación.

Conviene mencionar que la palabra calidad, al ser empleada aquí en adelante, se referirá a alguna propiedad medible de algún producto, tal como el diámetro de un balín de acero, la resistencia de una viga de concreto, el número de defectos en una pieza de tela, la eficacia de cierta droga, etc.

IDEAS SOBRE CARTAS DE CONTROL

A muchos individuos les puede sorprender el hecho de que dos artículos aparentemente idénticos, elaborados bajo condiciones cuidadosamente controladas, de las mismas materias primas, y por una misma máquina con diferencia de pocos segundos, puedan, sin embargo, diferir en muchos aspectos.

En efecto, cualquier proceso de manufactura, aun siendo muy bueno, se encuentra caracterizado por una cierta cantidad de variación que es de naturaleza aleatoria, y que no puede ser eliminada en forma completa.

Cuando la variabilidad presente en un proceso de producción se limita a variación aleatoria se dice que el proceso se encuentra en un estado de control estadístico.

Tal estado se puede alcanzar cuando se eliminan aquellos problemas causados por otro tipo de variación, llamada variación sistemática, que es de naturaleza más bien determinística, y que se puede achacar, por ejemplo, a operadores mal entrenados, materia prima de baja calidad, máquinas en mal estado, etc.

Ya que los procesos de manufactura se encuentran rara vez libres

* Profesor Investigador, División de Estudios Superiores e Instituto de Ingeniería, UNAM

de estos problemas, conviene contar con algún método sistemático para detectar desviaciones serias de un estado de control estadístico cuando ocurren, o incluso antes de que ocurran, tales desviaciones.

Ese método sistemático de detección se puede tener mediante el empleo de las llamadas Cartas de Control.

TIPOS DE CARTAS DE CONTROL

En lo que sigue distinguiremos entre las cartas de control para mediciones o variables (\bar{X} , R, σ) y las cartas de control para atributos (p, c), dependiendo de que las observaciones que estemos analizando sean mediciones o datos contados o calculados, respectivamente.

Un ejemplo del primer caso sería la longitud de las varillas de acero de una muestra. Como ejemplo del segundo caso tendríamos el número de focos defectuosos en una muestra de tamaño dado.

CONFIGURACION DE LAS CARTAS DE CONTROL

En cualquiera de los casos mencionados, una carta de control consiste de una Línea Central, correspondiente a la calidad promedio a la que el proceso debe funcionar, y dos líneas que corresponden al Límite Superior de Control (LSC) y al Límite Inferior de Control (LIC), respectivamente, tal como se muestra en la Fig 1.

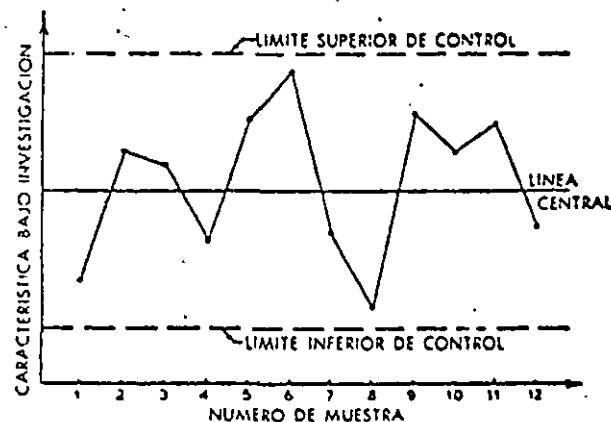


Fig 1. Aspecto general de una carta de control

Estos límites se escogen en forma tal que los valores que se encuentren dentro de ellos se puedan atribuir al azar, en tanto que los valores que caigan fuera de ellos se puedan considerar como indicaciones de falta de control.

No obstante la idea anterior, conviene mencionar que en la Fig 2 que se presenta a continuación se pueden considerar otras posibles situaciones de "falta de control" que ameritan investigarse:

1. Cuando dos de tres puntos sucesivos caen en la zona A.
2. Cuando cuatro de cinco puntos sucesivos caen en la zona B o más allá.
3. Cuando ocho puntos sucesivos caen en la zona C o más allá.

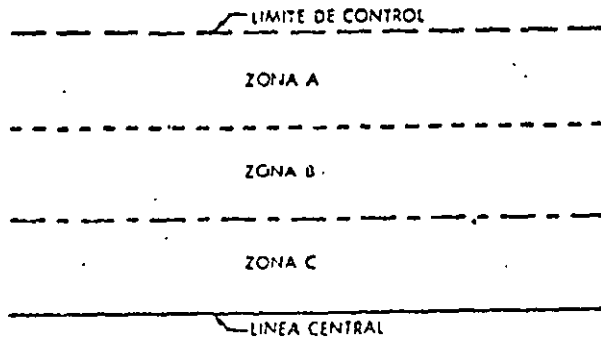


Fig 2 Diagrama que define las zonas A, B y C usadas en el análisis de Cartas de Control.

Debe hacerse notar que cada una de las zonas A, B y C constituye la tercera parte del área entre la línea central y un límite de control, y que las pruebas mencionadas se aplican a ambas mitades de la carta de control, pero se aplican separadamente para cada mitad, y nunca a las dos mitades en combinación.

EXPLICACION DEL EMPLEO DE LAS CARTAS DE CONTROL

Si se grafican en una carta los resultados obtenidos a partir de muestras tomadas periódicamente a intervalos frecuentes, es posible verificar por medio de ella si el proceso se encuentra bajo control, o si se encuentra presente en el proceso la variación sistemática del tipo descrito anteriormente.

Cuando un punto graficado cae fuera de los límites de control, es

necesario encontrar el problema que causó tal evento dentro del proceso. Pero aun si los puntos caen dentro de los límites mencionados, alguna tendencia, o cierto patrón de los mismos, puede indicar que se debe llevar a cabo alguna acción para prevenir y así evitar algún problema serio.

La habilidad para "leer" las cartas de control y para determinar a partir de ellas cuál acción correctiva debe llevarse a cabo, se obtiene a partir de la experiencia y del juicio altamente desarrollado. Un practicante del control estadístico de la calidad debe no sólo comprender los fundamentos estadísticos de la materia, sino también encontrarse identificado plenamente con los procesos que desea controlar.

CARTAS DE CONTROL PARA MEDICIONES (VARIABLES)

Cuando se requiere establecer control estadístico de la calidad de algún producto en términos de mediciones o variables, es común ejercer tal control sobre la calidad media del proceso, al igual que sobre su variabilidad.

La primera meta se logra al graficar los promedios de muestras extraídas periódicamente en la llamada carta de control para los promedios, o simplemente carta \bar{X} . La variabilidad se puede controlar de igual forma si se grafican los rangos o las desviaciones estándar de las muestras en las llamadas cartas R o cartas σ , respectivamente, dependiendo de cuál estadística se emplee para estimar la desviación estándar de la población.

Si se conocen la media μ y la desviación estándar σ de la pobla-

7.

ción (proceso) y es razonable suponer las mediciones obtenidas - como muestras extraídas de una población normal, se puede asegurar que con probabilidad $1 - \alpha$ el promedio aritmético de una - muestra aleatoria de tamaño n se encontrará entre

$$\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{y} \quad \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

σ

$$\mu - z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} \quad \text{y} \quad \mu + z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}}$$

puesto que $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ para el caso de la distribución muestral del promedio aritmético, cuando se muestrea de una población infinita. La suposición de que la extracción de muestras aleatorias se hace de una población infinita es válida en el caso presente, puesto que, por ejemplo, la producción de cierto producto en una fábrica tiende a infinito conforme pasa el tiempo.

Los dos límites anteriores (ver $z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}}$) proporcionan entonces límites inferiores y superiores de control y, bajo las suposiciones anteriores, permiten al practicante del control de calidad determinar si se debe o no llevar a cabo algún ajuste en el proceso, - al graficar los promedios aritméticos obtenidos de muestras de tamaño n en una carta como la que se muestra en la Fig 1.

Conviene establecer en este momento que al emplear una carta de control para los promedios, lo que se hace realmente es probar hipótesis nulas de que a un cierto nivel de confianza $1-\alpha$ el valor de la media de la distribución muestral de los promedios sea igual al valor de

la calidad nominal del proceso, o al de la calidad media calculada para el mismo, μ_0 . Para estas pruebas secuenciales de hipótesis, se emplean como estadísticas de prueba los valores de los promedios aritméticos obtenidos de muestras aleatorias extraídas de la población (o proceso). Es decir, se realizan pruebas de hipótesis para las cuales

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

(Prueba de dos colas, cada prueba se realiza con el valor \bar{X}_i de la muestra i)

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

en donde μ es la media de la distribución muestral del promedio aritmético, μ_0 la calidad nominal o calidad media calculada del proceso, y \bar{X}_i ($i=1,2,3,\dots$) el valor del promedio aritmético obtenido de la i ésima muestra aleatoria. La forma secuencial de estas pruebas de hipótesis se muestra en la Fig 3 que se presenta a continuación.

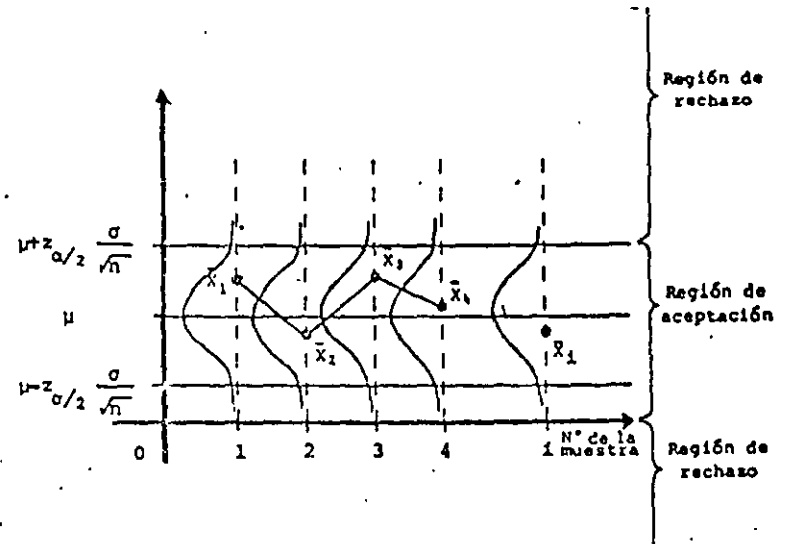


Fig 3 Pruebas de hipótesis que se realizan al emplear una carta de control para los promedios

ELABORACION DE LA CARTA DE CONTROL PARA LOS PROMEDIOS (\bar{X})

9.

Si se consideran problemas prácticos, los valores de μ y σ del proceso se desconocen, y es entonces conveniente estimar sus valores a partir de muestras tomadas mientras el proceso se encuentre "bajo control", tal como se explica más adelante. En la práctica es entonces difícil llegar a establecer límites de control del tipo $\mu \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ al desconocerse μ y σ , independientemente de que en muchos casos es demasiado arriesgado considerar a las mediciones como muestras aleatorias extraídas de una población normal.

En lugar de lo anterior, en el control de calidad industrial se emplean comúnmente los límites de control de "tres desviaciones estándar" o de "tres sigmas", que se obtienen al sustituir a $z_{\alpha/2}$ por un 3 al calcular los límites de control.

Conforme a lo anterior, con los límites de control

$$\mu \pm 3\sigma_{\bar{X}} \quad \text{ó} \quad \mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

se puede confiar en que en el 99.73% de los casos el proceso no será declarado "fuera de control", cuando de hecho se encuentra "bajo control".

En otras palabras, estos límites de control permiten considerar que la probabilidad máxima de rechazar la hipótesis

$$H_0 : \theta = \theta_0$$

cuando debería de ser aceptada (probabilidad de cometer un error de tipo I) es de 0.27%, siendo θ_0 un valor de calidad fijo del proceso, y θ el del parámetro correspondiente de la distribución muestral de la estadística bajo consideración.

- a. Caso en que se conocen la media μ y la desviación estándar σ de la población.

Línea central μ

Límites de control $\mu \pm 3\sigma_{\bar{X}}$ ó $\mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

$$\text{ó} \quad \mu \pm A\sigma, \text{ siendo } A = \frac{3}{\sqrt{n}}$$

en donde los valores de A se obtienen de la tabla I, en función de n , el tamaño de la muestra.

Ejemplo: Sea el proceso de elaboración de varillas de acero para las cuales se sabe que el diámetro medio es de 2.5 cm, con una desviación estándar de 0.01 cm. Se desea efectuar control del diámetro de las mismas, para lo cual se extraen periódicamente muestras de cinco varillas. Se pide establecer la línea central y los límites de control para una carta \bar{X} .

Solución. Siendo $\mu = 2.5$ cm, $\sigma = 0.01$ y $n = 5$, se tiene que:

Línea central = $\mu = 2.5$

Límites de control:

$$2.5 \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2.5 \pm \frac{3(0.01)}{\sqrt{5}} = 2.5 \pm 0.0134 \Rightarrow 2.5134, \quad 2.4866$$

o, de la tabla I

$$2.5 \pm A\sigma = 2.5 \pm 1.342(0.01) = 2.5 \pm 0.01342 \Rightarrow 2.51342, \quad 2.48658$$

b. Caso en que se desconocen μ y σ

Para este caso, que es el más común, es necesario estimar, como se dijo anteriormente, tales parámetros con base en muestras preliminares. Para el caso, normalmente se acostumbra emplear un mínimo de 20 a 25 muestras de 4 ó 5 elementos, obtenidas consecutivamente cuando el proceso está "bajo control".

Sin embargo, como veremos más adelante, se pueden emplear procedimientos estadísticos más formales para determinar el número de muestras (y de elementos en las mismas) más adecuado para las cartas \bar{X} .

Entonces, si se utilizan k muestras preliminares, cada una de tamaño n , se puede estimar con adecuada precisión el valor de μ mediante

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i$$

siendo $\bar{\bar{X}}$ un estimador insesgado y consistente de μ , donde \bar{X}_i denota al promedio aritmético de la i -ésima muestra, y \bar{X} es el promedio de los promedios de las muestras.

El valor de σ de la población puede ser estimado a partir de las desviaciones estándar o de los rangos de las muestras. Si el tamaño de las mismas es pequeño, usualmente el rango proporciona un estimador eficiente de σ , además de que el proceso de cálculo del mismo es bastante más simple que el de la desviación estándar para las muestras.

Sin embargo, es conveniente, cuando se requiere bastante precisión

en el cálculo de los límites de control, estimar σ mediante las desviaciones estándar de las muestras. Tal es el caso, por ejemplo, de muestras de productos que son caros, y que deben destruirse al momento de tomar las mediciones.

b.1 Estimando σ mediante los rangos de las muestras

Hay que obtener primero el valor \bar{R} , que es el rango promedio de los rangos de las k muestras, es decir,

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

Puesto que la estadística \bar{R} siempre estima por encima de su valor real a la desviación estándar de la población, se obtiene un estimador sesgado. Debido a ello, es indispensable afectar el valor de \bar{R} en forma tal de obtener un estimador insesgado de σ , para lo cual se hace

$$\text{Estimador insesgado de } \sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

El factor d_2 en la expresión anterior se obtiene experimentalmente al identificar el valor de la media en las distribuciones muestrales del cociente R/σ para distintos valores de n , considerando una población en la cual el valor de σ es conocido. Por ejemplo, para muestras de tamaño cinco ($n=5$), se ha obtenido experimentalmente el valor $d_2=2.326$, tal como se muestra en la Fig 4.

13.

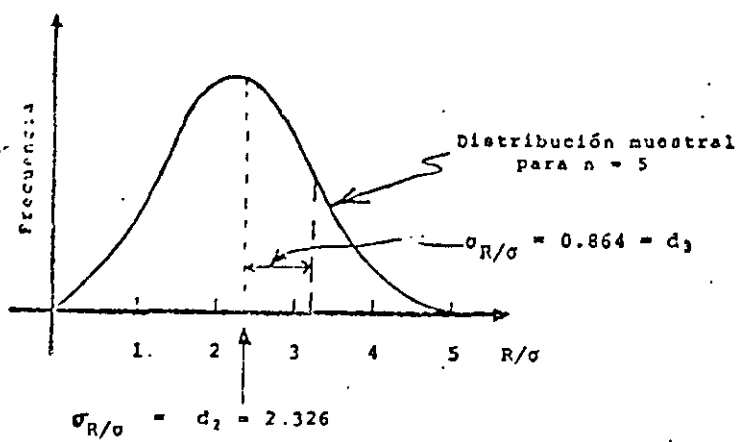


Fig 4. Distribución muestral de R/σ para n=5, suponiendo σ conocida.

En la tabla I se presentan los valores del factor d_2 para distintos tamaños de muestra, observándose que conforme se incrementa el valor de n aumenta el de ese factor, lo cual permite concluir que el rango estima mejor a la desviación estándar cuando las muestras son pequeñas.

De acuerdo con lo anterior, se pueden emplear las siguientes expresiones en la elaboración de la carta de control para los promedios:

Línea Central — \bar{X}
 Límites de Control — $\bar{X} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ó $\bar{X} \pm \frac{3\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$

Para abreviar el cálculo de los límites de control a partir de los rangos de las muestras, se ofrece en la tabla I el factor

$$A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$$

cuyo empleo permite establecer los límites de control como

$$\bar{X} \pm A_2 \bar{R}$$

b.2 Estimando a σ mediante las desviaciones estándar de las muestras

Se debe obtener primero el valor de \bar{s} , que es el promedio de las desviaciones estándar de las muestras, es decir

$$\bar{s} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k S_i$$

En donde S_i denota la desviación estándar de la i ésima muestra. No siendo tampoco \bar{s} un estimador insesgado de la desviación estándar de la población, ya que siempre la estima por debajo de su valor real, hay que afectar dicho valor por un cierto factor para hacerlo insesgado, es decir

Estimador insesgado de $\sigma = \frac{\bar{s}}{c_2}$

Los valores de c_2 se reportan en la tabla I en función del tamaño de la muestra, y se obtienen mediante un procedimiento similar al explicado para el factor d_2 .

Con base en lo anterior, los parámetros de la carta de control para los promedios son los siguientes:

Línea Central — \bar{X}
 Límites de Control — $\bar{X} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ó $\bar{X} \pm \frac{3\bar{s}}{c_2 \sqrt{n}}$

De nuevo, para abreviar el cálculo de los límites de control para la carta \bar{X} , obtenidos ahora a partir de las desviaciones estándar de las muestras, se puede emplear el factor dado en la tabla I

$$A_1 = \frac{3}{c_2 \sqrt{n}}$$

Z

15.

con el cual los límites de control quedan como

$$\bar{X} \pm A_1 \bar{\sigma}$$

NUMERO MINIMO DE MUESTRAS REQUERIDO PARA LA ELABORACION DE
CARTAS \bar{X}

En este momento conviene establecer el número mínimo de muestras - preliminares, m , así como el tamaño de las mismas, n , que es necesario considerar para estimar adecuadamente los parámetros de una carta de control para los promedios.

que El asegurar un mínimo de 20 o 25 muestras con 4 o 5 elementos cada una son necesarias para obtener los valores de \bar{X} , \bar{R} o $\bar{\sigma}$, frecuentemente choca con el argumento de que por razones de costo, tiempo, - etc., se debe emplear un número menor de ellas. Por ello, se han - preparado tablas como las II y III que se presentan al final, que - permiten obtener una solución cuantitativa para este problema.

Quando se emplea el rango \bar{R} como estimador de σ para la elaboración de una carta \bar{X} , y como se verá más adelante, para una carta R , la - tabla II permite determinar el número mínimo, m , de muestras de tamaño n que se deben emplear para tener poco más de un 98% de nivel de confianza de que los promedios aritméticos obtenidos de las muestras se encuentren dentro de los límites de control que se calculen para la carta \bar{X} , suponiendo únicamente la presencia de variación - aleatoria.

De la misma manera, se establecen en la tabla III los valores óptimos de m y n , cuando se emplean las desviaciones estándar de las - muestras para obtener el estimador $\bar{\sigma}$ de la desviación estándar de la población.

Ejemplo: Sea una fábrica que produce varillas de acero, en la cual se desea ejercer control sobre el peso de las mismas. Para ello, se seleccionan veinte muestras aleatorias de cinco varillas cada una, obteniéndose los valores que se reportan en la tabla siguiente:

Número de la muestra	Valores individuales del peso, Kg					Promedio Aritmético \bar{X}	Rango R	Desviación estándar S_x
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
1	11.1	9.4	11.2	10.4	10.1	10.44	1.8	0.6651
2	9.6	10.8	10.1	10.8	11.0	10.46	1.4	0.5276
3	9.7	10.0	10.0	9.8	10.4	9.98	0.7	0.2400
4	10.1	8.4	10.2	9.4	11.0	9.82	2.6	0.8727
5	12.4	10.0	10.7	10.1	11.3	10.90	2.4	0.6832
6	10.1	10.2	10.2	11.2	10.1	10.36	1.1	0.4224
7	11.0	11.5	11.8	11.0	11.3	11.32	0.8	0.3059
8	11.2	10.0	10.9	11.2	11.0	10.86	1.2	0.4454
9	10.6	10.4	10.5	10.5	10.9	10.58	0.5	0.1720
10	6.3	10.2	9.8	9.5	9.8	9.52	1.9	0.6493
11	10.6	9.9	10.7	10.2	11.4	10.56	1.5	0.5083
12	10.8	10.2	10.5	8.4	9.9	9.96	2.4	0.8357
13	10.7	10.7	10.8	8.6	11.4	10.44	2.8	0.9562
14	11.3	11.4	10.4	10.6	11.1	10.96	1.0	0.3929
15	11.4	11.2	11.4	10.1	11.6	11.14	1.5	0.5352
16	10.1	10.1	9.7	9.8	10.5	10.04	0.8	0.2800
17	10.7	12.8	11.2	11.2	11.3	11.44	2.1	0.7116
18	11.9	11.9	11.6	12.4	11.4	11.84	1.0	0.3182
19	10.8	12.1	11.8	9.4	11.6	11.14	2.7	0.9700
20	12.4	11.1	10.8	11.0	11.9	11.44	1.6	0.6086
SUMA						213.20	31.80	11.3211

17.

Solución: Puesto que se desconoce la media del proceso, esta se puede estimar en forma insesgada mediante

$$\bar{X} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} \bar{X}_i$$

Los valores de los promedios aritméticos \bar{X}_i ($i=1,2,\dots,20$) de las muestras se reportan en la tabla anterior, por lo cual la línea central es

$$\bar{X} = \frac{1}{20} (213.20) = 10.66$$

Se obtendrán ahora los límites inferior y superior de control estimando primero a σ mediante los rangos de las muestras, y después mediante las desviaciones estándar correspondientes.

a. Estimando a σ mediante los rangos de las muestras

El valor de \bar{R} es

$$\bar{R} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} R_i$$

Los valores R_i para $i=1,2,\dots,20$ se encuentran en la tabla inicial, por lo que

$$\bar{R} = \frac{1}{20} (31.80) = 1.59$$

Los límites de control para la carta de los promedio son

$$\bar{X} \pm A_2 \bar{R}$$

Y, de la tabla I, para $n=5$, se obtiene $A_2 = 0.577$, quedando

$$10.66 \pm \frac{0.577 (1.59)}{0.92}$$

O sea

Línea Central — 10.66

Límites de Control — $10.66 \pm 0.92 \Rightarrow 11.58, 9.74$

b. Estimando a σ mediante las desviaciones estándar de las muestras

El valor de $\bar{\sigma}$ es

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{20} (11.3211) = 0.57$$

Los límites de control son ahora

$$\bar{X} \pm A_1 \bar{\sigma}$$

De la tabla I, para $n=5$, se obtiene

$A_1 = 1.596$, quedando

$$10.66 \pm \frac{1.596 (0.57)}{0.91}$$

O sea

Línea Central — 10.66

Límites de Control — $10.66 \pm 0.91 \Rightarrow 11.57, 9.75$

En la Fig 5 que se presenta a continuación se muestra la carta de control obtenida empleando ambos procedimientos.

6

19.

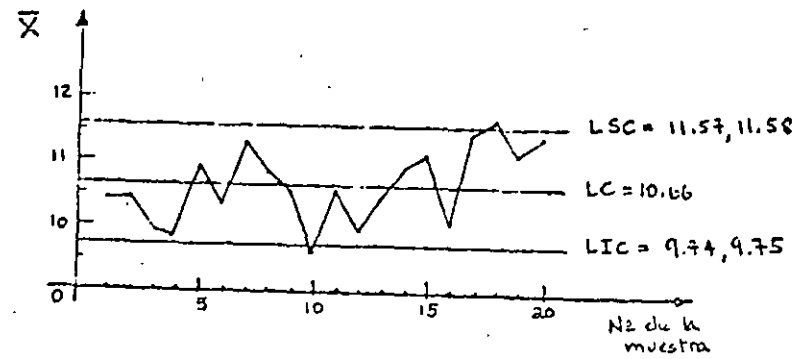


Fig 5 Carta de control \bar{X} obtenida para el ejemplo de las varillas de acero

CARTAS PARA CONTROLAR LA VARIABILIDAD DE UN PROCESO

Al controlar estadísticamente un proceso puede no ser suficiente fijar la atención en su "calidad media", sino también en la variabilidad del mismo. Aun cuando es razonable suponer que un incremento en las fluctuaciones de los valores de los promedios aritmético graficados en una carta \bar{X} se relaciona con un incremento en la variabilidad del proceso, es posible determinar con mayor objetividad y precisión los cambios que experimenta ésta mediante el empleo de las llamadas cartas R y σ , que se elaboran a partir de los rangos y las desviaciones estándar de las muestras, respectivamente.

Conviene mencionar que aun cuando cualquiera de las dos cartas men-

cionadas permite ejercer control estadístico sobre la variabilidad de un proceso, usualmente se prefiere la carta para los rangos, R, ya que su elaboración es más sencilla que la de σ , que corresponde a las desviaciones estándar. Por otra parte, la carta R conduce a resultados altamente confiables, a la vez que muestra con claridad ciertas tendencias de los valores de las muestras que deben investigarse.

IMPORTANCIA DEL CONTROL DE LA VARIABILIDAD DE UN PROCESO

La importancia del control sobre la variabilidad de un proceso mediante el empleo de las cartas para los rangos o las desviaciones estándar, se hace evidente al considerar que un cambio brusco en aquella característica es de consecuencias más serias que un cambio similar en la "calidad media". Si el proceso experimenta un cambio en ésta última, normalmente se puede regresar al punto de partida efectuando ajustes simples en los dispositivos de producción (por ejemplo, recalibración de herramientas de corte, dosificadoras, etc). Sin embargo, si el proceso sufre un cambio brusco en su variabilidad, para regresar al punto de partida son necesarios ajustes más costosos y tardados, tales como reparaciones mayores en los dispositivos de producción, o inclusive la compra de un nuevo dispositivo de procesamiento.

Los cambios efectivos en la variabilidad de un proceso afectan necesariamente el desempeño de una carta \bar{X} , ya que, como se recordará, los límites de control para la carta de los promedios se establecen

10

21.

a partir de los valores \bar{R} o $\bar{\sigma}$ que se suponen, después de ser afectados por los factores de corrección correspondientes, como buenos estimadores de la desviación estándar del proceso. Si los valores del rango y la desviación estándar de las muestras aumentan, se hace evidente que la carta \bar{X} no operará correctamente.

En contraste con lo anterior, los cambios significativos que se verifican en la carta \bar{X} no necesariamente provocan efectos similares en las cartas R y σ , ya que en la elaboración de ellas no intervienen los promedios aritméticos de las muestras, tal como se verá a continuación.

Por lo anteriormente expuesto, es conveniente ejercer, cuando así sea posible, control simultáneo sobre la "calidad media" y la variabilidad de un proceso.

ELABORACION DE LAS CARTA DE CONTROL PARA LOS RANGOS
(CARTA R)

Al igual que para la carta \bar{X} , se pueden considerar dos casos distintos en la elaboración de la carta para los rangos: cuando se conoce la desviación estándar σ del proceso y cuando esto no sucede. En cualquiera de los casos anteriores, se debe observar siempre que el procedimiento de obtención de la línea central y de los límites de control para la carta R, se basa en la distribución muestral de los rangos de muestras aleatorias de tamaño n, extraídas de una población normal.

4. Caso en el que ya conoce la desviación estándar σ de la Población

De acuerdo con lo anterior, es fácil comprender que los parámetros de la carta de control para los rangos son

Línea Central — μ_R
Límites de Control — $\mu_R \pm 3\sigma_R$

Sin embargo, normalmente no conocen los valores de la media y la desviación estándar de la distribución muestral de los rangos. En esta situación, la lógica indica que para estimar el valor de μ_R se debe emplear el de \bar{R} , el promedio de los rangos de muestras preliminares. Sin embargo, si se recuerda que

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

entonces

$$\bar{R} = d_2 \sigma$$

y, puesto que se conoce el valor de σ , se puede escribir

Línea Central — \bar{R} o $d_2\sigma$

quedando finalmente

Línea Central — $d_2\sigma$

en donde los valores de d_2 se presentan en la tabla 1.

Por lo que respecta a σ_R , si se observa nuevamente la Fig 4 se puede ver que la desviación estándar de la distribución muestral de la estadística R/σ , para el caso de muestras de tamaño 5 es, en forma experimental

$$\sigma_{R/\sigma} = d_3 = 0.854$$

23.

Lo anterior permite considerar que si σ es conocida (y por tanto constante) es válido escribir

$$\sigma_R/\sigma = \frac{\sigma_R}{\sigma} d_3$$

o sea

$$\sigma_R = \sigma_R/\sigma \sigma = d_3 \sigma = 0.864 \sigma$$

En el caso en que n sea diferente de cinco, los valores del factor d_3 se pueden obtener de la tabla I.

Empleando el valor de σ_R así obtenido, los límites de control son, en general, los siguientes

$$d_2 \sigma \pm 3d_3 \sigma$$

o sea

$$d_2 \sigma - 3d_3 \sigma \Rightarrow (d_2 - 3d_3) \sigma \Rightarrow D_1 \sigma$$

$$d_2 \sigma + 3d_3 \sigma \Rightarrow (d_2 + 3d_3) \sigma \Rightarrow D_2 \sigma$$

en donde

$$D_1 = d_2 - 3d_3 \quad \text{y} \quad D_2 = d_2 + 3d_3$$

Los valores de D_1 y D_2 se reportan también en la tabla I en función de n , el tamaño de la muestra.

Conforme a lo anterior, los parámetros de la carta de control para los rangos, cuando σ es conocida, son

$$\text{Línea Central} \text{ --- } d_2 \sigma$$

$$\text{Límite Inferior de Control} \text{ --- } D_1 \sigma$$

$$\text{Límite Superior de Control} \text{ --- } D_2 \sigma$$

Caso en el que se desconoce la desviación estándar σ de la población

En este caso es necesario estimar a σ_R de la distribución muestral de los rangos mediante \bar{R} , empleando un número adecuado de muestras preliminares, normalmente el mismo que se emplea para la elaboración de una carta \bar{X} . Al respecto, conviene recordar que la carta R (o la σ) generalmente se construye después de la carta \bar{X} , y que, por lo tanto, se emplean para su elaboración - las mismas muestras aleatorias. De acuerdo con esto, la línea central resulta ser

$$\text{Línea Central} \text{ --- } \bar{R}$$

En este caso se requieren límites de control del tipo

$$\bar{R} \pm 3\sigma_R$$

Puesto que ahora se desconocen σ_R y σ , se pueden hacer, para el límite inferior de control

$$\bar{R} - 3\sigma_R = \bar{R} - \frac{3 \bar{R} \sigma_R}{\bar{R}} = \left(1 - 3 \frac{\sigma_R}{\bar{R}}\right) \bar{R}$$

$$= \left(1 - 3 \frac{\frac{\sigma \bar{R}}{n}}{\bar{R}}\right) \bar{R} = \left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2}\right) \bar{R}$$

$$= \left(\frac{d_2 - 3d_3}{d_2}\right) \bar{R} = \left(\frac{D_1}{d_2}\right) \bar{R}$$

Para el límite superior de control se obtiene

$$\bar{R} + 3\sigma_R = \bar{R} \left(\frac{D_2}{d_2}\right)$$

12

25.

En la tabla I se presentan los valores de

$$D_3 = \frac{D_1}{d_2} \quad \text{y} \quad D_4 = \frac{D_2}{d_2}$$

en función de n .

Finalmente, los parámetros de la carta R cuando se desconoce el valor de σ de la población son los siguientes:

- Línea Central — \bar{R}
- Límite Inferior de Control — $D_3\bar{R}$
- Límite Superior de Control — $D_4\bar{R}$

ELABORACION DE LA CARTA DE CONTROL PARA LAS DESVIACIONES ESTANDAR (CARTA σ)

En la elaboración de la carta para las desviaciones estándar también se deben considerar los dos casos posibles: cuando se conoce la desviación estándar de la población y cuando esto no es así. De igual manera, el procedimiento para obtener los parámetros de la carta se fundamenta en la distribución muestral de las desviaciones estándar de muestras aleatorias de tamaño n, extraídas de una población normal.

a. Caso en el que se conoce la desviación estándar σ de la población

Con base en la distribución muestral de las desviaciones estándar de las muestras, se pueden establecer los parámetros de la carta σ , a saber

13

Línea Central — μ_{S_x}

Límites de Control — $\mu_{S_x} \pm 3\sigma_{S_x}$

Al desconocerse, como ocurre normalmente, los valores de μ_{S_x} y σ_{S_x} de la distribución muestral, se debe estimar primero μ_{S_x} a partir de $\bar{\sigma}$, el promedio de las desviaciones estándar de las muestras preliminares. Sin embargo, no es necesario realizar en este caso ese cálculo si se recuerda que

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}}{c_2}$$

o sea

$$\bar{\sigma} = c_2 \sigma$$

Y, en virtud de que el valor de σ es conocido, se llega a

Línea Central — $\bar{\sigma}$ o $c_2\sigma$

quedando finalmente

Línea Central — $c_2\sigma$

en donde los valores de c_2 se pueden obtener de la tabla I.

Bajo la suposición de que la población de la cual se extraen las muestras aleatorias se encuentra distribuida en forma normal (o aproximadamente normal), se puede demostrar que la desviación estándar de la distribución muestral de las desviaciones estándar es

$$\sigma_{S_x} = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$$

en donde n denota al tamaño de las muestras. Empleando el va

27.

lor de σ_{S_X} anterior, los límites de control se pueden establecer como

$$\mu_{S_X} \pm 3\sigma_{S_X} = c_2\sigma \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$$

o sea

$$c_2\sigma - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} = (c_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}}) \sigma = B_1\sigma$$

$$c_2\sigma + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} = (c_2 + \frac{3}{\sqrt{2n}}) \sigma = B_2\sigma$$

en donde

$$B_1 = c_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}}$$

$$B_2 = c_2 + \frac{3}{\sqrt{2n}}$$

Los valores de B_1 y B_2 se proporcionan en la tabla I, en función del valor de n . Entonces, los parámetros de la carta σ son, finalmente

Línea Central — $c_2\sigma$

Límite Inferior de Control — $B_1\sigma$

Límite Superior de Control — $B_2\sigma$

b. Caso en el que se desconoce la desviación estándar σ de la población

En este caso es necesario estimar a μ_{S_X} mediante $\bar{\sigma}$, empleando un número suficiente de muestras aleatorias preliminares.

De acuerdo con lo anterior, la línea central de la carta σ es

Línea Central — $\bar{\sigma}$

Los límites de control serán entonces del tipo

$$\bar{\sigma} \pm 3\sigma_{S_X}$$

Puesto que ahora se desconoce el valor de σ , pero se sabe que

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}}{c_2}$$

el límite inferior de control resulta ser

$$\begin{aligned} \bar{\sigma} - 3\sigma_{S_X} &= \bar{\sigma} - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} = \bar{\sigma} - 3 \frac{\bar{\sigma}}{c_2\sqrt{2n}} \\ &= (1 - \frac{3}{c_2\sqrt{2n}}) \bar{\sigma} \end{aligned}$$

Para el límite superior de control se obtiene

$$\bar{\sigma} + 3\sigma_{S_X} = (1 + \frac{3}{c_2\sqrt{2n}}) \bar{\sigma}$$

En la tabla I se presentan los valores de

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_2\sqrt{2n}} \quad \text{y} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_2\sqrt{2n}}$$

en función del valor de n .

Finalmente, los parámetros de la carta σ , cuando no se conoce la desviación estándar de la población, quedan como

Línea Central — $\bar{\sigma}$

Límite Inferior de Control — $B_3\bar{\sigma}$

Límite Superior de Control — $B_4\bar{\sigma}$

29.

Ejemplo: Sea el proceso de elaboración de varillas de acero mencionado en la página 10 de estos apuntes. En él se informa que el diámetro medio de las varillas es igual a 2.5 cm, con desviación estándar de 0.01 cm. En este caso se pide establecer los parámetros de las cartas de control R y σ , considerando que se extraen periódicamente muestras de cinco varillas.

Solución:

a. Carta R

Puesto que se conoce el valor de la desviación estándar de la población, y en virtud de que $n=5$, se obtiene, empleando la tabla I

$$LC \text{ --- } d_2\sigma = 2.326(0.01) = 0.02326$$

$$LIC \text{ --- } D_1\sigma = 0(0.01) = 0.0000$$

$$LSC \text{ --- } D_2\sigma = 4.918(0.01) = 0.04918$$

b. Carta σ

En este caso, puesto que $\sigma=0.01$ y $n=5$, se obtiene, con el uso de la tabla I

$$LC \text{ --- } c_2\sigma = 0.8407(0.01) = 0.008407$$

$$LIC \text{ --- } B_1\sigma = 0(0.01) = 0.00000$$

$$LSC \text{ --- } B_2\sigma = 1.756(0.01) = 0.01756$$

Ejemplo: Con el fin de investigar la variabilidad en el proceso de producción de varillas de acero mencionado en la página 10, se desea elaborar las cartas de control R y σ correspondientes, considerando la información contenida en la tabla de la misma página.

Solución:

En este caso se desconoce la desviación estándar de la población, por lo cual es indispensable emplear los valores de \bar{R} y $\bar{\sigma}$, considerando que el tamaño de la muestra es 5.

a. Carta R

El valor de \bar{R} , obtenido durante el proceso de elaboración de la carta \bar{X} correspondiente, es $\bar{R} = 1.59$. Considerando este valor, y empleando la tabla I, los parámetros de la carta de control R resultan

$$LC \text{ --- } \bar{R} = 1.590$$

$$LIC \text{ --- } D_1\bar{R} = 0(1.59) = 0.000$$

$$LSC \text{ --- } D_2\bar{R} = 2.115(1.59) = 3.363$$

En la Fig 6 se presenta la carta R para este problema.

b. Carta σ

Considerando que al calcular para este problema los parámetros de la carta \bar{X} se obtuvo $\bar{\sigma} = 0.57$, la carta σ queda definida con

$$LC \text{ --- } \bar{\sigma} = 0.57$$

$$LIC \text{ --- } B_1\bar{\sigma} = 0(0.57) = 0.00$$

$$LSC \text{ --- } B_2\bar{\sigma} = 2.009(0.57) = 1.19$$

CARTAS DE CONTROL PARA MEDICIONES (ELEMENTOS INDIVIDUALES)

31.

En la Fig 7 se muestra la carta de control σ correspondiente.

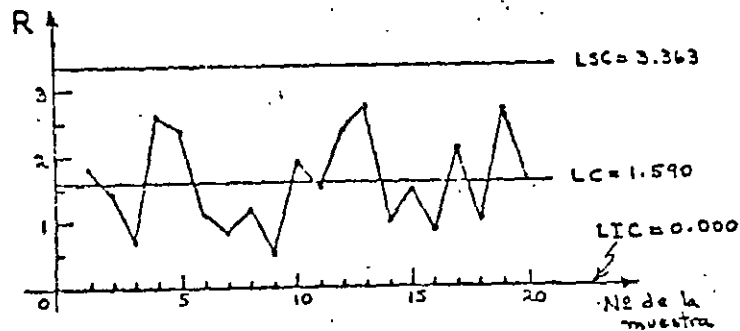


Fig 6 Carta de control R obtenida para el ejemplo de las varillas de acero

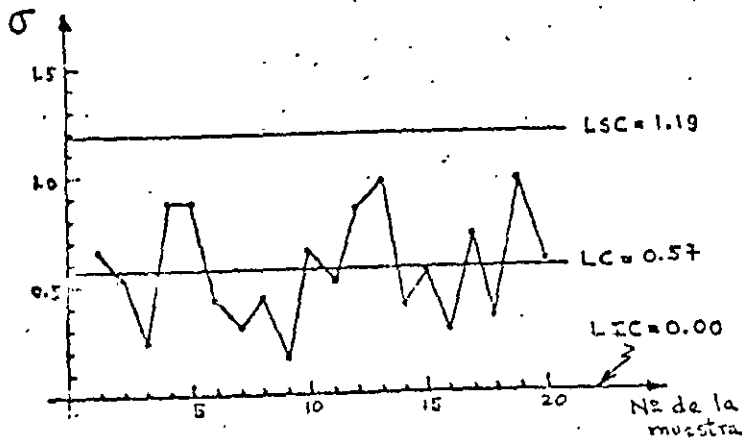


Fig 7 Carta de control σ obtenida para el ejemplo de las varillas de acero

Se han establecido las cartas \bar{X} , R y σ considerando que existe la posibilidad de conocer la media μ y/o la desviación estándar σ de la población (proceso), o bien, cuando estos parámetros se desconocen, que es posible obtener un número adecuado de muestras aleatorias de ella, cuyos tamaños sean cuando menos igual a dos, con el fin de estimar con buena precisión los valores de dichos parámetros.

Sin embargo, en muchas ocasiones no se conocen los parámetros del proceso, y únicamente es posible contar con muestras de tamaño uno, es decir, muestras con un solo elemento. Cuando esto sucede, la técnica para calcular los límites de control en las cartas para mediciones se fundamenta en el empleo de los llamados rangos móviles, que se explican a continuación.

Si, por ejemplo, se cuenta con el conjunto de datos X_i ($i=1,2,\dots,n$) registrados en orden, se definen los rangos móviles de orden dos como

$$|X_i - X_{i+1}| \quad ; \quad 1 \leq i \leq n-1$$

es decir

$$|X_1 - X_2|, |X_2 - X_3|, \dots, |X_{n-1} - X_n|$$

Si se trata de rangos móviles de orden tres, éstos se definen como

$$|X_i - X_{i+2}| \quad ; \quad 1 \leq i \leq n-2$$

es decir

$$|X_1 - X_3|, |X_2 - X_4|, \dots, |X_{n-2} - X_n|$$

La obtención de los rangos móviles de orden superior al tres se hace siguiendo las ideas anteriores.

En forma numérica, si se tienen los datos registrados en orden 4, 6, 4, 3 y 7, los rangos móviles de orden dos son

$$|4 - 6| = 2, |6 - 4| = 2, |4 - 3| = 1, |3 - 7| = 4$$

y los de orden tres son

$$|4 - 4| = 0, |6 - 3| = 3, |4 - 7| = 3$$

El empleo de los rangos móviles para la obtención de los límites de control es importante en este caso, debido a que, si se trata de rangos móviles de orden dos, se puede considerar que el valor de cualquiera de ellos debe obtenerse a partir de los valores de dos elementos individuales registrados en orden. Dicho de otra manera, un rango móvil de orden dos debe provenir de una muestra "ficticia" de tamaño dos. En la misma forma, un rango móvil de orden tres tiene que obtenerse a partir de tres elementos individuales, lo cual permite "crear" muestras de tamaño tres.

De acuerdo con lo anterior, es factible establecer los límites de control para las cartas de control, en el caso de elementos individuales, empleando los factores de la tabla I, que se encuentran tabulados a partir de muestras de tamaño dos.

a. Elaboración de la carta X (elementos individuales)

En este caso, la línea central está dada por

$$\bar{X} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K X_i$$

en donde X_i ($i=1, 2, \dots, K$) denota a los valores de los datos

individuales.

Los límites de control requeridos son

$$\bar{X} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Puesto que el tamaño real de la muestra es uno, la expresión anterior se puede escribir

$$\bar{X} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{1}} = \bar{X} \pm 3\sigma$$

Debido a que el valor de σ se desconoce, pero es posible obtener el de \bar{R} (promedio de los rangos móviles), la última expresión puede transformarse algebraicamente de la siguiente manera:

$$\bar{X} \pm 3\sigma = \bar{X} \pm \frac{3\sigma \bar{R}}{\bar{R}} = \bar{X} \pm \frac{3\bar{R}}{\frac{\bar{R}}{\sigma}}$$

$$\bar{X} \pm \frac{3 \bar{R}}{d_2} = \bar{X} \pm E_2 \bar{R}$$

en donde

$$E_2 = \frac{3}{d_2}$$

Los valores de E_2 se pueden obtener de la tabla I en función de n , que representa ahora el tamaño "ficticio" de la muestra, o el orden de los rangos móviles.

De acuerdo con lo anterior, los parámetros de la carta de control X para elementos individuales son

- Línea Central — \bar{X}
- Límite Inferior de Control — $\bar{X} - E_2 \bar{R}$
- Límite Superior de Control — $\bar{X} + E_2 \bar{R}$

17

35.

b. Elaboración de la carta R* (rangos móviles)

En este caso, la línea central está dada por el valor del promedio de los rangos móviles, es decir

$$\bar{R} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K R_i$$

En donde R_i ($i=1, 2, \dots, K$) denota a los valores de los rangos móviles, obtenidos a partir de los datos individuales registrados en orden.

Los límites de control se obtienen considerando que se desconoce el valor de la desviación estándar de la población, en la forma ya explicada para la carta R.

De acuerdo con lo anterior, los parámetros de la carta de control R* para los rangos móviles son

Línea Central — \bar{R}

Límite Inferior de Control — $D_3\bar{R}$

Límite Superior de Control — $D_4\bar{R}$

en donde los valores de D_3 y D_4 se obtienen de la tabla I en función de n, el tamaño "ficticio" de la muestra, u orden de los rangos móviles.

Ejemplo: Considérese un proceso de destilación y mezclado de alcohol, para el cual se desea ejercer control sobre el porcentaje de metanol existente. Se extraen 26 lotes sucesivos de alcohol, y se obtiene el porcentaje de metanol correspondiente para cada uno de ellos. Los valores

se presentan en la tabla siguiente, y se pide construir cartas X y R* considerando rangos móviles de orden dos.

Lote	Porcentaje de metanol, X	Rango móvil, R	Lote	Porcentaje de metanol, X	Rango móvil, R
1	4.6	0.1	14	5.5	0.1
2	4.7	0.1	15	5.2	0.3
3	4.3	0.4	16	4.6	0.6
4	4.7	0.4	17	5.5	0.9
5	4.7	0	18	5.6	0.1
6	4.6	0.1	19	5.2	0.4
7	4.8	0.2	20	4.9	0.3
8	4.8	0	21	4.9	0
9	5.2	0.4	22	5.3	0.4
10	5.0	0.2	23	5.0	0.3
11	5.2	0.2	24	4.3	0.7
12	5.0	0.2	25	4.5	0.2
13	5.6	0.6	26	4.4	0.1
			SUMA	128.1	7.2

Solución: El valor del promedio de los rangos móviles de orden dos es

$$\bar{R} = \frac{1}{26} \sum_{i=1}^{26} R_i = \frac{7.2}{26} = 0.277$$

a. Carta X

La línea central de esta carta es \bar{X} , cuyo valor es

$$\bar{X} = \frac{1}{26} \sum_{i=1}^{26} X_i = \frac{128.1}{26} = 4.927$$

18

De la tabla I se obtiene $E_2 = 2.66$ para $n=2$, -
siendo los límites de control

$$\begin{aligned}\bar{X} \pm E_2 \bar{R} &= 4.927 \pm 2.66(0.288) \\ &= 4.927 \pm 0.7661\end{aligned}$$

Finalmente, los parámetros de la carta X quedan como

$$\begin{aligned}\text{LC} &\text{--- } 4.927 \\ \text{LIC} &\text{--- } 4.927 - 0.7661 = 4.161 \\ \text{LSC} &\text{--- } 4.927 + 0.7661 = 5.693\end{aligned}$$

En la Fig 8 se presenta la gráfica correspondiente.

b. Carta R^*

La línea central para esta carta es $\bar{R} = 0.288$, y los límites de control se obtienen empleando la tabla I considerando que $n=2$. De ahí que

$$\begin{aligned}\text{LC} &\text{--- } 0.288 \\ \text{LIC} &\text{--- } D_3 \bar{R} = 0(0.288) = 0.000 \\ \text{LSC} &\text{--- } D_4 \bar{R} = 3.267(0.288) = 0.941\end{aligned}$$

La Fig 9 muestra la carta R^* para este problema.

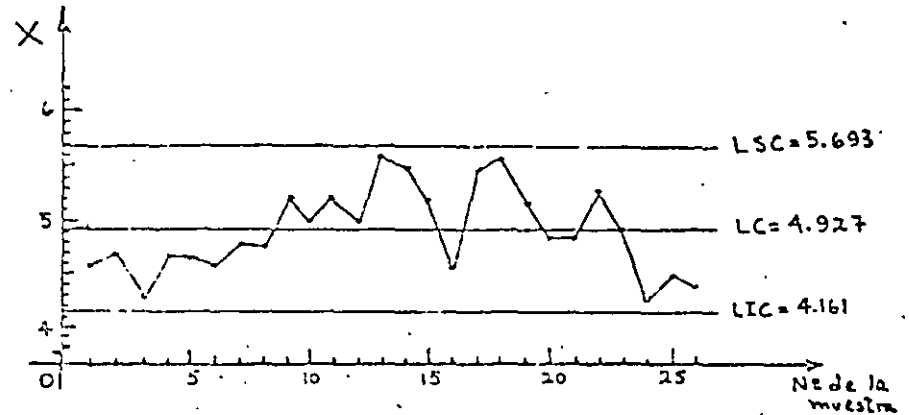


Fig 8 Carta de control X obtenida para el ejemplo de los lotes de alcohol

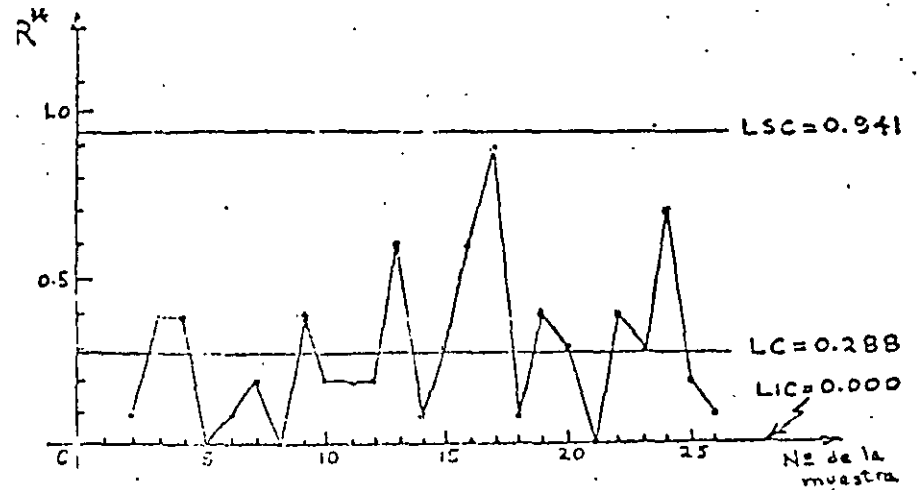


Fig 9 Carta de control R^* obtenida para el ejemplo de los lotes de alcohol

CARTAS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

El término atributo, tal como se emplea en el control de calidad, indica la propiedad que tiene un producto de ser bueno o malo, es decir, permite reconocer si la característica de calidad del mismo se encuentra dentro de ciertos requerimientos específicos o no.

Aunque generalmente se puede obtener información más completa de las mediciones hechas a productos terminados, a menudo consume menos tiempo y dinero el comparar la calidad de un producto en contra de ciertas especificaciones mínimas, sobre la base, por ejemplo, de considerar que sirve o no, o que es bueno o malo.

Por ejemplo, al ejercer control sobre el diámetro de un balín de acero, es más simple y rápido el determinar si éste pasa por un agujero hecho en una placa de acero templado con el diámetro adecuado, que realizar la medición del diámetro con un micrómetro.

Se establecerán ahora los dos tipos fundamentales de cartas de control que se utilizan en conexión con el muestreo por atributos: la carta para la proporción de elementos defectuosos, o carta p, y la carta para el número de defectos, o carta c.

Considérese por ejemplo una muestra de 50 fusibles en la cual se encontró, después de probar todos ellos, que contiene dos elementos defectuosos. En este caso, la proporción de fusibles defectuosos en la muestra es de $2/50 = 0.04$.

Por otra parte, debe observarse que si se prueba una sola unidad producida, esta puede tener varios defectos pero, sin embargo, puede

de o no ser una unidad defectuosa. Tal es el caso, por ejemplo, de rollos (unidades) de tela de determinada longitud, que pueden tener cierto número de imperfecciones pero no necesariamente ser considerados como defectuosos. No obstante, en muchas aplicaciones prácticas una unidad producida se considera defectuosa si tiene - cuando menos un defecto.

La distribución de la proporción y del número de elementos defectuosos en un proceso es obviamente binomial, en tanto que la del número de defectos es de Poisson. Sin embargo, para la elaboración de la carta p se aprovecha la propiedad que tiene la distribución muestral de las proporciones de ser aproximada mediante una distribución normal cuando el tamaño de la muestra es grande, y la proporción de elementos defectuosos no se acerca a cero o a uno.

ELABORACION DE LAS CARTAS DE CONTROL p Y np PARA LA PROPORCION DE DEFECTUOSOS Y EL NUMERO DE DEFECTUOSOS

Los límites de control que se requieren en este caso son

$$\bar{p} \pm 3\sigma_p$$

en donde \bar{p} es la media de la distribución muestral de las proporciones, y σ_p la desviación estándar correspondiente. Como \bar{p} de esta distribución es igual al parámetro p de la población, la estadística p de la muestra estima en forma insesgada a este último.

Si no se conoce el valor de p de la población, lo cual en la práctica es frecuente, se debe disponer de K muestras de tamaño n constante para obtener el valor del estimador insesgado

$$\frac{\sum_{i=1}^K p_i}{n} = \bar{p}$$

$$= \pm 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$\bar{p} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K p_i$$

en donde p_i ($i=1,2,\dots,K$) denota el valor de la proporción en la muestra i . Empleando el valor así obtenido, la línea central es

Línea Central — \bar{p}

En textos de estadística se demuestra que la desviación estándar de la distribución muestral de las proporciones es

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

por lo cual los límites de control son

$$\bar{p} \pm 3\sigma_p = \bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

finalmente, los parámetros de la carta de control p quedan como

$$\left. \begin{aligned} \text{Línea Central} & \text{--- } \bar{p} \\ \text{Límite Inferior de Control} & \text{--- } \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\ \text{Límite Superior de Control} & \text{--- } \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \end{aligned} \right\}$$

A partir de los parámetros anteriores se pueden derivar los de la llamada carta np , o sea, para el número de defectuosos. Para ello, es necesario multiplicar dichos parámetros por n para así obtener, en el caso de los límites de control

$$n \left(\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \right) = n\bar{p} \pm 3n\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

y los parámetros resultan ahora

$$\left. \begin{aligned} \text{Línea Central} & \text{--- } n\bar{p} \\ \text{Límite Inferior de Control} & \text{--- } n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \\ \text{Límite Superior de Control} & \text{--- } n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \end{aligned} \right\}$$

Ejemplo: Para un proceso de elaboración de fusibles se desea ejercer control sobre la proporción de elementos defectuosos, así como sobre el número de ellos. Para ello, se seleccionan 40 muestras aleatorias de 50 fusibles cada una, y se obtienen los valores reportados en la tabla siguiente.

Se desea construir las cartas p y np correspondientes.

Número de la muestra	Número de fusibles defectuosos	Proporción de defectuosos, p	Número de la muestra	Número de fusibles defectuosos	Proporción de defectuosos, p
1	2	0.04	21	1	0.02
2	1	0.02	22	1	0.02
3	2	0.04	23	4	0.08
4	0	0.00	24	2	0.04
5	2	0.04	25	2	0.04
6	3	0.06	26	4	0.08
7	4	0.08	27	1	0.02
8	2	0.04	28	3	0.06
9	0	0.00	29	3	0.06
10	3	0.06	30	2	0.04
11	0	0.00	31	3	0.06
12	1	0.02	32	6	0.12
13	2	0.04	33	2	0.04
14	2	0.04	34	3	0.06
15	3	0.06	35	2	0.04
16	5	0.10	36	3	0.06
17	1	0.02	37	1	0.02
18	2	0.04	38	0	0.00
19	3	0.06	39	2	0.04
20	1	0.02	40	0	0.00

20

Solución: El valor de \bar{p} es

$$\bar{p} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} p_i = \frac{1}{40} (1.68) = 0.042$$

a. Carta p

Los límites de control son, para $n=50$

$$0.042 \pm 3 \sqrt{\frac{(0.042)(1-0.042)}{50}} = 0.042 \pm 0.0851$$

por lo cual

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{LC} \text{ --- } 0.0420 \\ \text{LIC} \text{ --- } 0.042 - 0.0851 = -0.0431 \Rightarrow 0.0000 \\ \text{LSC} \text{ --- } 0.042 + 0.0851 = 0.1271 \end{array} \right.$$

En este caso, y como se verá a continuación para la carta np, la expresión para el cálculo del límite inferior de control conduce a un valor negativo del mismo.

Puesto que no tiene sentido físico hablar de una proporción menor de cero o de un número de defectuosos negativo, en forma arbitraria se asigna a ese límite el valor cero.

En la Fig 10 se presenta la carta de control p correspondiente.

b. Carta np

Puesto que $n\bar{p} = 50(0.042) = 2.1$, los límites de control son ahora

$$2.1 \pm 3 \sqrt{50(0.042)(1-0.042)} = 2.1 \pm 4.255$$

o sea

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{LC} \text{ --- } 2.1 \\ \text{LIC} \text{ --- } 2.1 - 4.255 = -2.155 \Rightarrow 0.000 \\ \text{LSC} \text{ --- } 2.1 + 4.255 = 6.355 \end{array} \right.$$

En la Fig 10 se presenta la carta np para este problema.

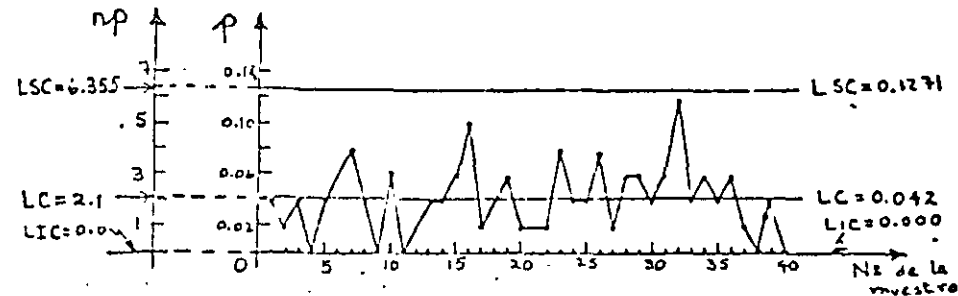


Fig 10 Cartas de control p y np obtenidas para el ejemplo de los fusibles

ELABORACION DE LA CARTA DE CONTROL c PARA EL NUMERO DE DEFECTOS

Existen ocasiones en las que es necesario controlar el número de defectos por unidad en un proceso. Por ejemplo, en la producción de alfombras es importante controlar el número de defectos por metro cuadrado; en la elaboración de papel se requiere controlar el número de defectos por rollo, etc. En estos casos, la variable aleatoria c asociada al número de defectos por unidad tiene una distribución de Poisson.

De lo anterior se desprende que la línea central de la carta de con

control para el número de defectos es el parámetro λ de la distribución de Poisson correspondiente, cuyo valor usualmente se desconoce.

En tal situación, se acostumbra estimar en forma insesgada el valor de λ a partir de un mínimo de 20 valores de c , observados previamente en igual número de unidades producidas. De acuerdo con esto, el valor de

$$\bar{c} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K c_i$$

en donde c_i ($i=1,2,\dots,K$) representa el número de defectos observados en la unidad i , se puede emplear como estimador de λ .

Los límites de control requeridos ahora son del tipo

$$\bar{c} \pm 3\sigma_c$$

Puesto que en este caso se observa el número de defectos por unidad, se puede suponer que el tamaño de la muestra es unitario. Por tal motivo, se puede considerar que la desviación estándar de la distribución muestral del número de defectos c es igual a la desviación estándar de la distribución de Poisson y, puesto que \bar{c} estima el valor de λ

$$\sigma_c = \sqrt{\lambda} = \sqrt{\bar{c}}$$

De acuerdo con lo anterior, los parámetros de la carta de control c son

- Línea Central — \bar{c}
- Límite Inferior de Control — $\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
- Límite Superior de Control — $\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$

Ejemplo:

Considérese el proceso de soldadura de dos placas de acero en una fábrica. Diariamente se alcanzan a soldar 8 juntas, y en cada una de ellas se observa el número de defectos existente. Con la información correspondiente a tres días de labor que se presenta en la tabla siguiente, se desea elaborar una carta de control para el número de defectos por junta soldada.

Número de la junta soldada	Fecha	Número de defectos
1	Julio 18	2
2		4
3		7
4		3
5		1
6		4
7		8
8		9
9	Julio 19	5
10		3
11		7
12		11
13		6
14		4
15		9
16		9
17	Julio 20	6
18		4
19		3
20		9
21		7
22		4
23		7
24		12
SUMA.....		144

23

Solución: Empleando los valores reportados en la tabla anterior, el valor de \bar{c} resulta

$$\bar{c} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} c_i = \frac{1}{24} (144) = 6$$

Siendo $\bar{c} = 6$, los límites de control quedan como

$$6 \pm 3\sqrt{6} = 6 \pm 7.35$$

Finalmente, los parámetros de la carta c son

$$\left\{ \begin{array}{l} LC \text{ --- } 6 \\ LIC \text{ --- } 6 - 7.35 = -1.35 \Rightarrow 0.00 \\ LSC \text{ --- } 6 + 7.35 = 13.35 \end{array} \right.$$

Puesto que el número de defectos no puede ser negativo, se fija el valor del límite inferior de control igual a cero.

En la Fig 11 se presenta la carta de control c que corresponde al ejemplo.

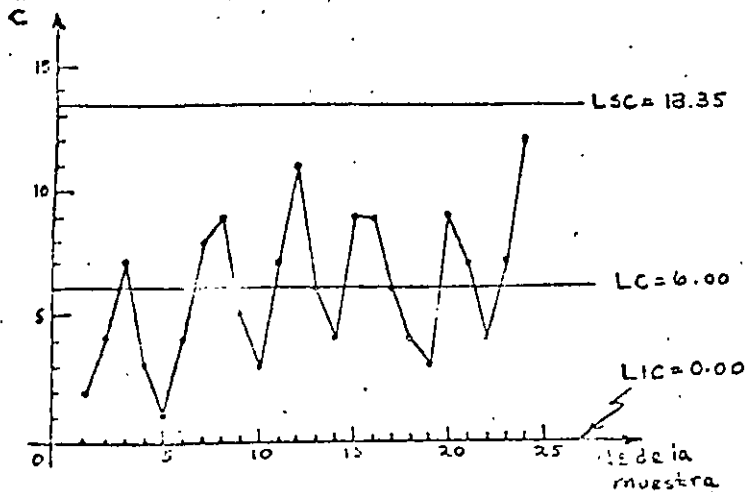


Fig 11 Carta de control c obtenida para el ejemplo de las juntas soldadas

BIBLIOGRAFIA

1. Hansen, B., "Quality Control: Theory and Applications", Prentice Hall, Inc. (1964)
2. Grant, E.L., "Statistical Quality Control", Mc Graw-Hill Book Co. (1971)
3. Ostle, B. "Estadística aplicada", Limusa-Wiley (1973)
4. Miller, I. y Freund, J., "Probability and Statistics - for Engineers", Prentice Hall, Inc. (1965)

72

TABLA II

Número mínimo m de muestras de tamaño n requerido para elaborar una carta \bar{X} con una confianza de 98%, cuando se emplean los rangos.

n	m
2	15
3	9
4	7
5	6
6	5
7	5
8	4
9	4
10	4
12	4
14	4
16	3
18	3
20	3

TABLA III

Número mínimo m de muestras de tamaño n requerido para elaborar una carta \bar{X} con una confianza de 98%, cuando se emplean las desviaciones estándar.

n	m
2	16
3	9
4	7
5	6
6	5
7	5
8	4
9	4
10	4
12	4
14	3
16	3
18	3
20	3

**CURSO: CONTROL DE CALIDAD
APLICADO A LAS VIAS
TERRESTRES**

**TEMA: METODOS ESTADISTICOS
DE CONTROL DE
CALIDAD**

PROFESOR: DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ



Instituto Mexicano del Transporte
Secretaría de Comunicaciones y Transportes

1. ALCANCE.

1.1 La presente norma establece los planes de muestreo y -- los procedimientos para la inspección por atributos que se podrán emplear en:

- Productos terminados.
- Componentes o materias primas.
- Operaciones.
- Materiales en proceso.
- Abastecimientos en almacén.
- Operaciones de mantenimiento.
- Informaciones o registros.
- Procedimientos administrativos.

1.2 Los planes de muestreo se destinan en primer lugar al control de una serie continua de lotes o partidas. También -- pueden emplearse para la inspección de lotes o partidas aisladas, pero en este último caso el usuario debe consultar las -- curvas operativas para obtener así el plan que le proporcione la protección requerida.

2. TERMINOLOGIA.

2.1 Inspección.

Es el proceso que consiste en medir, examinar o ensayar o comparar de algún modo la unidad de producto en consideración, -- con respecto a las especificaciones establecidas.

2.2 Inspección por atributos.

Es el sistema de inspección que consiste en averiguar si la -- unidad de producto en consideración cumple o no con lo especificado, sin importar la medida de la característica analizada. En función de ello las unidades se clasifican simplemente como defectuosas o no defectuosas o se cuenta el número de defectos por unidad de producto.

2.3 Inspección 100 %.

Es el procedimiento de inspección que consiste en verificar to das las unidades de producto que forman un lote.

2.4 Inspección por muestreo.

Es el procedimiento de inspección que consiste en verificar -- una o más muestras del lote que se recibe, para determinar la calidad del mismo.

2.5 Unidad de producto.

La unidad de producto puede ser un artículo, un par, un conjunto, una longitud, un área, una operación, un volumen, un componente de un producto terminado o el producto terminado que se

inspecciona para determinar si cumple o no con una o varias - características de calidad, es decir para ser clasificado co defectuosa o no defectuosa.

La unidad de producto puede o no ser la unidad de compra, sumi nistro, producción o despacho.

2.6 Muestra.

Es un grupo de unidades de producto extraidas al azar de un lo te que sirve para inferir la calidad del mismo y que da la ba se a una decisión sobre ese lote o sobre el proceso que lo pro dujo.

2.7 Lote o partida.

Es una cantidad especificada de unidades de producto de carac terísticas similares que es fabricada bajo condiciones de pro ducción presumiblemente uniformes que se somete a inspección - como un conjunto unitario.

" El término lote o partida significará "lote de inspección" o "partida de inspección", es decir, un conjunto de unidades de producto del cual se extraerá e inspeccionará una muestra, y - que puede ser diferente de un conjunto de unidades designadas como lote o partida para otros fines (por ejemplo: producción, embarque, etc.)

2.8 Defecto.

Es cualquier discrepancia de la unidad de producto con respec to a los requisitos especificados. Los defectos generalmente caen dentro de las siguientes clases, pero pueden existir --- otros casos:

2.8.1 Defecto crítico.

Es el defecto que puede producir condiciones peligrosas o inse guras para quienes usan o mantienen el producto. Es también el defecto que puede llegar a impedir el funcionamiento o el de-- sempeño de una función importante de un producto del cual de-- pende la seguridad personal.

2.8.2 Defecto mayor.

Es el defecto que sin ser crítico tiene la posibilidad de oca sionar una falla, o de reducir materialmente la utilidad de la unidad para el fin que se le destina.

2.8.3 Defecto menor.

Es el defecto que no reduce materialmente la utilidad de la uni dad para el fin a que está destinada o que produce una ligera desviación de las especificaciones establecidas y que no tiene un efecto decisivo en el uso u operación de la unidad.

2.9 Unidad defectuosa.

Es la unidad que tiene uno o más defectos.

2.9.1 Unidad defectuosa crítica.

Es la unidad que contiene uno o más defectos críticos. Puede o no contener defectos mayores o menores.

2.9.2 Unidad defectuosa mayor.

Es la unidad que contiene uno o más defectos mayores. Puede o no contener defectos menores pero no debe contener defectos críticos.

2.9.3 Unidad defectuosa menor.

Es la unidad que contiene uno o más defectos menores. No contiene defectos críticos ni mayores.

2.10 Plan de Muestreo.

Un plan de muestreo es el número de unidades de producto que debe ser inspeccionado en cada lote o partida (tamaño de muestra o serie de tamaños de muestras) y los criterios para determinar la aceptabilidad del lote o partida (números de aceptación y rechazo).

2.11 Plan de Muestreo con muestra única con rechazo.

Es el procedimiento de recepción que consiste en inspeccionar una sola muestra del lote que se recibe y en base al resultado obtenido, proceder a su aceptación o rechazo.

2.12. Plan de Muestreo de muestra doble con rechazo.

Es el procedimiento de recepción que consiste en inspeccionar una muestra del lote que se recibe y sobre la base del resultado obtenido proceder a su aceptación, rechazo, o a la extracción de una segunda muestra; en este último caso, de acuerdo con los resultados obtenidos en el total de lo inspeccionado, proceder a su aceptación o rechazo.

2.13 Plan de Muestreo múltiple con rechazo.

Es el procedimiento de recepción que consiste en inspeccionar muestras sucesivas del lote que se recibe y en base a los datos acumulados de inspeccionados y defectuosos proceder a su aceptación o rechazo.

2.14 Porcentaje defectuoso.

Es el cociente del número de unidades de producto defectuosas, entre el número total de unidades inspeccionadas y multiplicado por 100

$$P \% = \frac{\text{No. de unidades defectuosas} \times 100}{\text{No. de unidades inspeccionadas}}$$

2.15 Defectos en 100 unidades.

Es el cociente del número de defectos de las unidades de producto entre el número de unidades inspeccionadas y multiplicando por 100. Cualquier unidad de producto puede tener uno o más defectos.

Defectos por cien unidades $\frac{\text{Número de defectos}}{\text{Número de unidades inspeccionadas}} \times 100$

2.16 Promedio del proceso.

Es el promedio del porcentaje de defectuosos o de los defectos por cien unidades de un grupo de lotes, enviados para inspección original.

2.17 Inspección original.

Es la inspección de una cantidad de producto, enviada por primera vez para su aceptación, y es diferente de la del producto que se inspecciona por segunda vez, es decir, que ya ha sido rechazada en una primera ocasión.

2.18 Promedio de la calidad de salida AOQ

Es el promedio de la calidad del producto, que resulta de relacionar la calidad de los lotes aceptados y rechazados luego de realizar en estos una inspección 100 x 100 y sustituir las unidades defectuosas por unidades sin defectos.

2.19 Límite del promedio de la calidad de salida AOQL

Es el máximo valor del promedio de la calidad de salida para un cierto plan de muestreo, considerando todas las posibles calidades de entrada.

2.20 Nivel de calidad aceptable AQL

Es el porcentaje máximo de defectuosos (o el número máximo de defectos por cien unidades) que, para los fines de inspección por muestreo, puede ser considerado satisfactorio como calidad media del proceso y que, de por resultado la aceptación de la mayoría de los lotes sometidos a inspección.

2.21 Letras clave del tamaño de la muestra.

Es la letra que identifica el tamaño de las muestras en función de los tamaños de los lotes para los diferentes niveles de inspección.

2.22 Número de aceptación.

Es el número que expresa la mayor cantidad de unidades defectuosas o de defectos admitidos, para un nivel de calidad aceptable determinado en el plan de muestreo adaptado para la aceptación de un lote.

3. PROCEDIMIENTOS GENERALES.

3.1 Formación de lotes o partidas.

El producto debe ser agrupado en lotes, sub-lotes o partidas identificables (ver 5.4). Cada lote o partida, estará constituido por unidades de producto homogéneas es decir de un solo

tipo, grado, clase, tamaño y composición y fabricado esencialmente bajo las mismas condiciones.

3.2 Presentación de lotes o partidas.

La formación de lotes o partidas, el tamaño de ellos y la forma en que cada lote o partida sea presentado e identificado por el proveedor, deberá ser establecido y aprobado por la autoridad responsable. Cuando sea necesario, el proveedor deberá proporcionar un espacio adecuado y apropiado para el almacenamiento de cada lote o partida, el equipo necesario para la identificación y presentación correcta de los lotes y el personal necesario para todas las manipulaciones requeridas para la extracción de muestras del producto.

3.3 Selección del plan de muestreo.

3.3.1 Tipos de planes de muestreo.

Las tablas II, III y IV, dan tres tipos de planes de muestreo: simple, doble y múltiple. Cuando existen varios tipos de planes para un AQL y letra clave dados, se puede usar cualquiera de ellos. La decisión sobre el tipo de plan, ya sea simple, doble o múltiple, cuando existan éstos para un AQL y letra clave dados, se basará generalmente en la comparación entre las dificultades administrativas y el tamaño medio de las muestras de los planes disponibles.

El tamaño medio de las muestras de los planes múltiples es inferior al de los planes dobles (excepto en el caso en que el número de aceptación del plan simple correspondiente, es igual a 1) y ambos son siempre inferiores que un tamaño medio de muestra de un plan de muestreo simple.

En general las dificultades administrativas y el costo por unidad inspeccionada son menores para el muestreo simple que para el muestreo doble o múltiple.

3.3.2 Obtención de un plan de muestreo.

El AQL y la letra código se usarán para obtener los planes de muestreo de las tabla II, III, o IV. Cuando no se dispone de un plan de muestreo para una combinación dada de AQL y letra código, las tablas remiten al usuario a una letra diferente. El tamaño de la muestra está dado por la nueva letra código y no por la original. Si el procedimiento conduce a un tamaño de muestra diferente para clases de defectos diferentes, se puede usar, (para toda clase de defectos) la letra código correspondiente al tamaño de muestra más grande, cuando se ha establecido o aprobado por la autoridad responsable. Como alternativa a un plan de muestreo simple con un número de aceptación, o se puede usar siempre que sea posible, el plan con un número de aceptación igual a 1, con su correspondiente tamaño de muestra mayor para un AQL establecido, si la autoridad responsable lo establece o aprueba.

3.2 Fijación del AQL.

El AQL a usarse debe ser establecido en los contratos o por la autoridad responsable. Pueden establecerse diferentes AQL para un grupo de defectos considerados colectivamente o, para cada defecto en particular. Puede establecerse un AQL para un grupo de defectos, además de los AQL para defectos individuales o subgrupos de defectos comprendidos en ese grupo. Los valores de AQL inferiores o iguales a 10,0 pueden expresarse ya sea como porcentaje de defectuosos o número de defectos por cien unidades. Aquellos superiores a 10,0 deberán expresarse solamente como defectos por cien unidades.

AQL PREFERIDOS.- Los valores de AQL dados en estas tablas se conocen como AQL preferidos. Si para cualquier producto se establece un AQL diferente a un valor preferido de AQL no pueden aplicarse estas tablas.

EXPLICACION SOBRE EL SIGNIFICADO DE AQL.

Cuando un consumidor establece el valor específico de AQL para cierto defecto o grupo de defectos, está indicando al proveedor que su plan de muestreo de aceptación del consumidor aceptará la gran mayoría de los lotes o partidas que el proveedor le entregue, siempre que el nivel medio de defectuosos del proceso (o defectos por cien unidades) en estos lotes o partidas no sea superior al valor establecido del AQL.

De este modo, el AQL es el valor establecido de porcentaje de defectuosos (o defectos por cien unidades) que el consumidor indica que aceptará en la mayor parte de los casos de acuerdo al procedimiento de muestreo de aceptación a emplearse.

Los planes de muestreo contenidos en el presente documento se han establecido de tal manera que la probabilidad de aceptación para un valor de AQL establecido depende del tamaño de la muestra, siendo esta probabilidad generalmente superior para las muestras más grandes que para las muestras más pequeñas, para un AQL dado.

El AQL por sí solo no determina la protección para el consumidor, cuando se trata de lotes o partidas aisladas, sino que está más directamente relacionado con lo que puede esperarse del control de una serie de lotes o partidas, siempre que se apliquen las instrucciones indicadas en el presente documento. Para determinar la protección que obtendrá el consumidor es necesario consultar la curva característica de operación del plan correspondiente.

LIMITACION.- El establecimiento de un AQL no implica que el proveedor tenga derecho a entregar, a sabiendas, unidades de producto defectuosas.

3.3 Nivel de inspección.

Se debe emplear el nivel de inspección establecido en la norma o especificación del producto en cuestión. En su defecto, el nivel de inspección se establece en el contrato u orden de compra.

La tabla I da tres niveles de inspección: I, II y III para uso general. A menos que se indique lo contrario se usará el Nivel II. Sin embargo, se puede establecer el Nivel I cuando se necesite una discriminación menor o se podrá establecer el nivel III para una discriminación mayor. En la misma tabla se dan cuatro niveles adicionales especiales: S-1, S-2, S-3 y S-4 y pueden ser usados cuando se necesiten tamaños de muestra relativamente pequeños y puedan o deban tolerarse riesgos elevados de muestreo.

NOTA: Al establecer un nivel de inspección entre S-1 y S-4 se evitará el empleo de AQL incompatibles con estos niveles de inspección.

3.4 Muestras.

3.4.1 Tamaño de la muestra.

Los tamaños de muestras son identificados por letras clave. Se usará la Tabla I para encontrar la letra clave aplicable y el nivel de inspección prescrito, a un lote o partida particular.

3.4.2 Obtención de la muestra.

Las muestras se obtienen empleando sistemas adecuados de extracción de muestras al azar que aseguren la representatividad de lote en consideración.

Las muestras pueden ser extraídas después que se han reunido todas las unidades que comprenden el lote o partida o bien pueden extraerse muestras durante la formación de dichos lotes o partidas.

En el caso de muestreo doble o múltiple, cada muestra debe ser extraída de la totalidad del lote o partida.

3.5 Inspección.

3.5.1 Comienzo de la inspección.

Se usará inspección normal al comienzo de la inspección, a menos que la autoridad responsable estipule lo contrario.

3.5.2 Continuación de la inspección.

La inspección normal, continuará sin variaciones para cada clase de defectos o defectuosos en lotes o partidas sucesivas, excepto cuando se requieran los cambios de procedimientos. Los cambios de procedimientos se aplicarán a cada clase de defectos o defectuosos independientes.

3.6 Criterio de aceptación.

3.6.1 Inspección por porcentaje de defectuosos.

Para determinar la aceptabilidad de un lote o partida, por inspección del porcentaje de defectuosos, el plan de muestreo --

aplicable se usará según se indica en 3.6.1.1., 3.6.1.2 y 3.6.1.3.

3.6.1.1 Plan de muestreo simple.

El número de unidades de muestra inspeccionado debe ser igual al tamaño de la muestra dado por el plan. Si el número de defectuosos encontrado en la muestra es igual o inferior al número de aceptación, el lote o partida será considerado como aceptable. Si el número de defectuosos es igual o superior al número de rechazo, el lote o partida será rechazado.

Las curvas OC para AQL mayores que 10,0, se basan en la distribución de Poisson y son aplicables a la inspección de defectos por cien unidades. Aquellas para AQL iguales o inferiores a 10,0 y para tamaños de muestras superiores a 80, se basan en la distribución Binomial y son aplicables ya sea para la inspección de defectos por cien unidades, o para la inspección por porcentaje de defectuosos (bajo estas condiciones, la distribución de Poisson es una aproximación adecuada a la distribución binomial). Se dan para cada una de las curvas indicadas valores tabulados que corresponden a valores seleccionados de probabilidad de aceptación (P_a , en por ciento), y además para la inspección rigurosa y por defectos por cien unidades para AQL iguales o inferiores a 10,0 y tamaño de muestra igual o inferior a 80.

3.6.1.2 Plan de muestreo doble.

El número de unidades de muestra inspeccionadas debe ser igual al tamaño de la primera muestra dado por el plan. Si el número de defectuosos encontrados en la primera muestra es igual o inferior al primer número de aceptación, el lote o partida será considerado como aceptable. Si el número de defectuosos encontrado en la primera muestra, es igual o superior al primer número de rechazo, el lote de partida será rechazado. Si el número de defectuosos encontrados en la primera muestra, está comprendido entre los primeros números de aceptación y de rechazo, se inspeccionará una segunda muestra del tamaño indicado por el plan. El número de defectuosos encontrado en la primera y en la segunda muestra deben ser acumulados. Si el número acumulado de defectuosos es igual o inferior al segundo número de aceptación, el lote o partida será considerado como aceptable. Si el número acumulado de defectuosos es igual o superior al segundo número de rechazo, el lote o partida será rechazado.

3.6.1.3 Plan de muestreo múltiple.

En los planes de muestreo múltiple, el procedimiento será similar al especificado en 3.6.1.2., con la excepción de que el número de muestras sucesivas requeridas para llegar a una decisión, puede ser superior a dos.

3.6.2 Inspección por "Defectos por cien Unidades".

Para determinar la aceptabilidad de un lote o partida mediante la inspección por "Defectos por Cien Unidades", se usará el procedimiento especificado para inspección por Porcentajes de Defectuosos antes indicado, con la excepción de que se -- substituirá el término "Defectuosos" por "Defectos".

3.6.3 Aceptabilidad de lotes o partidas.

La aceptabilidad de un lote o partida será determinada por el uso de un plan o planes de muestreo relacionados con el o los AQL establecidos.

3.6.4 Unidades defectuosas.

Queda reservado el derecho a rechazar cualquier unidad de producto encontrado defectuosa durante la inspección, ya sea que esa unidad forme o no parte de la muestra o que el lote o partida en conjunto sea aceptado o rechazado. Las unidades rechazadas pueden ser reparadas o corregidas y vueltas a presentar a la inspección con la aprobación de la autoridad responsable o en la forma especificada por ella.

3.6.5 Excepción especial para los defectos críticos.

A criterio de la autoridad responsable, el proveedor puede ser requerido para que inspeccione cada unidad del lote o partida en relación con los defectos críticos. Queda reservado el derecho de inspeccionar cada unidad presentada por el proveedor en relación con defectos críticos y de rechazar inmediatamente el lote o partida cuando se encuentre un defecto crítico. También queda reservado el derecho de muestrear en relación con defectos críticos cada lote o partida presentada por el proveedor y de rechazar cualquier lote o partida, si una muestra extraída de ellos presenta uno o más defectos críticos.

3.6.6 Lotes o partidas sometidos a nueva inspección.

Los lotes o partidas encontrados inaceptables podrán someterse a nueva inspección, solamente después que todas las unidades sean reexaminadas o reensayadas y que todas las unidades defectuosas hayan sido eliminadas o los defectos corregidos. La autoridad responsable determinará si se usa inspección normal o rigurosa y si la reinspección incluirá todo tipo o clase de defectos o sólo el tipo o clase de defecto que causó el rechazo inicial.

3.7 Cambios de procedimientos.

3.7.1 Normal a riguroso.

Cuando esté vigente una inspección normal, se establecerá la inspección rigurosa cuando 2 de cada 5 lotes o partidas consecutivos hayan sido rechazados en la inspección original (es decir, sin tener en consideración lotes o partidas sometidos a reinspección por este procedimiento).

3.7.2 Rigurosa a normal.

Cuando esté vigente la inspección rigurosa, se establece la inspección normal cuando 5 lotes o partidas consecutivos hayan sido considerados aceptables en la inspección original.

3.7.3 Normal a reducida.

Cuando esté vigente la inspección normal, se establecerá la inspección reducida siempre que satisfagan todas las condiciones siguientes:

- a).- Los 10 lotes o partidas precedentes (o más de 10 según se indica en la nota de la Tabla VIII) que hayan estado sometidos a inspección normal y ninguno de ellos hay sido rechazado en la inspección original y
- b).- El número total de defectuosos (o de defectos) en las muestras de los 10 lotes o partidas precedentes (o cualquier otro número de lotes indicado según la condición "a" anterior) es igual o inferior al número aplicable dado en la Tabla VIII. Si se usa un muestreo doble o múltiple, deben incluirse todas las muestras inspeccionadas, no sólo la "primera" muestra, y
- c).- La Producción tiene un ritmo constante y
- d).- La autoridad responsable estima deseable la inspección reducida.

3.7.4 Reducida a normal.

Cuando está vigente la inspección reducida, se establecerá la inspección normal cuando en la inspección original ocurra cualquiera de las circunstancias siguientes:

- a).- Un lote o partida es rechazado, o
- b).- Un lote o partida es considerado aceptable conforme al procedimiento indicado en 10.1.4., o
- c).- La producción se hace irregular o lenta, o
- d).- Otras condiciones que justifiquen la implantación de la inspección normal.

3.7.5 Cese de la inspección.

En caso que 10 lotes o partidas consecutivos se hayan sometido a inspección rigurosa (o cualquier otro número establecido por la autoridad responsable) se suspenderá la inspección realizada según las disposiciones de este documento, a la espera de las medidas destinadas a mejorar la calidad del producto presentado.

Procedimiento especial para la inspección reducida.

En la inspección reducida el procedimiento de muestreo puede terminarse sin haberse llegado a encontrar un criterio de tación o rechazo. En estas circunstancias, el lote o partida será considerado aceptable, pero la inspección normal se reestablecerá a partir del próximo lote o partida.

4. INFORMACION SUPLEMENTARIA.

4.1 Curvas características de operación.

Las curvas características de operación para la inspección normal, dadas por la Tabla X (págs.), indican el porcentaje de lotes o partidas que pueden esperarse sean aceptados según los diferentes planes de muestreo, para una calidad dada del proceso. Las curvas expuestas son para muestreo - simple; las que conciernen a muestreo doble o múltiple, se han equiparado tanto como sea prácticamente posible.

4.2 Promedio del proceso.

El promedio del proceso, es el porcentaje promedio de defectuosos o el promedio del número de defectos por cien unidades - (cualquiera que sea el aplicable) del producto presentado por el proveedor a la inspección original. Inspección original es la primera inspección de una cantidad particular - del producto, en oposición a la inspección del producto que se presenta nuevamente después de un rechazo previo.

4.3 Calidad media de salida.

(AQL). La CMS es la calidad promedio del producto de salida, incluyendo todos los lotes o partidas aceptados, más los lotes o partidas rechazados, después que los lotes o partidas rechazados han sido efectivamente inspeccionados en un 100 por ciento y todos los defectuosos reemplazados por no defectuosos.

4.4 Límite de la calidad media de salida.

(AQL) El AQL es el máximo de AQL para todas las calidades de entrada posibles para un plan de muestreo de aceptación dado. Los valores de LCMS se dan en la Tabla V-A, para cada uno de los planes de muestreo simple para inspección normal y en la Tabla V-B, para cada uno de los planes de muestreo simple para inspección rigurosa.

4.5 Curvas de tamaño medio de muestra.

Las curvas de tamaño medio de muestra para muestreo doble y múltiple se encuentran en la Tabla IX. Estas indican el tamaño medio de muestra que se puede esperar de los diferentes planes de muestreo para una calidad dada el proceso. Estas curvas no suponen ninguna disminución de la inspección y son curvas aproximadas por el hecho de basarse en la distribución de Poisson y que se ha aceptado que el tamaño de las muestras para muestreo doble y múltiple es $0,631 n$ y $0,25 n$ respectivamente, donde n es el equivalente al tamaño de muestra simple.

4.6 Protección de la calidad límite.

Los planes de muestreo y los procedimientos correspondientes - dados en esta publicación, fueron diseñados para usarse cuando las unidades de producto se producen en una serie continua de lotes o partidas, durante un período de tiempo. Sin embargo, si el lote o partida es de naturaleza aislada, es conveniente - limitar la selección de los planes de muestreo a aquellos que,

para un valor establecido de AQL proporcione una protección de calidad límite que no sea inferior a la especificada. Los planes de muestreo para este propósito pueden seleccionarse escogiendo una calidad límite (LQ) y el correspondiente riesgo del consumidor. Las Tablas VI y VII dan los valores de CL para los riesgos del consumidor comúnmente usados, de 10 por ciento y 5 por ciento, respectivamente. Si se requiere un valor diferente de riesgo del consumidor, se pueden usar las curvas CCO y sus valores tabulados. El concepto de calidad límite LQ puede también ser de utilidad para establecer, el AQL y los Niveles de Inspección para una serie de lotes o partidas, fijándose así el tamaño mínimo de la muestra, cuando exista alguna razón para evitar (con más de un riesgo dado del consumidor) en un solo lote o partida una proporción de defectuosos (o defectos) superior al límite fijado.

TABLA I - LETRA CLAVE DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

TAMAÑO DEL LOTE			NIVELES DE INSPECCION ESPECIALES				NIVELES DE INSPECCION GENERALES		
			S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2	a	8	A	A	A	A	A	A	B
9	a	15	A	A	A	A	A	B	C
16	a	25	A	A	B	B	B	C	D
26	a	50	A	B	B	C	C	D	E
51	a	90	B	B	C	C	C	E	F
91	a	150	B	B	C	D	D	F	G
151	a	280	B	C	D	E	E	G	H
281	a	500	B	C	D	E	F	H	J
501	a	1200	C	C	E	F	G	J	K
1201	a	3200	C	D	E	G	H	K	L
3201	a	10000	C	D	F	G	J	L	M
10001	a	35000	C	D	F	H	K	M	N
35001	a	150000	D	E	G	J	L	N	P
150001	a	500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001	a	más	D	E	H	K	N	Q	R

TABLA 11-A- PLANES DE MUESTREO SIMPLE PARA INSPECCION NORMAL

Letra clave	Tamaño de la muestra	Nivel de Calidad aceptable (inspección normal)																	
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
L	200	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
M	315	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
N	500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
P	800	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Q	1250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
R	2000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Notas en la siguiente hoja.

121

15 TABLA 11-A (Continuación)

Letra clave	Tamaño de la muestra	Nivel de calidad aceptable (inspección norm																	
		25		40		65		100		150		250		400		650		1000	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31
B	3	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
C	5	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45		
D	8	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45				
E	13	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45						
F	20	10	11	14	15	21	22												
G	32	14	15	21	22														
H	50	21	22																
J	80																		
K	125																		
L	200																		
M	315																		
N	500																		
P	800																		
Q	1250																		
R	200																		

↓ = Utilizar el primer plan de muestreo debajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o excede al del lote, hacer inspección cien por cien.
 ↑ = Utilizar el primer plan de muestreo encima de la flecha
 Ac = Número de aceptación
 He = Número de rechazo

**CURSO: CONTROL DE CALIDAD
APLICADO A LAS VIAS
TERRESTRES**

**TEMA: METODOS ESTADISTICOS
DE CONTROL DE
CALIDAD**

PROFESOR: DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ



ANTEPROYECTO DE NORMA DE METODO DE MUESTREO Y TABLAS PARA
INSPECCION POR VARIABLES
D.G.N. R-17-1970

SECCION I-B

VARIABILIDAD DESCONOCIDA. METODO DE LA DESVIACION NORMAL (ESTANDAR

PRIMERA PARTE. UN SOLO LIMITE EN UNA ESPECIFICACION.

1. ALCANCE

Esta parte de la norma describe los procedimientos para emplearse en planes de muestreo, cuando se establece un solo límite en una especificación y cuando se desconoce la variabilidad del lote con respecto a la característica de calidad y se emplea el método de la desviación normal.

El criterio de aceptación se proporciona en dos formas equivalentes identificadas como forma 1 y forma 2.

1.1. Empleo de los planes de muestreo

Para determinar si un lote se acepta con respecto a una característica de calidad y para un valor del AQL, el plan de muestreo debe aplicarse de acuerdo con las prescripciones de la Sección I-A "Descripción General de los Planes de Muestreo", y las que incluye esta parte.

1.2. Extracción de muestras

El tamaño de la muestra (letra código) se obtiene de la Tabla 2-A de acuerdo con el párrafo 7.1. (Sección I-A).

2. SELECCION DEL PLAN DE MUESTREO CUANDO SE EMPLEA LA FORMA 1

2.1. Tablas maestras de muestreo

Las Tablas maestras de muestreo 1-B y 2-B se emplean para planes de muestreo basados en la variabilidad desconocida y cuando se establece un solo límite en una especificación y cuando se utiliza el método de la desviación normal. La Tabla 1-B se emplea para inspección normal y estricta y la Tabla 2-B para inspección reducida.

2.2. Obtención del plan de muestreo

El plan de muestreo está definido por un tamaño de muestra asociado a una constante de aceptación. El plan de muestreo se obtiene de las Tablas maestras 1-B ó 2-B.

2.2.1. Tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra n se encuentra en la Tabla maestra respectiva, correspondiendo a cada letra código un tamaño de muestra.

2.2.2. Constante de aceptación.

La constante de aceptación k se obtiene de las Tablas 1-B ó 2-B con el tamaño de muestra y el valor del AQL fijado.

A la Tabla 1-B se entra por la parte superior para inspección normal y por la parte inferior para inspección estricta. Los planes para inspección reducida se encuentran en la Tabla 2-B.

3. PROCEDIMIENTO PARA LA ACEPTACION DE LOTES CONSECUTIVOS CUANDO SE EMPLEA LA FORMA 1

3.1. Fórmulas empleadas

El grado de conformidad de una característica de calidad cuando se establece un solo límite en una especificación debe juzgarse por las cantidades:

$$\frac{U - \bar{X}}{s}$$

$$\frac{\bar{X} - L}{s}$$

dependiendo si se trata de un límite superior o un límite inferior es especificados respectivamente.

donde:

U = Límite superior de la especificación.

L = Límite inferior de la especificación.

\bar{X} = Medida de la muestra y,

s = Desviación normal estimativa del lote.

3.2. Criterio de aceptación

Se calcula la cantidad $\frac{U - \bar{X}}{s}$ ó $\frac{\bar{X} - L}{s}$ y se compara con la constante de aceptación k .

Si $\frac{U - \bar{X}}{s}$ ó $\frac{\bar{X} - L}{s}$ es igual o mayor que k , el lote debe aceptarse; si

$\frac{U - \bar{X}}{s}$ ó $\frac{\bar{X} - L}{s}$ es menor que k o bien negativo, el lote debe rechazarse.

4. RESUMEN DE OPERACIONES CUANDO SE EMPLEA LA FORMA 1

- 4.1. Se determina el tamaño de la muestra (letra código) de la Tabla 2-A, empleando los datos correspondientes del lote y el nivel de inspección.
- 4.2. El plan de muestreo (tamaño de la muestra y constante de aceptación) se obtiene de las Tablas maestras 1-B ó 2-B.
- 4.3. Se extrae del lote, al azar, la muestra de n unidades, se efectúa la inspección en cada unidad de la muestra y se recopilan las mediciones de la característica de calidad.
- 4.4. Se calculan la media de la muestra \bar{X} , la desviación normal estimativa del lote s , y la cantidad $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$ ó $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$, ya sea para el límite superior U o el inferior L , respectivamente.
- 4.5. Si la cantidad $\frac{U - \bar{X}}{s}$ ó $\frac{\bar{X} - L}{s}$ es igual o mayor que k , el lote debe aceptarse; si es menor que k o negativa, el lote debe rechazarse.

5. SELECCION DEL PLAN DE MUESTREO CUANDO SE EMPLEA LA FORMA 2

5.1. Tablas maestras de muestreo

Las tablas maestras de muestreo 3-B y 4-B se emplean para planes basados en la variabilidad desconocida cuando se establece en una sola especificación y cuando se utiliza el método de la desviación normal. La Tabla 3-B se emplea para inspecciones normal y estricta y la Tabla 4-B para inspección reducida.

5.2. Obtención del plan de muestreo

El plan de muestreo está definido por un tamaño de muestra, asociado a un porcentaje máximo de defectuosos permisible. El plan de muestreo se obtiene de las Tablas maestras 3-B ó 4-B.

5.2.1. Tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra (letra código) n se encuentra en la Tabla maestra respectiva, correspondiendo a cada letra código un tamaño de muestra.

5.2.2. Porcentaje máximo de defectuosos permisible.

El máximo porcentaje estimativo de defectuosos permisible M para la muestra, se obtiene de la Tabla maestra 3-B ó 4-B; con el tamaño de la muestra y el valor del AQL fijado en la Tabla 3-B, se entra por la parte superior para inspección normal y por la parte inferior para inspección estricta. Los planes para inspección reducida se encuentran en la Tabla 4-B.

6. PROCEDIMIENTO PARA LA ACEPTACION DE LOTES CONSECUTIVOS CUANDO SE EMPLEA LA FORMA 2

El grado de conformidad de una característica de calidad cuando se establece un solo límite en una especificación, se juzga por el porcentaje de producto que se encuentra ya sea arriba del límite superior o abajo del límite inferior de la especificación.

El porcentaje estimativo de producto que no cumple se obtiene entrando a la Tabla 5-B con el índice de calidad y el tamaño de muestra.

6.1. Cálculo del índice de calidad

Los índices de calidad Q_U ó Q_L deben calcularse para el límite superior U ó el límite inferior L respectivamente, con las siguientes fórmulas: $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$; $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$

Las cantidades \bar{X} y s son la media y la desviación normal de la muestra respectivamente.

6.2. Porcentaje estimativo de defectuosos en un lote.

La calidad de un lote se designa como P_U o P_L , que corresponden al porcentaje estimativo de defectuosos arriba del límite superior de la especificación o al porcentaje estimativo de defectuosos abajo del límite inferior de la especificación respectivamente.

El porcentaje estimativo de defectuosos P_U o P_L se obtiene entrando en la Tabla 5-B con Q_U o Q_L y el tamaño de muestra empleado.

6.3. Criterio de aceptación

Se compara el porcentaje estimativo de defectuosos del lote P_U ó P_L con el porcentaje máximo de defectuosos permisible M .

Si P_U ó P_L es igual o menor que M , el lote debe aceptarse. Si P_U ó P_L es mayor que M o si Q_U o Q_L son negativos el lote debe rechazarse.

7. RESUMEN PARA LA OPERACION DEL PLAN DE MUESTREO CUANDO SE EMPLEA LA FORMA 2

7.1. Se determina el tamaño de la muestra (letra código) de la Tabla 2-A, empleando los datos correspondientes del tamaño del lote y el nivel de inspección.

7.2. Se obtiene el plan de muestreo (tamaño de la muestra, n , y el porcentaje máximo de defectuosos permisible M) de la Tabla maestra 3-B ó 4-B

7.3. Se extrae del lote, al azar, la muestra de n unidades, se efectúa la inspección en cada unidad de la muestra y se recopilan las mediciones de la característica de calidad.

7.4. Se calculan la media de la muestra \bar{X} , y la desviación normal (estándar) estimativa del lote s , y las cantidades $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$ ó $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$, ya sea para el límite superior, U , o el inferior, L , respectivamente.

7.5. Se determina el porcentaje estimativo de defectuosos del lote P_U ó P_L de la Tabla 5-B

7.6. Si P_U ó P_L es igual o menor que el porcentaje máximo de defectuosos permisible M , el lote debe aceptarse. Si P_U ó P_L es mayor que M , o si Q_U ó Q_L es negativo, el lote debe rechazarse.

SECCION I-B

SEGUNDA PARTE.- DOBLE LIMITE EN UNA ESPECIFICACION

1.- ALCANCE.

Esta parte de la norma describe los procedimientos para el empleo de planes de muestreo cuando se establece un doble límite en una especificación, cuando se desconoce la variabilidad de un lote con respecto a una característica de calidad, y se emplea el método de la desviación normal.

1.1. Empleo de los planes de muestreo

Para determinar si un lote se acepta con respecto a una característica de calidad y un (os) valor (es) del AQL, el plan de muestreo debe aplicarse de acuerdo con las prescripciones de la Sección I-A "Descripción General de los Planes de Muestreo" y las que incluye esta parte.

2. SELECCION DEL PLAN DE MUESTREO

El plan de muestreo se selecciona de las Tablas maestras 3-B ó 4-B, de la manera siguiente:

2.1. Determinación del tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra (letra código) se selecciona de la Tabla 2-A de acuerdo con el párrafo 3.4. de la sección I-A.

2.2. Tablas maestras de muestreo

Las Tablas maestras de muestreo 3-B y 4-B se emplean para planes basados en la variabilidad desconocida cuando se establece un doble límite en una especificación y se emplea el método de la desviación normal. La Tabla 3-B se emplea para inspecciones normal y estricta y la 4-B para inspección reducida.

2.3. Obtención del plan de muestreo

El plan de muestreo está definido por un tamaño de muestra asociado a un porcentaje máximo de defectuosos permisible. El plan de muestreo se obtiene de las Tablas 3-B ó 4-B.

2.4. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra n se encuentra en la Tabla maestra respectiva, correspondiendo a cada letra código un tamaño de muestra.

2.5. Porcentaje máximo de defectuosos permisible

El porcentaje máximo de defectuosos permisible de la muestra, determina el porcentaje estimativo de defectuosos para el límite superior, el inferior o ambos, y se obtiene con el tamaño de la muestra y el valor del AQL fijado. Si se han asignado diferentes AQL para los dos límites se designa como M_L y M_U al porcentaje máximo de defectuosos

permisible para los límites inferior y límite superior respectivamente. Si solo se asigna un AQL para ambos límites, este valor se designa con M. A la Tabla 3-B se entra por la parte superior para inspección normal y por la parte inferior para inspección estricta.

Los planes de muestreo para inspección reducida se encuentran en la Tabla 4-B.

3. EXTRACCION DE MUESTRAS

Las muestras se seleccionan de acuerdo con el párrafo 3.4 de la Sección I-A.

4. PROCEDIMIENTO PARA LA ACEPTACION DE LOTES CONSECUTIVOS

El grado de conformidad de una característica de calidad cuando se establece un doble límite en una especificación debe juzgarse por el porcentaje de producto que no cumple. El porcentaje estimativo de producto que no cumple se obtiene de la Tabla 3-B con el índice de calidad y el tamaño de la muestra.

4.1. Cálculo de los índices de calidad

Se deben calcular los índices de calidad Q_U y Q_L con las siguientes fórmulas $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$ y $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$

Donde:

U = Límite superior de la especificación

L = Límite inferior de la especificación

\bar{X} = Media de la muestra.

s = Desviación normal estimativa del lote

4.3. Porcentaje de defectuosos en un lote

La calidad de un lote se expresa en términos del porcentaje de defectuosos del mismo y se designan por P_L , P_U ó P. El valor P_U indica el grado de conformidad con respecto al límite superior de la especificación P_L para el inferior y P para ambos límites especificados.

P_L y P_U se obtienen de la Tabla 5-B a partir de Q_L y Q_U y el tamaño de la muestra; P se obtiene sumando los valores de P_U y P_L encontrados.

5. CRITERIO DE ACEPTACION Y RESUMEN PARA LA OPERACION DE LOS PLANES DE MUESTREO

5.1. Cuando se establece un solo valor del AQL para ambos límites.

5.1.1. Criterio de aceptación

Se compara el porcentaje estimativo de defectuosos del lote $P = P_U + P_L$ con el porcentaje máximo de defectuosos permisible M . Si P es igual o menor que M , el lote debe aceptarse. Si P es mayor que M o si Q_U ó Q_L o ambos son negativos, el lote debe rechazarse.

5.1.2. Resumen para la operación del plan de muestreo

5.1.2.1. Se determina el tamaño de la muestra (letra código) de la Tabla 2-A empleando los datos correspondientes al tamaño del lote y el nivel de inspección.

5.1.2.2. Se obtiene el plan de muestreo (tamaño de muestra n y el porcentaje máximo de defectuosos permisible M .) de las Tablas maestras 3-B ó 4-B.

5.1.2.3. Se extrae del lote, al azar, la muestra de n unidades, se efectúa la inspección en cada unidad de la muestra y se recopilan las mediciones de la característica de calidad.

5.1.2.4. Se calculan la media de la muestra \bar{X} , la desviación normal estimativa del lote y las cantidades $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$ $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$

5.1.2.5. Se calcula el porcentaje estimativo de defectuosos del lote $P = P_U + P_L$ de la Tabla 3-B

5.1.2.6. Si el porcentaje estimativo de defectuosos del lote P , es igual o menor que el porcentaje máximo de defectuosos permisible M , el lote debe aceptarse. Si P es mayor que M ó si Q_U ó Q_L o ambos son negativos, el lote debe rechazarse.

5.2. Cuando se establecen valores diferentes del AQL para ambos límites.

5.2.1. Criterio de aceptación.

Se comparan los porcentajes estimativos de defectuosos del lote P_L y P_U con los porcentajes máximos de defectuosos permisibles M_L y M_U .

También se compara $P = P_L + P_U$ con el valor que sea mayor de M_L ó M_U . Si P_L es igual o menor que M_L , P_U es igual o menor que M_U o si P es igual o menor que el valor que sea mayor de M_L ó M_U , el lote debe aceptarse de otra manera el lote debe rechazarse. Si Q_L o Q_U o ambos son negativos, debe rechazarse el lote.

5.2.2. Resumen para la operación del plan de muestreo.

5.2.2.1. Se determina el tamaño de la muestra (letra código) de la Tabla 2-A empleando los datos correspondientes al tamaño del lote y el nivel de inspección.

5.2.2.2. Se obtiene el plan de muestreo (tamaño de muestra n y los porcentajes máximos de defectuosos permisibles M_U y M_L tomando en cuenta los valores del AQL para ambos límites) de las Tablas maos - tras 3-B ó 4-B.

5.2.2.3. Se extrae del lote, al azar, la muestra de n unidades, se efectúa la inspección en cada unidad de la muestra y se recopilan las mediciones de la característica de calidad.

5.2.2.4. Se calculan la media de la muestra \bar{X} , la desviación normal estimativa del lote s y las cantidades $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$ y $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$

5.2.2.5. Se determina el porcentaje estimativo de defectuosos del lote P_U y P_L para ambos límites y se calcula el porcentaje total de defectuosos $P = P_U + P_L$.

5.2.2.6. El lote debe aceptarse si se satisfacen las siguientes condiciones:

- a) P_U es igual o menor que M_U
- b) P_L es igual o menor que M_L
- c) P es igual o menor que el valor que sea mayor de M_L y M_U , de otra manera, el lote debe rechazarse ó si Q_U ó Q_L o ambos son negativos.

SIMBOLODEFINICION

n	Tamaño de la muestra para un lote simple.
\bar{X}	Media de la muestra.- Es la media aritmética obtenida de las mediciones de la muestra, de un lote simple.
s	Es la desviación normal estimativa del lote. Es la desviación normal de las mediciones de un lote simple.
U	Límite superior de la especificación.
L	Límite inferior de la especificación.
k	Constante de aceptación que se encuentra en las tablas 1B y 2B.
Q_U	Indice de calidad que se obtiene de la tabla 5-B
Q_L	Indice de calidad que se obtiene de la tabla 5-B
P_U	Porcentaje estimativo de defectuosos de la muestra de un lote, arriba del valor de U que se obtiene de la tabla 5-B.
P_L	Porcentaje estimativo de defectuosos de la muestra de un lote, abajo del valor de L, que se obtiene de la tabla 5-B.
p	Porcentaje total estimativo de defectuosos de la muestra de un lote $p = P_U + P_L$.
M	Porcentaje máximo de defectuosos permisible para la muestra que se obtiene de las tablas 3B y 4B.
M_U	Porcentaje máximo de defectuosos permisible arriba del valor de U que se obtiene de las tablas 3B y 4B. (Se emplean cuando se fijan diferentes valores del AQL para U y L).
M_L	Porcentaje máximo de defectuosos permisible abajo del valor de L que se obtiene de las tablas 3B y 4B. (Se emplean cuando se fijan diferentes valores del AQL para U y L).
\bar{p}	Porcentaje promedio total estimativo de defectuosos del proceso.

- \bar{P}_U Es el promedio estimativo del proceso para el límite superior de una especificación.
- \bar{P}_L Es el promedio estimativo del proceso para el límite inferior de la especificación.
- T Es el número máximo de promedios estimativos del proceso que pueden exceder al valor del AQL, y se obtiene de la tabla 6-B (Se emplea en el caso de establecer una inspección estricta).
- F Factor que se emplea en la determinación de la máxima desviación normal (M.D.N.). Los valores se encuentran en la tabla 8B.

DETERMINACION DEL PROMEDIO ESTIMATIVO DEL PROCESO Y CRITERIOS PARA SEVERIDAD DE LAS INSPECCIONES.

1. DETERMINACION DEL PROMEDIO ESTIMATIVO DEL PROCESO

Promedio del proceso es el porcentaje promedio de defectuosos obtenido de un grupo de lotes, enviados para inspección original.

1.1. Condiciones generales

1.1.1. El promedio estimativo del proceso debe determinarse a partir de los resultados obtenidos de la inspección de las muestras, extraídas de un número determinado de los últimos lotes, con objeto de establecer la severidad de la inspección durante el curso de un contrato.

1.1.2. Para la determinación del promedio estimativo del proceso, se deben tomar en cuenta todos los lotes en cuestión, pero cada uno de ellos debe inspeccionarse una sola vez.

1.1.3. El promedio estimativo del proceso, se designa por \bar{p}_U , \bar{p}_L ó \bar{p} , ya sea que se considere el límite superior, el límite inferior o ambos límites respectivamente.

1.1.4. Los resultados de la inspección del producto que ha sido manufacturado en condiciones de producción no usuales, deben excluirse para el cálculo del promedio del proceso.

1.2. Cálculo del promedio estimativo del proceso

1.2.1. El promedio estimativo del proceso es la media aritmética del porcentaje estimativo de defectuosos de una serie de lotes, calculado a partir de los resultados de la inspección por muestreo de los 10 últimos lotes o cualquier otro número de ellos.

1.2.1.1. Para la determinación del porcentaje estimativo de defectuosos de un lote, deben calcularse los índices de calidad Q_U y/o Q_L con las siguientes fórmulas:

$$Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s} \quad Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$$

1.2.2. Cuando se establece un solo límite en una especificación.

1.2.2.1. El porcentaje estimativo de defectuosos de un lote p_U ó p_L se obtiene de la Tabla 5-B con los índices de calidad Q_U ó Q_L y el tamaño de la muestra para los planes de muestreo basados en el método de la desviación normal.

1.2.2.2. El promedio estimativo del proceso \bar{p}_U es la media aritmética de los p_U de cada lote. Similarmente el promedio estimativo del proceso \bar{p}_L es la media aritmética de los p_L de cada lote.

1.2.3. Cuando se establece un doble límite en una especificación.

1.2.3.1. El porcentaje estimativo de defectuosos de un lote p_U y p_L se obtiene de la Tabla 5-B con los índices de calidad Q_U y Q_L y el tamaño de la muestra para los planes de muestreo basados en el método de la desviación normal.

1.2.3.2. El porcentaje estimativo total de defectuosos del lote es $p = p_U + p_L$. El promedio estimativo del proceso \bar{p} es la media aritmética de los \bar{p} de cada lote.

1.2.4. Caso especial.

1.2.4.1. Si el índice de calidad Q_U ó Q_L es un número negativo, entonces se entra a la Tabla 5-B sin tomar en cuenta el signo. En este caso el porcentaje de defectuosos del lote arriba del límite superior o abajo del límite inferior, se obtiene sustrayendo de 100% el porcentaje encontrado.

Ejemplo:

Si $Q_U = -0.50$ y $Q_L = 1.60$ para una muestra de 50 unidades

$$p_U = 100 - 30.93 = 69.07\%$$

$$p_L = 5.83\%$$

$$p = 69.07\% + 5.33\% = 74.40\%$$

2. SEVERIDAD DE LA INSPECCION

2.1. Al iniciar la inspección

Debe emplearse la inspección normal al comenzar cualquier inspección, a menos que se indique otra cosa.

2.2. Durante la inspección

Durante el curso de la inspección, debe emplearse la inspección normal, a menos que se presenten los casos indicados en 2.3. y 2.4.

2.3. Inspección estricta.

2.3.1 Se debe aplicar la inspección estricta cuando el promedio estimativo del proceso, calculado a partir de los 10 últimos lotes (o cualquier otro número) es mayor que el AQL fijado y cuando en más de un cierto número T de esos lotes, el porcentaje estimativo de defectuosos sea mayor que dicho AQL.

2.3.1.1. Los valores T se encuentran en la Tabla 6-B y están calculados para los últimos 5, 10 y 15 lotes.

2.3.2. La inspección normal se aplica nuevamente cuando el promedio estimativo del proceso de lotes bajo inspección estricta es igual o menor que el AQL fijado.

2.4. Inspección reducida

La inspección reducida se aplica si se cumplen las siguientes condiciones:

2.4.1. Cuando ninguno de los últimos 10 lotes (o cualquier otro número) sometidos a inspección normal, ha sido rechazado.

2.4.2. Cuando el porcentaje estimativo de defectuosos de esos últimos lotes es menor que el límite inferior dado en la Tabla 7-B o si para ciertos planes de muestreo, el porcentaje estimativo de defectuosos es igual a cero para un número determinado de lotes consecutivos (ver Tabla 7-B).

2.4.3. Cuando la producción es ininterrumpida.

2.5. La inspección normal se aplica nuevamente si cualquiera de las siguientes condiciones se presentan durante la inspección reducida.

2.5.1. Se rechaza un lote.

2.5.2. El promedio estimativo del proceso es mayor que el AQL fijado.

2.5.3. La producción llega a hacerse interrumpida o demorada.

2.5.4. Otras condiciones que ameriten que se aplique nuevamente la inspección normal.

2.6. Planes de muestreo para inspecciones estricta y reducida

Los planes de muestreo para las inspecciones reducida y estricta se encuentran en la Sección I-B, Partes I y II.

NOTA 1. Cuando el tamaño de la muestra es diferente en cada lote, se entra a la Tabla 6-B con el tamaño de muestra menor, correspondiente a los lotes de ese grupo para el cálculo del promedio estimativo del proceso.

NOTA 2. Si se emplea el criterio de aceptación de la forma 1 - cuando se establece un solo límite en una especificación - en la aceptación de un lote n , no es posible obtener en este caso los valores de p_U ó p_L para el cálculo del promedio estimado de proceso; por tanto, es necesario seguir los pasos indicados en los párrafos 6.1 y 6.2 de la forma 2.

EJEMPLO DE CALCULO PARA
LA FORMA I

CUANDO SE ESTABLECE UN SOLO LIMITE EN UNA ESPECIFICACION. VA
RIABILIDAD DESCONOCIDA. METODO DE LA DESVIACION NORMAL.

La temperatura máxima de operación para un cierto accesorio es de 209°C y se envia para inspección un lote de 40 unidades. Se establece el nivel de inspección IV y un AQL = 1%. De las Tablas 2-A y 1-B se obtiene una muestra de 5 unidades. Suponiendo que las mediciones efectuadas dan los siguientes valores: 197, 188, 184, 205 y 201, decidir si se acepta ese lote.

<u>Información necesaria</u>	<u>Valor obtenido</u>	<u>Explicación</u>
1. Tamaño de la muestra: n	5	
2. Suma de las mediciones: $\sum X$	975	
3. Suma de los cuadros de las mediciones: $\sum x^2$	190,435	
4. Factor de corrección (FC): $(\sum X)^2/n$	190,125	$(975)^2/5$
5. Suma corregida de los cuadros (SC): $\sum x^2 - FC$	310	$190,435 - 190,125$
6. Variancia (V): $SC/n-1$	77.5	$310/4$
7. Desviación normal, estimativa del lote $s = \sqrt{V}$	8.81	$\sqrt{77.5}$
8. Media de la muestra (\bar{X}): $\sum X/n$	195	$975/5$
9. Límite de la especificación (superior): U	209	
10. La cantidad: $(U - \bar{X})/s$	1.59	$(209-195)/8.81$
11. Constante de aceptación	1.53	(Ver Tabla 1-B)
12. Criterio de aceptación: se compara $\frac{U - \bar{X}}{s}$ con k	1.59 > 1.53	(Ver párrafo 3.2)

El lote se acepta ya que $\frac{U - \bar{X}}{s}$ es mayor que K.

Si se establece el límite inferior L, se calcula el índice de calidad $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$ (10) y se compara con k. El lote se acepta si el valor obtenido es igual o mayor que k.

EJEMPLO DE CALCULO PARA
LA FORMA 2

CUANDO SE ESTABLECE UN SOLO LIMITE EN UNA ESPECIFICACION. VARIABILIDAD DESCOFOCADA. METODO DE LA DESVIACION NORMAL.

La temperatura máxima de operación para un cierto accesorio es de 209°C y se envía para inspección un lote de 40 unidades. Se establece el nivel de inspección IV y un AQL = 1%. De las Tablas 2-A y 1-B se obtiene una muestra de 5 unidades. Suponiendo que las mediciones efectuadas dan los siguientes valores: 197 188; 184; 205 y 201 decidir si se acepta el lote.

<u>Información necesaria</u>	<u>Valor obtenido</u>	<u>Explicación</u>
1. Tamaño de la muestra: n	5	
2. Suma de las mediciones: ΣX	975	
3. Suma de los cuadros de las mediciones: ΣX^2	190,435	
4. Factor de corrección (FC): $(\Sigma X)^2/n$	190,125	$(975)^2/5$
5. Suma corregida de los cuadros (SC): $\Sigma X^2 - FC$	310	190,435 - 190,125
6. Variancia (V): $SC/n-1$	77.5	310/4
7. Desviación normal estimativa del lote (S): V	8.81	$\sqrt{77.5}$
8. Media de la muestra \bar{X} : $\Sigma X/n$	195	975/5
9. Límite de la especificación (superior): U	209	
10. Índice de calidad: $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$	1.59	$\frac{209 - 195}{8.81}$
11. Porcentaje estimativo de defectuosos del lote p_U	2.19%	(Ver Tabla 5-B)
12. Porcentaje máximo de defectuosos permisible M	3.32%	(Ver Tabla 3-B)
13. Criterio de aceptación. Se compara p_U con M.	219% < 3.32%	(Ver párrafo 6.3)

El lote se acepta, ya que p_U es menor que M .

Si se establece el límite inferior L , se calcula el índice de calidad $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$ (10), y se obtiene el porcentaje estimativo de defectuosos del lote p_L , se compara p_L con M . Si este valor es igual o menor que M , se acepta el lote.

EJEMPLO PARA CUANDO SE ESTABLECE UN DOBLE LIMITE
 EN UNA ESPECIFICACION. VARIABILIDAD DESCONOCIDA.
 METODO DE LA DESVIACION NORMAL. SE FIJA UN SOLO
 VALOR DEL AQL PARA AMBOS LIMITES.

La temperatura mínima de operación para un cierto accesorio es de 180°C y la máxima 209°C. Se envía un lote de 40 unidades para la inspección. Se emplea el nivel de inspección IV y un AQL de 1%. De las Tablas 2-A y 3-B se obtiene una muestra de 5 unidades. Suponiendo que las mediciones efectuadas dan los siguientes valores: 197; 188; 184; 205 y 201 decidir si se acepta el lote.

<u>Información necesaria</u>	<u>Valor obtenido</u>	<u>Explicación</u>
1. Tamaño de la muestra: n	5	
2. Suma de las mediciones $\sum X$	975	
3. Suma de los cuadros de las mediciones: $\sum X^2$	190,475	
4. Factor de corrección (FC): $(\sum X)^2/n$	190,125	$(975)^2/5$
5. Suma corregida de los cuadros (SC): $\sum X^2 - CF$	310	190,475 - 190,125 -
6. Variancia V: $SC/n-1$	77.5	310/4
7. Desviación normal estimativo del lote (s): V	8.81	77.5
8. Media de la muestra \bar{X} : $\sum X/n$	195	975/5
9. Límite superior de la especificación: U	209	-
10. Límite inferior de la especificación: L	180	
11. Índice de calidad: $Q_L = \frac{U - \bar{X}}{s}$	1.59	$\frac{209 - 195}{8.81}$
12. Índice de calidad: $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$	1.70	$\frac{195 - 180}{8.81}$
13. Porcentaje estimativo de defectuosos del lote arriba de U: p_U	2.19%	Ver Tabla 5-B
14. Porcentaje estimativo de defectuosos del lote abajo de L: p_L	0.66%	Ver Tabla 5-B
15. Porcentaje total estimativo de defectuosos del lote: $p = p_U + p_L$	2.85%	2.19 + 0.66
16. Porcentaje máximo de defectuosos permisible M	3.32%	Ver Tabla 3-B
17. Criterio de aceptación: se compara p con M	2.85% < 3.32%	ver párrafo 5.1.1
El lote se acepta ya que p es menor que M.		

EJEMPLO PARA CUANDO SE ESTABLECE UN DOBLE LIMITE EN UNA ESPECIFICACION. VARIABILIDAD DESCONOCIDA. METODO DE LA DESVIACION NORMAL. SE FIJAN VALORES DIFERENTES DEL AQL PARA LOS LIMITES.

La temperatura mínima de operación para un cierto accesorio es de 180°C y la máxima 209°C. Se envía un lote de 40 unidades para la inspección. Se emplea el nivel de inspección IV y un AQL de 1%. Se las Tablas 2-A y 3-B se obtiene una muestra de 5 unidades. Suponiendo que las mediciones efectuadas dan los siguientes valores: 197; 188; 184; 205 y 201, decidir si se acepta el lote.

<u>Información necesaria</u>	<u>Valor obtenido</u>	<u>Explicación</u>
1. Tamaño de la muestra: n	5	
2. Suma de las mediciones: $\sum X$	975	
3. Suma de los cuadrados de las mediciones: $\sum X^2$	190,435	
4. Factor de corrección (FC): $(\sum X^2)/n$.	190,125	$(975)^2/5$
5. Suma corregida de los cuadrados (SC): $\sum X^2 - FC$	310	190,435 -
6. Variancia (X): $SC/n-1$	77.5	190,125.
7. Desviación normal estimativa del lote (s): V	8.81	310/4
8. Media de la muestra: $(\bar{X}) = \frac{\sum X}{n}$	195	77.5
9. Límite superior de la especificación: U	209	375/5
10. Límite inferior de la especificación: L	180	
11. Índice de calidad: $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{s}$	1.59	209-195/8.81
12. Índice de calidad: $Q_L = \frac{\bar{X} - L}{s}$	1.70	195-180/8.81
13. Porcentaje estimativo de defectuosos del lote arriba de U: p_U	2.19%	Ver Tabla 5-B
14. Porcentaje estimativo de defectuosos del lote abajo de L: p_L	0.66%	Ver Tabla 5-B
15. Porcentaje total estimativo del lote: $\hat{p} = p_U + p_L$	2.85%	2.19 0.66
16. Porcentaje máximo de defectuosos permisible arriba de U: M_U	3.32%	Ver Tabla 3-B
17. Porcentaje máximo de defectuosos permisible abajo de L: M_L	9.80%	Ver Tabla 3-B
18. Criterio de aceptación		
a) Se compara p_U con M_U	2.19% < 3.32%	Ver párrafo 5.2.2.6.1
b) Se compara p_L con M_L	0.66% < 9.80%	Ver párrafo 5.2.2.6.2.
c) Se compara \hat{p} con M_L	0.85% < 9.80%	Ver párrafo 5.2.2.6.3

T A B L A 1-A

PARA VALORES DEL AQL SE EMPLEA ESTE AQL
QUE SE ENCUENTREN ENTRE:

0.049	0.4
0.050 - 0.069	0.055
0.070 - 0.109	0.10
0.110 - 0.164	0.15
0.165 - 0.279	0.25
0.280 - 0.439	0.40
0.440 - 0.699	0.65
0.700 - 1.09	1.0
1.10 - 1.64	1.5
1.65 - 2.79	2.5
2.80 - 4.39	4.0
4.40 - 6.99	6.5
7.00 - 10.9	10.0
11.00 - 16.4	15.0

T A B L A 2-A

TAMAÑO DEL LOTE	NIVELES DE INSPECCION				
	I	II	III	IV	V
3 - 8'B =	3	B	B	B	C
9 - 15,C =	4	B	B	D	D
16 - 25'D =	5	B	B	B	E
26 - 40,E =	7	B	B	B	F
41 - 65'F =	10	B	B	C	G
66 - 110,G =	15	B	B	D	H
111 - 180'H =	20	B	C	E	I
181 - 300,I =	25	B	D	E	J
301 - 500'J =	30	C	E	G	K
501 - 800,K =	35	D	F	H	L
801 - 1300'L =	40	E	G	I	L
1301 - 3200,M =	50	F	H	J	M
3201 - 8000'N =	75	G	I	L	N
8001 - 22,000'O =	100	H	J	M	O
22,001 - 110,000'P =	150	I	K	N	P
110,001 - 550,000'Q =	200	I	K	N	Q
550,000 -		I	K	P	Q

TABLA 1 - B

Método de la Desviación Normal

Tabla Maestra para Inspecciones Normal y Estricta para Planes Basados en la Variabilidad Desconocida (Un solo Límite en una especificación forma 1).

Letra Código	n	Niveles Aceptables de Calidad (inspección normal)													
		.04'	.065'	.10'	.15'	.25'	.40'	.65'	1.00'	1.50'	2.50'	4.00'	6.50'	10.00'	15.00'
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
B	3									1.12	.958	.765	.566	.341	
C	4							1.45	1.34	1.17	1.01	.814	.617	.393	
D	5						1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	.874	.675	.455	
E	7				2.00	1.88	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	.955	.755	.536	
F	10			2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.601	
G	15	2.64	2.53	2.42	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	.886	.664
H	20	2.69	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917	.695
I	25	2.72	2.61	2.50	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	.936	.712
J	30	2.73	2.61	2.51	2.41	2.28	2.15	2.00	1.86	1.73	1.55	1.36	1.15	.946	.723
K	35	2.77	2.65	2.54	2.45	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.57	1.39	1.18	.969	.745
L	40	2.77	2.66	2.55	2.44	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.58	1.39	1.18	.971	.746
M	50	2.83	2.71	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00	.774
N	75	2.90	2.77	2.65	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03	.804
O	100	2.92	2.80	2.69	2.58	2.43	2.29	2.14	2.00	1.86	1.67	1.48	1.26	1.05	.819
P	150	2.96	2.84	2.73	2.61	2.47	2.33	2.18	2.03	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07	.841
Q	200	2.97	2.85	2.73	2.62	2.47	2.33	2.18	2.04	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07	.845
		.065'	.10'	.15'	.25'	.40'	.65'	1.00'	1.50'	2.50'	4.00'	6.50'	10.00'	15.00'	
Niveles Aceptables de Calidad (inspección reducida)															

Todos los valores del AQL están en porcentaje de defectuosos

Se emplea el plan de muestreo que se encuentra inmediatamente abajo de la flecha, que comprenden de tanto el tamaño de la muestra así como el valor K. Cuando el tamaño de la muestra iguala o excede al tamaño del lote, debe inspeccionarse cada una de las unidades de producto que forman el lote.

n = Tamaño de la muestra.

22

TABLA B Método de la desviación normal
 Tabla Maestra para Inspección reducida para planes basados en la variabilidad desconocida
 (Un solo límite en una especificación forma 2)

Letra Código	n	Niveles Aceptables de Calidad												
		.04'	.065'	.10'	.15'	.25'	.40'	.65'	1.00'	1.50'	2.50'	4.00'	6.50'	10.00'
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
B	3									1.12	.958	.765	.566	.341
C	3									1.12	.958	.765	.566	.341
D	3									1.12	.958	.765	.566	.341
E	3									1.12	.958	.765	.566	.341
F	4							1.45	1.34	1.17	1.01	.814	.617	.393
G	5					1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	.874	.675	.455	
H	7			2.00	1.88	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	.955	.755	.536	
I	10			2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.611
J	10			2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.611
K	15	2.53	2.42	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	.886	.664
L	20	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917	.695
M	20	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917	.695
N	25	2.61	2.50	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	.936	.712
O	30	2.61	2.51	2.41	2.28	2.15	2.00	1.86	1.73	1.55	1.36	1.15	.946	.723
P	50	2.71	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00	.774
Q	75	2.77	2.66	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03	.804

Todos los valores del AQL están en porcentaje de defectuosos.

Se emplea el 1er. plan de muestreo que se encuentra inmediatamente abajo de la flecha que compende tanto el tamaño de muestra, así como el valor K) Cuando el tamaño de la muestra iguala o excede al tamaño del lote, debe inspeccionarse cada una de las unidades de producto que forman el lote.

n = Tamaño de la muestra.

23

TABLA 3 - B

Método de la desviación normal

Tabla muestra para inspecciones normal y estricta para planes basados en la variabilidad

Desconocida
(Doble límite en una especificación y forma 2 para un sólo límite en una especificación)

Letra Código	n	Niveles Aceptables de Calidad (inspección normal)														
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00	
		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
B	3											7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
C	4									1.53	5.50	10.92	16.45	22.86	29.45	36.90
D	5							1.33	3.32	5.83	9.80	14.39	20.19	26.56	33.99	
E	7				0.422	1.06	2.14	3.55	5.35	8.40	12.20	17.35	23.29	30.50		
F	10			0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74	27.57		
G	15	0.099	0.186	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61	
H	20	0.135	0.228	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53	
I	25	0.155	0.250	0.380	0.551	0.877	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97	
J	30	0.179	0.280	0.413	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58	
K	35	0.170	0.264	0.388	0.535	0.847	1.23	1.87	2.68	3.70	5.57	8.10	11.87	16.65	22.91	
L	40	0.179	0.275	0.401	0.566	0.873	1.26	1.88	2.71	3.72	5.58	8.09	11.85	16.61	22.86	
M	50	0.163	0.250	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.20	7.61	11.23	15.87	22.00	
N	75	0.147	0.228	0.330	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.63	15.13	21.11	
O	100	0.145	0.220	0.317	0.447	0.689	1.02	1.53	2.20	3.07	4.69	6.91	10.32	14.75	20.66	
P	150	0.135	0.203	0.293	0.413	0.638	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.20	20.02	
Q	200	0.135	0.204	0.294	0.414	0.637	0.945	1.42	2.04	2.87	4.40	6.53	9.81	14.12	19.92	
		.005	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00		
		Niveles Aceptables de Calidad (inspección estricta)														

Todos los valores del AQL están en porcentaje de defectuosos.

Se emplea el 1er plan de muestreo que se encuentra inmediatamente abajo de la flecha, (que comprende el tamaño de muestra así como el valor M) Cuando el tamaño de la muestra iguala o excede al tamaño del lote, debe inspeccionarse cada una de las unidades de producto que forman el lote.

n = Tamaño de la muestra.

24

TABLA 4 B Método de la desviación normal

Tabla para inspección reducida para planes basados en la variabilidad desconocida
 Doble límite en una especificación y forma 2 para un sólo límite en una especificación

Letra Código	n	Niveles Aceptables de Calidad												
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00
		M	L	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
B	3									7.59	18.80	26.94	33.69	40.47
C	3									7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
D	3									7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
E	3									7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
F	4							1.53	5.50	10.93	16.45	22.86	29.45	36.90
G	5					1.33	3.32	5.83	9.80	14.39	20.19	26.56	33.99	
H	7			0.422	1.06	2.14	3.55	5.35	8.40	12.20	17.35	23.29	30.57	
I	10		0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74	27.57	
J	10		0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74	27.57	
K	15	0.186	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61
L	20	0.228	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53
M	20	0.228	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53
N	25	0.250	0.380	0.551	0.877	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97
O	30	0.280	0.413	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58
P	50	0.250	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.20	7.61	11.23	15.87	22.00
Q	75	0.228	0.330	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.63	15.13	21.11

Todos los valores del AQL están en porcentaje de defectuosos

Se emplea el 1er. plan de muestreo que se encuentra inmediatamente abajo de la flecha (que comprende, tanto el tamaño de muestra, así como el valor M) Cuando el tamaño de la muestra iguala o excede al tamaño del lote debe inspeccionarse cada una de las unidades de producto que forman el lote.

n = Tamaño de la muestra.

Tabla 5 - B

Tabla para la determinación del porcentaje estimativo de defectuosos del lote.

Q ₁	Tamaño de la muestra															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
.1	47.34	45.67	46.44	46.20	46.16	46.10	46.08	46.06	46.05	46.05	46.04	46.04	46.03	46.03	46.02	46.02
.2	44.46	43.33	42.90	42.54	42.35	42.24	42.19	42.15	42.15	42.13	42.13	42.11	42.10	42.03	42.08	42.08
.3	41.63	40.00	39.37	38.87	38.60	38.44	38.37	38.33	38.31	38.29	38.28	38.27	38.25	38.24	38.22	38.22
.31	41.33	39.67	39.02	38.50	36.23	36.06	37.99	37.95	37.93	37.91	37.90	37.89	37.87	37.86	37.84	37.84
.32	41.06	39.33	36.67	36.14	37.86	37.69	37.62	37.58	37.55	37.54	37.52	37.51	37.49	37.43	37.46	37.46
.33	40.77	39.00	36.32	37.78	37.49	37.31	37.24	37.20	37.18	37.16	37.15	37.13	37.11	37.10	37.09	37.08
.34	40.49	38.67	37.97	37.42	37.12	36.94	36.87	36.83	36.80	36.78	36.77	36.75	36.73	36.72	36.71	36.71
.35	40.20	38.37	37.62	37.06	36.75	36.57	36.49	36.45	36.43	36.41	36.40	36.38	36.36	36.35	36.33	36.33
.36	39.91	38.00	37.28	36.69	36.38	36.20	36.12	36.08	36.05	36.04	36.02	36.01	35.98	35.97	35.95	35.96
.37	39.62	37.67	36.93	36.33	36.02	35.83	35.75	35.71	35.68	35.66	35.65	35.63	35.61	35.60	35.59	35.58
.38	39.33	37.33	36.58	35.98	35.65	35.46	35.38	35.34	35.31	35.29	35.28	35.26	35.24	35.23	35.22	35.21
.39	39.03	37.00	36.25	35.62	35.29	35.10	35.01	34.97	34.94	34.93	34.91	34.89	34.87	34.86	34.84	34.84
.40	38.74	36.67	35.83	35.26	34.93	34.73	34.65	34.60	34.58	34.56	34.54	34.53	34.50	34.43	34.48	34.47
.41	38.45	36.33	35.54	34.90	34.57	34.37	34.28	34.24	34.21	34.19	34.18	34.16	34.13	34.12	34.11	34.10
.42	38.15	36.00	35.19	34.55	34.21	34.00	33.92	33.87	33.85	33.83	33.81	33.79	33.77	33.75	33.74	33.74
.43	37.85	35.67	34.85	34.19	33.85	33.64	33.56	33.51	33.48	33.46	33.45	33.43	33.40	33.39	33.38	33.37
.44	37.56	35.33	34.50	33.84	33.49	33.28	33.20	33.15	33.12	33.10	33.09	33.07	33.04	33.03	33.02	33.01
.45	37.26	35.00	34.16	33.49	33.13	32.92	32.84	32.79	32.76	32.74	32.73	32.71	32.68	32.67	32.66	32.65
.46	36.96	34.67	33.81	33.12	32.78	32.57	32.48	32.43	32.40	32.38	32.37	32.35	32.32	32.31	32.30	32.29
.47	36.66	34.33	33.47	32.78	32.42	32.21	32.12	32.07	32.04	32.02	32.01	31.99	31.96	31.95	31.94	31.93
.48	36.35	34.00	33.12	32.42	32.07	31.85	31.77	31.72	31.69	31.67	31.65	31.63	31.61	31.60	31.58	31.58
.49	36.05	33.67	32.78	32.08	31.72	31.50	31.41	31.36	31.33	31.31	31.30	31.28	31.25	31.24	31.23	31.22
50	35.75	33.33	32.44	31.74	31.37	31.15	31.06	31.01	30.98	30.96	30.95	30.93	30.90	30.89	30.87	30.87
.51	35.44	33.00	32.10	31.39	31.02	30.80	30.71	30.66	30.63	30.61	30.60	30.57	30.55	30.54	30.52	30.52
.52	35.13	32.67	31.70	31.04	30.67	30.45	30.36	30.31	30.28	30.26	30.25	30.23	30.20	30.19	30.17	30.17
53	34.82	32.33	31.42	30.70	30.32	30.10	30.01	29.96	29.93	29.91	29.90	29.88	29.85	29.84	29.83	29.82
54	34.51	32.00	31.08	30.36	29.96	29.76	29.67	29.62	29.59	29.57	29.55	29.53	29.53	29.51	29.48	29.48
55	34.20	31.67	30.74	30.01	29.64	29.41	29.32	29.27	29.24	29.22	29.21	29.19	29.16	29.15	29.14	29.13
56	33.88	31.33	30.40	29.67	29.29	29.07	28.96	28.93	28.90	28.88	28.87	28.85	28.82	28.81	28.79	28.79
57	33.57	31.00	30.06	29.33	28.95	28.73	28.64	28.59	28.56	28.54	28.53	28.51	28.48	28.47	28.45	28.45
58	33.25	30.67	29.73	28.99	28.61	28.39	28.30	28.25	28.22	28.20	28.19	28.17	28.14	28.13	28.12	28.11
.59	32.93	30.33	29.39	28.66	28.28	28.05	27.96	27.92	27.89	27.87	27.85	27.83	27.81	27.79	27.78	27.77

92

TABLA - B
Tabla para la determinación del porcentaje estimativo de defectuosos el lote. Método de la desviación normal

C ₁	Tamaño de la muestra															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
.60	32.61	30.00	29.00	23.32	27.94	27.72	27.63	27.58	27.55	27.53	27.52	27.50	27.47	27.46	27.45	27.44
.61	32.28	29.67	28.72	27.96	27.60	27.39	27.30	27.25	27.22	27.20	27.18	27.16	27.14	27.13	27.11	27.11
.62	31.96	29.33	28.50	27.65	27.27	27.05	26.96	26.92	26.89	26.87	26.85	26.83	26.81	26.30	26.78	26.78
.63	31.63	29.00	28.05	27.32	26.94	26.72	26.63	26.59	26.56	26.54	26.52	26.50	26.48	26.47	26.45	26.45
.64	31.30	28.67	27.72	26.99	26.61	26.39	26.31	26.26	26.23	26.21	26.20	26.18	26.15	26.14	23.13	23.12
.65	30.97	28.33	27.37	26.66	26.28	26.07	25.98	25.93	25.90	25.88	25.87	25.85	25.83	25.32	25.80	25.80
.66	30.63	28.00	27.06	26.33	25.96	25.74	25.66	25.61	25.58	25.56	25.55	25.53	25.51	25.49	25.48	25.48
.67	30.30	27.67	26.73	26.00	25.63	25.42	25.33	25.29	25.26	25.24	25.23	25.21	25.19	25.17	25.16	25.16
.68	29.96	27.33	26.40	25.68	25.31	25.10	25.01	24.97	24.94	24.92	24.91	24.89	24.87	24.36	24.84	24.84
.69	29.61	27.00	26.07	25.35	24.99	24.78	24.70	24.65	24.62	24.60	24.59	24.57	24.55	24.54	24.53	24.52
.70	29.27	26.67	25.74	25.03	24.67	24.46	24.38	24.33	24.31	24.29	24.28	24.26	24.24	24.23	24.21	24.21
.71	28.92	26.33	25.41	24.71	24.35	24.15	24.06	24.02	23.99	23.98	23.96	23.95	23.92	23.91	23.90	23.90
.72	28.57	26.00	25.07	24.39	24.03	23.83	23.75	23.71	23.68	23.67	23.65	23.64	23.61	23.60	23.59	23.59
.73	28.22	25.67	24.76	24.07	23.72	23.52	23.44	23.40	23.37	23.36	23.34	23.33	23.31	23.30	23.29	23.28
.74	27.86	25.33	24.44	23.75	23.41	23.21	23.13	23.09	23.07	23.05	23.04	23.02	23.00	22.99	22.98	22.98
.75	27.50	25.00	24.11	23.44	23.10	22.90	22.83	22.79	22.76	22.75	22.73	22.72	22.70	22.69	22.68	22.67
.76	27.13	24.67	23.79	23.12	22.79	22.60	22.52	22.48	22.46	22.44	22.43	22.42	22.40	22.39	22.38	22.37
.77	26.77	24.33	23.47	22.81	22.48	22.30	22.22	22.18	22.16	22.14	22.13	22.12	22.10	22.09	22.08	22.08
.78	26.39	24.00	23.15	22.50	22.18	21.99	21.92	21.89	21.86	21.85	21.84	21.82	21.80	21.79	21.78	21.78
.79	26.02	23.67	22.83	22.19	21.87	21.70	21.63	21.59	21.57	21.55	21.54	21.53	21.51	21.50	21.49	21.49
.80	25.64	23.33	22.51	21.88	21.57	21.40	21.33	21.29	21.27	21.26	21.25	21.23	21.22	21.21	21.20	21.20
.81	25.25	23.00	22.19	21.58	21.27	21.10	21.04	21.00	20.98	20.97	20.96	20.95	20.93	20.92	20.91	20.91
.82	24.86	22.67	21.87	21.27	20.98	20.81	20.75	20.71	20.69	20.68	20.67	20.65	20.64	20.63	20.62	20.62
.83	24.47	22.33	21.56	20.97	20.68	20.52	20.46	20.42	20.40	20.39	20.38	20.37	20.35	20.35	20.34	20.34
.84	24.07	22.00	21.24	20.67	20.39	20.23	20.17	20.14	20.12	20.11	20.10	20.09	20.07	20.06	20.06	20.05
.85	23.67	21.67	20.93	20.37	20.10	19.94	19.89	19.86	19.84	19.82	19.82	19.80	19.79	19.78	19.78	19.77
.86	23.26	21.33	20.62	20.07	19.81	19.66	19.60	19.57	19.56	19.54	19.54	19.53	19.51	19.51	19.50	19.50
.87	22.84	21.00	20.31	19.78	19.52	19.38	19.32	19.30	19.28	19.27	19.26	19.25	19.24	19.23	19.22	19.22
.88	22.42	20.67	20.00	19.48	19.23	19.10	19.04	19.02	19.00	18.99	18.98	18.98	18.96	18.96	18.95	18.95
.89	21.99	20.33	19.69	19.19	18.95	18.82	18.77	18.74	18.73	18.72	18.71	18.70	18.69	18.69	18.68	18.68

22

TABLA 5 - B
 Tabla para la determinación del porcentaje estimativo de defectuosos del lote ^{estudo de la desviación} normal

n	Tamaño de la Muestra															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
.90	21.35	20.00	19.33	18.90	18.27	18.54	18.50	18.47	18.46	18.45	18.44	18.43	18.42	18.42	18.41	18.41
.91	21.11	19.67	19.07	18.61	18.39	18.27	18.22	18.20	18.19	18.18	18.17	18.17	18.16	18.15	18.15	18.15
.92	20.66	19.33	18.77	18.32	18.11	18.00	17.96	17.94	17.92	17.92	17.91	17.90	17.89	17.89	17.88	17.88
.93	20.20	19.00	18.46	18.04	17.84	17.73	17.69	17.67	17.66	17.65	17.65	17.64	17.63	17.63	17.62	17.62
.94	19.74	18.67	18.16	17.76	17.57	17.46	17.43	17.41	17.40	17.39	17.39	17.38	17.37	17.37	17.36	17.36
.95	19.25	18.35	17.86	17.48	17.29	17.20	17.17	17.15	17.14	17.13	17.13	17.12	17.12	17.11	17.11	17.11
.96	18.76	18.00	17.55	17.20	17.03	16.94	16.91	16.89	16.88	16.88	16.87	16.87	16.86	16.86	16.86	16.85
.97	18.25	17.67	17.25	16.92	16.76	16.68	16.65	16.63	16.63	16.62	16.62	16.61	16.61	16.61	16.60	16.60
.98	17.74	17.35	16.96	16.65	16.49	16.42	16.39	16.38	16.37	16.37	16.37	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36
.99	17.21	17.00	16.65	16.37	16.23	16.16	16.14	16.13	16.12	16.12	16.12	16.12	16.11	16.11	16.11	16.11
1.00	16.67	16.67	16.36	16.10	15.97	15.91	15.89	15.88	15.88	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87
1.01	16.11	16.35	16.07	15.83	15.72	15.66	15.64	15.63	15.63	15.63	15.63	15.63	15.62	15.62	15.62	15.62
1.02	15.53	16.00	15.78	15.56	15.46	15.41	15.40	15.39	15.39	15.39	15.39	15.38	15.38	15.38	15.38	15.38
1.03	14.93	15.67	15.43	15.30	15.21	15.17	15.15	15.15	15.15	15.15	15.15	15.15	15.15	15.15	15.15	15.15
1.04	14.31	15.33	15.17	15.03	14.96	14.92	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91
1.05	13.66	15.00	14.81	14.77	14.71	14.68	14.67	14.67	14.67	14.67	14.67	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68
1.06	12.96	14.67	14.62	14.51	14.46	14.44	14.44	14.44	14.44	14.44	14.44	14.44	14.45	14.45	14.45	14.45
1.07	12.27	14.33	14.33	14.26	14.22	14.20	14.20	14.21	14.21	14.21	14.21	14.21	14.22	14.22	14.22	14.23
1.08	11.51	14.00	14.05	14.00	13.97	13.97	13.97	13.98	13.98	13.98	13.98	13.99	13.99	13.99	14.00	14.00
1.09	10.71	13.67	13.75	13.75	13.73	13.74	13.74	13.75	13.75	13.75	13.76	13.76	13.77	13.77	13.77	13.78
1.10	9.84	13.33	13.40	13.45	13.50	13.51	13.52	13.52	13.53	13.54	13.54	13.54	13.55	13.55	13.56	13.56
1.11	8.89	13.00	13.20	13.25	13.26	13.28	13.29	13.30	13.31	13.31	13.32	13.32	13.33	13.34	13.34	13.34
1.12	7.82	12.67	12.93	13.00	13.03	13.05	13.07	13.08	13.09	13.10	13.10	13.11	13.12	13.12	13.12	13.13
1.13	6.60	12.33	12.65	12.75	12.80	12.83	12.85	12.86	12.87	12.88	12.89	12.89	12.90	12.91	12.91	12.92
1.14	5.08	12.00	12.37	12.51	12.57	12.61	12.63	12.65	12.66	12.67	12.67	12.68	12.69	12.70	12.70	12.70
1.15	0.29	11.67	12.10	12.27	12.34	12.39	12.42	12.44	12.45	12.46	12.46	12.47	12.48	12.49	12.49	12.50
1.16	0.00	11.33	11.83	12.02	12.12	12.18	12.21	12.22	12.24	12.25	12.25	12.26	12.28	12.29	12.29	12.29
1.17	0.00	11.00	11.56	11.79	11.90	11.96	12.00	12.02	12.03	12.04	12.05	12.06	12.07	12.08	12.08	12.09
1.18	0.00	10.67	11.29	11.56	11.68	11.75	11.79	11.81	11.82	11.84	11.84	11.85	11.87	11.88	11.88	11.89
1.19	0.00	10.33	11.02	11.32	11.46	11.54	11.58	11.61	11.62	11.63	11.64	11.65	11.67	11.68	11.69	11.69

88

..//..

Tabla F 1.1 Determinación del porcentaje estimado de defectuosos del lote Método de la desviación normal. TABLA - B

C ₁	Tamaño de la muestra															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
1.20	0.00	10.00	10.76	11.10	11.24	11.34	11.38	11.41	11.42	11.43	11.44	11.46	11.47	11.48	11.49	11.49
1.21	0.00	9.67	10.50	10.87	11.03	11.13	11.18	11.21	11.22	11.24	11.25	11.26	11.28	11.29	11.30	11.30
1.22	0.00	9.33	10.23	10.65	10.82	10.93	10.98	11.01	11.03	11.04	11.05	11.07	11.09	11.09	11.10	11.11
1.23	0.00	9.00	9.87	10.42	10.61	10.73	10.78	10.81	10.84	10.85	10.86	10.88	10.90	10.91	10.91	10.92
1.24	0.00	8.67	9.72	10.20	10.41	10.53	10.59	10.62	10.64	10.66	10.67	10.69	10.71	10.72	10.73	10.73
1.25	0.00	8.33	9.46	9.98	10.21	10.34	10.40	10.43	10.46	10.47	10.48	10.50	10.52	10.53	10.54	10.55
1.26	0.00	8.00	9.21	9.77	10.00	10.15	10.21	10.25	10.27	10.29	10.30	10.32	10.34	10.35	10.36	10.37
1.27	0.00	7.67	8.96	9.55	9.81	9.96	10.02	10.06	10.09	10.10	10.12	10.13	10.16	10.17	10.18	10.19
1.28	0.00	7.33	8.71	9.34	9.61	9.77	9.84	9.88	9.90	9.92	9.94	9.95	9.98	9.99	10.00	10.01
1.29	0.00	7.00	8.46	9.13	9.42	9.58	9.65	9.70	9.72	9.74	9.76	9.78	9.80	9.82	9.83	9.83
1.30	0.00	6.67	8.21	8.93	9.22	9.40	9.48	9.52	9.55	9.57	9.58	9.60	9.63	9.64	9.65	9.66
1.31	0.00	6.33	7.97	8.72	9.03	9.22	9.30	9.34	9.37	9.39	9.41	9.43	9.46	9.47	9.48	9.49
1.32	0.00	6.00	7.77	8.52	8.85	9.04	9.12	9.17	9.20	9.22	9.24	9.26	9.29	9.30	9.31	9.32
1.33	0.00	5.67	7.47	8.32	8.66	8.86	8.95	9.00	9.03	9.05	9.07	9.09	9.12	9.13	9.15	9.15
1.34	0.00	5.33	7.25	8.12	8.48	8.69	8.78	8.83	8.86	8.88	8.90	8.92	8.95	8.97	8.98	8.99
1.35	0.00	5.00	7.02	7.92	8.30	8.52	8.61	8.66	8.69	8.72	8.74	8.76	8.79	8.81	8.82	8.83
1.36	0.00	4.67	6.79	7.73	8.12	8.35	8.44	8.50	8.53	8.55	8.57	8.60	8.63	8.65	8.66	8.67
1.37	0.00	4.33	6.56	7.54	7.95	8.18	8.28	8.33	8.37	8.39	8.41	8.44	8.47	8.49	8.50	8.51
1.38	0.00	4.00	6.33	7.35	7.77	8.01	8.12	8.17	8.21	8.24	8.25	8.28	8.31	8.33	8.35	8.35
1.39	0.00	3.67	6.10	7.17	7.60	7.85	7.96	8.01	8.05	8.08	8.10	8.12	8.16	8.18	8.19	8.20
1.40	0.00	3.33	5.83	6.98	7.44	7.69	7.80	7.86	7.90	7.92	7.94	7.97	8.01	8.02	8.04	8.05
1.41	0.00	3.00	5.66	6.80	7.27	7.53	7.64	7.70	7.74	7.77	7.79	7.82	7.86	7.87	7.89	7.90
1.42	0.00	2.67	5.44	6.62	7.10	7.37	7.49	7.55	7.59	7.62	7.64	7.67	7.71	7.73	7.74	7.75
1.43	0.00	2.33	5.23	6.45	6.94	7.22	7.34	7.40	7.44	7.47	7.50	7.52	7.56	7.58	7.60	7.61
1.44	0.00	2.00	5.01	6.27	6.78	7.07	7.19	7.26	7.30	7.33	7.35	7.38	7.42	7.44	7.46	7.47
1.45	0.00	1.67	4.81	6.10	6.63	6.92	7.04	7.11	7.15	7.18	7.21	7.24	7.28	7.30	7.31	7.33
1.46	0.00	1.33	4.60	5.93	6.47	6.77	6.90	6.97	7.01	7.04	7.07	7.10	7.14	7.16	7.18	7.19
1.47	0.00	1.00	4.59	5.77	6.32	6.63	6.75	6.83	6.87	6.90	6.93	6.96	7.00	7.02	7.04	7.05
1.48	0.00	.67	4.19	5.60	6.17	6.48	6.61	6.69	6.73	6.77	6.79	6.82	6.86	6.88	6.90	6.91
1.49	0.00	.33	3.99	5.44	6.02	6.34	6.48	6.55	6.60	6.63	6.65	6.69	6.73	6.75	6.77	6.78

TABLA 5 - B
 Tabla para la determinación del porcentaje estimativo de defectuosos del lote método de la desviación normal

Q o u Q ₁	Tamaño de la Muestra															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
1.50	0.00	0.00	3.80	4.28	5.87	6.20	6.34	6.41	6.46	6.50	6.52	6.55	6.60	6.62	6.64	6.65
1.51	0.00	0.00	3.61	5.13	5.73	6.06	6.20	6.28	6.33	6.36	6.39	6.42	6.47	6.49	6.51	6.52
1.52	0.00	0.00	3.42	4.97	5.59	5.93	6.07	6.15	6.20	6.23	6.26	6.29	6.34	6.36	6.38	6.39
1.53	0.00	0.00	3.25	4.82	5.45	5.80	5.94	6.02	6.07	6.11	6.13	6.17	6.21	6.24	6.26	6.27
1.54	0.00	0.00	3.05	4.67	5.31	5.67	5.81	5.89	5.95	5.98	6.01	6.04	6.09	6.11	6.13	6.15
1.55	0.00	0.00	2.87	4.52	5.18	5.54	5.69	5.77	5.82	5.86	5.88	5.92	5.97	5.99	6.01	6.02
1.56	0.00	0.00	2.69	4.38	5.05	5.41	5.56	5.65	5.70	5.74	5.76	5.80	5.85	5.87	5.89	5.90
1.57	0.00	0.00	2.52	4.24	4.92	5.29	5.44	5.53	5.58	5.62	5.64	5.68	5.73	5.75	5.78	5.79
1.58	0.00	0.00	2.35	4.10	4.79	5.16	5.32	5.41	5.46	5.50	5.53	5.56	5.61	5.64	5.66	5.67
1.59	0.00	0.00	2.19	3.96	4.66	5.04	5.20	5.29	5.34	5.38	5.41	5.45	5.50	5.52	5.54	5.56
1.60	0.00	0.00	2.03	3.83	4.54	4.92	5.09	5.17	5.23	5.27	5.30	5.33	5.38	5.41	5.43	5.44
1.61	0.00	0.00	1.87	3.69	4.41	4.81	4.97	5.06	5.12	5.16	5.18	5.22	5.27	5.30	5.32	5.33
1.62	0.00	0.00	1.72	3.57	4.30	4.69	4.66	4.95	5.01	5.04	5.07	5.11	5.16	5.19	5.21	5.23
1.63	0.00	0.00	1.57	3.44	4.18	4.58	4.75	4.84	4.90	4.94	4.97	5.01	5.06	5.08	5.11	5.12
1.64	0.00	0.00	1.42	3.31	4.06	4.47	4.64	4.73	4.79	4.83	4.86	4.90	4.95	4.98	5.00	5.01
1.65	0.00	0.00	1.23	3.19	3.95	4.36	4.53	4.62	4.68	4.72	4.75	4.79	4.85	4.87	4.90	4.91
1.66	0.00	0.00	1.15	3.07	3.84	4.25	4.43	4.52	4.58	4.62	4.65	4.69	4.74	4.77	4.80	4.81
1.67	0.00	0.00	1.02	2.95	3.73	4.15	4.32	4.42	4.48	4.52	4.55	4.59	4.64	4.67	4.70	4.71
1.68	0.00	0.00	0.89	2.84	3.62	4.05	4.22	4.32	4.38	4.42	4.45	4.49	4.55	4.57	4.60	4.61
1.69	0.00	0.00	0.77	2.73	3.52	3.94	4.12	4.22	4.28	4.32	4.35	4.39	4.45	4.47	4.50	4.51
1.70	0.00	0.00	0.66	2.62	3.41	3.84	4.02	4.12	4.18	4.22	4.25	4.30	4.35	4.38	4.41	4.42
1.71	0.00	0.00	0.55	2.51	3.31	3.75	3.93	4.02	4.09	4.13	4.16	4.20	4.26	4.29	4.31	4.32
1.72	0.00	0.00	0.45	2.41	3.21	3.65	3.83	3.93	3.99	4.04	4.07	4.11	4.17	4.19	4.22	4.23
1.73	0.00	0.00	0.36	2.30	3.11	3.56	3.74	3.84	3.90	3.94	3.98	4.02	4.08	4.10	4.13	4.14
1.74	0.00	0.00	0.27	2.20	3.02	3.46	3.65	3.75	3.81	3.85	3.89	3.93	3.99	4.01	4.04	4.05
1.75	0.00	0.00	0.19	2.11	2.93	3.37	3.56	3.66	3.72	3.77	3.80	3.84	3.90	3.93	3.95	3.97
1.76	0.00	0.00	0.12	2.01	2.83	3.28	3.47	3.57	3.63	3.68	3.71	3.76	3.81	3.84	3.87	3.88
1.77	0.00	0.00	0.06	1.92	2.74	3.20	3.38	3.48	3.55	3.59	3.63	3.67	3.73	3.76	3.78	3.80
1.78	0.00	0.00	0.02	1.83	2.66	3.11	3.30	3.40	3.47	3.51	3.54	3.59	3.64	3.67	3.70	3.71
1.79	0.00	0.00	0.00	1.74	2.57	3.03	3.21	3.32	3.38	3.43	3.46	3.51	3.56	3.59	3.63	3.63

30

.../...

TABLA - B
 Pabla para la determinación del porcentaje estimativo de defectuosos del lote Método de la desviación normal

Z	Tamaño de la Muestra.															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
1.80	0.00	0.00	0.00	1.55	2.49	2.94	3.13	3.24	3.30	3.35	3.38	3.43	3.48	3.51	3.54	3.55
1.81	0.00	0.00	0.00	1.57	2.40	2.86	3.05	3.16	3.22	3.27	3.30	3.35	3.40	3.43	3.46	3.47
1.82	0.00	0.00	0.00	1.49	2.32	2.79	2.98	3.08	3.15	3.19	3.22	3.27	3.33	3.36	3.38	3.40
1.83	0.00	0.00	0.00	1.51	2.25	2.71	2.90	3.00	3.07	3.11	3.15	3.19	3.25	3.28	3.31	3.32
1.84	0.00	0.00	0.00	1.54	2.17	2.63	2.82	2.93	2.99	3.04	3.07	3.12	3.18	3.21	3.23	3.25
1.85	0.00	0.00	0.00	1.26	2.09	2.56	2.75	2.85	2.92	2.97	3.00	3.05	3.10	3.13	3.16	3.17
1.86	0.00	0.00	0.00	1.29	2.02	2.48	2.68	2.78	2.85	2.89	2.93	2.97	3.03	3.06	3.09	3.10
1.87	0.00	0.00	0.00	1.12	1.95	2.41	2.61	2.71	2.78	2.82	2.86	2.90	2.96	2.99	3.02	3.03
1.88	0.00	0.00	0.00	1.06	1.88	2.34	2.54	2.64	2.71	2.75	2.79	2.83	2.89	2.92	2.95	2.96
1.89	0.00	0.00	0.00	0.79	1.81	2.28	2.47	2.57	2.64	2.69	2.72	2.77	2.83	2.85	2.88	2.90
1.90	0.00	0.00	0.00	0.93	1.75	2.21	2.40	2.51	2.57	2.62	2.65	2.70	2.76	2.79	2.82	2.83
1.91	0.00	0.00	0.00	0.87	1.68	2.14	2.34	2.44	2.51	2.56	2.59	2.63	2.69	2.72	2.75	2.77
1.92	0.00	0.00	0.00	0.31	1.62	2.08	2.27	2.38	2.45	2.49	2.52	2.57	2.63	2.66	2.69	2.70
1.93	0.00	0.00	0.00	0.76	1.56	2.02	2.21	2.32	2.38	2.43	2.46	2.51	2.57	2.60	2.62	2.64
1.94	0.00	0.00	0.00	0.70	1.50	1.96	2.15	2.25	2.32	2.37	2.40	2.45	2.51	2.54	2.56	2.58
1.95	0.00	0.00	0.00	0.57	1.44	1.90	2.09	2.19	2.26	2.31	2.34	2.39	2.45	2.48	2.50	2.52
1.96	0.00	0.00	0.00	0.60	1.38	1.84	2.03	2.14	2.20	2.25	2.28	2.33	2.39	2.42	2.44	2.46
1.97	0.00	0.00	0.00	0.56	1.33	1.78	1.97	2.08	2.14	2.19	2.22	2.27	2.33	2.36	2.39	2.40
1.98	0.00	0.00	0.00	0.51	1.27	1.73	1.92	2.02	2.09	2.13	2.17	2.21	2.27	2.30	2.33	2.34
1.99	0.00	0.00	0.00	0.47	1.22	1.67	1.86	1.97	2.03	2.08	2.11	2.16	2.22	2.25	2.27	2.29
2.00	0.00	0.00	0.00	0.43	1.17	1.62	1.81	1.91	1.98	2.03	2.06	2.10	2.16	2.19	2.22	2.23
2.01	0.00	0.00	0.00	0.39	1.12	1.57	1.76	1.86	1.93	1.97	2.01	2.05	2.11	2.14	2.17	2.18
2.02	0.00	0.00	0.00	0.36	1.07	1.52	1.71	1.81	1.87	1.92	1.95	2.00	2.06	2.09	2.11	2.13
2.03	0.00	0.00	0.00	0.32	1.03	1.47	1.66	1.76	1.82	1.87	1.90	1.95	2.01	2.04	2.06	2.08
2.04	0.00	0.00	0.00	0.29	0.98	1.42	1.61	1.71	1.77	1.82	1.85	1.90	1.96	1.99	2.01	2.03
2.05	0.00	0.00	0.00	0.26	0.94	1.37	1.56	1.66	1.73	1.77	1.80	1.85	1.91	1.94	1.96	1.98
2.06	0.00	0.00	0.00	0.23	0.90	1.33	1.51	1.61	1.68	1.72	1.76	1.80	1.86	1.89	1.92	1.93
2.07	0.00	0.00	0.00	0.21	0.86	1.28	1.47	1.57	1.63	1.68	1.71	1.76	1.81	1.84	1.87	1.88
2.08	0.00	0.00	0.00	0.18	0.82	1.24	1.42	1.52	1.59	1.63	1.66	1.71	1.77	1.79	1.82	1.84
2.09	0.00	0.00	0.00	0.16	0.78	1.20	1.38	1.48	1.54	1.59	1.62	1.66	1.72	1.75	1.78	1.79

TABLA 5 - B
 Tabla para la determinación del porcentaje estimativo de defectuosos del lote Método de la desviación normal.

C u e l l	Tamaño de la Muestra															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
2.10	0.00	0.00	0.00	0.14	0.74	1.16	1.34	1.44	1.50	1.54	1.58	1.62	1.68	1.71	1.73	1.75
2.11	0.00	0.00	0.00	0.12	0.71	1.12	1.30	1.39	1.46	1.50	1.53	1.58	1.63	1.66	1.69	1.70
2.12	0.00	0.00	0.00	0.10	0.67	1.08	1.26	1.35	1.42	1.46	1.49	1.54	1.59	1.62	1.65	1.66
2.13	0.00	0.00	0.00	0.08	0.64	1.04	1.22	1.31	1.38	1.42	1.45	1.50	1.55	1.58	1.61	1.62
2.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.61	1.00	1.18	1.28	1.34	1.38	1.41	1.46	1.51	1.54	1.57	1.58
2.15	0.00	0.00	0.00	0.06	0.58	0.97	1.14	1.24	1.30	1.34	1.37	1.42	1.47	1.50	1.53	1.54
2.16	0.00	0.00	0.00	0.05	0.55	0.93	1.10	1.20	1.26	1.30	1.34	1.38	1.43	1.46	1.49	1.50
2.17	0.00	0.00	0.00	0.04	0.52	0.90	1.07	1.16	1.22	1.27	1.30	1.34	1.40	1.42	1.45	1.46
2.18	0.00	0.00	0.00	0.03	0.49	0.87	1.03	1.13	1.19	1.23	1.26	1.30	1.36	1.39	1.41	1.42
2.19	0.00	0.00	0.00	0.02	0.46	0.83	1.00	1.09	1.15	1.20	1.23	1.27	1.32	1.35	1.38	1.39
2.20	0.000	0.000	0.000	0.015	0.437	0.803	0.968	1.061	1.120	1.161	1.192	1.233	1.287	1.314	1.340	1.352
2.21	0.000	0.000	0.000	0.010	0.413	0.772	0.936	1.028	1.087	1.128	1.158	1.199	1.253	1.279	1.305	1.318
2.22	0.000	0.000	0.000	0.006	0.389	0.743	0.905	0.996	1.054	1.095	1.125	1.166	1.219	1.245	1.271	1.283
2.23	0.000	0.000	0.000	0.003	0.366	0.715	0.875	0.965	1.023	1.063	1.093	1.134	1.186	1.212	1.238	1.250
2.24	0.000	0.000	0.000	0.002	0.345	0.687	0.845	0.935	0.992	1.032	1.061	1.102	1.154	1.180	1.205	1.218
2.25	0.000	0.000	0.000	0.001	0.324	0.660	0.816	0.905	0.962	1.002	1.031	1.071	1.123	1.148	1.173	1.186
2.26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.304	0.634	0.789	0.876	0.933	0.972	1.001	1.041	1.092	1.117	1.142	1.155
2.27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.285	0.609	0.762	0.848	0.904	0.943	0.972	1.011	1.062	1.087	1.112	1.124
2.28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.267	0.585	0.735	0.821	0.876	0.915	0.943	0.982	1.033	1.058	1.082	1.094
2.29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.561	0.710	0.794	0.849	0.887	0.915	0.954	1.004	1.029	1.053	1.065
2.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.233	0.538	0.685	0.769	0.823	0.861	0.888	0.927	0.977	1.001	1.025	1.037
2.31	0.000	0.000	0.000	0.000	0.218	0.516	0.661	0.743	0.797	0.834	0.862	0.900	0.949	0.974	0.997	1.009
2.32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.203	0.495	0.637	0.719	0.772	0.809	0.836	0.874	0.923	0.947	0.971	0.982
2.33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.189	0.474	0.614	0.695	0.748	0.784	0.811	0.848	0.897	0.921	0.944	0.956
2.34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.175	0.454	0.592	0.672	0.724	0.760	0.787	0.824	0.872	0.895	0.915	0.930
2.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.163	0.435	0.571	0.650	0.701	0.736	0.763	0.799	0.847	0.870	0.893	0.905
2.36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.151	0.416	0.550	0.628	0.678	0.714	0.740	0.776	0.823	0.846	0.869	0.880
2.37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.139	0.398	0.530	0.606	0.656	0.691	0.717	0.753	0.799	0.822	0.845	0.856
2.38	0.000	0.000	0.000	0.000	0.128	0.381	0.510	0.586	0.635	0.670	0.695	0.730	0.777	0.799	0.822	0.833
2.39	0.000	0.000	0.000	0.000	0.118	0.364	0.491	0.566	0.614	0.648	0.674	0.709	0.757	0.779	0.802	0.813

W
R

TABLA 5 -B

Tabla para la determinación del porcentaje estimado de defectuosos del lote empleando el método de desviación normal.

Qu o Q1	Tamaño de la muestra															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
2.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.069	0.130	0.171	0.200	0.230	0.236	0.258	0.288	0.302	0.317	0.325
2.71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.064	0.124	0.164	0.192	0.212	0.227	0.249	0.278	0.293	0.307	0.315
2.72	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.118	0.157	0.184	0.204	0.219	0.241	0.269	0.283	0.298	0.305
2.73	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.112	0.151	0.177	0.197	0.211	0.232	0.260	0.274	0.288	0.296
2.74	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.107	0.144	0.170	0.189	0.204	0.224	0.252	0.266	0.279	0.285
2.75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.102	0.138	0.163	0.182	0.196	0.216	0.243	0.257	0.271	0.277
2.76	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.097	0.132	0.157	0.175	0.189	0.209	0.235	0.249	0.262	0.269
2.77	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.092	0.126	0.151	0.168	0.182	0.201	0.227	0.241	0.254	0.260
2.78	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.087	0.121	0.145	0.162	0.175	0.194	0.220	0.233	0.246	0.252
2.79	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.083	0.115	0.139	0.156	0.169	0.187	0.212	0.225	0.238	0.244
2.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.079	0.110	0.133	0.150	0.162	0.181	0.205	0.218	0.230	0.237
2.81	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.075	0.105	0.128	0.144	0.156	0.174	0.198	0.211	0.223	0.229
2.82	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.071	0.101	0.122	0.138	0.150	0.168	0.192	0.204	0.216	0.222
2.83	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.067	0.096	0.117	0.133	0.145	0.162	0.185	0.197	0.209	0.215
2.84	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.064	0.092	0.112	0.128	0.139	0.156	0.179	0.190	0.202	0.208
2.85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.060	0.088	0.108	0.122	0.134	0.150	0.173	0.184	0.195	0.201
2.86	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.057	0.084	0.103	0.118	0.129	0.145	0.167	0.178	0.189	0.195
2.87	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.054	0.080	0.099	0.113	0.124	0.139	0.161	0.172	0.183	0.188
2.88	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.051	0.076	0.094	0.108	0.119	0.134	0.155	0.166	0.177	0.182
2.89	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.048	0.073	0.090	0.104	0.114	0.129	0.150	0.160	0.171	0.176
2.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.046	0.069	0.087	0.100	0.110	0.125	0.145	0.155	0.165	0.171
2.91	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.043	0.066	0.083	0.096	0.106	0.120	0.140	0.150	0.160	0.165
2.92	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.041	0.063	0.079	0.092	0.101	0.115	0.135	0.145	0.155	0.160
2.93	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.038	0.060	0.076	0.088	0.097	0.111	0.130	0.140	0.149	0.154
2.94	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.036	0.057	0.072	0.084	0.093	0.107	0.125	0.135	0.144	0.149
2.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.034	0.054	0.069	0.081	0.090	0.103	0.121	0.130	0.140	0.144
2.96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.032	0.051	0.066	0.077	0.086	0.099	0.117	0.126	0.135	0.140
2.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.030	0.049	0.063	0.074	0.083	0.095	0.112	0.121	0.130	0.135
2.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.028	0.046	0.060	0.071	0.079	0.091	0.108	0.117	0.126	0.130
2.99	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.027	0.044	0.057	0.068	0.076	0.088	0.104	0.113	0.122	0.126



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES
para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Editorial

UN RECURSO PARA SER MEJORES

P

or la responsabilidad que implica la construcción de la infraestructura de una nación, el aseguramiento de la calidad es un elemento intrínseco en la formación de los ingenieros civiles. En la gerencia de proyectos, diseño, procuración, puesta en operación y conservación de obras, el control de cada paso y cada elemento no puede estar librado a decisiones arbitrarias.

En la gran mayoría de los casos, se pone de manifiesto la responsabilidad de los ingenieros mexicanos en el ejercicio de su profesión, como atestiguan las grandes obras de infraestructura que cubren el país. Es por ello que, dado como obvio el control de la calidad en su trabajo, muchos se resisten a los controles de calidad externos o a la implementación de normas.

Sin embargo, el afán por ser mejores, la evolución del comercio mundial y un mercado globalizado y altamente competido, obligan a extremar las medidas para no perder espacios y conquistar nuevos.

Para enfrentar estos desafíos, primero debemos reconocer la existencia de prejuicios frente a la normatividad de los sistemas de control de calidad; en segundo lugar, aceptar que en el corto plazo ésta será imprescindible y, finalmente, entender que su aplicación redundará en la optimización de resultados.

Quiénes hacen de la calidad un elemento primordial de su trabajo, enfrentarán con éxito la aplicación de un control sistematizado. En definitiva, si realmente somos conscientes de que hacemos las cosas bien y de que podemos mejorarlas, la aplicación de una normatividad del control de calidad no será un "obstáculo" a salvar, sino un recurso para ser mejores.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

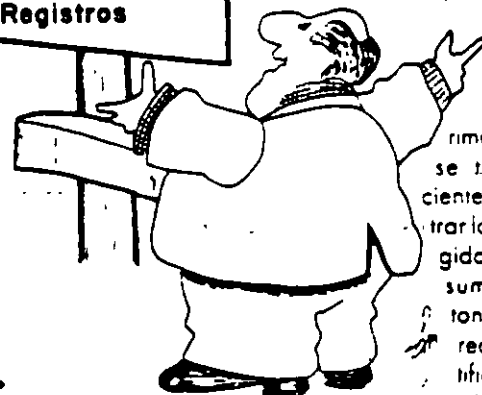
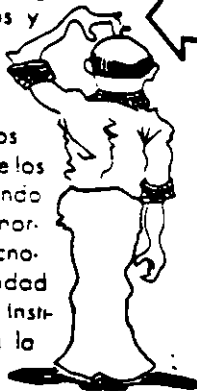
NORMALIZACION, CERTIFICACION Y ACREDITAMIENTO

DR. MERCEDES IRIENNE ALFONDRÉ

Directora general del Instituto Mexicano de Normalización y Certificación AC

A principios de siglo e incipiente despegue industrial de la potencia americana se encontró con el obstáculo de un enorme caos, tanto en los sistemas de medición como en las magnitudes y pruebas de productos industriales con un mismo uso. La heterogeneidad predominante dificultaba procesos básicos, como la reposición de partes. Las diferencias en los tamaños y diseños de las vías de ferrocarril, por ejemplo, obligaban a realizar transportes de pasaje y carga con mayores costos y pérdidas de tiempo.

El Departamento Nacional de Normas de Estados Unidos destacó como uno de los más activos del mundo en formulación de normas y desarrollo tecnológico. En la actualidad su lugar lo ocupa el Instituto Nacional para la Ciencia y la Tecnología.



Al igual que en las demás potencias industriales, en Estados Unidos el desarrollo de la normalización permitió alcanzar cierto grado de calidad en la producción de manufacturas y sirvió como argumento de venta. Al paso del tiempo, la normalización no bastó para satisfacer a los consumidores, que exigieron pruebas de la calidad de sus adquisiciones. Más tarde se encontró que muchas de esas pruebas eran deficientes y suscitaban juicios erróneos sobre la calidad de los productos, de manera que los consumidores demandaron que se realizaran

en laboratorios acreditados. Este requerimiento también se tornó insuficiente para demostrar la calidad exigida por los consumidores. Entonces, se debió recurrir a la certificación de la calidad, aplica-

Para consolidar la aplicación de normas del comercio internacional, así como la certificación respectiva, es necesario un gran esfuerzo para cambiar actitudes anacrónicas en los sectores público, privado, educativo y de investigación y desarrollo tecnológico. Lejos de ser algo fútil, la tarea de demostrar la existencia de calidad contribuye a sentar nuevas bases para el crecimiento económico.

de empresas y concesión de marcas. La certificación, es decir, la expresión documental del cumplimiento de normas, también se aplica en las transacciones comerciales tanto de manera voluntaria o cuanto obligatoria.

Como se mencionó, el cambio en los conceptos de comercialización obliga a los vendedores a demostrar que los bienes o servicios cumplen con normas de algún tipo para protección de los consumidores. Este hecho significa que se debe certificar la calidad respectiva.

La certificación puede realizarse por medio de una declaración de los productores que garantice el acatamiento de normas, la comprobación por cada comprador o el testimonio de un tercero. Esta última opción implica recurrir a organismos competentes imparciales que puedan verificar el cumplimiento de normas, expedir los certificados respectivos y, según el caso, otorgar los registros o las marcas correspondientes.

Para facilitar las transacciones comerciales, conviene armonizar las normas. Una acción semejante respecto a las operaciones de los laboratorios de pruebas, unidades de verificación y organismos certificadores, puede evitar que se conviertan en barreras adicionales para el intercambio.

Las transacciones comerciales, en particular las que se hacen a distancia, deben cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Proteger y satisfacer al consumidor
- ✓ Cuidar el ambiente.
- ✓ Impedir la competencia desleal.
- ✓ Exigir responsabilidad legal sobre productos o servicios defectuosos
- ✓ Evitar duplicidad de pruebas y reconocer los resultados, aceptar marcas y certificados.

El reconocimiento de la calidad entre países exige armo-

nizar los sistemas de medición, los de normalización, los juicios de calidad, los procedimientos de prueba e incluso las legislaciones. Tal armonización, en marcha ya en algunas regiones, busca simplificar e intercambio entre los agentes económicos, pero también consolidar la libre circulación de productos, procesos, servicios y personas.

Para consolidar la aplicación de normas del comercio internacional, así como la certificación respectiva, es necesario un gran esfuerzo para cambiar actitudes anacrónicas en los sectores público, privado, educativo y de investigación y desarrollo tecnológico. Lejos de ser algo fútil, la tarea de demostrar la existencia de calidad contribuye a sentar nuevas bases para el crecimiento económico.

OBJETIVOS DE LA NORMALIZACION

Además de eliminar los obstáculos técnicos en el comercio otro objetivo clave de la normalización es fijar las mismas reglas del juego para las partes involucradas. Conviene aplicar normas internacionales o armonizar las existentes, de modo que se faciliten los procesos de certificación y acreditamiento. Para ello se requiere:

- ✓ Aceptar las mismas normas (armonizadas o compatibles)
- ✓ Acreditar a los organismos que hagan las calibraciones, pruebas, verificaciones y certificaciones, los cuales tendrán que utilizar procedimientos, normalizados o armonizados
- ✓ Certificar conforme a normas certificadas expedidas en el país de origen
- ✓ Documentar la forma como operan los organismos acreditadores públicos y privados, para demostrar su competencia técnica, la confiabilidad de sus sistemas de trabajo y la imparcialidad que deben mantener

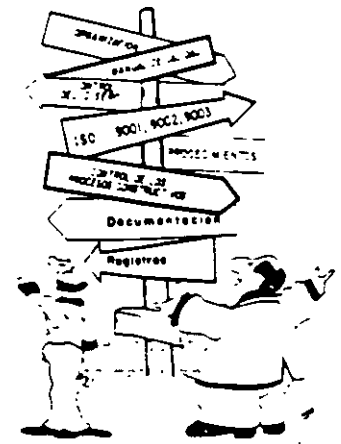
Las experiencias en los países más avanzados muestran que los sistemas de metrología, normalización y evaluación de la calidad no surgen por generación espontánea. Para instituirlos se debe combinar el funcionamiento de una estructura legal específica con acciones congruentes en los aspectos de organización, investigación, educación y cambio de actitudes cuyos efectos suelen surgir después de un largo periodo. Por ello, se requiere iniciar cuanto antes los esfuerzos pertinentes en los países que pretenden tener una presencia más importante en el comercio internacional: con el beneficio correlativo para su comercio interno.

NORMALIZACION REGIONAL

En la Unión Europea, por ejemplo, se brinda un fuerte impulso al desarrollo de los procesos para certificar la calidad. Con base en un nuevo enfoque para la armonización técnica y la normalización, en el Viejo Continente se emprendieron las siguientes acciones:

- ✓ Limitar las legislaciones y fijar, en su lugar, requisitos básicos por medio de directivas que se deben cumplir para proteger la salud y seguridad de los consumidores y evitar el deterioro del ambiente.
- ✓ Describir normas regionales acordadas por todos los miembros de la Unión Europea, para que los proveedores cuenten con un conjunto de normas técnicas, cuya aplicación "permite presuponer la conformidad o el incumplimiento con los requisitos esenciales" expresados en las directivas.

Las normas europeas armonizadas son de carácter voluntario pero los proveedores deben tener en cuenta que participar en el mercado exige demostrar el cumplimiento de los requisitos establecidos en las directivas, para cualquier producto o familia de productos. >



Habida cuenta de que la aplicación adecuada de las normas constituye una herramienta para facilitar la producción y la aceptación de bienes y servicios, en algunos casos, se pueden asumir las normas internacionales como propias, quizás con algunas adaptaciones simples.

Cuando es posible y congruente con los avances tecnológicos, las condiciones culturales y hasta las climáticas, se aceptan y adoptan normas internacionales.

✓ Concertar los compromisos de promover los instrumentos comunes para facilitar el reconocimiento mutuo de la evaluación de conformidad.

✓ Establecer el principio de "no discriminación", de modo que se otorgue un trato igualitario a los sistemas de evaluación para certificar y obtener la marca de calidad de la Unión Europea.

EVALUACION DE LA CONFORMIDAD Y RECONOCIMIENTO MUTUOS

Para que las consideraciones que sustentan la evaluación del cumplimiento de normas (conformidad) sean armónicas, en la Unión Europea se ha buscado desarrollar los instrumentos necesarios para su operación tales como:

✓ El reconocimiento de las normas europeas sobre aseguramiento de sistemas de calidad, equivalentes a las series 9000 y 10000 de la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés).

✓ La aceptación de los sistemas ISO para la certificación de productos y, con base en ellos, el diseño de ocho módulos de evaluación aplicables a las directivas. Tales módulos se identifican con la letra A hasta la H, se aplican solos o en combinaciones para juzgar la calidad y otorgar la marca CE, distintiva de la Unión Europea.

✓ El acreditamiento de organismos de pruebas, calibraciones, inspecciones y de los propios acreditadores.

✓ La promoción de organizaciones europeas para obtener acuerdos multilaterales de aceptación.

De los reconocimientos mutuos entre organismos de prueba y certificación se encargan

ellos mismos, ya que los gobiernos de los países miembros no participan, por la naturaleza privada de los acuerdos correspondientes. Igual sucede en la aceptación recíproca de pruebas y certificados por compradores y proveedores. No obstante se pueden pactar reconocimientos intergubernamentales mediante acuerdos entre las autoridades de los países involucradas.

LA NORMALIZACION EN AMERICA DEL NORTE

En contraste con el desarrollo de la certificación de la calidad entre los países de la Unión Europea, en el bloque comercial norteamericano que integran Canadá, Estados Unidos y México, las actividades respectivas aun se encuentran en una etapa incipiente. Ha habido avances en el sector eléctrico y de telecomunicaciones, donde se realizan reuniones bilaterales para compatibilizar sistemas normativos.

Apenas se expidieron las disposiciones generales en materia de normalización que se derivan del TLC de América del Norte. De acuerdo con ellas:

✓ Cada país conservará el derecho de adoptar, aplicar y hacer cumplir sus propias normas.

✓ Las diferentes normas no se utilizarán para impedir el acceso de productos entre los tres países.

✓ Se procurará hacer compatibles las normas, con base en las disposiciones internacionales.

✓ Se establecieron procedimientos para comprobar que las normas se apliquen correctamente y evitar obstáculos en las exportaciones.

Para lograr estos cuatro objetivos se instituyó el Comité de Normas y Regulaciones Técnicas de América del Norte, con las tareas primordiales de formular definiciones científicas de las normas, hacer compatibles las disposiciones de los

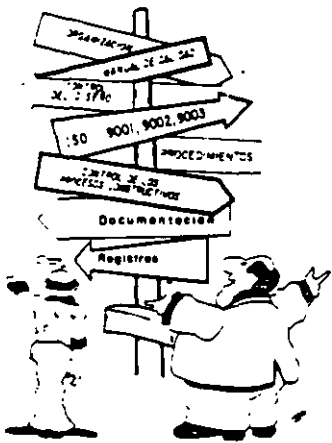
tres países y vigilar la aplicación y el cumplimiento de las mismas.

CONCLUSIONES

El surgimiento de bloques comerciales en la ruta hacia la globalización económica mundial y los grandes cambios en los sistemas de comercialización exigen que se definan criterios de aplicación general para juzgar la calidad de los productos y servicios de intercambio. Ello obliga a que los países trabajen para establecer y armonizar las normas pertinentes, procurando eliminar desventajas y mantener la equidad de las relaciones comerciales internas y externas de acuerdo con los principios de la Organización Mundial de Comercio (OMC).

La capacidad técnica para acreditar laboratorios de pruebas y calibración, unidades de verificación y organismos de certificación, proporciona herramientas básicas para hacer cumplir el principio básico de una norma, armonizar y no imponer o aceptar sin más lo que otros establecen. En ello existe una amplia ventaja de las naciones avanzadas respecto a los países que todavía buscan el desarrollo. En estos debe impulsarse la formación de recursos humanos calificados en estos campos, para poder participar con opiniones propias en la armonización de las normas y el establecimiento de criterios sobre cómo mejorar la calidad, sin especular con ella.

Las normas y la certificación de servicios y productos, empresas y personas, deben contribuir al logro de la calidad, no representar barreras técnicas disfrazadas para las transacciones y el desarrollo de las empresas. Las normas resultantes de un buen provecho en que participan los representantes de todos los sectores involucrados constituyen, sin duda, herramientas útiles para el progreso de las actividades corres-



La capacidad técnica para acreditar laboratorios de pruebas y calibración, unidades de verificación y organismos de certificación, proporciona herramientas básicas para hacer cumplir el principio básico de una norma: armonizar y no imponer o aceptar sin más lo que otros establecen.

pendientes y resultan de fácil aceptación. Por el contrario, las normas inconsultas corren un enorme riesgo de ser inadecuadas y de implantación difícil.

Para lograr el reconocimiento recíproco entre países de los sistemas de acreditamiento, resultados de pruebas, dictámenes de inspección y certificados de conformidad, es indispensable que exista una confianza mutua fundada tanto en los recursos técnicos disponibles cuanto en la competencia para utilizarlos. En los trabajos de acreditamiento y certificación, también puede aplicarse la sentencia popular de que "Poseer la mejor herramienta no significa ser el mejor obrero".

Más allá de representar un buen argumento de venta, la certificación y el acreditamiento de la calidad brinda a las empresas la seguridad de que ofre-



ce "lo mejor", la certeza de que funciona bien y la oportunidad de demostrarlo públicamente. Tales herramientas, desde luego, no sirven mucho si se carece de una estructura productiva y de servicios en que se pueda aplicar. Para que pueda desarrollarse la calidad, deben existir empresas y mercados sólidos.

La certificación y el acreditamiento de la calidad brinda a las empresas la seguridad de que ofrece "lo mejor", la certeza de que funciona bien y la oportunidad de demostrarlo públicamente.

BREVE HISTORIA DE LA NORMATIVA ISO/9000

Los sistemas de aseguramiento de calidad tuvieron sus orígenes durante la Segunda Guerra Mundial y fue en la industria militar, aeroespacial y nuclear donde tuvieron su principal desarrollo.

En Estados Unidos se crearon las normas MIL-Q-9858 y MIL-1-4508 y en los años cincuenta se utilizó el aseguramiento de calidad en proyectos nucleares y espaciales, aplicándose la norma ANSI Núm. Z39.50.

En los años setenta, Inglaterra edita las normas de aseguramiento de calidad para industrias manufactureras, denominadas serie BS-5750.

No fue sino hasta 1980 cuando se constituye el Comité Técnico 176 de la Organización Internacional de Estándares (ISO), el cual, en 1987, dio a conocer la normativa ISO serie 9000, con la intención de normalizar todo lo referente a los sistemas de aseguramiento de calidad.

Es importante mencionar que las normas británicas BS-5750 se tomaron como base para generar las normas ISO-9000 y que la versión actualizada de estas últimas se editó en 1994.

Mercedes Iruete A

¿QUE SON LAS NORMAS NMX-CC/ISO 9000?

La Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) es una organización internacional, no gubernamental, de carácter técnico, que tiene como objetivo elaborar normas internacionales con el propósito de mejorar la calidad, la productividad, la comunicación y el comercio.

ISO cuenta con un acervo de normas, dentro de las cuales se han destacado las relacionadas con la calidad, conocidas como serie ISO 9000.

La serie de normas ISO 9000 está integrada por un conjunto de normas de aseguramiento de calidad que tiene como objetivo definir lineamientos generales para administrar la calidad.

Con base en estas normas, es posible desarrollar e implantar un sistema de calidad en la empresa, de tal manera que se asegure y demuestre el cumplimiento continuo de los requisitos del cliente.

La serie de normas ISO 9000 está integrada por seis normas, las cuales han sido traducidas por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Sistemas de Calidad Mexicano (COTENNSISCAL), el cual ha preparado y difundido una edición mexicana equivalente a la de ISO. Esta serie de normas mexicanas ha sido publicada por el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. (IMNC), como Serie NMX-CC, con lo cual queda validada por la Dirección General de Normas de SECOFI. Así mismo, la serie NMX-CC cuenta con la aprobación de ISO.

EQUIVALENCIAS ENTRE NMX-CC E ISO-9000

A continuación describimos brevemente la equivalencia entre las normas NMX-CC e ISO

9000, así como su contenido básico.

NMX-CC-1

Sistemas de calidad. Vocabulario / ISO 8402 *Sistemas de calidad Vocabulario.* Presenta los términos y definiciones usados en la disciplina de la calidad, con el fin de facilitar la comunicación entre especialistas y el uso de las normas de la serie NMX-CC/ISO-9000.

NMX-CC-2

Sistemas de calidad. Guía para la selección y uso de normas de aseguramiento de calidad/ISO 9000 *Sistemas de calidad. Guías para selección y uso.* Esta norma tiene como objetivo establecer la relación entre los diversos conceptos de calidad, así como definir los criterios de uso de las normas NMX-CC-3/ISO 9001, NMX-CC-4/ISO 9002, NMX-CC-5/ISO 9003 y NMX-CC-6/ISO-9004.

NMX-CC-3

Modelo de aseguramiento de calidad para el diseño, proyecto, fabricación, instalación y servicio / ISO 9001 *Modelo de aseguramiento de calidad en diseño, proyecto, fabricación, instalación y servicio.* Esta norma establece los requisitos de calidad que debe cumplir contractualmente el sistema de calidad en una empresa que necesita demostrar su capacidad para diseñar, fabricar, instalar y dar servicio a un producto.

NMX-CC-4

Modelo para el aseguramiento de calidad aplicable a la fabricación e instalación / ISO 9002 *Modelo de aseguramiento de calidad para la fabricación, instalación y servicio.* Esta norma establece los requisitos que debe cumplir contractualmente el sistema de calidad de una empresa que necesita demostrar su capacidad para fabricar, instalar y dar servicio a un producto.

NMX-CC-5

Modelo para el aseguramiento de calidad para la inspección y pruebas finales / ISO 9003 *Modelo de aseguramiento de calidad para la inspección y pruebas finales.* Esta norma establece los requisitos que debe cumplir contractualmente el sistema de calidad de una empresa que necesita demostrar su capacidad para efectuar inspección y pruebas finales.

NMX-CC-6

Gestión de la calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales / ISO 9004 *Administración de la calidad y elementos de un sistema de calidad.* Esta norma describe los elementos que conforman un sistema de calidad para que cada empresa los analice, seleccione los más adecuados a su organización y los implante como un sistema de calidad interno □

Este material fue proporcionado por el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C.

EXPERIENCIAS EN LAS OBRAS CIVILES DE CFE

ING. EDMUNDO MORENO GOMEZ

Gerente de Ingeniería Experimental y Construcción de la CFE

Creemos que se ha avanzado considerablemente en la aceptación y reconocimiento de las ventajas que representan estos sistemas de aseguramiento de calidad, pues en casi todas las obras, conforme avanzó la construcción, los problemas se fueron resolviendo y los contratistas terminaron aplicando en forma efectiva sus correspondientes sistemas de aseguramiento de calidad.

Actualmente, en la Comisión Federal de Electricidad (CFE), las bases de los concursos incluyen sistemáticamente el requerimiento de la aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad, tanto para los constructores como para los grupos de supervisión. Por cierto, esta práctica se hace cada vez más extensiva, para trabajos de empresas tanto públicas como privadas y se convierte en una necesidad ante la apertura del mercado a otros países.

Para el caso de la construcción de obras convencionales, y a pesar de haber promovido su aplicación desde hace unos cinco años, principalmente en proyectos contratados bajo la modalidad "llave en mano",

estos requisitos representan un en estos días asombro y en no pocos casos cierto enojo de los contratistas por considerar como impráctica y exagerada la aplicación de un Sistema de Aseguramiento de Calidad (SAC) máxime en contratos de menor cuantía. Esta forma de reaccionar es casi natural y explicable, tomando en consideración que tanto la metodología para la aplicación de este tipo de sistemas, como las ventajas obtenidas, han sido poco difundidas en nuestro medio y, por tanto, su implantación provoca incertidumbre.

Un ejemplo de este tipo de reacción es lo ocurrido en el laboratorio de obras civiles de la CFE, cuando, al final de los sesenta, hubo la necesidad de

aplicar un sistema de aseguramiento de calidad para convertirse en "proveedor confiable" en el área de materiales para la fabricación de los concretos para el proyecto nucleoelectrico de Laguna Verde. En ese momento, el requerimiento de un SAC parecía una ofensa y un sistema innecesario, ya que se había adquirido una gran experiencia de 1958 a 1978 al participar directamente en los estudios de bancos de materiales, diseño de mezclas y supervisión en la fabricación-colocación de concretos de todo tipo, con volúmenes acumulados de varios millones de metros cúbicos, empleados para la construcción de las grandes obras hidroeléctricas y termoeléctricas que se realizó en ese

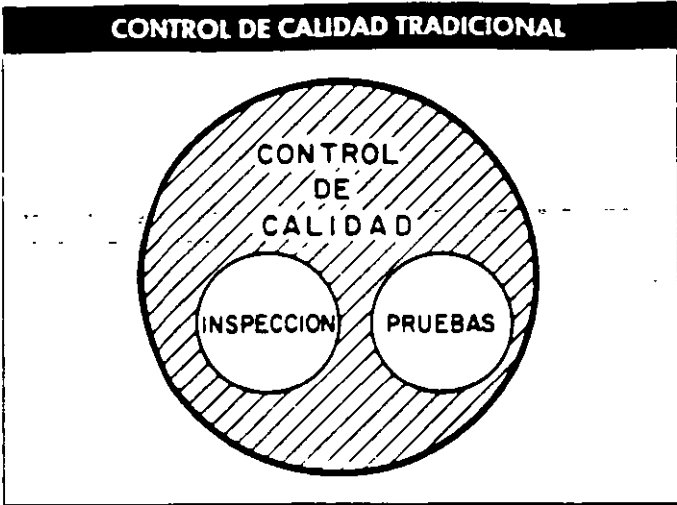
periodo, razón por la cual no se consideraba necesario modificar los sistemas de control hasta entonces utilizados.

La realidad del cambio no resultó tan traumática y, finalmente se tradujo, no en hacer algo diferente, sino en documentar lo que a la fecha se venía haciendo bien; esto es, hacerlo en una forma más ordenada incluyendo el desarrollo de procedimientos de trabajo, la normalización de los métodos de ejecución de las actividades, la implantación de estructuras operativas de organización, planeación de funciones, establecimiento de niveles mínimos de calificación del personal, estrictos programas de calibración de equipos, etcétera.

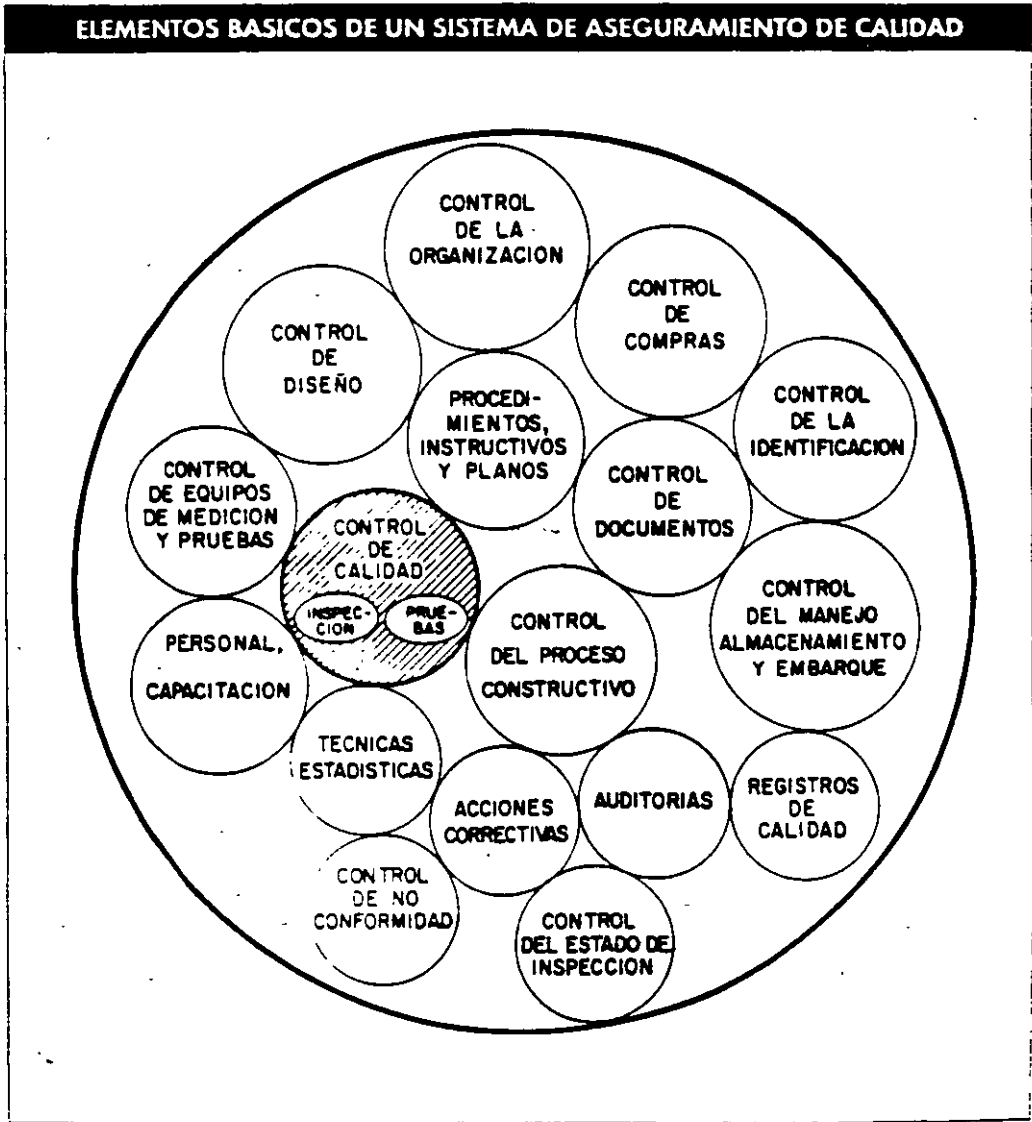
ma adecuada, incrementa la confiabilidad y seguridad de la instalación, reduce los costos

de construcción, así como los de operación y mantenimiento, y se logra finalmente un aumento

CONTROL DE CALIDAD TRADICIONAL



ELEMENTOS BASICOS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD



PERO, EXACTAMENTE, ¿QUE ES EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD?

El aseguramiento de calidad tuvo sus inicios en la industria militar y aeroespacial de los Estados Unidos, en los años cincuenta y principio de los sesenta; prosiguió su madurez con la aplicación en la industria nuclear a partir de 1969, y culmina en 1987 con la emisión de la serie de normas 9000 de la Organización Internacional de Normalización (ISO), en la que se establecen los requisitos de aplicación de estos sistemas para la industria convencional.

Según las diferentes normas de calidad aplicables actualmente, se define el aseguramiento de calidad como: "el conjunto de acciones planeadas, sistematizadas y documentadas, necesarias para obtener una confianza razonable de que todos los materiales, componentes, equipos o sistemas se comportarán satisfactoriamente durante el tiempo que deben conservarse en servicio".

De acuerdo con la definición anterior, la aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad implantado en for-

La aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad implantado en forma adecuada, incrementa la confiabilidad y seguridad de la instalación, reduce los costos de construcción, así como los de operación y mantenimiento, y se logra finalmente un aumento de la disponibilidad de los equipos o sistemas.

to de la disponibilidad de los equipos o sistemas.

El conjunto de acciones que es necesario considerar para establecer un sistema de aseguramiento de calidad, se encuentra definido en las normas existentes en la materia, tales como las normas ISO Serie 9000, cuyos elementos básicos se indican en las figuras comparativas entre los sistemas (página 17).

EVOLUCION DE LA VERIFICACION DE LA CALIDAD EN LAS OBRAS CIVILES DE LA CFE (HASTA 1990)

Como se señaló al principio, antes de la construcción de la planta nuclear Laguna Verde, la verificación de la calidad de las obras civiles de CFE se llevaba a cabo mediante las tradicionales técnicas de control de

calidad, supervisión directa en obra, complementada con estudios de campo, laboratorio y gabinete, según lo requiera la complejidad de las obras en proceso. Además, en este periodo, toda la responsabilidad sobre la calidad la adquiría la CFE, la cual inclusive entregaba el cemento y el acero de refuerzo al contratista, y así mismo se encargaba de instalar y operar los laboratorios de control de campo.

Para llevar a cabo estas actividades, la CFE creó en 1960 los laboratorios de obras civiles (actualmente Gerencia de Ingeniería Experimental y Control, GIEC), que, además de las áreas de concreto (materiales) y mecánica de suelos, incluyó el primer laboratorio de mecánica de rocas en México (para el estudio y solución de los problemas ligados con las grandes excavaciones a cielo abierto o subterráneas que contemplaban los proyectos hidroeléctricos en proceso), así como un grupo innovador a nivel mundial para estudiar el comportamiento de las presas bajo diferentes solicitudes de carga estática o dinámica (sismos), mediante la instalación de instrumentos de medición en el interior de las mismas y su posterior lectura e interpretación de los resultados.

Al iniciar la construcción de la planta nuclear Laguna Verde, Ingeniería Experimental inicia su contacto con el aseguramiento de la calidad aplicado a las centrales nucleares e implanta en su Laboratorio de Materiales un sistema de calidad que cumple con los requisitos establecidos por dicho proyecto para sus proveedores de servicios.

A finales de la década de los ochenta, la CFE propone el establecimiento de un sistema de aseguramiento de calidad en todas sus actividades, iniciando la elaboración de los Manuales de Calidad con base en la normativa

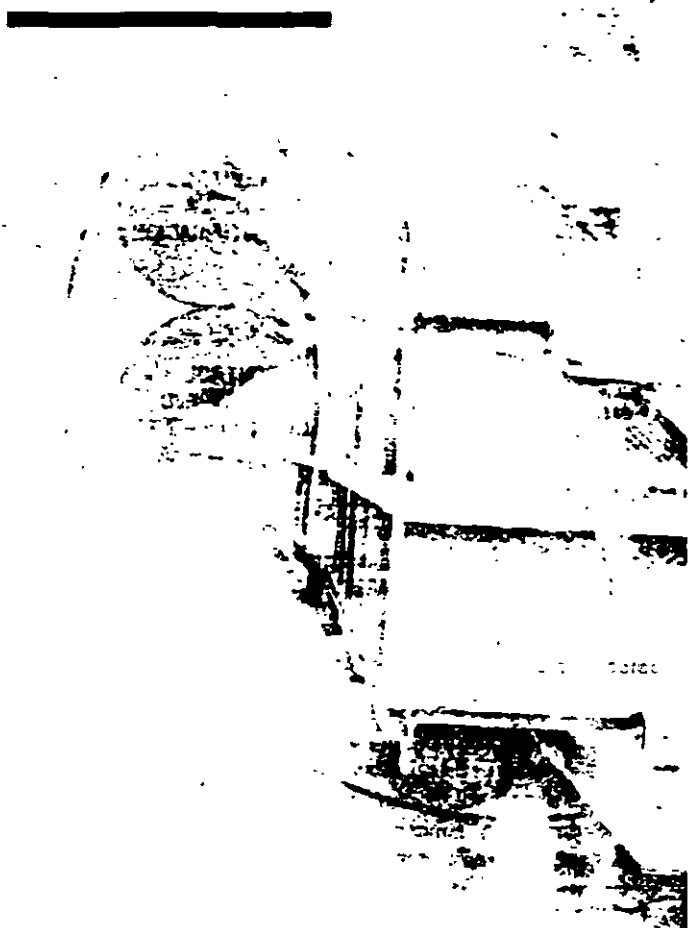
ISO 9000, así como su correspondiente difusión.

VERIFICACION DE LA CALIDAD EN LAS OBRAS CIVILES DE CFE A PARTIR DE 1990

A raíz de la aparición de la modalidad de contratación "llave en mano" para la construcción de los proyectos del sector eléctrico, en la cual los contratistas ganadores tienen la responsabilidad global de las obras (diseño, construcción y puesta en marcha) y su correspondiente garantía de la calidad, en las especificaciones CFE incluyó que las empresas interesadas debían disponer y aplicar en las distintas etapas de los proyectos, sistemas de aseguramiento de calidad acordes con las normativas vigentes (ISO 9000, Norma Oficial Mexicana), para lo cual las distintas entidades normativas en los aspectos de calidad, tanto en el área electromecánica (LAPEM), como en el área civil (GIEC) y el resto de las áreas de la CFE, desarrollaron y emitieron los documentos que se enlistan a continuación, para normar el establecimiento de dichos sistemas:

- L-000031: Requisitos de aseguramiento de calidad para proveedores de bienes y servicios de la CFE.
- L-000039: Concurso de proyectos "llave en mano".
- L-000040: Requisitos de aseguramiento de calidad para contratistas de proyectos "llave en mano".
- L-000042: Requisitos de aseguramiento de calidad para la CFE.

Cabe aclarar que, debido a que los documentos anteriores fueron elaborados posteriormente a la iniciación de los proyectos concursados o construidos a partir de 1991, los requisitos de calidad variaron para cada proyecto. A continuación se muestran algunos ejemplos.



de la evolución de los requerimientos de aseguramiento de calidad en algunos proyectos:

✓ En un principio (1991), los contratos no marcaban ningún requisito sobre aseguramiento de calidad. Tal fue el caso de la central termoeléctrica de Patacalco, Guerrero, en la cual, sin embargo, se logró la implantación del sistema por parte del constructor, y la obra se llevó a cabo con un mínimo de elementos rechazados.

✓ En los siguientes contratos, v gr. el del proyecto hidroeléctrico Ampliación Temascal, Oaxaca, se requería establecer un sistema de calidad acorde con la especificación CFE L-000031 (versión antigua), cuyo alcance estaba enfocado a proveedores de bienes en fábricas y sólo para aspectos electromecánicos. No obstante lo anterior, el contratista estableció su sistema de acuerdo con la normativa ISO-9000.

✓ Finalmente, los contratos ya especificaron la obligación del contratista de aplicar un sistema de aseguramiento de calidad, como lo establece la especificación CFE L-000040. Ejemplo de ello fue la construcción de las centrales termoeléctricas de Carbón II, Coahuila, y Topolobampo, Sinaloa, en las cuales cabe destacar que, siendo ambas obras responsabilidad del mismo contratista, en un caso fue más sencilla el establecer y aplicar el sistema de calidad, lo cual hace imperativa la necesidad de que los directivos, a todos los niveles, reconozcan la bondad del sistema y promuevan su aplicación.

✓ Un caso interesante también lo constituyen las líneas de transmisión, como Mazatlán II-Durango Sur, o Lázaro Cárdenas-San Bernabé, en cuyos contratos se incluyó como requisito el establecimiento de un sistema de aseguramiento de calidad de acuerdo con CFE L-000040, lo cual, a la fecha, se está logrando razonablemente.

Es importante señalar que, en estas obras que se extienden por cientos de kilómetros, cobra especial importancia la aplicación de este tipo de sistemas, ya que se logra normalizar la ejecución, supervisión e inspección de los procesos constructivos en cada frente de trabajo; esto es, prácticamente en cada torre de la línea.

VERIFICACION POR PARTE DE CFE DE LA APLICACION DE LOS SISTEMAS DE CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION DE OBRAS CIVILES

Con objeto de verificar la total, oportuna y efectiva aplicación de los sistemas de calidad, se realizan tres actividades básicas de supervisión:

✓ Revisión de los documentos que requiere el sistema (manual de calidad, procedimientos para la aplicación del mismo, procedimientos constructivos, etcétera). Debe entenderse que estos documentos deben ser específicos para la obra en cuestión y no importados de otras obras o actividades.

✓ Visitas de inspección durante los procesos constructivos relevantes de las obras y vigilancia del desarrollo de las actividades relacionadas con el control y el aseguramiento de la calidad

✓ Aplicación de auditorías de calidad para verificar el nivel de implantación y de efectividad del sistema de calidad del contratista durante la construcción de las obras.

PROBLEMAS QUE SE HAN PRESENTADO DURANTE LA APLICACION DE LOS SISTEMAS DE CALIDAD

Después de casi cinco años de intervención para verificar la calidad de los aspectos civiles de los proyectos "llave en mano" que ha contratado la CFE para la construcción de centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, subestaciones y li-

neas de transmisión, se puede señalar que los problemas generalmente detectados han sido los siguientes:

a) Previamente o al inicio de las obras, una búsqueda por parte del contratista de evadir uno o varios requisitos referentes al sistema de calidad.

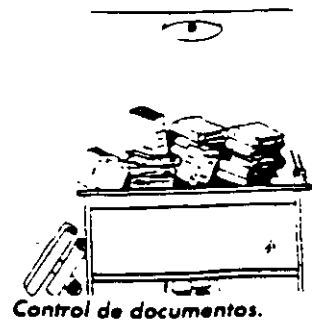
b) Ligado al anterior, el contratista no establece oportunamente su sistema de aseguramiento de calidad, ni dispone del personal calificado para desarrollar las actividades correspondientes.

c) Usualmente, los distintos grupos que participan en las obras desconocen los aspectos relacionados con el sistema de aseguramiento de calidad. Este mismo desconocimiento hace que, dentro de la organización de la obra, se haga depender a los grupos de control y aseguramiento de calidad, del área de producción (construcción), circunstancia que les impide actuar con libertad y, frecuentemente, no son atendidas sus observaciones, ya que el constructor considera que van en contra de los avances de la obra.

d) En caso de tener subcontratistas, el contratista no siempre les exige la aplicación de sus propios sistemas de calidad.

En general, los puntos mencionados denotan una falta de entendimiento al pensar que la aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad es costoso y representa un obstáculo para la obra y no un apoyo a la misma.

No obstante lo anterior, creemos que se ha avanzado considerablemente en la aceptación y reconocimiento de las ventajas que representan estos sistemas de aseguramiento de calidad, pues en casi todas las obras, conforme avanzó la construcción, los problemas se fueron resolviendo y los contratistas terminaron aplicando en forma efectiva sus correspondientes sistemas de aseguramiento de calidad □



Control de documentos.

NORMAS EN EMPRESA CONSTRUCTORA

HECTOR J. RAB- TAPLA

En el proceso constructivo de cualquier proyecto, en cada fase y éstas se influyen entre sí; por lo tanto, cualquier análisis de la calidad final del servicio o del producto deberá considerar que no se trata de un proceso lineal, sino de un proceso complejo en el que las decisiones adoptadas en cada fase repercutirán en otras.

Las normas internacionales ISO 9000 son de carácter general y aplicables a todo tipo de industrias o empresas, pero requieren ser interpretadas o adaptadas para cada sector productivo o de servicios. Para el caso de la industria de la construcción, se deben analizar sus requisitos para identificarlos, interpretarlos y aplicarlos en este sector.

De igual forma, la normativa ISO 9000 es aplicable a otras empresas de servicios en contacto con la construcción, como empresas de consultoría (dirección y coordinación, planeación y control de obra, supervisión técnica, proyectos y estudios estructurales, etcétera), operación y mantenimiento, e incluso a empresas inmobiliarias y al cliente final, el usuario, que es el último receptor del producto o servicio.

NORMAS PARA CONSULTA
La norma ISO 9000 define los principios de la gestión y del

aseguramiento de calidad; textualmente se define como: "Líneas directrices para la selección y la utilización de las normas de calidad", y establece los criterios de uso del resto de las normas serie 9000 para las empresas industriales y de servicio.

De aquí se derivan las normas de aseguramiento de calidad (que son de carácter contractual y para la certificación oficial de las empresas).

La norma ISO 9001, "Sistemas de la calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en el diseño/desarrollo, la producción, la instalación y el servicio post-venta", es aplicable en empresas cuya actividad es el diseño, desarrollo de proyectos (estructural, arquitectónico, de instalaciones eléctricas, hidráulicas, sanitarias, electromecánicas, aire acondicionado, etcétera), fabricación e instalación de estructuras, venta y de control, equipo mecánico para citar sólo algunas.

La norma ISO 9002, "Sistemas de la calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la producción y la instalación", se aplica comúnmente a la empresa constructora, pues edifica a partir de un proyecto ya definido y de unas especificaciones predeterminadas.

La norma ISO 9003, "Sistemas de la calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la inspección y los ensayos finales", es de aplicación en la empresa que se dedica a la ingeniería especializada, como por ejemplo, el estudio de mecánica de suelos, el control de calidad en obra y de materiales, elementos prefabricados, etcétera, en la calibración y prueba de instrumentos y equipos de inspección, medición y ensayos.

Y, finalmente, las normas ISO 9004 "Gestión de la calidad y elementos de un sistema de la calidad" y 9004 (parte 2), "Reglas generales y guía para los servicios", se han de-

sarrollado para su aplicación como una guía que presenta las reglas generales, las sugerencias y recomendaciones para implementar un sistema de calidad interno; no son de carácter contractual, pero son fundamentales para lograr la certificación de la empresa. Estas normas establecen las reglas, responsabilidades, relaciones y límites de las funciones de todos los participantes en cualquier modelo de empresa constructora, grande, mediana o pequeña y también son de utilidad para el constructor independiente. Establecen en varios de sus puntos la necesaria participación de todo el personal de la organización, el cliente, el proyectista, los subcontratistas, etcétera, que intervienen en la construcción de una obra.

CONTROL DE LAS CARACTERISTICAS DEL SERVICIO Y DE LA PRESTACION DEL SERVICIO

En el proceso constructivo de cualquier proyecto, la calidad final depende de la calidad obtenida en cada fase y éstas se influyen entre sí; por lo tanto, cualquier análisis de la calidad final del servicio o del producto deberá considerar que no se trata de un proceso lineal, sino de un proceso complejo en el que las decisiones adoptadas en cada fase repercutirán en otras. Por ejemplo, la resistencia mecánica y estabilidad de una obra dependen, por una parte, del cálculo y diseño estructurales; por otra, de la calidad de los materiales empleados, y por otra, de la colocación de los mismos y de la ejecución en general, así como del uso y conservación que se dé a la misma.

A diferencia de otras industrias, en la de la construcción, muchas veces participan directa o indirectamente diversos agentes con funciones diferentes, dando como resultado múl-

tiples interfases en el proceso constructivo y por tanto un número considerable de zonas vulnerables que pueden incidir en una calidad final deficiente.

OBJETIVOS DE LA CALIDAD

Para hablar de calidad en un proyecto de construcción, se deben identificar los requerimientos y necesidades que tiene cada uno de los participantes; éstos pueden traducirse en los objetivos de calidad.

✓ *Objetivos de calidad del cliente.* Un proyecto de funcionalidad y buena apariencia, finalizarlo en el tiempo establecido y dentro del presupuesto acordado, rentable, al que se le pueda dar un uso óptimo, con un mantenimiento económico, que sea ambientalmente agradable y que cumpla con los requerimientos técnicos y normativos en materia de seguridad e higiene, entre otros.

✓ *Objetivos de calidad del proyectista.* Tener la información definida sobre las características y requisitos que debe cumplir el proyecto, con un plazo de ejecución suficiente, poder contar oportunamente con los cambios de proyecto que sean requeridos por el cliente, obtener beneficios justos y sobre todo lograr el reconocimiento del cliente con la posible consideración para la realización de trabajos en lo posterior.

✓ *Objetivos de calidad del constructor.* Contar con la información completa del proyecto a construir (planos, especificaciones, documentos contractuales, etcétera), disponer del tiempo de ejecución suficiente para programar adecuadamente las actividades de la obra, informarse oportunamente de los cambios que pueda efectuar el proyectista, obtener beneficios justos y el reconocimiento del cliente y del proyectista con la posible consideración para trabajos en el futuro.

También es conveniente mencionar algunos objetivos de calidad que se deben considerar a fin de adaptarse lo más posible a las normas ISO 9000; estos son los de organismos públicos de control y regulación en materia de seguridad e higiene, medio ambiente, licencias y permisos; los de colegios de profesionales que deben regular el ejercicio de las funciones del profesional correspondiente (ingenieros, arquitectos, responsables de obra, etcétera).

Los objetivos de calidad en un proyecto también deben considerar los siguientes niveles:

✓ *En lo comercial.* Debe establecerse un plan que asegure la relación con el cliente, pero también con el usuario, conociendo sus necesidades. Desde luego, el conjunto de estas necesidades no podrá ser satisfecho si son incompatibles en lo técnico o en lo financiero.

✓ *En el estudio de proyecto.* Un plan debe concebirse dejando libre curso a la imaginación, a la creatividad y a la innovación, para responder a las necesidades percibidas. No obstante, se debe ser realista y tomar en cuenta las posibilidades técnicas de ejecución y requerimientos que se deben cumplir en lo ambiental, en lo social y en lo jurídico.

El personal involucrado en esta etapa de estudio será de crucial importancia, pues tendrá la responsabilidad de evitar posibles y costosos errores y modificaciones durante la ejecución. También deberá contarse con la selección definitiva de todos los materiales, así como de los documentos técnicos listos para la construcción.

✓ *En los suministros y subcontratistas.* Se debe establecer un plan a partir de las exigencias prescritas desde la concepción del proyecto, para seleccionar los proveedores de materiales y equipo, y subcontratistas que participarán.

Su elección no debe basarse, en ningún caso, en el precio más bajo, sino en sus cualidades y capacidad de proveer los materiales o realizar el trabajo previsto en el tiempo especificado. Sin embargo, debe también contarse con alternativas fiables y económicas previstas, a fin de asegurar los suministros o trabajos en caso de que uno o algunos de los miembros no puedan cumplir con los compromisos adquiridos.

✓ *En la producción.* Se debe concebir un plan a partir de piezas descriptivas y documentos gráficos, previstos para realizar la obra dentro de las mejores condiciones financieras. La planeación de actividades y de elementos que intervienen debe ser continua. Cualquier retraso debe ser analizado y debe repercutir a fin de que los participantes afectados reaccionen a tiempo y de modo eficaz.

Los puntos de control obligatorios deben ser programados con el fin de asegurar que no se dará valor añadido a un trabajo defectuoso.

✓ *Para el control de la ejecución de los trabajos,* es conveniente que participe el mayor número de personas de acuerdo con su especialidad.

✓ *En el personal,* se debe estructurar un plan para el reclutamiento y formación. Ellos dirigirán a los obreros que, de acuerdo con la localización de la obra, contarán con niveles de instrucción, formación, calificación, aptitud y costumbres diferentes que deberán ser tomadas en consideración.

✓ *En lo financiero,* se debe establecer un plan que asegure que los gastos reales no excederán los gastos previstos en el presupuesto. Estas diferencias deben ser meticulosamente observadas etapa por etapa, a fin de identificar las causas. Esto permite la búsqueda de soluciones más económicas para próximos proyectos y realizar la construcción de una obra a un costo más real.

AUTORIDAD Y RESPONSABILIDAD EN MATERIA DE CALIDAD

La norma hace referencia principalmente al establecimiento de una estructura organizacional dentro de la empresa que respalde al sistema de calidad, que asegure la comunicación e interacción interna y externa de la compañía y la designación de un representante en materia de calidad que realice estas tareas.

La eficacia de un sistema de calidad supone que cada persona de la empresa conoce sus funciones y los límites de su responsabilidad. Por ello, la organización debe definir funciones y responsabilidades, las interfaces organizacionales, la contratación y la formación de su personal.

Las líneas de comunicación deben establecerse para todo lo que concierne a la dirección, gestión y ejecución en materia de calidad. En la formación de esta estructura se debe tomar en cuenta que la calidad requiere de la participación de todos.

Cuando en un proyecto participan varias empresas, la complejidad en las líneas de autoridad y comunicación se incrementa y el dominio o la habilidad en el manejo de la calidad no podrá ser conservado a menos que exista una definición precisa de las responsabilidades y funciones en las interfaces organizacionales para la calidad.

Para que estas interfaces puedan realizarse, es conveniente que desde el proyectista se disponga de un sistema de la calidad, integrando sus actividades con las del constructor y con las de todos los participantes del proyecto a través de una oficina de control externo.

La figura 1 representa un organigrama que intenta localizar la actuación de la gestión de la calidad en el sistema organizativo de todos los participantes en un proyecto de construcción. Para la pequeña em-

presa se puede recomendar designar como responsable del sistema de calidad, a una persona independiente a las tareas de producción que pueda asumir esta responsabilidad a tiempo parcial.

En las grandes empresas constructoras, se puede contar con un responsable de coordinar los esfuerzos y promover la implementación del sistema de la calidad, pero, al igual que en la pequeña empresa, deberá estar alejado de las responsabilidades de producción y tener la autoridad suficiente para intervenir en cualquier nivel y en cualquier frente de obra a fin de asegurar que está siendo ejecutada siguiendo las prescripciones previamente definidas y de acuerdo con los reglamentos establecidos.

Un organigrama parcial de una gran empresa constructora puede ser el que se muestra en la figura 2.

MOTIVACION DEL PERSONAL

Es importante conocer mecanismos y técnicas encaminadas a revitalizar al personal y dar así nueva y continua fuerza a la empresa para obtener mejores resultados.²

La mejora de las condiciones de trabajo, de salarios o las labores no rutinarias, no bastan como factores de motivación para el empleado, además, es conveniente motivar por medio del trabajo que represente un reto para el empleado y en el que comprometa su responsabilidad.

Los directivos de las empresas constructoras deben promover sistemas modernos de dirección dirigidos a desarrollar la calidad de vida en el trabajo, mejorar el reclutamiento e incorporación del personal y llevar a cabo políticas de remuneración e incentivos.

ADiestRAMIENTO Y DESARROLLO

Lo primero que deberá hacer el

La eficacia de un sistema de calidad supone que cada persona de la empresa conoce sus funciones y los límites de su responsabilidad. Por ello, la organización debe definir funciones y responsabilidades, las interfaces organizacionales, la contratación y la formación de su personal.

responsable en la implementación del sistema de calidad de la empresa es sensibilizar a los cuadros directivos en el proceso hacia la calidad, señalando como un elemento de costo de calidad la formación del personal, así como las auditorías de calidad.

Las características de la industria de la construcción, donde cada producto es distinto, con un gran número de variables que intervienen en el proceso constructivo, algunas controlables, pero otras desconocidas, con la participación de varios subcontratistas, con personal generalmente nuevo en la empresa, de diferentes zonas geográficas, de diversos hábitos y costumbres, etcétera, dan como resultado serias dificultades para el desarrollo de proyectos e importantes tomas de decisión.

Para el personal operario y de mandos intermedios, la norma indica que la formación debe ser completa en el manejo adecuado de instrumentos, herramientas y maquinaria que utilicen; en la lectura y entendimiento de la documentación que se les facilite, y la comprensión de la relación de la calidad con su trabajo y las normas de seguridad establecidas. En

algunos casos deberán contar con la certificación oficial de su especialidad. Aquí, la formación deberá ser más de carácter práctico que teórico.

COMUNICACION

La comunicación es el intercambio ordenado y sistemático de información, dentro y fuera de la empresa, y es necesario que fluya hacia la persona precisa con el tiempo y frecuencia oportunos. Para lograrlo son necesarios procedimientos efectivos, organización, control, pero, sobre todo, el compromiso del personal en facilitar una buena comunicación, resultando así una efectiva coordinación que puede prevenir posibles insatisfacciones entre las partes involucradas, ya sea en un proyecto de construcción o en alguna actividad interna de la empresa.

El constructor debe promover en todo momento la designación de personal clave y capaz de lograr la comunicación, coordinación y divulgación total de información en todos los niveles de la empresa y también fuera de ella.

CIRCULO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO

Si al círculo de la calidad se le

aplican las fases más significativas que intervienen en un proyecto de obra se representaría como se ve en la figura 3.

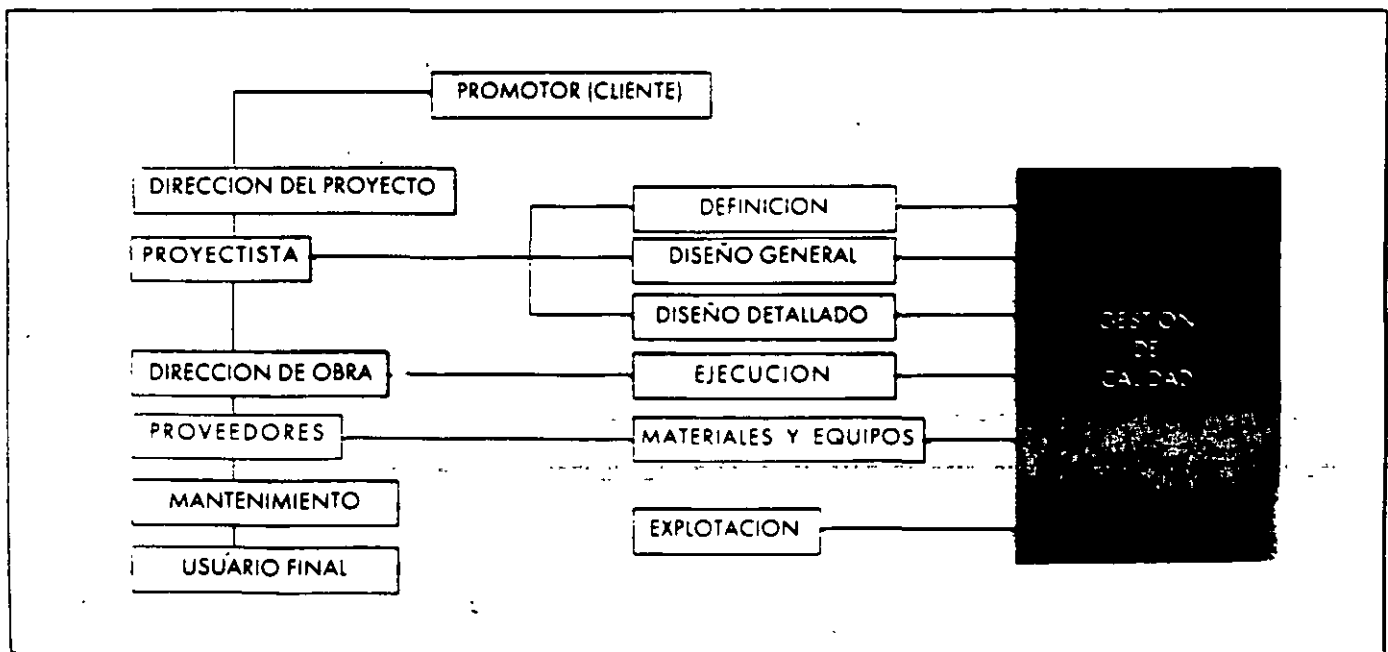
DOCUMENTACION Y REGISTROS DE LA CALIDAD Manual de la calidad

El sistema de calidad de la empresa es soportado documentalmente por el manual de la calidad, que es el documento guía para la implantación, seguimiento y mejora del sistema de la calidad.

El manual de la calidad es el documento descriptivo del sistema de la calidad objeto de la norma ISO 9004 (reglas generales), establecido por la empresa esencialmente para su uso interno y describe el conjunto de disposiciones de la organización relativas a

- ✓ Las estructuras de la empresa
- ✓ Los objetivos de su servicio (misión de la empresa), operacional y funcional, y a los responsables en realizarlos
- ✓ Los procedimientos generales que rigen la obtención de la calidad.
- ✓ Las relaciones internas y externas de la empresa.
- ✓ Los medios y recursos para la obtención de la calidad.

Figura 1.



- ✓ La formación, la calificación y la motivación del personal.
- ✓ Las disposiciones generales que contribuyen a la calidad y que son aplicables a todas las actividades de la empresa.
- ✓ Facilitar una descripción adecuada del sistema de gestión de la calidad que sirve como referencia permanente en la aplicación del mismo.

Plan de la calidad

El plan de la calidad es el documento que recoge las formas de operar, los recursos y la secuencia de actividades ligadas a la calidad que se refieren a un determinado producto, servicio, contrato o proyecto.

Un plan de calidad puede contener lo siguiente:

- ✓ Los requisitos de calidad aplicables en cada obra de construcción, incluyendo especificaciones técnicas del proyecto.

- ✓ Organización de la obra en cuestión de autoridad y responsabilidad.
- ✓ Los métodos y técnicas de trabajo que se deben aplicar en la obra.
- ✓ El control de todos los procesos constructivos.
- ✓ Los programas, inspecciones y ensayos en cada una de las fases de ejecución, describiendo los criterios de aceptabilidad y frecuencia.
- ✓ La metodología para los cambios y modificaciones al propio plan de calidad, según lo requiera el proyecto.

El plan de la calidad puede estructurarse en función de las características de cada una de las obras y no sólo debe proporcionar instrucciones precisas para la implantación del sistema de la calidad, sino que también debe incluir los registros de la calidad que dejen cons-

tancia documental del cumplimiento de los requisitos de dicho sistema.

Procedimientos

Un procedimiento es un documento interno, propio de cada empresa constructora y por lo tanto de carácter privado, que describe de manera documentada (escrita y formalizada) todas las actividades operativas, de gestión y técnicas de la empresa, incluyendo aquellas que puedan incidir en cualquier aspecto que afecte a la calidad, desde los suministros hasta la entrega de la obra.

Al conjunto de estos procedimientos se le denomina manual de procedimientos y se divide en manual de procedimientos operativos y manual de procedimientos técnicos.

Registros de la calidad

El sistema de gestión de la cali- ▷

dad debe establecer y exigir el mantenimiento de medios que permitan registrar, coleccionar, clasificar, archivar, recuperar e imprimir, eliminar todos los registros y documentación relacionados con la calidad.

Los registros de calidad miden el rendimiento del sistema de calidad y permiten aplicar mejoras en el mismo, pues contienen la evidencia documental clara, precisa y rápidamente identificable, de que la obra cumple con los requerimientos del cliente.

AUDITORIAS INTERNAS DE LA CALIDAD

La auditoria de calidad es un examen metódico e independiente, realizado con el fin de determinar si las actividades y resultados relativos a la calidad satisfacen las disposiciones preestablecidas y si estas disposiciones son auestas en marcha de manera eficaz y aptas para alcanzar los objetivos.²

La auditoria de la calidad se apoya en los métodos, fundamentados en la observación, el análisis, los ensayos y el exa-

men de objetivos previamente determinados, cuya aplicación rigurosa permite al auditor tener una idea objetiva del funcionamiento real del sistema.

Debe considerarse siempre que la auditoria es una actividad constructiva y no destructiva.

COMUNICACION CON LOS CLIENTES

Para lograr la calidad en la construcción de una obra, se requiere un gran esfuerzo de comunicación durante todo el proceso, desde la concepción del proyecto hasta la entrega de la obra, para ello es vital mantener informadas de los elementos claves de trabajo a todas las partes que participan, como el cliente, el proyectista, el constructor, los subcontratistas y los proveedores de equipo y material.

Algunos estudios realizados⁴ indican que el 25% de los problemas y fallas en las obras recién construidas, son debidos a la mala comunicación o a la falta de coordinación entre los participantes del proyecto.

Estudios de empresas aseguradoras indican que sus clien-

tes recurren a la acción legal, no por deficiencias en el proyecto o construcción, sino por los inesperados sucesos y sorpresas que se presentan en el proyecto, por la creciente decepción ante los problemas no atendidos, por la falta de interés o de relaciones personales positivas y por la falta de información respecto a los problemas.

Es importante señalar que tanto el cliente, como el constructor y el proyectista, así como los subcontratistas, proveedores, tienen diferentes precedentes, calificación, experiencias y expectativas, así como también diferentes definiciones de lo que es un proyecto exitoso y de la concepción o grado de la calidad, diferencias en las formas de trabajo, de tacto con los demás, etcétera, y en la forma o en los métodos de tratar desacuerdos o de pactar con la gente; por ello es importante que los responsables de calidad sean capaces de entender y compensar estas diferencias.

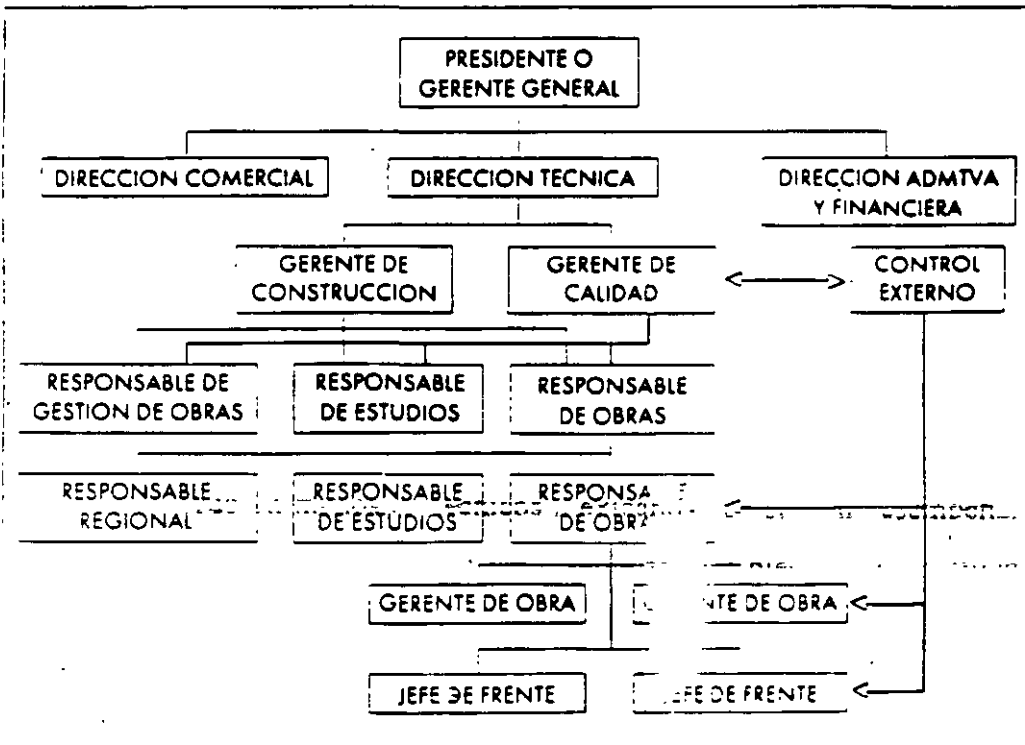
ELEMENTOS OPERATIVOS DEL SISTEMA DE LA CALIDAD

Proceso de comercialización

Se deben identificar a fondo todas las necesidades y expectativas del cliente, programando su realización adecuadamente, escuchar sus intenciones con el fin de optimizar sus exigencias para resolverlas en el plazo adecuado y al menor costo posible. El responsable de esta actividad debe comunicarlo de forma clara y exacta a la empresa.

El sistema de la calidad de la empresa constructora debe ser capaz de prever la posibilidad o factibilidad de la realización de un proyecto de calidad de acuerdo con normativas ambientales, de seguridad, sanitarias, legales, etcétera, pero también debe determinar si su capacidad técnica, disponibilidad de recursos y experiencia le permiten llevar a cabo el pro-

Figura 2.



yecto o la obra que quiere el cliente.

La empresa debe conocer su posición dentro del mercado de la industria de la construcción a través del intercambio de información con otras empresas de su competencia, o bien con el grado de percepción de la calidad del servicio entre sus clientes. Los resultados de esta investigación permiten a la empresa aproximarse a su realidad, profundizar en su mercado competitivo y el intercambio de experiencias y nuevas técnicas (por ejemplo, revisión de pares).

Gestión del servicio

El sistema de calidad de una empresa debe entenderse como un sistema dinámico que requiere de una actualización continua y adaptable a las condiciones que puedan influir sobre la calidad; por ello las normas de gestión de la calidad hacen énfasis en el compromiso de la dirección por la asignación de responsables para lograr la calidad.

En cuanto a las responsabilidades legales que cita la norma, en la industria de la construcción se producen frecuentemente situaciones en las que la responsabilidad civil puede ser un tema de mucha importancia, por lo que en el sistema de la calidad de la empresa se deben contemplar disposiciones que conduzcan a minimizar estas situaciones, previniendo anticipadamente los efectos que los fallos en la calidad pueden provocar.

Responsabilidades en el diseño

En este apartado de la norma se menciona el costo de la no calidad, indicando que es más fácil y económico prevenir que corregir; por lo tanto, el cliente y la empresa deben asegurarse conjuntamente de la optimización y calidad en la concepción, realización, descripción de necesidades, especificacio-

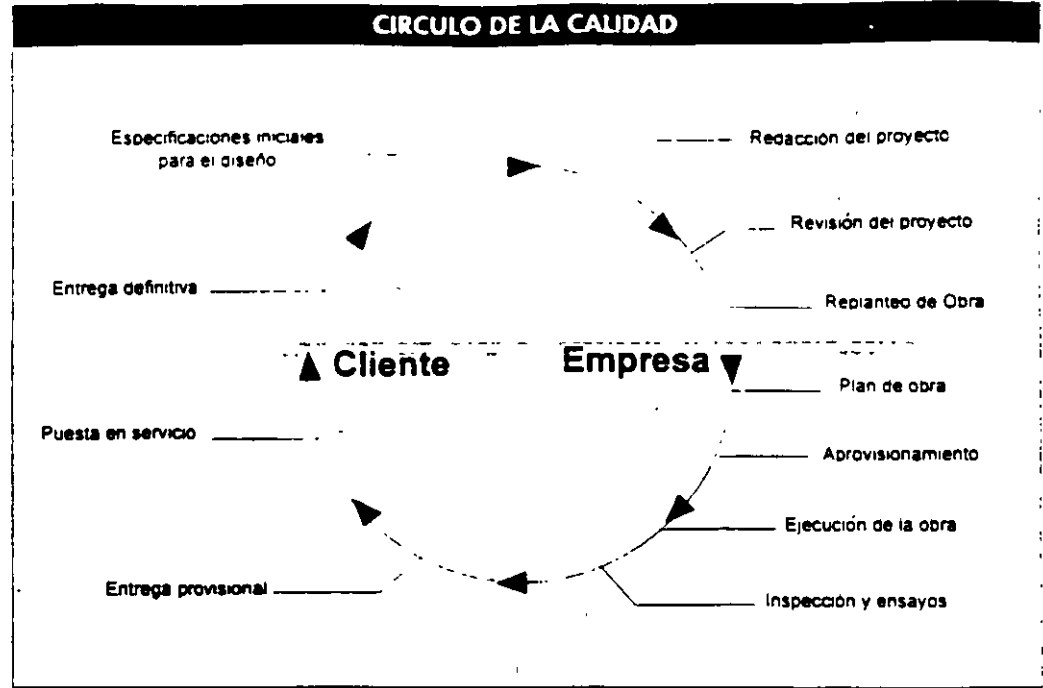


Figura 3.

nes, redacción del contrato, métodos y técnicas, materiales, etcétera, previos a la ejecución de los trabajos.

Las responsabilidades asignadas por la dirección de la empresa, a las que se refiere este apartado, deben remarcar un esfuerzo de coordinación y comunicación entre empresa constructora-cliente o representantes-proyectistas-subcontratistas y, en general, todos aquellos involucrados directa o indirectamente en el proyecto.

Especificación del servicio

El cliente puede evaluar las características del servicio y estas pueden variar de acuerdo con el tipo de obra, con las diferentes situaciones específicas del sistema de calidad de la empresa, que permitan definir y considerar adecuadamente los factores que puedan influir en el nivel de calidad deseado y de forma rentable.

Estas características pueden ser, entre otras, el programa de obra, los procedimientos para la selección de subcontratistas, los métodos y técnicas de construcción, de inspección y ensayo, el seguimiento de las no

conformidades, que estén contenidos en el manual de la calidad y en el manual de procedimientos de la empresa.

Especificación de la prestación del servicio

La complejidad que se puede presentar en la realización de un proyecto es muy diversa; depende no sólo del tipo de obra, sino de factores de ubicación, características geológicas y geotécnicas, sismicidad y clima, independientemente de las difíciles cuestiones administrativas, legales, de control, de inspección y ensayo.

Por ello, la tecnología, experiencia y capacidad de la empresa debe estar respaldada por todos los procedimientos necesarios y suficientemente probados, además de tener la aptitud para desarrollar nuevos y mejores métodos y tecnologías, y la actualización permanente de los procedimientos ya existentes.

Calidad en las compras

La atención de la calidad en los suministros puede evitar retrasos en programas de obra, repeticio-

nes en los trabajos ya ejecutados, retoques y conflictos por malos entendidos que pueden llegar a representar hasta un 40% del costo de la obra. De aquí el interés que debe tener la empresa constructora en la selección y atención de proveedores y subcontratistas.

Contar con los procedimientos y programas para la selección de estos participantes, permite a la empresa elegirlos según las particularidades y características del proyecto a construir, tomando en cuenta la importancia en la repercusión económica, en la seguridad y en las condiciones de funcionamiento de la obra en caso de presentarse una deficiencia en el suministro.

En algunos proyectos se exige contractualmente que los proveedores y subcontratistas cuenten también con sistemas de calidad o de aseguramiento de calidad, pero actualmente no todos están preparados para ello, por lo que la empresa constructora deberá integrarlos a su sistema de calidad, haciéndolos coparticipes a fin de motivarlos y hacer que sus productos y servicios se suministren óptimamente.

Identificación y trazabilidad del servicio

La empresa constructora debe contar con procedimientos que permitan identificar sus productos o servicios durante todas las etapas del proceso, desde la recepción o fabricación de materiales, su transporte y colocación, puesta en operación o uso, con la finalidad de detectar posibles fallos, defectos o cualquier otra anomalía del producto o servicio que repercuta en la calidad de la obra; también debe prevenir la utilización de materiales no conformes.

Los procedimientos para el control de los materiales y procesos son una valiosa herramienta de apoyo que permite definir las medidas de control necesarias para impedir su utilización inapropiada, deterioro

y, en un momento determinado, permiten identificar cuando y en que lugar de la obra se ha colocado algún elemento conforme o no conforme.

Especificación del control de la calidad

En el campo de la calidad, se define al "control de la calidad" como al conjunto de técnicas y actividades de inspección, ensayo, comprobación, seguimiento, medida, de las características del producto o del servicio, contenidos en procedimientos operativos y técnicas utilizadas para satisfacer y demostrar que se ha cumplido con los requerimientos y exigencias de la calidad planeadas por el cliente.

El control de la calidad debe detallar todas las operaciones que deben realizarse a través de la ejecución de una obra, desde el control de la concepción y diseño del proyecto, hasta la construcción y entrega, para responder a las exigencias de calidad estipuladas entre el cliente y la empresa.

Revisión de diseño

Para verificar el buen funcionamiento del diseño de la prestación del servicio, es conveniente emprender un examen crítico del proyecto en todas sus fases de desarrollo. Esto permite detectar posibles desviaciones u omisiones al programa de obra inicial, así como aplicar algunas modificaciones de última hora.

En las fases del proyecto, consideradas como críticas, se deben establecer los puntos de verificación y se deben planificar las revisiones para que logren ser más eficaces y se conviertan en una medida de prevención que evite comprometer la calidad aplicando soluciones inadecuadas.

Los resultados de la revisión deben ser formalizados por medio de documentos que contengan todas las deficiencias encontradas, las soluciones

aplicadas y los resultados obtenidos.

Validación de las especificaciones del servicio, prestación del servicio y control de la calidad

Todas las modificaciones o propuestas de mejora, resultado de la revisión de diseño, deben entrar en la siguiente etapa, que es la validación y que complementa a dicha revisión.

En muchos proyectos de construcción se realizan cálculos alternativos a elementos que se consideran críticos, con el fin de comprobar si los cálculos originales son correctos; en proyectos de gran envergadura y complejidad, se efectúan ensayos de modelos o prototipos (generalmente encargados a algún laboratorio especializado) que comprueban la efectividad del diseño.

Algunos de estos cálculos, ensayos y análisis se realizan a través de equipos de auto, por lo que el programador de equipo de cómputo empleados deben someterse a verificaciones y actualizaciones periódicas.

La validación debe ser un proceso periódico y continuo para asegurar que el diseño y la prestación del servicio se acogen y satisfacen los requisitos especificados y las necesidades del cliente, las especificaciones técnicas, y si se están aplicando nuevas tecnologías, o métodos de revisión y producción, así como el análisis de experiencias obtenidas en el proceso de construcción para adaptar o modificar las condiciones iniciales del proyecto.

Los resultados de la validación deben estar documentados con especificaciones y planos que lo respalden, incluyendo la descripción de la revisión y modificado. Deberá tener la aprobación de los niveles técnicos facultados para la validación, y ello establecerá la autorización y confirmación de que el diseño puede utilizarse

Para verificar el buen funcionamiento del diseño de la prestación del servicio, es conveniente emprender un examen crítico del proyecto en todas sus fases de desarrollo. Esto permite detectar posibles desviaciones u omisiones al programa de obra inicial, así como aplicar algunas modificaciones de última hora.

Evaluación de la calidad del servicio por parte del suministrador

Aquí se enfatiza la importancia del control de la calidad como una actividad paralela en todas las etapas de la prestación del servicio, necesaria e indispensable para que los responsables de la empresa, que tratan directamente con el cliente, evalúen auténticamente la calidad del servicio.

Se menciona el autocontrol que debe tener el personal, basado en su formación en la calidad, en sus conocimientos técnicos, en la libertad de acción y en su sentido de la responsabilidad.

El autocontrol se fundamenta en que el personal de la empresa "conozca lo que hace, analice lo que está haciendo y establezca acciones encaminadas a mejorar lo que hace".

Evaluación de la calidad del servicio por parte del cliente

Una forma intuitiva de conocer las diferencias entre niveles de satisfacción y necesidades del cliente, es estableciendo la interacción que existe entre las necesidades del cliente y las especificaciones de diseño, y la realización del servicio. Quizás esto dé una idea de criterios de percepción y evaluación de la calidad en la prestación del servicio.

Identificación de no conformidades y acciones correctivas

Se mencionan dos etapas de la acción correctiva; primero, una acción positiva, que puede ser la inutilización inmediata del producto, elemento o servicio, antes de tomar una decisión sobre el mismo, y la corrección rápida y efectiva de la no conformidad detectada, que evite interferir en el desarrollo de los trabajos; segundo, tomar las medidas apropiadas para evitar su repetición, identificando el origen de la falla.

Esta última etapa de la acción correctiva es de carácter preventivo, pues identifica el problema desde su raíz.

Control del sistema de medida

En este punto se establece la necesidad que tiene la empresa de contar con procedimientos escritos, que especifiquen, con todo detalle, cómo se realiza el control de los equipos de inspección, medición y ensayos, los requisitos para su calibración y mantenimiento, así como los criterios para la designación del personal responsable y capacitado para realizar esta actividad.

También se debe mantener una constante revisión y actualización en los métodos, técnicas, información de soporte lógico, las especificaciones (límites, tolerancias de materiales, por ejemplo), técnicas empleadas: el uso de normas y reglamentos (ASTM, ANSI, ACI, u otras) en vigor.

Métodos estadísticos

En las empresas constructoras, los métodos estadísticos se aplican principalmente para las técnicas del control de calidad, tanto de materiales (desde su recepción) como de elementos de obra terminada y para la selección de técnicas de recogida de datos (muestreo) en elementos como concretos, aceros o suelos, a fin de que sean lo más representativos posible. En las áreas de producción, se aplican en todas las técnicas de control y capacidad de procesos.

MEJORA DE LA CALIDAD DEL SERVICIO

Para la realización de proyectos de mejora de la calidad se recomiendan 10 pasos a seguir, de acuerdo con las características y objetivos de cada empresa; éstos son los siguientes: La norma de gestión, la orientación del personal, formación del comité de mejora de la calidad, medida de la

calidad, la formación del personal, determinación de las causas de error, establecimiento de objetivos, la acción correctiva, los costos de la calidad y el reconocimiento de resultados.³

Estas diez etapas forman un ciclo dinámico que debe ir evolucionando y buscando su expansión en la empresa, adaptándose a su crecimiento y ritmo de acción, el éxito del programa dependerá del enfoque inicial y del nivel de gestión de la calidad alcanzado en la empresa constructora.

CONCLUSIONES

La aplicación de la calidad en una empresa deberá romper la resistencia al cambio que algunos empresarios tienen, esta nueva herramienta deberá estar orientada a:

- ✓ Lograr una administración más profesional y menos empírica.
- ✓ Terminar con la improvisación con que cuentan muchas empresas.
- ✓ Generar una mayor eficiencia interna.
- ✓ Emplear al máximo la capacidad instalada.
- ✓ Invertir en talento humano y en la adquisición o generación de nuevas tecnologías.

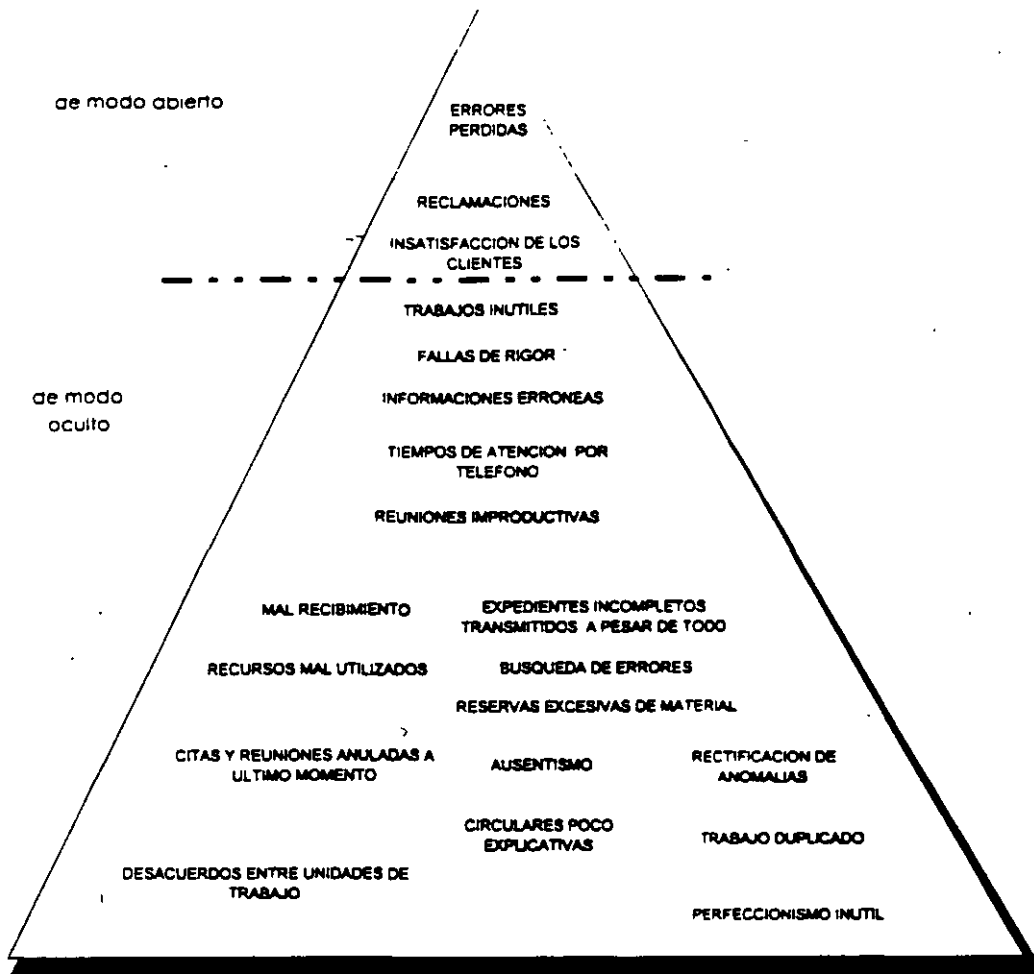
Con ello se podrá anticipar a los cambios, asegurando la presencia y permanencia en los mercados. □

Referencias

1. El cliente es el receptor final del servicio, sin embargo, el cliente puede ser también miembro dentro de las empresas constructoras, en donde se sitúa en la etapa siguiente de algún proceso o actividad, por ejemplo, el departamento de producción tiene como cliente interno al departamento de control y seguimiento de obra, pues debe construir y cumplir dentro del programa establecido, de esta forma puede lograrse globalmente la calidad requerida.
2. Abraham Maslow (1908-1970) cita en su libro *Motivación y Personalidad*, edit. Díaz de Santos, 1991, que hay jerarquías de las necesidades básicas del ser humano y señala que éstas en la autorrealización (liberación de la creatividad, optimización de competencias, aptitudes y talento, consideración, confianza en sí mismo, etc.) en donde la dirección de la empresa debe buscar formas y métodos adecuados de motivación que se transformen en trabajo productivo y eficaz.
3. Según la norma francesa NF X 50 136-1 *Systemes qualite. Lignes directrices pour l'auditer des systemes qualite*. Parte 1. Dec 1988.
4. *Quality in the Constructed Project*. American Society of Civil Engineers, Vol. 1, 1988.
5. *Obra terminada, recogida del libro Gestion de la Qualité dans la Construction* de A. M. Chauvey y M. Pourreau. Edit. Eyrolles Paris 1985.

COSTOS DE LA CALIDAD

La no calidad se manifiesta ...



parcial o total de contratos
7) Escasez de materiales.

Como se puede observar, muchos de estos problemas son debidos a:

- ✓ Una mala comunicación con el cliente.
- ✓ Deficiencias administrativas internas.
- ✓ Falta de inversión en capacitación.
- ✓ Proveedores incapaces de abastecer los insumos.

Nuevamente, se hace necesaria e impostergable la aplicación de las normas de gestión de la calidad, que lleguen a todos los niveles de la empresa, así como a sus proveedores.

Los elementos que integran los costos de calidad son:

- ✓ La prevención, a través de perfecta definición de las necesidades del cliente.
- ✓ La revisión de las partes de un contrato, para verificar que no se omite absolutamente nada.
- ✓ La verificación del diseño, que considerará reglamentos y normas de construcción, ambientales, legales, etc., el código de ética profesional y la seguridad e higiene.
- ✓ La concepción de un plan de calidad que controle nuestro servicio al cliente, desde la elaboración del proyecto, su construcción, etcétera, hasta su puesta en operación y mantenimiento posterior.
- ✓ La selección de proveedores y subcontratistas, la revisión de los métodos de trabajo a aplicar y los programas de sensibilización a la calidad, así como los de capacitación y adiestramiento a todos los niveles jerárquicos de la empresa.

Muchas empresas, grandes o pequeñas, controlan sus costos minimizando los recursos materiales y humanos, sin considerar aquellos imputables a errores en la administración o defectos en el producto terminado.

Es interesante considerar los costos de la no calidad que se ilustran en la figura 1 (obtenidos del libro *Gérer la qualité de construction*, edit. Eyrolles).

Según estadísticas de empresas de la construcción, ésta

enfrentan, como principales problemas, los siguientes:

- 1) Retraso en el pago de estimaciones.
- 2) Falta de maquinaria y equipo.
- 3) Retraso en la formulación de contratos.
- 4) Desacuerdo en los precios unitarios.
- 5) Escasez de personal capacitado.
- 6) Modificación, cancelación

Héctor J. Rabadán T.

LA ETICA DE LA CONSTRUCCION ES LA CALIDAD DE LAS OBRAS

ING. SERVANDO DELGADO GAMBOA

Director general de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo, D.F.

La experiencia acumulada a través de los años en que he tenido la oportunidad de trabajar en la construcción de obra pública, me motiva a opinar que en la actualidad resulta necesario invitar a los ingenieros mexicanos que participan en esta actividad, a reflexionar sobre la calidad de las obras en general, la calidad intrínseca del producto, el producto acorde con la calidad a cumplir, y la ética profesional.

Debemos reflexionar en que, con el correr del tiempo, la calidad de una obra es lo único trascendente, es lo de mayor valor; así pues, transcurridos los años, lustros, decenios, siglos, lo que externamos es: ¿qué bien hicieron las obras...; qué hermoso el proyecto de tal obral, etcétera. Nos referimos exclusivamente a la calidad.

En un análisis retrospectivo, resulta intrascendente el tiempo de ejecución de la obra; el propio costo también resulta irrelevante, reiteramos: la calidad en todos sus aspectos, desde su planeación, el proyecto y la construcción misma, es lo único que perdura

Parece ser que muchos de los constructores de la actualidad están ejecutando obras de carácter efímero, para el momento, quizás para el corto o mediano plazo, pero mucho menos para el largo plazo. Esto sin lugar a dudas, acarreará serias consecuencias para su adaptabilidad en el futuro.

Es importante también reflexionar en que, a lo largo del presente siglo, la actividad económica de las sociedades se ha intensificado a tal grado, que el área de la construcción viene evolucionando desde la auto-supervisión del constructor hasta la supervisión por parte de los clientes y, últimamente, a la

supervisión mediante empresas especializadas.

En este desarrollo, se ha distorsionado la conciencia ética de los constructores, que muchas veces no sienten a plena responsabilidad de hacer bien las cosas, sino de sólo hacerlas, sólo cumplir. Piensan más bien en que se las apruebe la supervisión y las puedan cobrar, luego entonces, el constructor trabaja para calificar con la supervisión e inhibiendo su ética profesional en el sentido de que la calidad es absolutamente su responsabilidad. Llegan a pensar que el control de la calidad depende del supervisor, lo cual es totalmente erró-

Los que estamos participando, por parte del Distrito Federal, en la construcción del Metro, hemos considerado importante que en las licitaciones se pida a las empresas que nos detallen sus programas de control de calidad, que nos aseguren que se obtendrá la calidad que pactamos.

neo: el control de la calidad es intrínseco del que produce. Los supervisores no podrán hacer más allá de verificarla.

Procede reiterar que si el constructor no está dispuesto a cumplir estrictamente con la calidad de la obra, sino nada más a que se lo apruebe la supervisión, la calidad se verá mermada seriamente. No es posible ponerle un supervisor a cada trabajador.

Sin lugar a dudas, la supervisión más efectiva es la de la propia constructora. La corrección del defecto en la construcción debe ser una orden del ingeniero constructor, debe salir espontánea del propio constructor. Cuando el supervisor ordena la corrección del defecto, la reacción humana del constructor es no hacerlo. Lo considera injusto, califica al supervisor de falta de criterio, lo ve con otras intenciones, termina haciéndolo obligadamente, y con el tiempo se va distorsionando su apreciación, de tal manera que trabajará para que el supervisor le dé su visto bueno y le pague el trabajo. Como ya se dijo, se inhibe su ética y su sentido de responsabilidad.

LA PARTICIPACION EN LAS LICITACIONES

Capítulo aparte merece la reflexión acerca de la participación de los constructores en las

licitaciones para la asignación de las obras. Estos deben prepararse con un espíritu de responsabilidad, deben prepararse con ética profesional. El constructor al ofertar un precio unitario debe analizar lo suficiente también la especificación de la calidad requerida y, al hacerla, debe plantearse éticamente y proponer un precio unitario con el cual pueda satisfacer esos requisitos de calidad que le está exigiendo la convocante. No es ético bajar los costos con el único fin de ganar el concurso. Al bajar el costo, no debe hacerse mermando la calidad, sino aplicando la ingeniería. La ingeniería en el diseño mismo de los materiales que cumplan la calidad en los procedimientos constructivos, en los aspectos financieros. En cierta forma, deben reflexionar con la siguiente expresión: "Recuerda, nunca puedes bajar la calidad; nunca jugar económicamente con la calidad para ganar una licitación". En caso extremo, buscar otros aspectos de la ingeniería y en última instancia subir los costos, pero nunca bajar la calidad. Esta es la ley de las principales empresas que tienen éxito en el mundo, nunca van contra la calidad.

Actualmente, existen muchos sistemas que se han integrado en la búsqueda de mejo-

rar la calidad. Así nos encontramos desde hace bastantes años con calidad integral, calidad total, círculos de calidad, aseguramiento de la calidad, etcétera. Existen más que suficientes metodologías que son herramientas excelentes para resolver el control de la calidad, pero que no lo resuelven por sí solas, sino esta detrás de su aplicación la capacitación de los ingenieros y la ética profesional.

LA EXPERIENCIA EN COVITUR

El problema de la calidad es genérico, para solucionar desde los parámetros de la formación elemental, la formación intermedia, la profesional, la capacitación continua. Tenemos que evolucionar hacia una cultura de calidad con responsabilidad. Por ello, los que estamos participando, por parte del Distrito Federal, en la construcción del Metro, hemos considerado importante que en las licitaciones se pida a las empresas que nos detallen sus programas de control de calidad, que nos aseguren que se obtendrá la calidad que pactamos, no hemos podido aún establecer como requisito obligatorio el cumplir con certificaciones tipo ISO 9000, pero es nuestra "baliza", caminamos hacia allá.

Finalmente, la reflexión que cada vez es más genérica: "México se ha abierto al mundo"; pero la ciudad si no mejora su calidad, lo que podría resultar benéfico no lo será; lo peor es que será perjudicial.

En la construcción, la ética profesional debe sobreponerse a aspectos comerciales y otro tipo de valores a los que actualmente el constructor les da más importancia, que es la calidad de las obras.

En resumen; la ética de la responsabilidad en todos sentidos requiere revitalizarse para encauzar hacia mejores derroteros a nuestra sociedad.

Se les agradecerá a los constructores que nos permitan, como es lógico,

ta. Aunque el objetivo sea simplemente ofrecer evidencias de contra con un sistema de calidad implantado, sin requerir su certificación, la consultoría ha probado ser una solución muy efectiva para evitar decepciones y gastos innecesarios en gran cantidad de ejecutivos que se han visto en situaciones problemáticas, al no poder cumplir con este requisito, más aún cuando la posible participación en un concurso importante está en juego.

En la mayoría de los casos, las etapas de consultoría definidas para implantar un sistema de calidad son la evaluación actual del sistema, contra lo requerido por la norma, capacitación y sensibilización al personal, documentación e implantación del sistema.

Sin embargo, el éxito garantizado para el proyecto consiste en tres factores:

Compromiso de la alta dirección

Muchos directores de empresas han tomado el proyecto de implantar un sistema de calidad en sus empresas como un requisito que cumplir para poder acceder licitaciones importantes o un trofeo más para la empresa, en caso de obtener la certificación. El compromiso total de la dirección, no sólo en los primeros pasos hacia la certificación, sino hasta la obtención de la misma, es indispensable. Para un director dudoso o escéptico, el "gasto" para contar con un sistema de calidad se considera innecesario. Pero, aunque esta empresa continúe obteniendo contratos sin contar con el sistema, posiblemente en los próximos dos años ya haya sido nulificada por la competencia, la cual se preparó oportunamente para implantar esta herramienta.

Obtener asesoría profesional

Desafortunadamente, como en otros prestadores de servicios

profesionales, existe más cantidad que calidad. Los parámetros para evaluar a un consultor, y que no sólo sean por el precio, como la mayoría de las empresas lo hacen, son comprobar no sólo su experiencia en aseguramiento de calidad, sino su conocimiento del ramo de la empresa que está asesorando. Por ejemplo, no es posible que un consultor con gran experiencia en industria metal-mecánica o electrónica, sepa identificar los procesos críticos de una empresa constructora o firma de ingeniería. Es también útil obtener referencia de otras empresas que el consultor haya asesorado, que cuente con al menos dos años de experiencia práctica y con el conocimiento profundo de la serie ISO 9000. También, es infortunado comprobar que muchas empresas dan por hecho que los consultores extranjeros son mejores que los nacionales. La clave de nuevo es comprobar experiencia.

Compromiso de la empresa

La gran preocupación de las empresas asesoradas es que, con una mínima inversión, el consultor haga las veces de hombre orquesta y se dedique a implantar un sistema, teniendo a la dirección y al personal de la empresa como espectadores pasivos en el proyecto. La ley de Pareto igualmente se aplica aquí, ya que un 80% de la responsabilidad, recursos y trabajo comprometidos son de la empresa y un 20% es labor del consultor. La creencia de que un sistema de calidad es inexistente en una empresa es totalmente falsa, ya que si una empresa permanece en el mercado es porque necesariamente cuenta con sistemas informales que le permiten satisfacer las necesidades de sus clientes, aunque, en la gran mayoría de los casos, estos sistemas no están formalmente reconocidos ni documentados para

poder cumplir con los requisitos de la norma.

Igualmente, muchas empresas dudan en contratar a un consultor si éste no garantiza que con su trabajo la empresa logrará la certificación. Esto es impredecible, ya que, idealmente, la empresa asesorada es la que debe llevar el control del proyecto. Por lo tanto, toda la administración del proyecto es responsabilidad de una compañía. El consultor ofrece el conocimiento técnico para establecer las actividades del proyecto y presupondrá cuánto durarán, pero la empresa asesorada administra la disponibilidad de recursos y el seguimiento del proyecto, por lo que de ella depende en gran parte el resultado, bueno o malo, del proyecto.

CONCLUSION

Actualmente, contar con un sistema de calidad se ha vuelto un requisito necesario para las empresas que quieran obtener ventaja competitiva sobre las que no la tienen y, además, ofrece el beneficio de evitar quejas por retrabajos, penalizaciones por incumplimientos y contar con un control y organización más efectivos en las actividades diarias, trayendo como resultado más credibilidad y, en mediano y largo plazo, mayores utilidades. □

El proceso de implantación de un sistema de calidad en una empresa comprende actividades estructuradas en función de los recursos disponibles y el objetivo asignado. En el caso de las empresas grandes, la consultoría es proporcionada internamente por un grupo de especialistas ya capacitados en el tema. Sin embargo, en empresas micro, pequeñas y medianas, dicho proceso les ha resultado tortuoso, difícil y muy costoso.

CONTROL Y VERIFICACION DE CALIDAD EN OBRAS A CARGO DE LA SCT

Por el Ing. Oscar de Buen Richkarday
Director General de Servicios Técnicos. SCT.
Ave. Coyoacán No. 1895, Col. Acacias
C.P. 03240 México, D.F.
Tel. 524-92-65

RESUMEN

En esta ponencia se presentan los antecedentes históricos de los sistemas de control y verificación de calidad que aplica la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Se describe la evolución de esos sistemas en función de los avances de la tecnología mundial y de las modificaciones legales y administrativas que han tenido lugar en México. Se hace un diagnóstico de la situación actual de los sistemas de referencia y se analizan las causas que han motivado cierto grado de incongruencia entre las disposiciones normativas y la práctica de control de calidad en algunas obras a cargo de SCT. Se enfatiza la necesidad de cumplir con las disposiciones reglamentarias que responsabilizan a las empresas constructoras del control de calidad, el que debe ser un proceso dinámico y retroalimentador que tiene como fin primordial alcanzar la calidad especificada en los proyectos. Se plantean las perspectivas de cambio que se vislumbran en los sistemas actuales, a la luz de las tendencias generales de descentralización y desconcentración de funciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Entre los cambios más importantes que se estiman necesarios, destaca la conveniencia de contar con sistemas de acreditación de laboratorios que apoyen los esfuerzos de descentralización de funciones y de privatización de actividades. La colaboración de los laboratorios independientes al servicio de la construcción será muy valiosa para lograr establecer los sistemas de acreditamiento deseados.

CONTROL Y VERIFICACION DE CALIDAD EN OBRAS A CARGO DE LA SCT

Ing. Oscar de Buen Richkarday

ANTECEDENTES HISTORICOS

La construcción de carreteras para el tránsito automotor data en México de principios de este siglo. En las primeras décadas había pocos vehículos concentrados en unas cuantas ciudades, por lo que no era urgente la creación de una red de carreteras. Las necesidades del transporte de bienes y personas se satisfacían por medio de los ferrocarriles los que tuvieron un comienzo tardío hacia 1872, pero que experimentaron entre ese año y 1910 un rápido crecimiento hasta alcanzar una longitud similar a la actual en sólo 30 años.

Las turbulencias políticas y sociales generadas por el movimiento revolucionario de 1910, retrasaron aún más la aparición de la red de carreteras y crearon una demanda creciente por contar con una red adecuada para los vehículos automotores, cada vez más abundantes. En 1925, el Gobierno de la República para responder a esa demanda creó la Comisión Nacional de Caminos cuyo objetivo fue el de conjuntar los esfuerzos públicos y privados para la construcción de carreteras. Debe reconocerse que en un principio la tecnología disponible para esta construcción era muy deficiente. Muchas carreteras seguían muy de cerca los trazos de viejos caminos de herradura de la época colonial y en otras simplemente se recurría a modificaciones de alineamiento y rasante con los materiales de préstamo lateral que se encontraban más a la mano. Se desconocían los fundamentos científicos del comportamiento de materiales y se seguían únicamente criterios empíricos generados por la experiencia de construcción de

carreteras en otros países. Es necesario tener en cuenta que esta situación de atraso no era privativa de México, sino que era mundial. La Mecánica de Suelos, disciplina fundamental para el desarrollo de las técnicas modernas de construcción de vías terrestres, sólo había sido establecida en forma teórica por Karl Terzaghi en 1922 y habrían de pasar todavía algunos años para que se hicieran las primeras aplicaciones prácticas de ella. Estas deficiencias explican porqué todavía ahora muchos tramos de la red federal de carreteras presentan problemas estructurales que ocasionan graves problemas de mantenimiento. Desafortunadamente, la mayor parte de esos tramos, que son los más antiguos, también son los que tienen mayores volúmenes de tránsito porque comunican las ciudades más importantes del altiplano.

Las primeras carreteras del país fueron las México-Puebla, México-Pachuca, México-Cuernavaca y México-Toluca. Ante la insuficiencia de tecnología, capital y experiencia de las empresas mexicanas, estas carreteras fueron encargadas a empresas norteamericanas, entre las que pueden mencionarse la Byrne Brothers. Las técnicas que se aplicaban, de acuerdo con los conocimientos de la época, eran atrasadas ya que no se daba importancia a la calidad de los materiales para la construcción de las terracerías y los de pavimentación se seleccionaban a criterio del ingeniero residente de la obra, ya que sólo existía un laboratorio de control en la Ciudad de México al que se enviaban esporádicamente muestras con objeto de tener una idea de las características de los materiales que se pretendía emplear, pero con los grandes problemas derivados de la falta de medios adecuados de comunicación.

Las empresas norteamericanas trabajaron pocos años y al retirarse, la ejecución de las obras quedó en manos de técnicos mexicanos que si bien desempeñaron un magnífico papel por los conocimientos que habían adquirido también habían asimilado técnicas defectuosas.

En ese tiempo, en Estados Unidos surgieron sociedades profesionales especializadas en materia de carreteras, como la ASTM, la AASHTO y el Instituto del Asfalto y se

constituyeron Departamentos de Carreteras en todos los Estados de la Unión, entre los que destacan los de California y Texas por la importancia que dieron y siguen dando a las investigaciones que fundamentan las técnicas modernas de construcción de vías terrestres.

En México, en 1927 se estimó necesario reglamentar el proyecto y la construcción de carreteras, para lo cual se publicó la primera versión de las "Especificaciones de Caminos" que rigió en este país. Estas especificaciones en su mayor parte eran una adaptación de normas norteamericanas, por lo que no siempre resultaban adecuadas a las condiciones y necesidades nacionales. Esta situación se solventó, de acuerdo con los conocimientos y las necesidades de la época sólo hasta 1957, en que después de 10 años de preparación y estudio, se publicaron las primeras "Especificaciones Generales de Construcción" de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

El primer laboratorio establecido por la Dirección Nacional de Caminos se instaló en 1934 en la Ciudad de México. Ahí se prepararon los laboratoristas que habrían de atender los primeros laboratorios de campo cercanos a los frentes de trabajo. Esos laboratorios eran incipientes y sólo podían estudiar y controlar en forma directa y con pruebas muy sencillas los materiales que se utilizaban, principalmente en la pavimentación. El primer laboratorio de campo se instaló en la población de Chapulhuacán, Hgo, para controlar la construcción de la carpeta asfáltica del tramo: Jacala- Tamazunchale. Los primeros laboratorios de Mecánica de Suelos se establecieron en 1940 con el objeto de controlar obras del ferrocarril del Sureste.

En 1942 se creó el Departamento de Investigación y Laboratorios para que las distintas dependencias de construcción y conservación que formaban parte de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas pudieran contar con los servicios técnicos inherentes a las obras a su cargo como eran carreteras, puentes, edificios, etc.

Posteriormente, al presentarse una etapa de desarrollo acelerado del país, se incrementó de forma apreciable la construcción de vías terrestres, lo que propició el desarrollo de las disciplinas de ingeniería relativas a este tipo de vías, haciendo apremiante la necesidad de contar con estudios, proyectos y sistemas de control de calidad más oportunos y eficaces. Para responder a esta necesidad se creó en 1953, a partir de un Departamento de Estudios Especiales, la Dirección General de Proyectos y Laboratorios, que ejecutó los estudios y proyectos y llevó a cabo el control de calidad de todas las obras de carreteras y aeropistas de la SCOP hasta 1972.

En ese último año, como parte de las políticas de descentralización del Gobierno Federal, se fundaron los Centros SCT en cada una de las capitales de los Estados de la República. Las actividades de estudios y proyectos fueron asignadas a las dependencias ejecutoras de obras y las tareas de supervisión quedaron a cargo de los Centros SCT, que se apoyaron en las Unidades Generales de Servicios Técnicos de cada Estado, las que fueron creadas agrupando laboratorios regionales existentes. En el mismo año, surge la Dirección General de Servicios Técnicos como una dependencia alternativa y coordinadora de las Unidades Generales de los Centros SCT y como un organismo de apoyo para las dependencias constructoras.

Es importante señalar que en el período que se reseña (de 1925 a 1972) el control de calidad de las obras, tanto por administración como por contrato, era ejecutado directamente por la Secretaría a través de sus laboratorios de campo y laboratorios regionales. Esta situación se daba a pesar de que las normas de 1957 ya señalaban que correspondía a las empresas constructoras la responsabilidad de llevar a cabo el control de calidad de las obras y que la Secretaría sólo debería verificar que se alcanzaba la calidad especificada en el proyecto.

Esta prescripción se encuentra perfectamente lógica si se recuerda que el control de calidad es un proceso mediante el cual se alcanza una norma preestablecida en un sistema

productivo. Debe ser un proceso dinámico y oportuno que permita la rápida retroalimentación de resultados, a fin de ir corrigiendo los desvíos y mantener al producto dentro de los márgenes aceptables por la norma. En el caso de la construcción, es sólo la empresa que ejecuta los trabajos la que cuenta con toda la información y con todos los mecanismos que le permiten realizar el control; la intervención del cliente (en este caso la Secretaría) no puede tener la misma eficacia, por no tener acceso a la información ni mando directo sobre los mecanismos de control.

De acuerdo con las ideas imperantes en esa época, se consideraba que era suficiente que el cliente (la Secretaría) verificara la calidad del producto que recibía, con fines de aceptación y pago. Esta situación establecida en las normas era generalmente soslayada y las empresas constructoras dejaban en manos de la Secretaría el control de calidad, lo que generaba una situación viciosa porque les restaba responsabilidad profesional en su actividad. Además a menudo, por estar fuera la Secretaría del proceso productivo, los resultados de las pruebas eran inoportunos y ya no se traducían en cambios del proceso productivo y si solamente en conflictos de carácter contractual. Desafortunadamente este sistema conducía en ocasiones a que la Secretaría debía terminar por aceptar obras de calidad inferior a la deseada, no siendo relevante para los fines superiores de la Nación el que pagara menos por ellas.

La situación descrita se explica por la evolución histórica del Estado Mexicano y en particular de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en sus áreas relativas a la construcción de carreteras. En las primeras décadas que siguieron al movimiento revolucionario el Estado tenía un carácter paternalista, por lo que la Comisión Nacional de Caminos y las entidades que la sucedieron empezaron por ejecutar directamente las obras, tanto de construcción como de conservación, así como los estudios, proyectos y servicios de control de calidad. Esto se debía a que por el escaso desarrollo de la sociedad mexicana, no existían empresas de consultoría ni de construcción, el mercado de trabajo era raquítico, los problemas y los recursos para resolverlos eran pocos y la forma más eficiente para

lograr el despegue del desarrollo económico era en ese tiempo la centralización de las actividades en dependencias oficiales como fueron la Comisión Nacional de Caminos y las sucesoras.

Al sobrevenir el crecimiento de la economía nacional, la Secretaría fue dejando funciones en manos de empresas privadas; las primeras que se dejaron fueron las de construcción, servicios de consultoría para estudios, proyectos y supervisión de obras lo fue posteriormente.

Esta evolución explica que el control de calidad haya sido ejecutado en forma centralizada por los laboratorios de la Secretaría con los problemas que se han señalado.

DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL

De 1972 a la fecha, se ha incrementado la delegación de funciones en los Centros SCT, ha crecido aún más el volumen de las obras a cargo de la Secretaría y se han formado y multiplicado las empresas de construcción y consultoría, entre las que destacan para los fines que nos ocupan, las empresas que dan servicios de supervisión y control de calidad de las obras. Las condiciones están dadas para que se aplique plenamente la disposición normativa que obliga a las empresas a responsabilizarse del control de calidad. Sin embargo, debe reconocerse que desafortunadamente aún persiste cierto grado de incongruencia entre la normativa y la práctica sobre el control de las obras, que se explica porque la implantación de nuevos sistemas en cualquier medio, queda siempre en forma final en manos de personas y éstas muchas veces se muestran renuentes al cambio de costumbres y transmiten a sus discípulos colaboradores sus actitudes y tradiciones. Por este hecho tan humano, es que nos encontramos todavía funcionarios de la Secretaría que estiman que deben ser los laboratorios de ésta los que controlen la calidad de las obras y

nos encontramos también con empresarios de la construcción que por comodidad y por un espíritu de ahorro malentendido, esperan que sean los laboratorios de la Secretaría los que les digan como controlar sus procesos productivos.

Es indudable que el cambio en la práctica sólo puede lograrse con el tiempo y con acciones permanentes de capacitación y concienización. Aparte de las conveniencias ya señaladas que tiene el deslinde de responsabilidades en el control de calidad, cabe señalar que el esquema centralizador actualmente es insostenible porque se opone a las políticas generales adoptadas por el Gobierno de la República para la modernización del Estado. Esas políticas buscan privatizar la mayor parte las actividades que antes realizaba el Estado y dejar en manos de éste solamente las de normatividad, coordinación y fomento. Siguiendo esas políticas generales se han aplicado en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes como en el resto de las dependencias, una serie de políticas de adelgazamiento que han repercutido en una merma considerable de los cuadros técnicos. Entre esas políticas cabe señalar las promociones para el retiro voluntario del personal de nómina, los estímulos para jubilaciones y pensiones, la congelación de plazas, etc. Si a eso se suman condiciones impuestas por la crisis económica como la baja escala de salarios, la falta de estímulos para hacer carreras en el servicio civil y la escasez generalizada de recursos, se encuentra la explicación de la insuficiencia de profesionales y técnicos que aflige actualmente a las dependencias de la SCT.

Aun cuando la Secretaría de Comunicaciones y Transportes fue señera en México en la implantación de laboratorios para el control de calidad de las obras y en la promoción del desarrollo de la tecnología de la construcción, es preciso reconocer que las limitaciones impuestas por las crisis económicas la han llevado a una situación de rezago en el área de laboratorios para el control de la calidad de la construcción, de manera que actualmente en algunos aspectos se encuentran mejores equipos y mejor personal técnico en laboratorios privados que en los de la SCT. Sin dejar de lado el hecho de que la Secretaría debe

esforzarse en superar esos rezagos y actualizar su equipamiento, así como en buscar la superación de sus técnicos, es evidente que debe aprovechar plenamente la capacidad instalada en los laboratorios privados, en beneficio de la calidad de las obras.

Otro aspecto que debe mencionarse como negativo para los sistemas de control de calidad en las obras a cargo de la Secretaría, es el que se refiere al establecimiento de programas de construcción que obedecen a objetivos políticos coyunturales y que no toman en cuenta los tiempos mínimos que requieren los estudios, los proyectos y el sistema retroalimentador de control del proceso productivo. Cuando se establecen programas demasiado optimistas y con un conocimiento insuficiente de las condiciones del entorno, se está propiciando el incumplimiento de los procedimientos de aseguramiento de la calidad. El apresuramiento en el cumplimiento de metas conforme a programas demasiado ajustados, propicia la omisión de la intervención oportuna de los diferentes agentes del control de calidad.

Esta situación ya está empezando a corregirse con la implantación de la nueva Ley de Adquisiciones y Obras Públicas, que impone plazos mínimos para la licitación y contratación de las obras y exige que se cuente con los estudios completos antes de licitarlas. Por otra parte la atonía impuesta por la actual crisis económica, proporciona a los involucrados en la gestión y ejecución de carreteras, una oportunidad valiosa para imponer en el desarrollo de las obras los tiempos mínimos que permiten un control de calidad adecuado.

Atendiendo disposiciones del Gobierno de la República, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha iniciado un programa radical de descentralización y desconcentración de funciones. Por la descentralización un gran número de las funciones actuales de la Secretaría se transferirán a los gobiernos de los Estados. Como ejemplo puede mencionarse que la red actual federal de carreteras de 42,000 km se reducirá a la mitad, después de transferir aproximadamente 21,000 km a los Estados.

La desconcentración implica la transferencia de funciones de las dependencias centrales de la Secretaría a los Centros SCT. Dichos Centros serán cada vez más órganos ejecutivos, responsabilizados de los estudios, proyectos, licitación, contratación y supervisión de las obras. Las Unidades Generales de Servicios Técnicos tendrán en consecuencia un aumento desmesurado en la demanda de sus servicios. Deberán atender directamente actividades que antes ejecutaban las dependencias centrales y es previsible que también deberán servir de elementos de apoyo para complementar la capacidad técnica de los Gobiernos de los Estados en el área de carreteras, por lo menos durante un período de transición mientras los organismos técnicos estatales se fortifican para atender con propiedad los tramos de la red que les serán transferidos. Estas situaciones y la rapidez de la evolución de la tecnología para el control de la calidad en la construcción, imponen sobre los sistemas de trabajo de la Secretaría en materia de Servicios Técnicos, una urgente necesidad de cambio.

PERSPECTIVAS

Ante la situación descrita, se plantea la necesidad de modernizar los sistemas y procedimientos de control de calidad en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Partiendo del principio básico de que el objetivo fundamental de la Secretaría debe ser el obtener obras que alcancen los estándares de calidad fijados en los proyectos, se concluye que lo importante es establecer un sistema de aseguramiento de la calidad. Este sistema constará de dos vertientes: el control de calidad y la verificación de ese control.

El control de calidad se entiende como un proceso sistemático y extensivo que debe quedar a cargo del constructor, a fin de que éste pueda corregir oportunamente las causas que motiven desvíos de la obra respecto a los estándares de calidad especificada por arriba de los márgenes de tolerancia. A la Secretaría sólo debe competirle realizar una verificación

de que ese control sea el adecuado para las características de la obra y que la verificación sea un proceso puntual y aleatorio con fines de aceptación y pago y que no interfiera en el proceso productivo.

Sin embargo, es oportuno recordar que la Secretaría ejecuta obras por administración y por contrato. El sistema que se ha descrito corresponde a las obras por contrato, en las que la responsabilidad de la calidad debe ser tomada por la empresa contratista. En el caso de obras por administración, es la propia Secretaría la que debe realizar el control de calidad. Aun cuando la importancia relativa de las obras por administración es cada vez menor, se estima conveniente que los laboratorios de la Secretaría conserven una capacidad mínima para controlarlas.

En lo que se refiere a la organización de los trabajos de laboratorio necesarios para la verificación y control de calidad, la Dirección General de Servicios Técnicos se ha propuesto consolidar el siguiente esquema operativo:

Los Laboratorios de las Unidades Generales de Servicios Técnicos en cada Centro SCT atenderán directamente las obras en el Estado correspondiente, siguiendo instrucciones programáticas y operativas del C. Director General del Centro, conforme a la división de responsabilidades ya señalada.

Los Laboratorios de las Unidades Regionales realizarán las pruebas necesarias para los estudios a cargo de dichas Unidades, siendo estos estudios tanto los de carácter específico para obras determinadas, como los de tipo general que apoyen investigaciones de innovación tecnológica. Asimismo, apoyarán a las Unidades Generales en aspectos operativos, cuando se presenten picos de trabajo por encima de la capacidad instalada de estas últimas y realizarán algunas pruebas de aceptación de materiales que requieren equipos especiales.

El Laboratorio Central de la Dirección General prestará apoyo para pruebas de carácter especial que requieran equipos costosos que no puedan adquirirse para todos los Centros SCT y Unidades Regionales; complementará la capacidad de Laboratorios foráneos cuando sea necesario y realizará estudios de investigación aplicada, especialmente para la evaluación e implantación de nuevos equipos.

Es importante señalar que para que los esquemas descritos puedan implantarse y resulten eficaces en el logro final que es el aseguramiento de la calidad de las obras, se hace necesario que se realice otra serie de acciones en diferentes áreas de trabajo de la Secretaría. En seguida, se describen algunas de las más importantes:

Actualización de normas SCT

Actualmente la Subsecretaría de Infraestructura, por acuerdo del C. Secretario del Ramo, está procediendo a la revisión de una nueva versión de las Normas de Construcción elaboradas por el Instituto Mexicano del Transporte. En esta versión no sólo se incorporan los avances recientes en nuevos materiales, productos y técnicas constructivas, sino que también se toman en cuenta los nuevos marcos legal y administrativo que norman la acción de la Secretaría y en lo que se refiere al aseguramiento de la calidad, se enfatiza el deslinde de responsabilidades ya descrito.

Inicialmente este proceso de revisión será interno del Sector Comunicaciones y Transportes. Cuando se haya obtenido por consenso una versión final de estas normas, se iniciará otro proceso para oficializarlas como normas mexicanas o normas oficiales mexicanas, de acuerdo con los lineamientos de la Ley Federal de Metrología y Normalización. En esta segunda fase, se solicitará la intervención de organismos y empresas ajenas al Sector Comunicaciones y Transportes, tanto públicas como privadas.

Cambios en los procedimientos de licitación y contratación

Los procedimientos adicionales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la licitación y contratación de las obras, han experimentado recientemente cambios importantes para ajustarse a las disposiciones de la nueva Ley de Adquisiciones y Obras Públicas. Esta Ley a su vez contempla las acciones de modernización del Estado y la inserción de México en el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica.

Sin embargo, para consolidar los esquemas propuestos de control y verificación de calidad de las obras, se requieren ajustes adicionales a las prácticas de licitación y contratación. Se estima necesario que en México, al igual que en otros países, se permita la participación en los concursos a aquellas empresas que demuestren la capacidad técnica necesaria para el tipo de obra que se está licitando. Entre los aspectos importantes de esa demostración de capacidad técnica, debe incluirse la presentación por parte de la empresa, de sus sistemas y procedimientos para el aseguramiento de la calidad. Esos sistemas deben ser de carácter permanente aunque queda abierta la posibilidad de que una empresa constructora subcontrate los servicios de supervisión y de control de calidad de la obra.

Para que la Secretaría se asegure plenamente de la capacidad técnica de las empresas concursantes en lo que se refiere al control de calidad, deberá contarse con un sistema nacional de acreditamiento de Laboratorios de vías terrestres. Actualmente la Dirección General de Servicios Técnicos ha empezado a colaborar con SINALP, Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Prueba, en trabajos que tienen por objetivo obtener en un plazo breve ese sistema de acreditación, el cual resultará de gran utilidad para los laboratorios independientes al servicio de la construcción, pues les permitirá acceder a un mercado de gran potencialidad. A las empresas constructoras también les resultará útil conocer la gama de servicios disponibles y para la Secretaría de Comunicaciones y

Transportes, el sistema de acreditamiento resultará una herramienta valiosa para asegurar la calidad de las obras.

Es oportuno señalar dentro de este contexto, que la Secretaría podrá complementar su capacidad instalada para la verificación del control de calidad de las obras, contratando los servicios de empresas de consultoría. A partir de ese momento al consultor se le considera parte de la Secretaría y éste deberá ajustar sus programas y procedimientos de trabajo a los propios de la dependencia.

Desarrollo de programas de aseguramiento de calidad

Aparte de las normas de construcción de la SCT, es necesario que la Secretaría desarrolle un Programa General de Aseguramiento de la Calidad, complementado con Manuales de Organización y Procedimientos que aclaren dentro de los esquemas propuestos, las relaciones entre las diferentes dependencias de la Secretaría y entre éstas y las empresas constructoras y consultoras. Ese Programa debe contemplar diferentes esquemas para diferentes tipos de obra, según las fuentes de financiamiento y las características y dimensiones de ellas.

Igualmente, la Secretaría debe exigir que las empresas constructoras cuenten con su propio Programa de Aseguramiento de la Calidad en el que se deslinde claramente el cuerpo profesional encargado de la construcción y supervisión del cuerpo profesional encargado del control de calidad.

En este programa se deben establecer los sistemas y los procedimientos que permitan revisar los proyectos aportados por la Secretaría y posteriormente controlar la calidad tanto de los materiales como del proceso productivo. Deberá definirse claramente el mecanismo

de enlace que permita la retroalimentación de los resultados del control en el proceso constructivo.

Los subcontratistas de la empresa constructora, entre los que se incluyen los prestadores de servicios de control de calidad, deberán también tener su propio programa de aseguramiento de calidad que sea compatible con el de la empresa contratante.

Por otra parte, para cada obra en particular y especialmente para las grandes obras, debe desarrollarse un Plan específico de control de calidad por parte de la Secretaría y sus consultores y por parte de las empresas contratistas y sus subcontratistas. El Plan contemplará las circunstancias particulares de cada caso, por ejemplo, las limitaciones de programa, de recursos, de tipo social y ambiental. Para la etapa de licitación bastará con que las empresas concursantes presenten un Plan de carácter general, pero al inicio de la obra, el Plan de control de calidad de la obra deberá estar completamente definido.

Implantación de sistemas de evaluación, seguimiento e innovación

El sistema propuesto para el control y verificación de la calidad de las obras, deberá ser complementado con mecanismos que permitan su evaluación permanente. En el pasado, en ocasiones se concebía los sistemas de control de calidad como instrumentos de carácter policiaco cuyo objetivo era detectar errores y culpables con fines punitivos. Esta actitud generalmente desembocaba únicamente en conflictos prolongados y costosos y no se reflejaba en el aumento de calidad de las obras, porque los potenciales constructores elevaban de antemano sus cotizaciones para tomar en cuenta los sobrecostos que los conflictos les habían de implicar.

Es mejor estrategia fomentar la responsabilidad profesional de los constructores consultores que participen en las obras de la Secretaría y realizar una evaluación

permanente de los resultados del sistema del control de calidad para su posterior afinamiento, en beneficio de la calidad de las obras futuras.

La evaluación también se refiere a la necesidad de que la dependencia contratante lleve un seguimiento del comportamiento tanto de empresas como de consultores independientes. Este seguimiento se reflejará en el acreditamiento de los participantes en la construcción y en los casos extremos de irresponsabilidad o incapacidad, podrá llevar a la rescisión del acreditamiento correspondiente.

Por otra parte, el sistema propuesto no debe concebirse como un sistema rígido que perpetúa prácticas tradicionales y que cancela las posibilidades de innovación tecnológica. Es importante que la Secretaría cuente con un mecanismo que permita la incorporación de las innovaciones que se propongan, previa evaluación y adecuación a las circunstancias nacionales. Las innovaciones pueden referirse al empleo de nuevos productos o de nuevas técnicas constructivas. Generalmente la dificultad con que tropieza la implantación de estas novedades es la falta de normas que permitan su aplicación racional y segura. Para obviar esta dificultad, la Dirección General de Servicios Técnicos está considerando la posibilidad de que se emprendan estudios específicos de investigación aplicada, que permitan la evaluación de las innovaciones propuestas. El costo de estos estudios sería sufragado por las entidades comerciales que promuevan la introducción de innovaciones. De estos estudios surgiría la norma necesaria después de haber sido evaluada y sancionada por los especialistas y autoridades involucradas. De esta manera, se concluye que el proceso de actualización de normas debe ser de carácter permanente.

Capacitación y concientización

Es importante señalar que las ideas que se han vertido en este trabajo, no significan que en materia de control de calidad en las obras a cargo de la SCT se esté partiendo de cero o que

los sistemas establecidos tengan tantas carencias que sea necesario transformarlos radicalmente. En la Secretaría de Comunicaciones y Transportes existe un cuerpo técnico con amplia preparación y experiencia y un grupo importante de administradores con una visión clara de los problemas de calidad, que han realizado y seguirán realizando sus mejores esfuerzos por lograr obras de calidad adecuada. Únicamente se está proponiendo aquí un reordenamiento y sistematización de los procedimientos y temas existentes en beneficio de obras cada vez más extensas y numerosas a cargo de la Secretaría, con el afán de adecuar el quehacer de la Secretaría a las tendencias generales de desconcentración,

centralización de responsabilidades y de transferencia, cada vez más acentuada, de actividades del Sector público al privado.

Es evidente, por otra parte, que el sistema que se establezca para el control y la verificación de la calidad de las obras, es sólo uno de los instrumentos de que se dispone para mejorar la calidad de la construcción. Por muy bien que se diseñe ese sistema, no funcionará si falta la piedra clave de la calidad que es la concientización y la capacitación de las personas involucradas en el proceso productivo. Todos ellos, desde funcionarios y empresarios hasta técnicos y peones, deben estar convencidos de que su responsabilidad principal es realizar bien su trabajo en aras de la calidad.

Esta reflexión puede extenderse a todas las órdenes de la vida nacional. La calidad debería convertirse en una obsesión de los mexicanos. A la concientización debe acompañarse la capacitación para que una vez que las personas estén convencidas de que deben hacer bien su trabajo, sean capaces de hacerlo bien. Por lo expuesto, las modificaciones propuestas a los sistemas de control y verificación deberán ser acompañadas por campañas extensas de concientización y de capacitación que involucren a todos los participantes en la construcción. Es indudable que el apoyo de la Asociación Nacional de Laboratorios Independientes al Servicio de la Construcción resultará muy valioso para la Secretaría de

Comunicaciones y Transportes en estas campañas, así como en otros aspectos de la implantación de nuevos sistemas de control y verificación de la calidad de las obras.

Puebla, Pue., 7 de octubre de 1995.

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS

DIRECCIÓN DE ACREDITAMIENTO

SUBDIRECCIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO

DE LABORATORIOS DE PRUEBAS



INTRODUCCION AL SISTEMA

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO DE LABORATORIOS DE PRUEBAS

CONTENIDO

1. INTRODUCCION
2. CREACION Y OBJETIVOS
3. MARCO LEGAL
4. FUNCIONAMIENTO
 - 4.1. DIRECCION GENERAL DE NORMAS
 - 4.2. COMITES DE EVALUACION
 - 4.3 LABORATORIOS ACREDITADOS
5. PROCESO DE ACREDITAMIENTO
 - 5.1. SOLICITUD
 - 5.2. EVALUACION
 - 5.3. ASESORIA
 - 5.4. MEDIDAS CORRECTIVAS
 - 5.5. DICTAMEN
 - 5.6. ACREDITAMIENTO PROPUESTO
 - 5.7. ACREDITAMIENTO DENEGADO
 - 5.8. APELACION
6. DESPUES DEL ACREDITAMIENTO OFICIAL
7. RENOVACION
8. RETIRO VOLUNTARIO
9. CANCELACION
10. REVISIONES POSTERIORES A LA ACREDITACION
11. USO DEL LOGOTIPO SINALP
12. VENTAJAS
13. INFORMACION ADICIONAL.

1.-INTRODUCCION

Actualmente los laboratorios juegan un papel fundamental para el desarrollo industrial de los países porque son las bases técnicas de una serie de actividades vinculadas con la calidad, como son la investigación en el desarrollo de nuevos productos, procesos, sustitución de importaciones, así como para la evaluación de importaciones, la evaluación de la calidad de productos, materias primas, por citar algunas.

Este papel fundamental también coincide en el comercio nacional ya que los consumidores principalmente la industria de la transformación, exigen con mayor frecuencia una calidad certificada que necesariamente se verifica mediante realización de pruebas en laboratorios.

Asimismo, en el marco en que se desenvuelve nuestro comercio exterior la intervención de los laboratorios es cada vez mas importante, ya que la creciente competitividad obliga a garantizar a través de pruebas que la calidad de un producto corresponde a la convenida y especificada entre exportador e importador a la estipulada en las reglamentaciones técnicas determinadas por los gobiernos.

De esta importancia inminente que adquieren los laboratorios de pruebas se ha hecho necesario establecer sistemas que acrediten que estos funcionan adecuadamente y que emiten resultados confiables. Derivado de esta necesidad, se han desarrollado Organismos de Acreditamiento. En nuestro país, es el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas (SINALP).

2.-CREACION Y OBJETIVOS

En México, el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas (SINALP), se creó el 21 de Abril de 1980 por Decreto Presidencial y se elevó a rango de Ley el 26 de Enero de 1988, y en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización del 1 de Julio de 1992. Se establece como el Único Organismo de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas.

El SINALP es un organismo de naturaleza mixta (oficial y privada) que tiene los siguientes propósitos: agilizar las transacciones comerciales a nivel internacional eliminando barreras no arancelarias, optimizar los recursos existentes y estimular el desarrollo industrial del país, mediante el reconocimiento y aceptación de resultados de pruebas obtenidas en laboratorios confiables basándose en directrices internacionales como guías ISO/CEI, normas emitidas por la ISO y trabajos de ILAC

Los Laboratorios que logran obtener el reconocimiento oficial a través del Acreditamiento, son aquellos que cumplen con la serie de requisitos que establece el Sistema como son: ORGANIZACIÓN, RECURSOS HUMANOS, EQUIPO, INSTRUMENTOS DE PRUEBA, INSTALACIONES, SEGURIDAD, MUESTRAS Y MATERIALES AUXILIARES PARA PRUEBA, METODOLOGÍA, SISTEMA DE REGISTRO, INFORMES DE RESULTADOS, SUPERVISIÓN Y ARCHIVO, ETC

La observancia en el cumplimiento de dichos requisitos se lleva a cabo mediante una rigurosa evaluación inicial y una serie de evaluaciones periódicas que demuestran la continuidad de su competencia.

3.-MARCO LEGAL

Decreto que establece el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1980.

Reglas de Operación del Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de octubre de 1980.

Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de Julio de 1992.

Las normas Mexicanas:

NMX-CC-13-1992 Criterios generales para la operación de los laboratorios de pruebas

NMX-CC-14-1992 Criterios generales para la evaluación de los laboratorios de prueba

NMX-CC-15-1992 Criterios generales relativos a los organismos de acreditamiento de laboratorios de pruebas.

4.-FUNCIONAMIENTO

La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, es la encargada de coordinar los procedimientos administrativos del Sistema en concordancia con prácticas internacionales condiciones del país.

Asimismo, es la encargada de otorgar el reconocimiento oficial a aquellos laboratorios que cumplen con los requisitos de operación establecidos por el SINALP, basados en los criterios definidos en la Norma NMX-CC-13, 14 y 15 de 1992.

4.1. COMITES DE EVALUACION

Operan en forma autónoma como instrumento de apoyo técnico y cada uno controla una área industrial determinada.

Cada Comité de Evaluación cuenta con sus propias normas de operación específica que lleva a cabo las funciones de evaluación a los Laboratorios mediante un grupo de expertos denominados EVALUADORES, quienes visitan al Laboratorio solicitante con el fin de:

-Verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos del Sistema; así como, asegurar el uso de metodologías y/o procedimientos analíticos susceptibles de mejorar la calidad de las determinaciones que realice.

A través de estos Comités se lleva a cabo la promoción, difusión y aplicación de prácticas de trabajo uniformes y confiables en los Laboratorios Nacionales y llevan como objeto lograr el reconocimiento de estos laboratorios a nivel regional, nacional e internacional.

4.2. COMITES DE EVALUACION DE LABORATORIOS QUE CONFORMAN AL SINALP

- CONSTRUCCION
- ELECTRICA y ELECTRONICA
- METAL-MECANICA
- QUIMICA *
- TEXTIL Y DEL VESTIDO
- ALIMENTOS

* NOTA: Esta integrado por laboratorios químicos, farmaceuticos, ambientales y clínicos.

4.3. FUNCIONES DE LOS LABORATORIOS ACREDITADOS

Los laboratorios acreditados fungen como grupos de apoyo y consulta en asuntos relacionados con el acreditamiento oficial.

5.-PROCESO DE ACREDITAMIENTO

El Laboratorio interesado en obtener el Certificado de Acreditamiento que otorga la Dirección General de Normas, de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, debe llevar acabo el proceso de acreditamiento que consiste en:

Proporcionar la información que se requiere en las formas para la solicitud de Acreditamiento en original y dos copias e ingresarla por Oficialía de Partes de la Dirección General de Normas.

La evaluación del Laboratorio que se efectúa por evaluadores que son seleccionados de un grupo de especialistas en el tipo de trabajo que se realiza en el Laboratorio.

La Dirección General de Normas proporciona al Laboratorio el dictamen de acreditamiento, basandose en el informe de los evaluadores, mismo que es analizado y calificado en el seno del COMITE.

El laboratorio acreditado recibe visitas postacreditamiento, para garantizar la continuidad en el cumplimiento de los requisitos del SINALP, por medio de visitas ALEATORIAS O PERIODICAS.

5.1. SOLICITUD

La solicitud con que todo Laboratorio inicia el proceso de Acreditamiento, proporcionada por la Subdirección del SINALP, esta acompañada de un cuestionario que sirve de guía para que el Laboratorio suministre la información requerida

En la solicitud el laboratorio debe definir el alcance del Acreditamiento deseado y proporcionar todos los detalles que permitan conocer los recursos materiales y humanos, y en general, todos los asuntos relacionados con sus antecedentes

El laboratorio somete por Oficialía de Partes de la Dirección General de Normas en original y dos copias la solicitud de Acreditamiento, mismo que se distribuye como sigue:

***-ORIGINAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL SINALP
(SE QUEDA EN OFICIALIA DE PARTES PARA SER ENVIADO POR
CONDUCTO OFICIAL)

***-UNA COPIA AL COMITE (EL INTERESADO DEBE ENTREGAR PERSONALMENTE ESTA COPIA AL COMITE - SINALP)

***-UNA COPIA AL SOLICITANTE (PARA ARCHIVO DEL LABORATORIO)

La información contenida en la solicitud será tratada confidencialmente y se usará exclusivamente para fines de acreditamiento

Dicha solicitud se utiliza para:

***-REGISTRAR AL LABORATORIO

***-DETERMINAR LOS METODOS DE PRUEBA PARA EL ACREDITAMIENTO

***-CONTAR CON INFORMACION ACERCA DEL LABORATORIO Y SU ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

***-REUNIR LA INFORMACION NECESARIA PARA PREPARAR UNA VISITA AL LABORATORIO.

5.2. EVALUACION

El Certificado de Acreditamiento que la Dirección General de Normas concede, está supeditado al resultado de evaluación que el laboratorio obtenga después de la visita de los evaluadores.

La Dirección General de Normas envía al Comité copia de la solicitud de Acreditamiento al Laboratorio y la información contenida se analiza para conocer la naturaleza de las pruebas a evaluar, posteriormente el Comité selecciona, dentro de un grupo de especialistas, a los evaluadores que visitarán el laboratorio, la selección se hace después de considerar las relaciones industriales, comerciales y profesionales que existan entre los evaluadores y el personal del laboratorio solicitante.

El grupo de evaluadores cuenta con un representante, quien es designado como evaluador líder, quien en conjunto con un representante de la Dirección General de Normas coordinan la evaluación.

La evaluación concluye con la firma de una constancia por parte del evaluador líder el representante de la Dirección General de Normas y el representante legal del laboratorio.

5.3. ASESORIA

Una vez efectuada la evaluación el grupo evaluador en caso de encontrar algunas deficiencias asesorará al Laboratorio para que tome las medidas correctivas necesarias o efectúe las modificaciones requeridas para incrementar su eficiencia.

5.4. MEDIDAS CORRECTIVAS

Cuando el Laboratorio ha efectuado ya las acciones correctivas, lo debe notificar a la Dirección General de Normas a quien considerando la opinión del Comité de expertos decidirá si se requiere o no una nueva visita al laboratorio para verificar dichas correcciones.

5.5. DICTAMEN

Como resultado de la evaluación realizada se entrega al evaluador líder un informe de todos los evaluadores que participaron en la evaluación, el cual realizará un informe final y por escrito en donde mencionan todos los aspectos importantes que surgieron en la visita al laboratorio y en

forma particular sobre las deficiencias a las que se requiere prestar atención antes de que otorgue el ACREDITAMIENTO.

El informe de los evaluadores se entrega al Comité, donde es analizado y calificado de acuerdo a las formas correspondientes, para determinar si el laboratorio obtiene el Acreditamiento o la Negación del Acreditamiento, generándose el dictamen que se acompaña de las observaciones y recomendaciones que se le da al laboratorio del resultado logrado.

5.6. ACREDITAMIENTO PROPUESTO

Quando proceda la acreditación el informe de la evaluación constituye el soporte para hacerlo. En este caso se otorga un Certificado de Acreditamiento al Laboratorio, que respalda oficialmente aquellas pruebas en que se ha demostrado ser técnicamente competente.

5.7. ACREDITAMIENTO DENEGADO

En caso que se determine no Acreditar al laboratorio se le notifica indicando las razones por las que se tomó esa decisión.

5.8. APELACION

Quando se niega el Acreditamiento a un Laboratorio, éste tiene el recurso de apelación, solicitando la revisión en su caso exponiendo por escrito sus razones. Esto debe hacerse dentro de los treinta días siguientes a la fecha de recibida la notificación.

Si el trámite procede se reiniciará el proceso a partir de la evaluación, en caso contrario se da por terminado el proceso.

6. OBLIGACIONES DESPUES DEL ACREDITAMIENTO OFICIAL

Una vez que haya sido otorgado el Acreditamiento, el laboratorio debe comprometerse a cumplir con los requisitos que establece el SINALP, los cuales en términos generales serán los siguientes:

****MANTENER LOS PROCESOS DE OPERACION A UN NIVEL ACEPTABLE PARA EL SINALP**

****NOTIFICAR CUALQUIER CAMBIO DE SIGNATARIO, YA SEA POR FALLECIMIENTO, RENUNCIA, TRANSFERENCIA O CAMBIO DE ACTIVIDAD.**

****NOTIFICAR LOS CAMBIOS IMPORTANTES DEL LOCAL O EQUIPO**

****ADHERIRSE A LOS REQUISITOS QUE FIJA EL SINALP PARA LA MANIFESTACION DE SU ACREDITAMIENTO EN LOS INFORMES DE RESULTADOS DE PRUEBAS.**

****EL REPRESENTANTE AUTORIZADO DE UN LABORATORIO ES EL RESPONSABLE DE ASEGURAR QUE SE CUMPLAN LOS REQUISITOS ANTERIORES, QUIEN TENDRA QUE NOTIFICAR CUALQUIER CAMBIO DE ORGANIZACION QUE SE LLEVE A CABO.**

****EN CASO DE HABER UN CAMBIO DE REPRESENTANTE AUTORIZADO, SE NOTIFICARA AL ORGANISMO RECTOR**

7. RENOVACION

La vigencia de la acreditación puede definirse en dos años, tiempo en el cual se verifica la continuidad en la competencia del laboratorio mediante la información generada por los resultados

de las revisiones posteriores, así como las pruebas de intercomparación, las notificaciones recibidas sobre correcciones efectuadas, notificaciones, etc.

8. RETIRO VOLUNTARIO

Un Laboratorio puede decidir no renovar su acreditamiento o determinar en cualquier momento, el retiro voluntario del mismo.

En ambos casos esta determinación deberá ser notificada por escrito a la Dirección General de Normas y ser devuelto el Certificado de Acreditamiento.

9. CANCELACION

En los casos en que se detecten en un laboratorio violaciones a los términos del Sistema, su Acreditación puede ser revocada, sin embargo puede optar por el retiro voluntario, o apelar contra la cancelación.

Si el laboratorio recurre a la apelación deberá seguirse el mismo procedimiento descrito para la apelación contra el Acreditamiento Denegado

Cuando la cancelación es definitiva, el laboratorio debe regresar su Certificado de Acreditamiento, dejar de emplear el emblema del Sistema en sus informes de resultados de pruebas y cualquier otro tipo de alusión al acreditamiento.

Cuando la suspensión del acreditamiento es temporal, el laboratorio deberá corregir las anomalías detectadas, causa de la suspensión, en un plazo no mayor de 90 días notificando a Dirección General de Normas, de no hacerlo se le cancelará definitivamente de acreditamiento.

10. REVISIONES POSTERIORES A LA ACREDITACION

Para garantizar la continuidad en el cumplimiento de los requisitos, pueden establecerse dos tipos de evaluaciones a los laboratorios acreditados.

1.-ALEATORIAS, ya que sea Sistema se reserva el derecho de revisar nuevamente a cualquier laboratorio en el momento que lo considere necesario.

2.-PERIODICAS, que se llevan a cabo a intervalos menores de 2 años. En estas revisiones, puede seguirse el mismo procedimiento de la primera evaluación, solo que pueda requerirse menor tiempo pues existen antecedentes de la primera, que la hacen mas sencilla.

11. USO DEL LOGOTIPO SINALP:

1.- Cuando un Laboratorio Acreditado desea manifestar su acreditamiento por medio de la papelería que emplea para sus informes de resultados, podrá usar el emblema del SINALP, con la siguiente leyenda:

"Este Laboratorio ha sido Acreditado por el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas.

Las pruebas aquí reportadas se han ejecutado de acuerdo a los requisitos impuestos por el Sistema."

Los documentos que llevan este endoso deberán estar firmados por uno de los signatarios autorizados y deberán incluir la nota siguiente que controle su reproducción:

"Estos documentos solo pueden reproducirse en su totalidad y no parcialmente"

El endoso del SINALP deberá emplearse únicamente para las pruebas que han sido incluidas en el acreditamiento.

2.-El informe de resultados con el logotipo o endoso del SINALP puede incluir observaciones, las muestras y los procesos de prueba con el fin de aclarar o interpretar correctamente los resultados obtenidos. Sin embargo, no deberá presentar opiniones personales o indicaciones de interpretación.

3.-Los informes endosados deberán ser registrados con número de folio y fecha, y su copia deberá ser archivada por un periodo mínimo de 5 años.

Cuando un Laboratorio tiene la necesidad de expedir reportes preliminares y posteriormente reportes finales para una prueba, ambos podrán llevar el endoso del SINALP.

4.- Un Laboratorio Acreditado podrá incluir el endoso del SINALP en el membrete de su papelería y en general en sus publicaciones y anuncios comerciales, con fines de promoción pero ajustándose a las siguientes condiciones:

A).- LA PAPELERIA MEMBRETADA CON EL ENDOSO SINALP NO DEBERA EMPLEARSE PARA REPORTAR RESULTADOS DE PRUEBAS NO ACREDITADAS.

B).- CUANDO SE UTILICE LA PAPELERIA MEMBRETADA PARA REPORTAR RESULTADOS DE PRUEBAS ACREDITADAS SE DEBERA INCLUIR EL ENDOSO COMPLETO CON LA LEYENDA PRESENTADA EN EL INCISO

C).- EL ENDOSO DEL SINALP NO SIGNIFICA QUE LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS APRUEBA UN PRODUCTO O UN PROCESO.

12. VENTAJAS:

Al pertenecer al SINALP la industria se ve favorecida en los siguientes aspectos:

Debido a la similitud de sistemas, es más fácil pasar exitosamente las evaluaciones de empresas que requieran sistemas de ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

*- LAS AUTORIZACIONES O PERMISOS DE FABRICACION, VENTA Y USO DE PRODUCTOS, POR PARTE DE LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS SON MAS AGILES.

*- SE TIENE MAYOR CONFIABILIDAD EN LOS EQUIPOS DE PRUEBA, SUS CALIBRACIONES Y SUS RESULTADOS. Y COMO CONSECUENCIA DE ESTO, SE PUEDE MEJORAR LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS.

*- SE FACILITA LA COMERCIALIZACION DE PRODUCTOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.

13. INFORMACION ADICIONAL:

La Dirección General de Normas, a través de su Subdirección del Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas, proporcionará información o explicación acerca de los oficios, artículos, estatutos o requisitos para registro

NOTA IMPORTANTE: LOS GASTOS QUE SE DERIVEN EN LAS VISITAS DE EVALUACION, PREVIA, DEFINITIVA, ACCIONES CORRECTIVAS, SEGUIMIENTO, AMPLIACION, Y RENOVACION, TANTO DE TRANSPORTACION, HOSPEDAJE Y ALIMENTACION COMO LOS TAXIS DE SU DOMICILIO AL AEROPUERTO O TERMINAL DE TRANSPORTE Y VICEVERSA, SERAN CUBIERTAS POR EL LABORATORIO SOLICITANTE.

Para más información dirigirse a:

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS
DIRECCION DE ACREDITAMIENTO
SUBDIRECCION DEL SINALP**

- DEPARTAMENTO DE ACREDITAMIENTO DE
LABORATORIOS DE PRUEBAS QUIMICAS Y DIVERSOS**
- DEPARTAMENTO DE ACREDITAMIENTO DE
LABORATORIOS DE PRUEBAS FISICAS Y AFINES.**

**AV. PUENTE DE TECAMACHALCO # 8 2do PISO
LOMAS DE TECAMACHALCO, SECCION FUENTES
NAUCALPAN DE JUAREZ, EDO. DE MEXICO
53950 MEXICO.**

**TEL: 91(5)729-93-00. EXT. 4166
FAX: 91(5)729-93-00. EXT. 4161**

SISTEMA NACIONAL

DE

ACREDITAMIENTO

DE

LABORATORIOS

DE

PRUEBAS



SOLICITUD PRELIMINAR

FECHA : _____

GIRO DEL LABORATORIO : _____

DATOS GENERALES

NOMBRE: _____
(NOMBRE COMPLETO DE LA EMPRESA)

UBICACION: _____
(DOMICILIO)

CODIGO POSTAL: _____

ESTADO: _____

TELEFONO: _____

FAX : _____

INFORMACION ESPECIFICA

PRUEBAS QUE DESEA ACREDITAR

NORMAS QUE UTILIZA

NOMBRE DEL SOLICITANTE

FIRMA

SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL
DIRECCION GENERAL DE NORMAS

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO
DE LABORATORIOS DE PRUEBA
PROCESO DE ACREDITAMIENTO
DESCRIPCION

- 1.- EL LABORATORIO INTERESADO EN OBTENER EL CERTIFICADO DE ACREDITAMIENTO QUE OTORGA LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS (D.G.N), MANIFIESTA SU INTERES, POR CUALQUIER MEDIO AL DEPARTAMENTO DEL SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO DE LABORATORIOS DE PRUEBAS (S I N A L P).
- 2.- EL DEPARTAMENTO DEL SINALP EFECTUA CONTACTO DIRECTO CON EL PERSONAL DEL LABORATORIO, A FIN DE INFORMAR SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA, EL PROCESO DE ACREDITAMIENTO Y LOS REQUISITOS CON LOS QUE DEBE CUMPLIR PARA LOGRAR SU ACREDITAMIENTO
- 3.- DICHA VISITA SE EFECTUARA DE CONFORMIDAD ENTRE LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS Y EL LABORATORIO, QUE FIJARAN DE COMUN ACUERDO, LA FECHA PARA LLEVARLA A CABO.

DURANTE LA VISITA SE ASesorara AL LABORATORIO ACERCA DE TODOS LOS ASPECTOS RELACIONADOS SOBRE LOS REQUISITOS PARA EL ACREDITAMIENTO. EST A VISITA ES EN SI ORIENTATIVA Y DE ASESORIA PARA DETERMINAR EL AMBIENTE Y CONDICIONES EN QUE SERA EFECTUADA LA EVALUACION Y ANALIZAR LAS POSIBILIDADES QUE TIENE EL LABORATORIO DE CUMPLIR CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS POR EL SISTEMA.

DE LA VISITA PREVIA SE DERIVA UN INFORME QUE SE ENVIA POR ESCRITO CON LAS OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS QUE EL PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DEL SINALP REALIZO DURANTE LA MISMA.

CUANDO EXISTAN GASTOS ADICIONALES TALES COMO VIATICOS Y PASAJES DEBERAN SER CUBIERTOS EN SU TOTALIDAD POR EL LABORATORIO DE LA EMPRESA VISITADA.

4.- UNA VEZ QUE EL LABORATORIO CONSIDERA ESTAR PREPARADO PARA ACREDITARSE PRESENTA SU FORMATO DE SOLICITUD DE ACREDITAMIENTO DEBIDAMENTE REQUISITADA EN CARPETA TAMAÑO CARTA TIPO LEFORT E INGRESADA POR OFICIALIA DE PARTES.

5.- EL DEPARTAMENTO DEL SINALP RECIBE DICHA SOLICITUD, LA ANALIZA Y CONSTATA QUE CUENTA CON TODA LA INFORMACION DE LABORATORIO DE PRUEBAS CORRESPONDIENTE PARA QUE ESTE SELECCIONE A LOS EVALUADORES QUE VISITARAN EL LABORATORIO.

6.- SE FIJA LA FECHA CORRESPONDIENTE A LA VISITA DE EVALUACION, QUE LLEVARA A CABO LOS EVALUADORES SELECCIONADOS Y UN REPRESENTANTE DEL DEPARTAMENTO SINALP (DIRECCION GENERAL DE NORMAS)

7.- DURANTE LA EVALUACION SE ANALIZARAN LOS REQUISITOS TECNICOS ESTABLECIDOS POR EL SISTEMA Y SE HARAN LAS OBSERVACIONES CORRESPONDIENTES ASI COMO LAS SUGERENCIAS A QUE HAYA LUGAR.

AL FINALIZAR LA VISITA, LOS EVALUADORES HARAN UNA SINTESIS VERBAL DE SUS OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES AL LABORATORIO.

8.- LOS EVALUADORES PREPARARAN UN INFORME DE EVALUACION EN EL QUE INDICARAN CONDICIONES ACERCA DE LA OPERACION DEL LABORATORIO, DICHO INFORME SERA ENTREGADO AL COMITE.

9.- EL COMITE HACIENDO UN ANALISIS DE LAS CONDICIONES DEL LABORATORIO CON BASE EN EL INFORME, DETERMINARA:

A) SI SE CONCEDE UN PLAZO AL LABORATORIO PARA TOMAR LAS MEDIDAS CORRECTIVAS NECESARIAS.

B) SI SE RECOMIENDA O NO EL ACREDITAMIENTO

EN AMBOS CASOS EL COMITE INFORMARA A LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS PARA QUE ESTA A SU VEZ NOTIFIQUE AL LABORATORIO.

10.- EN CASO EN QUE SE CONCEDA UN PLAZO PARA EFECTUAR CORRECCIONES, EL LABORATORIO DEBERA NOTIFICAR POR ESCRITO, DENTRO, DEL

PLAZO QUE SE LE HAYA FIJADO AS MEDIDAS CORRECTIVAS TOMADAS PARA CORREGIR LAS DEFICIENCIAS:

ESTA NOTIFICACION DEBERA HACERLA A LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS POR ESCRITO A FIN DE QUE SE LE PREPARE UNA NUEVA VISITA PARA VERIFICAR LAS CORRECCIONES QUE HAYA EFECTUADO, DERIVANDOSE TAMBIEN DE ELLA UN INFORME QUE LOS EVALUADORES ASIGNADOS RENDIRAN AL COMITE.

LOS ESCRITOS SE INGRESARAN SIEMPRE POR OFICIALIA DE PARTES DE LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS EN ORIGINAL Y 2 COPIAS, MISMOS QUE SE DISTRIBUYEN COMO SIGUE:

ORIGINAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL SINALP.

- UNA COPIA AL SOLICITANTE (PARA SU ARCHIVO).

UNA COPIA AL COMITE.

NOTA: TODA LA INFORMACION SERA TRATADA CONFIDENCIALMENTE Y SE USARA EXCLUSIVAMENTE PARA FINES DE ACREDITAMIENTO.

INFORMACION ADICIONAL

11. LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS, POR MEDIO DEL SINALP PROPORCIONA CUALQUIER INFORMACION REFERENTE AL SISTEMA, SU FUNCIONAMIENTO, REQUISITOS TECNICOS O FORMATOS DE REGISTRO, MEDIANTE ENTREVISTAS PERSONALES EN:

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO
DE LABORATORIOS DE PRUEBAS
AV. PUENTE DE TECAMACHALCO No. 6, PISO 3
COL. LOMAS DE TECAMACHALCO, SECCION FUENTES
53950, NAUCALPAN DE JUAREZ, ESTADO DE MEXICO.

TELEFONO DIRECTO Y FAX : 729 9488

TEL. UNOS POR CONMUTADOR: 729 9300
EXTS. 4166, 4119 y 4120
FAX: 4161

de pruebas (fabricantes, comercializadores, constructores y técnicos especialistas).

En concordancia con la LFMN, cuenta con un Consejo Técnico (CT) como órgano de gobierno, mismo que está conformado por vocales representantes de todos los sectores participantes; tiene entre sus principales responsabilidades la de garantizar la total transparencia, así como la definición de los lineamientos y políticas.

Está compuesto por una Dirección Técnica con las Gerencias de Normalización, Verificación, Certificación y de Difusión y Promoción; así como con los correspondientes Comités Técnicos.

Servicios

- Asesoría, desarrollo, actualización y elaboración de anteproyectos de NMX.
- Revisión, opinión y armonización de normas.
- Consenso de anteproyectos de NOM.
- Publicación de proyectos de NMX para consulta en Boletín del ONNCCE.
- Emisión y publicación de NMX.
- Venta de NMX-ONNCCE.
- Evaluación de conformidad con normas.
- Evaluación de sistemas constructivos.
- Expedición de Certificados.
- Banco de información.
- Capacitación

Temas programados para 1994.

- Concreto, sus agregados y sus aditivos.
- Cal para construcción.

Tabiques, bloques, doquines y mosaicos.

- Tubos de concreto.
- Cemento, técnicas y aditivos.
- Resistencia al fuego de materiales de construcción.
- Paneles industrializados.
- Puertas y ventanas.
- Juntas y bridas para inodoros.
- Pinturas e impermeabilizantes.
- Tinacos prefabricados.
- Tubería para conducción de agua potable y para alcantarillado.
- Viguetas y bovedillas.
- Tableros estructurales de madera.
- Protección y clasificación de madera.
- Válvulas y conexiones.
- Grifería sanitaria de uso doméstico.
- Varillas, alambre y láminas para construcción.
- Soldadura estructural.
- Perfiles tubulares y laminados.

Participación en la normalización

Todo interesado puede participar en la elaboración de las NMX, enviando por escrito a la Dirección Técnica del ONNCCE las opiniones y observaciones pertinentes.

Información



Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.
Insurgentes Sur 1673, 5o. Piso, Guadalupe Inn,
Deleg. Álvaro Obregón, México 011020, D. F.
Tels. 662 57 31 y 663 44 37 Fax 661 32 82 y 661 71 59



**NORMALIZACION,
VERIFICACION Y
CERTIFICACION DE
MATERIALES, PRODUCTOS Y
SERVICIOS PARA LA
CONSTRUCCION Y
EDIFICACION**

**ONNCCE ORGANISMO NACIONAL DE
NORMALIZACION Y CERTIFICACION DE LA
CONSTRUCCION Y EDIFICACION, S.C.**

CANACEM	CANACINTRA
CANACERO	CNIC
IMCYC	COMACO
AMIC	ANFACAL
ANALISEC	ANIPPAC
AMFTC	CONIEGO
FCARM	CNIAM
AMEXVAL	ANPROBLOC
AMFFIC	

NORMALIZACIÓN, VERIFICACION Y CERTIFICACION DE LA CONSTRUCCION Y EDIFICACION

Presentación

Actualmente el entorno mundial en el que interactúa nuestro país se está modificando sustancialmente debido a la llamada "globalización de mercados", teniendo como ejemplos a la Comunidad Económica Europea, los países que conforman la Cuenca del Pacífico y la reciente apertura comercial de México con Canadá y los Estados Unidos, así como las perspectivas de liberación comercial con países, tanto latinoamericanos como europeos.

Ante este cambio, los fabricantes de bienes y servicios deben tomar una nueva actitud de producción y negocios, ya que las estrategias comerciales basadas exclusivamente en el precio o la supremacía del líder, aunque importantes, resultan insuficientes. Esa nueva actitud tiene como eje principal la búsqueda de una **competitividad sostenible**, mediante la mejora continua de sus productos y servicios, es decir, ubicar a la calidad no sólo como una arma estratégica, sino como condición indispensable para sobrevivir.

Panorama actual

México ha sentado las bases jurídicas para actualizar su sistema de normalización y certificación de bienes y servicios para poder competir en igualdad de condiciones a través de la Ley Federal de Metrología y

Normalización (LFMN), misma que destaca el papel relevante atribuido al sector privado.

En esta ley se contemplan las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de carácter obligatorio, emitidas por las dependencias competentes y destinadas únicamente a la seguridad, salud, protección al medio y al consumidor y las Normas Mexicanas (NMX), o de referencia, cuya emisión queda a cargo del sector privado por conducto de los Organismos Nacionales de Normalización (ONN).

Respecto a la **certificación de cumplimiento** de las NOM y NMX, la LFMN permite que sea a través de los Organismos de Certificación (OC), auxiliados por los Laboratorios de Pruebas (LP) y por las Unidades de Verificación (UV), que al igual que los ONN están constituidos como personas morales y sujetos a la aprobación, acreditamiento y evaluación de las dependencias correspondientes.

En este contexto, los esfuerzos del sector privado por establecer sistemas de calidad para sus procesos, productos y servicios se incrementan paulatinamente, como la participación cada vez más activa en actividades de normalización. De la misma manera se incrementa la exigencia de los compradores para que los proveedores exhiban la certificación correspondiente.

Avances

Con objeto de que el sector de la construcción cuente con un ONN y con

coayuve a elevar la capacidad competitiva de los productos, procesos y servicios de la industria, se constituyó, en el mes de febrero de 1994, el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. (ONNCCE).

Objetivos del ONNCCE

- ✓ **Elaboración de NMX y su armonización con normas internacionales acorde con las condiciones internas del país, enfocadas a mejorar los elementos, componentes, tecnologías, procesos y servicios de esta rama industrial.**
- ✓ **Certificación de NOM y NMX y consolidar el reconocimiento con organismos de evaluación y de certificación de otros países y con instituciones de seguros y de financiamiento.**
- ✓ **Difusión y promoción de una nueva cultura hacia la calidad.**
- ✓ **Desarrollar y promover programas de investigación y capacitación.**
- ✓ **Orientar a la industria de la construcción para elevar su calidad e incrementar su productividad.**

Participantes

Instituciones sociales y representantes de todos los sectores de la industria de la construcción (dependencias, investigadores, profesionistas, laboratorios

**El Sistema Nacional
de Acreditamiento de
Laboratorios de Pruebas
Comité de Construcción**

INVITA a:

- ◆ Productores y consumidores de Materiales para la Construcción
- ◆ Prestadores de servicios de laboratorios.
- ◆ Autoridades oficiales competentes.
- ◆ Instituciones educativas y de investigación competentes
- ◆ Evaluadores y representantes de los laboratorios acreditados, y
- ◆ Usuarios en general de estos servicios

A participar en las reuniones de la sección de concreto, sección cemento y sección geotecnia, en el quinto piso del edificio de la CANACINTRA (Patriotismo y San Antonio), el segundo martes, segundo viernes y último miércoles de cada mes respectivamente

Informes

- Inj. Armando Anas Aguas (IMCYC) 661 3702
- Inj. Clorinda Mexichora Castrejón (INSPECTEC) 5366824
- Inj. Rosa Elva Rodríguez (CCE) 563 3700
- Inj. Adolfo Ferrero (IAC) 543 3800

LABORATORIOS ACREDITADOS

En Cemento

- ✓ CEMENTOS APASCO, S.A. DE C.V.
(Planta Tecoman) 91 (332) 41811

En Concreto

- ✓ INSPECTEC, S.A.
91 (5) 5366824
- ✓ Tecnología e Investigación de Pavimentos, S.A. de C.V.
91 (22) 458154
- ✓ IAC, S.A.
91 (5) 5433800
- ✓ Laboratorio Nacional de la Construcción, S.A. de C.V.
91 (5) 5988182
- ✓ Laboratorio de Análisis y Control
91 (17) 142062
- ✓ Cominde prestaciones y servicios, S.A. de C.V.
91 (5) 6582433
- ✓ Laboratorio de Ingeniería Experimental, S.A. de C.V.
91 (5) 2077077
- ✓ Laboratorio de Control, S.A.
91 (5) 5307068
- ✓ I.E.C.C.S.A. Laboratorios, S.A. de C.V.
91 (5) 2727123
- ✓ Laboratorio de Alto Nivel
91 (5) 5536200
- ✓ Concretos Apasco, S.A. de C.V.
(Planta Monterrey) 91 (8) 3183255
- ✓ Concretos Monterrey, S.A.
(Planta Monterrey) 91 (8) 3310022
- ✓ Concretos Procesados, S.A.
91 (8) 3552050
- ✓ Concretos Metropolitanos, S.A.
91 (5) 7318359
- ✓ Impulsora Tlaxcalteca de Industrias, S.A. de C.V.
91 (22) 810255

En Agregados y Concreto

- ✓ Cementos Apasco del Norte, S.A. de C.V.
(Planta Saltillo) 91 (84) 113332

En Agregados, Concreto y

Prefabricados

- ✓ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
91 (5) 6634167

**Sistema Nacional de
Acreditamiento de
Laboratorios de Pruebas**

**Comité de la Industria
de la Construcción**



**"LABORATORIO DE PRUEBAS
UN COMPROMISO HACIA LA
COMPETITIVIDAD NACIONAL
E INTERNACIONAL."**

MARCO LEGAL

Decreto que establece el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de pruebas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de Abril de 1980

Reglas de operación del Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de pruebas publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 6 de Octubre de 1980

Ley Federal sobre Metrología y Normalización publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de Julio de 1992

OBJETIVOS

El SINALP es un Organismo de naturaleza mixta (Oficial y Privada) que tiene los siguientes propósitos:

- Agilizar las transacciones comerciales a nivel internacional eliminando barreras no arancelarias
- Optimizar los recursos existentes.
- Estimular el desarrollo industrial del país mediante el reconocimiento y aceptación de resultados de pruebas obtenidas en laboratorios confiables. Capaces de proporcionar la infraestructura necesaria para uso de quienes deseen mejorar y demostrar los niveles de calidad alcanzada en productos procesados
- Unificar criterios y sistemas de operación de los diversos laboratorios de la Industria Nacional.

ESTRUCTURA FUNCIONAL

La Estructura Funcional del SINALP la conforman

- La Dirección General de Normas de la SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial), como unidad rectora y dependencia del gobierno que otorgará el acreditamiento.
- Dependencias del gobierno (SEDESOL, S.C.T. Secretaría del Trabajo, Secretaría de Salud, etc.), las cuales otorgarán la aprobación de laboratorios en sus mismas.
- Los comités de evaluación, como unidad evaluadora y de apoyo a las dependencias gubernamentales.
- Los laboratorios acreditados como miembros activos

CONSTITUCION DEL COMITE DE CONSTRUCCION

El comité esta constituido por la Representación equilibrada de los siguientes sectores:

- Productores y Consumidores de Materiales para la Construcción
- Prestadores de servicios de laboratorios
- Institución Educativas y de Investigación competentes
- Autoridades oficiales competentes
- Evaluadores de laboratorios de pruebas
- Usuarios en general de estos servicios

COMITES DE EVALUACION

- ✓ Construcción
- ✓ Electricidad y Eléctrica
- ✓ Metal Mecánica
- ✓ Química (Medio ambiente)
- ✓ Textil y del vestido
- ✓ Alimentos

SECCIONES DEL COMITE DE CONSTRUCCION

- Concreto
- Cemento
- Geotecnia

NORMATIVIDAD

Actualmente en México en las Normas sobre Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas; publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 25 de Junio de 1992 se establece el Marco Técnico que debe aplicarse sobre la materia son las siguientes:

- ✓ NMX CC-13-1992 Criterios Generales para la operación de laboratorios de pruebas
- ✓ NMX CC-14-1992 Criterios Generales para la evaluación de laboratorios de pruebas
- ✓ NMX CC-15-1992 Criterios Generales relativos a los Organismos de Acreditamiento de Laboratorios



**SECRETARIA DE COMERCIO
Y
FOMENTO INDUSTRIAL**

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-CC-13-1992

**"CRITERIOS GENERALES PARA LA OPERACION
DE LOS LABORATORIOS DE PRUEBAS"**

**"GENERAL CRITERIA FOR THE OPERATION OF
TESTING LABORATORIES"**

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

P R E F A C I O

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

- ACEROS CAMESA, S.A. DE C.V.
- ALCATEL - INDETEL
- ASOCIACION MEXICANA DE CALIDAD, S.A.
- BUREAU VERITAS MEXICANA, S.A DE C.V.
- CALEB BRETT DE MEXICO, S.A DE C.V.
- CAMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELECTRICAS
- COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE BEBIDAS ALCOHOLICAS
- COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE SISTEMAS DE CALIDAD
- COMPAÑIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO
- CONSULTORIA E INTEGRACION DE PROYECTOS
- GRUPO CALINTER, S.A.
- HULES MEXICANOS, S.A. DE C.V.
- INDUSTRIAS CONELEC
- INDUSTRIAS NACOBRE
- INDUSTRIAS RESISTOL, S.A.
- INSTITUTO MEXICANO DE CONTROL DE CALIDAD, A.C.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
- INSTITUTO NACIONAL DE PESCA
- INSTITUTO NACIONAL DE TUBERIA PLASTICAS
- MICROS Y SISTEMAS PROFESIONALES, S.A.



CDU: 653.502

GENERAL CRITERIA FOR THE OPERATION OF TESTING LABORATORIES

0 INTRODUCCION

Esta Norma Oficial Mexicana ha sido elaborada con el fin de establecer los criterios generales que promuevan la confianza en aquellos laboratorios de pruebas, cuyo funcionamiento se ajuste a las disposiciones que aquí se indican.

Siempre que se haga referencia al Organismo de Acreditamiento, deberá tenerse en cuenta que se refiere al "Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas" (SINALP).

Para definir dichos criterios, se han examinado diferentes documentos tanto nacionales como internacionales.

Esta norma se basa principalmente en las siguientes guías ISO/CEI:

ISO/CEI 2 "Términos generales y sus definiciones referentes a la normalización y actividades conexas".

ISO/CEI 25 "Prescripciones generales referentes a la competencia técnica de laboratorios de pruebas".

ISO/CEI 38 "Prescripciones generales para la aceptación de laboratorios de pruebas".

ISO/CEI 43 "Desarrollo e implantación de pruebas de aptitud de laboratorios".

ISO/CEI 45 "Directrices para la presentación de resultados de pruebas".

ISO/CEI 49 "Directrices para el establecimiento de un manual de calidad para laboratorios de pruebas".

Referencias:

La Secretaría General de Normas de la Secretaría de Comercio e Industria mexicana aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 1992.

Revisión sucesiva:

36
64



SECOF ^{CON} NALCOMEX, S.A. DE C.V.

- PETROLEOS MEXICANOS
- QUALITEC INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.
- SANSET UNIFORMES, S.A.
- SCHRADER MEXICANA, S.A.
- SIDERURGICA LAZARO CARDENAS LAS TRUCHAS, S.A.
- SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO DE LABORATORIOS DE PRUEBA
- SQUARE D' COMPANY DE MEXICO, S.A. DE C.V.

IMA-SECOF 23-630-019

SECRETARÍA DE ECONOMÍA
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

- 1.2 El conjunto de criterios que se presenta en esta norma puede suplementarse cuando se aplique a un sector en particular.

2 REFERENCIAS

NOM-CC-1

"Sistemas de Calidad. Vocabulario".

NOM-CC-14

"Criterios Generales para la Evaluación de Laboratorios de Pruebas".

NOM-CC-15

"Criterios Generales Referentes a los Organismos de Acreditamiento de Laboratorios".

NOM-Z-109

"Términos Generales y sus Definiciones Referentes a la Normalización y Actividades Conexas".

3 DEFINICIONES

En el marco de la presente norma, son aplicables las siguientes definiciones que están contenidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-Z-109 "Términos Generales y sus Definiciones Referentes a la Normalización y Actividades Conexas".

3.1 Prueba:

Operación técnica que consiste en la determinación de una o varias características de un producto, proceso o servicio dado, de acuerdo con un procedimiento especificado.

3.2 Método de prueba:

Procedimiento técnico especificado para la realización de una prueba.

y en los trabajos de la ILAC (Conferencia Internacional sobre la Acreditación de los Laboratorios de Pruebas). En algunos casos, estos textos han requerido modificaciones o aclaraciones para adaptarlos a las necesidades nacionales. Sin embargo, estas modificaciones o adaptaciones han tenido lugar en casos excepcionales.

Se recomienda que los laboratorios sigan los criterios definidos en la presente norma, que el SINALP los utilice al acreditar a los laboratorios y los poderes públicos se refieran a ésta al designar laboratorios para fines reglamentarios así como los organismos que realicen evaluaciones de laboratorios.

Estos criterios han sido redactados, fundamentalmente para que sean considerados como criterios generales que cubran todos los campos de prueba. Esto implica que el conjunto de criterios puede ser ampliado cuando hagan uso de ellos determinados sectores industriales u otros sectores (por ejemplo sanidad y seguridad).

La presente norma forma parte de la serie de Normas Oficiales Mexicanas referentes a las pruebas, la certificación y el acreditamiento.

Esta norma establece los criterios generales que debe cumplir aquel laboratorio de pruebas para obtener su acreditamiento ante el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas (SINALP).

Nota: La presente introducción no forma parte integrante de las normas.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

- 1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece los criterios generales para determinar la competencia técnica de los laboratorios de pruebas, independientemente del sector involucrado.

Se ha previsto que esta norma sea utilizada por los laboratorios de pruebas y por el SINALP, así como por otros organismos relacionados con el reconocimiento de la competencia técnica de los laboratorios de pruebas.

MXA-SICOP-I-123-630-039

3.9 Organismo de acreditamiento (de laboratorios):

Organismo que dirige y administra un sistema de acreditamiento de laboratorios y que otorga el acreditamiento.

3.10 Laboratorio acreditado:

Laboratorio de pruebas al que se ha otorgado el acreditamiento.

3.11 Criterios para el acreditamiento (de un laboratorio):

Conjunto de requisitos, establecidos por un organismo de acreditamiento, que debe cumplir un laboratorio de pruebas con el fin de ser acreditado.

3.12 Evaluación de un laboratorio:

Examen de un laboratorio de pruebas para evaluar su conformidad con los criterios para el acreditamiento de un laboratorio determinado.

3.13 Evaluador de laboratorios:

Persona que realiza, total o parcialmente, las operaciones necesarias para la evaluación de un laboratorio.

3.14 Representante autorizado:

Persona nombrada por un laboratorio, para representarlo en todos los asuntos relacionados con el acreditamiento y es en estos términos el enlace entre el laboratorio y el organismo de acreditamiento.

UMA-SECOP-1-123-630-019

3.3 Informe de pruebas:

Documento que presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas y otra información relevante de las mismas.

3.4 Laboratorio de pruebas:

Aquella instalación que opera en una localidad específicamente determinada y dispone del equipo necesario y personal calificado para efectuar las mediciones, análisis y pruebas, calibraciones o determinaciones de las características o funcionamiento de materiales, productos o equipos.

3.5 Pruebas interlaboratorios:

Organización, ejecución y evaluación de pruebas sobre elementos o materiales, idénticos o similares, por dos o más laboratorios de acuerdo con unas condiciones predeterminadas.

3.6 Prueba de aptitud:

Evaluación del funcionamiento de un laboratorio de pruebas por medio de pruebas interlaboratorios.

3.7 Acreditamiento (de un laboratorio):

Reconocimiento formal de la aptitud de un laboratorio de pruebas para realizar una prueba o un conjunto de pruebas determinadas.

3.8 Sistema de acreditamiento (de laboratorios):

Sistema que tiene sus propias reglas de procedimiento gestión para llevar a cabo el acreditamiento de laboratorios.

6 COMPETENCIA TÉCNICA

6.1 Gestión y organización.

El laboratorio de pruebas debe:

- a) Contar con una estructura organizacional que le permita mantener la capacidad de ejecutar satisfactoriamente las funciones técnicas para las cuales se le concede el acreditamiento.
- b) Estar organizado de tal manera que cada persona esté enterada, tanto de la extensión como de las limitaciones de su área de responsabilidad.
- c) Contar con un Representante Autorizado.
- d) Contar con uno o más Signatarios Autorizados quienes serán responsables de todas las operaciones técnicas del laboratorio.

Nota: En laboratorios cuya estructura organizacional lo permita, estos cargos podrán ser desempeñados por una sola persona.

La organización debe asegurar una supervisión adecuada con personal familiarizado con los procedimientos operativos y técnicos, con los objetivos establecidos por el propio laboratorio y con la evaluación de los resultados de las pruebas.

La organización y distribución de las responsabilidades debe encontrarse en un documento debidamente actualizado y oficializado.

6.2 Personal.

El personal debe tener la preparación o capacitación necesaria, adiestramiento, conocimientos técnicos y experiencia para desempeñar satisfactoriamente sus funciones asignadas.

3.15 Signatario autorizado:

Persona responsable del área de pruebas propuesta por el laboratorio y autorizada por el Organismo de Acreditamiento para firmar y endosar los informes de pruebas producidos por el laboratorio acreditado.

4 IDENTIDAD LEGAL

El laboratorio tendrá una personalidad jurídica identificable.

5 IMPARCIALIDAD, INDEPENDENCIA E INTEGRIDAD

El laboratorio de pruebas y su personal deben estar libres de presión comercial, financiera o de cualquier otro tipo que pueda influenciar su juicio técnico.

Debe evitarse cualquier influencia de personas u organizaciones ajenas al laboratorio de pruebas, sobre los resultados de los exámenes y de las pruebas.

El laboratorio de pruebas debe evitar comprometerse en cualquier actividad que pueda poner en peligro su integridad e independencia de juicio en lo que se refiere a sus actividades de pruebas.

La remuneración del personal encargado de realizar las pruebas debe ser independiente del número de pruebas realizadas y de sus resultados.

Cuando se prueben productos por organismos que han participado en su diseño, su producción o su venta (por ejemplo fabricantes), deben tomarse las disposiciones necesarias para que exista una clara separación de las distintas responsabilidades y hacer una declaración apropiada.

El personal debe estar sujeto a programas continuos de capacitación y entrenamiento con evaluaciones periódicas y conservar las constancias respectivas. Dichos programas pueden ser cubiertos por el laboratorio con instructores internos y/o externos.

El personal de nuevo ingreso debe ser adiestrado para el desempeño de sus funciones y debe ejecutar pruebas bajo supervisión, hasta ser aprobada su aptitud.

Los signatarios autorizados así como el personal de mando de las áreas en que se solicita el acreditamiento, deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener capacidad reconocida en el área correspondiente.
- Tener experiencia mínima comprobable de tres años en el área de laboratorio de pruebas de la rama específica.
- En casos especiales, esta experiencia mínima podrá ser diferente a la establecida y será determinada por el SINALP.
- Tener conocimiento sobre el manejo e interpretación de las normas, métodos y equipos de prueba.
- Contar con personal competente que sustituya al signatario autorizado, así como al personal operativo durante sus ausencias.
- El laboratorio debe mantener actualizadas las informaciones relativas a la calificación, formación y experiencia de su personal técnico.

6.3 Locales y equipos.

6.3.1 Disponibilidad.

El laboratorio debe estar provisto de todos los equipos necesarios para la ejecución correcta de las pruebas y mediciones para las cuales se ha declarado competente.

Cuando excepcionalmente el laboratorio se encuentre obligado a utilizar un equipo ajeno, debe asegurarse de su capacidad y trazabilidad.

6.3.2 Locales y condiciones ambientales.

Las condiciones ambientales en que se llevan a cabo las pruebas no deben invalidar los resultados de éstas sin comprometer la exactitud requerida de las mediciones, especialmente cuando las pruebas se efectúan en lugares distintos a los locales permanentes del laboratorio. Los locales en que se ejecutan las pruebas deben estar protegidos según se requiera, contra las condiciones extremas, tales como excesos de calor, polvo, humedad, vapor, ruido, vibraciones y perturbaciones o interferencias electromagnéticas, y deben ser objeto de un mantenimiento apropiado. Los locales deben ser lo suficientemente espaciosos para limitar los riesgos de daño o de peligro y para permitir a los operarios facilidad y precisión en sus movimientos. Los locales deben disponer de los equipos y de las fuentes de energía necesarios para las pruebas. Cuando así lo indiquen los métodos de prueba, los locales deben estar equipados con dispositivos de control de las condiciones ambientales.

El acceso a las áreas de pruebas y su utilización deben controlarse de manera adecuada a los fines previstos y establecerse condiciones para la entrada de personas ajenas al laboratorio.

Deben tomarse las medidas adecuadas para asegurar el buen mantenimiento y conservación del laboratorio de pruebas.

Las instalaciones deben contar con los elementos adecuados que garanticen la seguridad del personal y protección del medio ambiente.

6.3.3 Equipos

Todos los equipos deben mantenerse adecuadamente y estar disponibles los detalles sobre los procedimientos de mantenimiento.

DGN

El programa global de calibración de los equipos debe concebirse y aplicarse de forma que, cuando sea aplicable, pueda asegurarse la trazabilidad de las medidas efectuadas por el laboratorio en relación con patrones nacionales o internacionales disponibles. Cuando no sea aplicable la trazabilidad en relación con patrones nacionales o internacionales, el laboratorio de pruebas debe poner de manifiesto satisfactoriamente la correlación o la exactitud de los resultados de pruebas (por ejemplo mediante su participación en una comparación de pruebas interlaboratorios).

Los patrones de referencia a cargo del laboratorio sólo se utilizarán para la calibración, excluyéndose cualquier otro uso.

Los patrones de referencia serán calibrados por un organismo competente capaz de asegurar la trazabilidad con referencia a un patrón nacional o internacional.

Cuando proceda, el equipo de prueba debe someterse a verificaciones en servicio, entre las calibraciones periódicas.

Los materiales de referencia deben referirse a patrones nacionales o internacionales.

6.4 Procedimientos de trabajo.

6.4.1 Métodos de prueba y procedimientos.

El laboratorio de pruebas debe disponer de las instrucciones escritas adecuadas sobre la utilización y el funcionamiento de todos los equipos pertinentes, sobre la preparación y manipulación de los objetos sometidos a prueba (cuando sea necesario) y sobre las técnicas de prueba normalizadas, cuando la ausencia de estas instrucciones pudiera comprometer la eficacia del proceso de prueba. Todas las instrucciones, normas, manuales y datos de referencia útiles para el trabajo del laboratorio deben mantenerse actualizadas y estar disponibles en el momento y lugar en que el personal las requiera.

Cualquier equipo que haya sufrido una sobrecarga, haya sido objeto de un uso inadecuado, proporcione resultados dudosos, resulte defectuoso al realizar su calibración o por cualquier otro medio, debe ser puesto fuera de servicio, etiquetado claramente con esta circunstancia y almacenado en un lugar especificado, hasta que haya sido reparado y reconocido como apto mediante prueba o calibración, para realizar su función de manera satisfactoria.

El laboratorio debe examinar los efectos de este defecto sobre las pruebas precedentes.

Debe llevarse y tener siempre actualizado, un registro por cada uno de los equipos de medición y prueba. Este registro debe comprender los datos siguientes:

- a) El nombre del equipo.
- b) El nombre del fabricante, la identificación del tipo y el número de serie.
- c) La fecha de recepción y la fecha de puesta en servicio.
- d) El emplazamiento habitual, si es el caso.
- e) Su estado cuando fue incorporado (por ejemplo nuevo, usado, reacondicionado).
- f) Detalles sobre el mantenimiento realizado.
- g) Historial de cualquier daño, mal funcionamiento, modificación o reparación.

Los equipos de medición y prueba que requieran ser utilizados en el laboratorio, deben calibrarse antes de su puesta en servicio y posteriormente, cuando sea necesario de acuerdo con el programa de calibración definido.

El laboratorio de pruebas debe emplear los métodos y procedimientos prescritos por la especificación técnica de acuerdo con la cual se prueba el producto. Esta especificación técnica tendrá que estar a disposición del personal que ejecuta las pruebas.

El laboratorio debe rechazar las solicitudes para realizar pruebas según métodos que puedan comprometer la objetividad del resultado o que tengan una validez dudosa.

Cuando sea necesario utilizar métodos y procedimientos no normalizados, estos deberán estar completamente descritos en documentos.

Todo cálculo o transferencia de datos deberá controlarse adecuadamente.

Si los resultados se obtienen por técnicas informáticas de procesamiento de datos, el sistema debe tener fiabilidad y estabilidad apropiadas para que la exactitud de los resultados no quede comprometida. El sistema debe tener la capacidad de detectar fallas eventuales durante la ejecución del programa y tomar las medidas adecuadas.

6.4.2 Sistema de calidad.

El laboratorio debe tener implantado un sistema de calidad apropiado al tipo, alcance y volumen de sus actividades. Los elementos de este sistema deben estar descritos en un manual de calidad que estará a disposición del personal del laboratorio. El manual de calidad debe mantenerse al día por un miembro responsable del laboratorio nombrado para ello.

Para el aseguramiento de calidad en el laboratorio deben asignarse por la dirección del laboratorio uno o varios responsables que tengan acceso directo al más alto nivel de la dirección.

UNITE: CALIDAD

El manual de calidad debe contener como mínimo:

- a) Una declaración que exprese la política de calidad.
- b) La estructura del laboratorio (organigrama).

- D.F.I. - D.G.N.
- c) Las actividades funcionales y operacionales relativas a la calidad de manera que cada persona afectada conozca la extensión y límites de su responsabilidad.
 - d) Los procedimientos generales de aseguramiento de calidad.
 - e) En su caso, una referencia a los procedimientos de aseguramiento de calidad específicos de cada prueba.
 - f) Cuando sea necesario, una referencia a las pruebas de aptitud, la utilización de materiales de referencia, etc.
 - g) Las disposiciones adecuadas relativas a información de retorno y a las acciones correctivas cuando se detecten anomalías en el curso de las pruebas.
 - h) Un procedimiento para el tratamiento de las reclamaciones.


El sistema de calidad debe revisarse sistemática y periódicamente por la dirección o en su nombre, con el fin de asegurar su eficacia permanente y, en su caso, iniciar las acciones correctivas necesarias.

Estas revisiones deben quedar registradas, así como los detalles de cualquier medida correctiva que se haya tomado.

6.4.3 Cada trabajo realizado por el laboratorio debe ser objeto de un informe que presente de una forma exacta, clara y sin ambigüedades los resultados de las pruebas y cualquier otra información útil.

Cada informe de pruebas debe contener al menos, la siguiente información:

- a) Nombre y dirección del laboratorio, así como el lugar de realización de las pruebas cuando sea diferente de la dirección del laboratorio.
- b) Identificación única del informe (por ejemplo, mediante un número de serie) y de cada una de sus páginas, así como el número total de páginas.

- 
- c) Nombre y dirección del cliente.
SECOFI - DGN
- d) Descripción e identificación de los objetos sujetos a prueba.
- e) Fecha de recepción de la muestra y la fecha o fechas de realización de las pruebas.
- f) Identificación de la especificación de la prueba o descripción del método o procedimiento incluyendo el equipo utilizado.
- g) Descripción del procedimiento de muestreo, cuando proceda.
- h) Cualquier desviación, adición o exclusión de la especificación de prueba y cualquier otra información relativa a una prueba específica.
- i) Identificación de cualquier método o procedimiento de prueba no normalizado que se haya utilizado.
- j) Mediciones, exámenes y resultados derivados apoyados cuando proceda con tablas, gráficas, dibujos y fotografías, así como los posibles fallas detectados.
- BC
- k) Indicación de la incertidumbre de las mediciones en su caso.
- l) Firma y cargo del signatorio autorizado y la fecha de emisión del mismo.
- m) Declaración de que el informe de pruebas sólo afectará al (los) objeto(s) sometido(s) a prueba.
- n) Indicación de que el informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

-E

Debe prestarse especial atención y cuidado a la estructura del informe de pruebas, especialmente en lo que se refiere a la presentación de los datos y resultados de las pruebas y a la facilidad de comprensión por las personas que lo lean. Los impresos se diseñarán cuidadosa y específicamente para cada tipo de prueba, normalizando, en la medida de lo posible, las cabeceras del documento.

SECOPRI-DGN

Las correcciones o adiciones a un informe de pruebas emitido deberán realizarse únicamente por medio de otro documento titulado de manera adecuada por ejemplo "Modificaciones/suplemento al informe de pruebas número de serie. (o como estuviera identificado)" al cual deberá ajustarse a las disposiciones correspondientes de los apartados anteriores.

Un informe de pruebas no debe contener ningún consejo o recomendación derivado de los resultados de las pruebas.

Los resultados de las pruebas deben presentarse con precisión, claridad, integramente y sin ambigüedades, de conformidad con las prescripciones que puedan formar parte de los métodos de pruebas.


Los resultados cuantitativos deberán presentarse con sus incertidumbres calculadas o estimadas.

Los resultados de las pruebas obtenidas de elementos que han sido seleccionados mediante un muestreo estadístico de un lote o una producción, se utilizan frecuentemente para inferir las propiedades de este lote o de esta producción. Cualquier extrapolación realizada sobre la base de los resultados de las pruebas a las propiedades de un lote o de una producción deberá ser objeto de un documento separado.

Nota: Los resultados de las pruebas pueden consistir en mediciones, conclusiones obtenidas mediante exámenes visuales o de la utilización práctica del objeto presentado a prueba, resultados derivados o cualquier otro tipo de observación que se desprenda de la actividad de prueba. Los resultados de las pruebas pueden ser apoyados con tablas, fotografías o cualquier otra información gráfica identificada de forma conveniente.

6.4.4 Registros.

El laboratorio debe disponer de un sistema de registros que responda a sus características particulares y que esté de acuerdo con las posibles disposiciones legales y reglamentarias en vigor. Deben conservarse todas las observaciones iniciales, cálculos, resultados derivados de éstos, registros de calibración y los informes finales de las pruebas, durante un período apropiado. Los registros de cada prueba contendrán la información suficiente para permitir la repetición de la misma. Los registros debe incluir la identificación del personal encargado de muestreo de la preparación y de las prueba .



Todos los registros e informes de pruebas deben conservarse en lugar seguro y tratarse de forma confidencial con el fin de salvaguardar los intereses del cliente, a menos que la ley disponga otra cosa.

6.4.5 Manejo de muestra u objetos presentados a probar.

Debe aplicarse un sistema para identificar las muestras o los objetos que deban probarse, mediante los documentos apropiados o por marcado, de manera que no pueda haber confusión alguna sobre la identidad de la muestra ni sobre los resultados de las mediciones realizadas.

Debe existir un procedimiento cuando sea necesario un almacenamiento específico de muestras o de objetos.

El sistema comprenderá disposiciones que garanticen que las muestras o los objetos puedan manejarse de forma anónima, por ejemplo frente a otros clientes.

En todas las fases de almacenamiento, manipulación y preparación para la ejecución de las pruebas deben adoptarse precauciones para evitar cualquier deterioro de las muestras o de los objetos a probar, por ejemplo por contaminación, corrosión o aplicación de esfuerzos que pudieran invalidar los resultados. Debe respetarse cualquier instrucción proporcionada con la muestra u objeto relativa al mismo.

Debe disponerse de reglas claras para la recepción, la conservación y disposición de las muestras.

6.4.6 Confidencialidad y seguridad.

El personal del laboratorio deberá guardar secreto profesional sobre toda la información obtenida en el desempeño de sus tareas.

El laboratorio deberá respetar los términos y las condiciones requeridas por el usuario de sus servicios para asegurar la confidencialidad y la seguridad de sus prácticas.

NIST-2000-1-121-000-000

Los laboratorios deberán normalmente realizar por sí mismos las pruebas cuya ejecución contratan. Cuando excepcionalmente un laboratorio subcontrate alguna parte de las pruebas, este trabajo deberá confiarse a otro laboratorio de pruebas que cumpla las prescripciones de esta norma. El laboratorio de pruebas debe asegurarse y debe ser capaz de demostrar que su subcontratista está capacitado para realizar los servicios requeridos, cumpliendo los mismos criterios de competencia en lo que se refiere a los servicios subcontratados. El laboratorio de pruebas deberá dar cuenta a su cliente de su intención de confiar una parte de las pruebas a otro laboratorio.

El subcontratista debe ser aceptado por el cliente.

El laboratorio de pruebas deberá registrar y conservar los detalles reunidos al realizar su investigación sobre la competencia y adecuación de los subcontratistas, así como mantener un registro de todas sus subcontrataciones.

7 COOPERACION

7.1 Cooperación con los clientes.

El laboratorio de pruebas ofrecerá una cooperación al cliente o a su representante, para que éste pueda definir correctamente su pedido y pueda controlar el buen desarrollo de los trabajos a realizar por aquél. Esta cooperación se refiere principalmente a:

- a) Permitir el acceso del cliente, o de su representante, a los sectores del laboratorio de pruebas en los que se ejecutan pruebas, para presenciarlas. Se entiende que tal acceso no debe perturbar, en ningún caso el buen desarrollo de las pruebas, ni la aplicación de las reglas de la confidencialidad relativa a los trabajos realizados para otros clientes, ni perjudicar la seguridad.
- b) La preparación, embalaje y expedición de muestras o elementos de pruebas que necesite el cliente para su verificación.

SECOPI DGN

El laboratorio de pruebas debe disponer de un procedimiento específico para el tratamiento de las reclamaciones. Este procedimiento debe estar por escrito y debe estar disponible para cuando se solicite.

7.2 Cooperación con el SINALP.

El laboratorio de pruebas ofrecerá una cooperación razonable al organismo de acreditación y a sus representantes en la medida en que sea necesaria para permitir un control del cumplimiento de las prescripciones de este documento y de otros criterios complementarios. Esta cooperación comprenderá:

- a) El acceso del representante a los sectores apropiados del laboratorio de pruebas para presencia en las pruebas.
- b) Cualquier comprobación razonable que permita al SINALP verificar la capacidad del laboratorio para realizar las pruebas.
- c) La preparación, el embalaje y la expedición de las muestras o elementos de pruebas que para la verificación necesite el SINALP.
- d) La participación en cualquier programa apropiado de pruebas de aptitud o de comparación que pudiera razonablemente juzgar como necesario el SINALP.
- e) La autorización al SINALP para examinar los resultados de sus auditorías internas o de las pruebas de aptitud.

7.3 Cooperación con otros laboratorios y con los organismos de normalización o reglamentación.

Se anima a los laboratorios de prueba a participar, cuando sea apropiado, en la elaboración de las normas nacionales o internacionales en el campo de las pruebas.

EECON-DGN

Se anima a los laboratorios de prueba a tomar parte cuando sea apropiado, en el intercambio de información con otros laboratorios que desarrollen actividades de prueba en mismo campo técnico con el objeto de disponer de procedimientos de pruebas uniformes y mejorar, cuando sea necesario, la calidad de las pruebas.

Con el fin de mantener la precisión requerida, cuando sea apropiado, debe organizarse regularmente una comparación de los resultados de las pruebas mediante pruebas de aptitud.

8 OBLIGACIONES RESULTANTES DE LA ACREDITACION

Un laboratorio de pruebas acreditado debe:

- a) Cumplir, en todo momento, las prescripciones de esta norma y otros criterios prescritos por el organismo de acreditación.
- b) Declarar que está acreditado únicamente para la realización de las pruebas para los que se le ha concedido el acreditamiento, cumpliendo en su ejecución los lineamientos de esta norma y cualquier otro criterio prescrito por el SINALP.
- c) Abonar las tarifas de la solicitud, participación, evaluación, supervisión y otros servicios, de acuerdo a como sean actualizados por el SINALP, teniendo en cuenta los costos.
- d) No utilizar la acreditación de manera que pueda perjudicar la reputación del SINALP y no hacer ninguna declaración referente al acreditamiento que dicho organismo pudiera, razonablemente, considerar como abusiva.
- e) Cesar inmediatamente en el uso de la acreditación a partir de su vencimiento (cualquiera que sea la forma en que éste haya sido fijado), así como en toda publicidad que, de cualquier forma, contenga alguna referencia de aquélla.
- f) Indicar claramente en todos los contratos con sus clientes que la acreditación del laboratorio o cualquiera de los informes de pruebas por sí mismos no constituyen o implican, en manera alguna una aprobación del producto por el SINALP, ni por cualquier otro organismo.

- SEC. DGN
- g) Procurar que ningún informe de pruebas o parte del mismo sea utilizado por el cliente, o por alguien autorizado por el cliente, con fines promocionales o publicitarios, cuando el organismo otorgante de la acreditación considere improcedente tal utilización. En cualquier caso, el informe de las pruebas no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización escrita del SINALP y del laboratorio de pruebas.
- h) Informar inmediatamente al SINALP sobre cualquier modificación relativa al cumplimiento de los lineamientos de esta norma y de cualquier otro criterio que pudiera afectar a la capacidad o al campo de actividad del laboratorio de pruebas.

Al hacer referencia en los medios de comunicación, tales como documentos, folletos o anuncios, a su condición de laboratorio de pruebas acreditado, éste deberá utilizar en forma apropiada el texto siguiente: "laboratorio de pruebas acreditado por (SINALP) para las pruebas de (campo para el que se ha otorgado la acreditación) correspondiente al número (o a los números) de registro..." u otro texto equivalente.

El laboratorio de pruebas exigirá que sus clientes, cuando hagan alusión a un laboratorio de pruebas acreditado, utilice en la forma apropiada, la frase siguiente: "Prueba realizada por (nombre del laboratorio de pruebas) acreditado por el SINALP, correspondiente al número (o a los números) de registro...", u otro texto equivalente.

A partir de la cancelación de su acreditación, el laboratorio de pruebas debe tomar las medidas necesarias para que cese cualquier utilización de estas referencias. Un laboratorio de pruebas puede cancelar el acreditamiento, llegado el caso, previo aviso escrito con un mes de anticipación al organismo de acreditación (o con el plazo acordado por ambas partes).

9 BIBLIOGRAFIA

EN45001 "CRITERES GENERAUX CONCERNANT LE FONCTIONNEMENT DE LABORATOIRES D' ESSAIS".

GUIA ISO/CEI 2 "TERMINOS GENERALES Y SUS DEFINICIONES RELATIVOS A LA NORMALIZACION Y A LAS ACTIVIDADES CONEXAS".

GUIA ISO/CEI 25 "REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA TECNICA DE LOS LABORATORIOS DE PRUEBAS".

SECOFI - DGN

GUIA ISO/CEI 38 "REQUISITOS GENERALES PARA LA ACEPTACION DE LOS LABORATORIOS DE PRUEBAS".

GUIA ISO/CEI 43 "DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS PRUEBAS DE APTITUD DE LOS LABORATORIOS".

GUIA ISO/CEI 45 "DIRECTRICES PARA LA PRESENTACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS".

GUIA ISO/CEI 49 "DIRECTRICES PARA EL DESARROLLO DE UN MANUAL DE LA CALIDAD PARA LOS LABORATORIOS DE PRUEBAS".

10 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta norma no coincide con ninguna norma internacional por no haber referencia al momento de su elaboración, habiéndose tomado como base las Guías ISO/IEC.

México, D. F., 10 JUN. 1992

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS


LIC. AGUSTIN PORTAL ARTOSA



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES
para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997

- CONTROL DE CALIDAD EN LA PAVIMENTACION -

CONTROL DE CALIDAD EN LA PAVIMENTACION

ING. GABRIEL GUTIERREZ ROCHA.

Los pavimentos flexibles se caracterizan por la utilización de materiales pétreos, en las capas estructurales y por el empleo de asfaltos en la capa superficial o de rodamiento, que combinados con los agregados pétreos dan lugar a las mezclas asfálticas. En la construcción de mezclas asfálticas intervienen diversos aspectos cuya atención es de fundamental importancia para lograr una buena calidad de este material y consecuentemente asegurar un adecuado comportamiento y la duración prevista, durante la operación de las obras viales en que se utilicen.

Estos aspectos se refieren: al conocimiento de las propiedades de los materiales pétreos y asfálticos que inciden en el comportamiento de las mezclas y tratamientos asfálticos, a fin de seleccionar aquellos materiales disponibles que mejor satisfagan las necesidades de un proyecto específico; a los cuidados que deben observarse durante la producción o tratamiento de estos materiales, así como a su transporte y manejo en el proceso constructivo, para obtener y conservar sus características de calidad previamente evaluadas y aceptadas; al empleo de maquinaria de construcción, mano de obra especializada y procedimientos constructivos que sean adecuados a los tipos de materiales seleccionados y a los trabajos por ejecutar; y a los procedimientos de control de calidad utilizado para detectar y corregir las variaciones del proceso constructivo, de la calidad de materiales y de la obra ejecutada, o bien para verificar que la construcción de mezclas asfálticas se desarrolle conforme a lo planeado.

Se comentará en forma muy general y resumida la aplicación de cada uno de estos aspectos en los materiales componentes de las mezclas asfálticas y en las mezclas en sí, destacando aquellas partes que mayor influencia tienen en la calidad final.

Los materiales pétreos deben ser densos, limpios, sanos, bien graduados, presentar partículas de forma octaédrica, de baja absorción y que tengan una buena afinidad con el asfalto. En estado natural generalmente se tienen pocas posibilidad de encontrarlos disponibles con estas características, por lo que es muy común producirlos a través de la explotación de bancos de roca y bajo un determinado tratamiento; el previo despalme del frente de ataque del banco y la selección de la zona menos alterada o más sana del banco, aseguran que no haya presencia de materiales indeseables o inadecuados; la dureza y tipo de material por explotar, los volúmenes requeridos, así como los requisitos de forma de partícula, tamaño máximo y granulométricos, determinarán la maquinaria de trituración, cribado y lavado en su caso, más adecuada para su producción. El

empleo de criterios de muestreo y de evaluación de materiales, que garanticen resultados oportunos y confiables en la etapa de producción de materiales, permitirá corregir o afinar deficiencias de calidad y asegurar volúmenes producidos con propiedades adecuadas; la valoración de calidad de materiales, basada en sólo unas cuantas propiedades índice básicas bien seleccionadas, permitirá la eficiencia del sistema a costos reducidos. El transporte y manejo de materiales durante la construcción, requiere de equipos adecuados y cuidados especiales que no provoquen fracturación, heterogeneidad o segregación de partículas y contaminación con otros materiales indeseables.

Por lo que respecta a los materiales asfálticos, estos generalmente son elaborados en plantas con grandes volúmenes de producción, en las que se tienen sistemas adecuados de dosificación y mezclado, apoyados por los controles de calidad necesarios para proporcionar los diversos tipos de productos asfálticos con las características requeridas. Por lo anterior, sólo se deberá cuidar que durante su transporte y manejo al lugar donde se utilizarán, no varien sus características por contaminación, sobrecalentamiento o demoras excesivas. Sin embargo, antes de su utilización en el lugar de la obra, siempre será necesario verificar que la calidad del asfalto sea la esperada, aunque también es conveniente que sólo se determinen las propiedades más importantes que permitan inferir cualquier variación que afecte su comportamiento en obra. La utilización de equipos de aplicación o incorporación apropiados, así como el calentamiento de los asfaltos en los rangos recomendados de utilización, permitirán asegurar su aprovechamiento óptimo, sin deterioros en la calidad de los trabajos a ejecutar.

La mezcla de materiales pétreos con los asfaltos se puede realizar de diversas formas. Cuando el mezclado se hace en una planta estacionaria con cemento asfáltico y agregados pétreos de excelente calidad, es común denominarlo "concreto asfáltico" y sus características de comportamiento generalmente son muy adecuadas para caminos de alto tránsito, porque además se aprovecha la temperatura de mezclado para tender y compactar eficientemente esta mezcla. Por otra parte, cuando la mezcla se realiza en una plataforma o en el lugar donde se utilizará, y se emplean rebajados o emulsiones asfálticas, con agregados pétreos de calidad más modesta y prácticamente en las condiciones de temperatura ambiental, a esta mezcla se le denomina "en el lugar", siendo sus características de comportamiento más modestas, por lo que son utilizadas en caminos de bajo tránsito; no obstante la versatilidad de la ejecución y utilización de estas mezclas, se ha observado que comúnmente no se emplean equipos de mezclado y tendido adecuados y eficientes, y que no se toman en cuenta algunos cuidados básicos de construcción, dando por resultado que estas mezclas no tenga una buena calidad y por lo tanto su comportamiento y duración resultan objetables.

Para los concretos asfálticos o mezclas en caliente será necesario realizar en principio el diseño de la mezcla asfáltica a nivel laboratorio, en el que se determine el contenido óptimo de asfalto para cada caso particular, en base a la composición granulométrica que es posible obtener en la práctica con los materiales seleccionados; del diseño también se obtiene el comportamiento que es posible esperar de la mezcla en base a algunos parámetros de estabilidad, o de resistencia, peso volumétrico y deformabilidad. Un aspecto importante es definir la temperatura de mezclado tomando en cuenta la viscosidad del cemento asfáltico por utilizar. Posteriormente a nivel de producción preliminar en la planta, será necesario verificar que los valores del diseño se reproduzcan en la realidad, haciendo los ajustes o la calibración de la dosificación de materiales, temperatura y procedimiento de mezclado.

El control de dosificación de materiales y del contenido de asfaltos en la planta de producción, durante el proceso de elaboración de la mezcla, es un aspecto esencial para lograr una calidad homogénea del concreto asfáltico, para lo cual es muy recomendable que no se varíe el proceso establecido a criterio de los operadores, sino sólo a través de comprobar que existe alguna deficiencia que tienen que ser corregida, de acuerdo con los resultados de la evaluación de calidad de la mezcla. Nuevamente es conveniente hacer notar que el control de calidad a nivel de producción de la mezcla asfáltica, debe basarse en la aplicación de criterios estadísticos de muestreo y de evaluación para que se obtenga una eficiencia del sistema de control, estudiando sólo las características esenciales de la mezcla.

Una vez que el concreto asfáltico está elaborado, su transporte, tendido y compactación debe realizarse aprovechando la mayor temperatura de la mezcla, cuidando que las condiciones ambientales sean favorables y que los equipos de construcción sean los idóneos para estos trabajos, pero principalmente, que los operadores de los mismos y trabajadores de apoyo tengan preparación y experiencia en el procedimiento constructivo a ejecutar, ya que de estos aspectos depende el asegurar una buena calidad y terminado de la capa de concreto asfáltico.

Por lo que se refiere a las mezclas en el lugar, en primer término conviene comentar que aunque la calidad resultante obtenida no puede compararse a la de una mezcla en caliente y su utilización esté limitada a caminos de tránsito modesto, siempre será necesario tener materiales pétreos duros, bien graduados, sin exceso de finos, de baja absorción, y preferentemente parcial o totalmente triturados, con buena forma de partícula y buena afinidad con el asfalto, para lograr buenos resultados de comportamiento.

En México, los rebajados asfálticos de fraguado rápido en este tipo de mezclas en el lugar, han sido muy utilizados para trabajos de conservación de carreteras, consistentes en bacheo, renivelaciones y sobrecarpetas; sin embargo, la

contaminación ambiental y el costo de estos productos, son factores que tienden cada vez más a considerarse para ya no emplearlos. La alternativa la constituyen las emulsiones asfálticas, por sus ventajas de trabajabilidad en medios climáticos difíciles y su escasa contaminación del ambiente, aunque es conveniente comentar que estas emulsiones requieren cuidados y equipos especiales para asegurar una utilización adecuada.

Ha sido práctica tradicional efectuar el mezclado de los materiales pétreos y del rebajado o emulsión asfáltica en plataformas no adecuadamente preparadas, o directamente sobre el camino, lo cual generalmente provoca contaminaciones con otros materiales finos que demeritan la calidad original; asimismo, es común observar que en el mezclado efectuado con motoconformadora, no se efectúen las "camas" necesarias para la incorporación paulatina del asfalto que propicie una mejor revoltura y cubrimiento, lo que da por resultado mezclas heterogéneas, mal cubiertas y con grumos de asfalto; aunado a lo anterior, también es conveniente destacar que no se tiene el cuidado de efectuar el mezclado en las horas más calurosas del día y en época de secas, y también se descuida el control de materiales en la obra para los ajustes de asfalto por tramos, así como el control del "defluxado" de la mezcla con rebajado asfáltico, para que se pueda proceder a su tendido, conformación y compactación, todo lo cual origina una calidad deficiente en este tipo de mezclas.

Para asegurar una mejor calidad de la mezcla en el lugar, con rebajado asfáltico, es recomendable la utilización de plantas mezcladoras móviles de elevado volumen de producción, para lograr un total cubrimiento del agregado pétreo con el asfalto, procediendo a continuación en una plataforma preparada a "pasear" la mezcla con motoconformadora, a fin de eliminar los solventes necesarios para su posterior traslado al frente de avance, su tendido y compactación. Para lo anterior es muy necesario el apoyo de un control de calidad eficiente y oportuno que indique los ajustes y "rendimientos" de la mezcla.

Es conveniente mencionar que cuando los materiales pétreos no tienen una buena afinidad con el asfalto, ésta puede mejorarse adicionando cal o cemento hidráulicos, agentes químicos tensoactivos (aditivos), lavando previamente el material o triturándolo para obtener caras nuevas en las partículas.

Cuando se decida el empleo de emulsiones asfálticas, es imprescindible que previamente se envíen muestras representativas del material pétreo a utilizar al laboratorio de la planta de elaboración de emulsiones, a fin de que se defina la más adecuada al pétreo y los cuidados que se tendrán para asegurar un eficiente mezclado de estos materiales. Es necesario comentar especialmente que el adecuado transporte, almacenamiento y manejo de las emulsiones para su aplicación, así como el control de calidad durante su fabricación que garantice el tipo de emulsión escogido, son aspectos muy importantes a cuidar.

Aún cuando en nuestro país ya se tiene mucho tiempo utilizando emulsiones asfálticas, se estima que se han construido con estos productos un porcentaje muy bajo de obras y con equipos que en muchos casos no son los convenientes, por lo que se puede comentar que no se tiene mucha experiencia nacional en el uso de emulsiones en mezclas. Esta situación está tendiendo a cambiar aceleradamente por la propia necesidad de utilizar cada vez en mayor proporción estos productos.

Por lo que respecta al tendido de las mezcla en el lugar, se hace notar la conveniencia de efectuarlo con una máquina terminadora o "Finisher" para obtener un perfilado y acabado mejores que lo que puede esperarse con una motoconformadora, aún cuando su operador sea muy diestro y experimentado.

Finalmente, puede resumirse que para asegurar una buena calidad y comportamiento de las mezclas asfálticas, es necesario seleccionar y obtener adecuadamente los mejores materiales, contar con mano de obra especializada y maquinaria apropiados a los trabajos por ejecutar, extremar los cuidados que particularmente requiera cada tipo de mezcla, y contar con un control de calidad eficiente y confiable que detecte y permita corregir oportunamente desviaciones o deficiencias en la construcción de mezclas asfálticas.

Ciudad de México, julio de 1990.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

**Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES**

**para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

**LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA
MODERNIZACION DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION**

LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA MODERNIZACION
DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

A. Galindo Solórzano
Subdirector de Análisis Estructural
S.C.T.

G. Gutiérrez Rocha
Subdirector de Control de Calidad
S.C.T.

1. INTRODUCCION

El crecimiento y desarrollo de México requirió desde sus inicios, de un sistema de integración física y social de todo el territorio nacional, que se manifestó con la construcción de obras civiles de distintas índoles, en las áreas de las comunicaciones, educación, agricultura, urbanización, etc. En una primera etapa, para responder a los programas básicos de construcción, se hizo necesario aplicar técnicas de otros países y utilizar materiales industriales extranjeros, que al combinarse con la mano de obra y los recursos naturales locales, hicieron posible que México contara con una incipiente infraestructura de servicios. En una segunda etapa, la situación se fue modificando gradualmente, mediante políticas de sustitución de importaciones y fomentos en el desarrollo de una floreciente industria mexicana de construcción, la cual fue teniendo cada vez más una mayor participación en la ejecución de las obras nacionales; la adopción y adaptación de tecnologías constructivas acordes con los recursos potencialmente explotables de nuestro medio, caracterizó en esta etapa el desenvolvimiento de la industria en cuestión, y su aplicación continua y generalizada, marcó un sello propio en el proyecto y ejecución de nuestras obras.

2.- GENERALIDADES

El crecimiento de la industria mexicana de la construcción fue ampliamente favorecido por las grandes oportunidades que México vivió durante las últimas décadas, que se caracterizó por un flujo importante de recursos económicos internos y externos para aplicarse en obras públicas, una consolidación de tecnologías en uso y aportaciones de avances técnicos en algunas áreas de la ingeniería, el aprovechamiento de técnicos nacionales con un modesto empleo de asesoría extranjera, pero en forma muy destacada, esta etapa de la industria se caracterizó por atender un mercado nacional cautivo que requería de satisfactores básicos y urgentes.

En este marco de mercado cautivo en el que se había desenvuelto la industria constructora nacional, se puede comentar que a través del tiempo y hasta hace pocos años, la calidad de los materiales y de las obras en general respondieron a los requerimientos de proyecto, manifestándose una adecuada operación de las mismas. Sin embargo, actualmente se ha estado percibiendo que la calidad de las obras no es la que sería deseable, atendiendo a las exigencias de los usuarios, estimándose que esta falta de mayor calidad no ha sido detectada prontamente en la mayor parte de los casos, sino hasta que las obras comienzan a presentar fallas de funcionamiento antes del tiempo previsto. Al presentar las obras un nivel de calidad más bien bajo, se obtienen niveles de funcionamiento poco adecuados y la necesidad de programar trabajos de mantenimiento continuos y costosos que no son previstos en la planeación; esto dificulta la consecución de los recursos económicos necesarios para afrontarlos y por tanto, se perjudica a los usuarios por la calidad del servicio que reciben.

Se considera que esta situación no deseable es provocada por la combinación de algunos de los aspectos y circunstancias siguientes:

- En relación con la planeación y el proyecto de las obras, se aprecia la aplicación de normas de calidad que no han sido actualizadas y que además son de observancia general, por lo que podrían no satisfacer las condiciones particulares de cada obra; por otra parte, las expectativas o consideraciones de diseño pueden ser limitadas y por lo tanto rebasadas a corto o a mediano plazo por una mayor o distinta solicitud funcional de la obra.
- Por lo que se refiere al proceso de construcción o de fabricación, se presenta una variable calidad de los materiales o materia prima empleados, como consecuencia del escaso interés de los constructores de contar con laboratorios que apoyen el control de calidad; la utilización de procedimientos constructivos que no garantizan un comportamiento adecuado de los elementos estructurales, por no disponer de mano de obra, maquinaria y equipos especializados; y la necesidad de cumplir con programas de desarrollo de las obras bastantes rígidos y comprometidos, que provocan descuidos y una falta de uniformidad en los trabajos.

Las consideraciones anteriores están generando una revisión y actualización de las normas utilizadas en los proyectos y una tendencia generalizada de exigir una mayor calidad en los procesos y materiales empleados.

Con el establecimiento de la política de desarrollo relativa a la apertura del mercado nacional para la participación interna y externa de las industrias y considerando una demanda creciente de mejor calidad y servicio de nuestras obras, a la industria mexicana de la construcción se le presenta un reto para lograr su superación y su prevailecimiento en nuestro medio, así como el incursionamiento generalizado en la ejecución de las obras de otros paí

~~ses, tal como contadas~~ empresas nacionales lo han estado haciendo con buenos resultados. Esta medida de mercados abiertos, le permitirá a las empresas -- constructoras extranjeras concursar en la adjudicación y ejecución de las --- obras nacionales, estimándose que presentarán una fuerte competencia a la industria mexicana, con propuestas económicas interesantes, apoyadas en tecnolo gías y sistemas de trabajo eficientes.

De esta forma, la industria constructora nacional cada vez mas tendrá que innovar y desarrollar procedimientos constructivos y sistemas de trabajo más -- eficaces y de mayor producción, con la premisa de mantener y mejorar la calidad de los productos y las obras.

Para apoyar estas acciones de desarrollo y modernización de las empresas cons-- tructoras, se hace énfasis en que se puede hacer uso de las técnicas de con-- trol de calidad, cuya aplicación sistemática y oportuna permitirán asegurar - una buena calidad de los trabajos y materiales en las obras; evitando retra-- sos en su ejecución y buscando obtener economías, con lo que se favorecerá la competitividad y capacidad de las empresas nacionales. El control de calidad se considera de esta forma, como un medio de que se dispone para atender las nuevas condiciones del mercado, con mejores posibilidades de prevalecer con - buena calidad y costos razonables.

Es conveniente hacer notar que aunque algunos sectores productores de materia-- les y empresas constructoras de la industria en cuestión, ya utilizan procedi-- mientos de inspección de productos terminados, supervisión de obra, y control o verificación de la calidad, se considera que no se ha generalizado su total aplicación ni se han comprendido sus ventajas. Como ejemplos, puede citarse que el grupo de fábricas de cemento portland en México se ha preocupado por - mantener y superar continuamente la calidad de su producción, lo que ha permi-- tido su aceptación y demanda en mercados extranjeros; sin embargo en el gru-- po de empresas de fabricación del acero de refuerzo y presfuerzo, se estima - que se tiene una situación distinta, observándose un número reducido de fábr-- cas cuya producción es uniforme y de calidad aceptable, mientras que las de-- más producen acero de calidad variable y con deficiencias, principalmente en lo que se refiere a la uniformidad de dimensiones y sanidad del material. En relación con la construcción del concreto hidráulico, la calidad puede ser - muy heterogénea, dependiendo del tipo de obra, de los materiales empleados y de la experiencia y recursos de la empresa que construya. En obras de pavim-- mentación, se estima que la falta de laboratorios que apoyen un control de ca-- lidad eficiente de materiales, por parte de las compañías constructoras, no permite asegurar una calidad uniforme y conveniente de las estructuras de pavim-- tos. En el caso de otros productos o elementos de construcción como los asfaltos, cales, tubos, etc. la calidad puede no ser variable en la medida -- que se tenga integrado un sistema de aseguramiento de la calidad.

El control de calidad debe entenderse como un sistema que permite valorar las características de interés del producto, comparar estos valores con los requisitos de proyecto o de diseño, evaluar las desviaciones de calidad que presente el proceso productivo, identificando sus causas, y finalmente, efectuar -- las acciones que corrijan las deficiencias observadas. El control de calidad no es un procedimiento de tipo "policiaco" que obstaculiza los avances, sino que es un mecanismo que incide en el proceso productivo para corregir desviaciones y eliminar tendencias y causas de calidad indeseable.

Una calidad inadecuada y variable en la construcción, generalmente provoca rechazos, reprocesos, repeticiones, retrasos y desperdicios, cuyos costos pueden reducir ostensiblemente las utilidades de las empresas y afectar su prestigio. Para reducir estos costos, el control de calidad maneja como filosofía que "si las cosas se hicieran bien desde la primera vez, prácticamente no habría problemas de fallas y retrasos" y que "lograr buena calidad tiene un costo, pero el costo de la mala calidad siempre es mayor"; de acuerdo con estos axiomas, se puede esperar que un buen control de calidad aporta los siguientes beneficios, al lograr mejores productos o servicios: internamente -- las empresas incrementan su productividad y la satisfacción por el trabajo, obteniendo costos de producción menores, mientras que externamente los clientes se muestran satisfechos y se obtiene una mayor participación en el mercado; con la conjunción de estos beneficios, finalmente se pueden esperar ingresos mayores así como la consolidación y el crecimiento de las empresas.

El control de calidad tiene como cualidades esenciales la costeabilidad, la confiabilidad y la oportunidad. Para que sea costeable, debe estar enfocado a la evaluación de las características principales del producto, cuyos efectos incidan en su comportamiento y duración; para que sea confiable, debe hacer uso de criterios de muestreo aleatorios, que aseguren la representatividad del lote o de la construcción en estudio, así como aplicar a las muestras obtenidas, metodologías estándar de medición de atributos, que reporten resultados confiables; y se requiere que sea oportuno, para que con las acciones correctivas o de ajuste que haya que hacer al proceso productivo o de construcción, se optimice la utilización de los recursos disponibles, con las menores pérdidas de tiempo y económicas.

El control de calidad se puede efectuar mediante combinaciones de acciones de apreciación y de prevención. Entre las acciones de apreciación se pueden citar las pruebas al producto terminado, la inspección de materias primas, la supervisión durante el proceso productivo, las auditorías en el caso de tratarse de aspectos administrativos, y la revisión del trabajo efectuado por -- otros. Como acciones de prevención se tienen el entrenamiento y capacitación de los trabajadores, operadores de maquinaria y técnicos encargados del proceso de producción, la planeación y normalización de la calidad, el mantenimiento y calibración preventivo de la maquinaria y equipos, y el control estadístico del proceso.

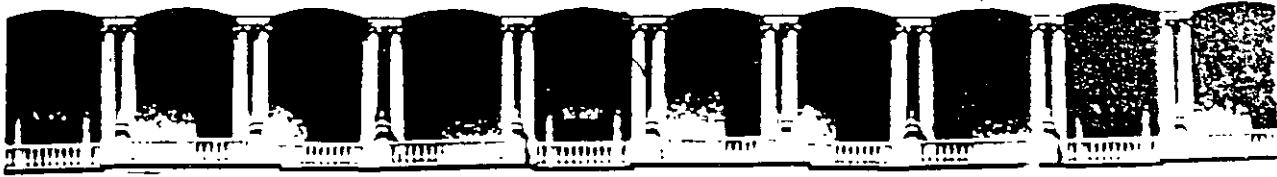
Finalmente, es necesario puntualizar que el control de calidad debe abarcar - todas las fases de las obras, desde el estudio de materiales o materias primas y el diseño o realización del proyecto, hasta la fase de mantenimiento durante su operación o funcionamiento; sin embargo, el control de calidad aplicado en el proceso de producción o construcción, es indispensable para asegurar productos y materiales homogéneos y el comportamiento y la duración previstos.

3. CONCLUSIONES

Considerando todas las posibilidades de uso y sus ventajas, se considera que la aplicación de técnicas de control de calidad en la industria constructora nacional de manera permanente y oportuna, propiciará una mejor utilización de materiales evitando desperdicios, una mayor uniformidad de los trabajos en beneficio del comportamiento de las obras, una programación más realista de la ejecución de las obras, una retroalimentación de resultados para las fases de planeación y diseño que repercutan en el mejoramiento del producto, y como consecuencia de los logros anteriores, un aprovechamiento más adecuado de los recursos físicos y económicos de las empresas.

En conclusión, se estima que con la aplicación sistemática y adecuada del control de calidad en los procesos de proyecto, construcción y mantenimiento de las obras, la industria mexicana de la construcción tendrá mayores posibilidades de superar las nuevas expectativas nacionales de trabajo, y participar satisfactoriamente en la ejecución de las obras de otros países.

Ciudad de México, octubre de 1989.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

**Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES**

**para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN LAS OBRAS VIALES



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

**Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES**

**para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN LAS OBRAS VIALES

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN LAS OBRAS VIALES

Ing: Oscar de Buen Richkarday
Dirección General de Servicios Técnicos
Secretaría de Comunicaciones y Transportes

INTRODUCCIÓN.-

La Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se ha fijado, una de sus metas fundamentales durante la presente Administración, mejorar los sistemas existentes de aseguramiento de calidad de las obras a fin de responder a la demanda de más y mejores vías de infraestructura para el transporte que impone el desarrollo económico del país.

Frecuentemente cuando se habla de los conceptos de calidad de las obras, se piensa únicamente en los materiales que los integran, pero una breve reflexión nos hará percatarnos de que el problema de la calidad no se reduce únicamente a la resistencia y a la durabilidad de los materiales, sino que abarca otros conceptos, a veces sutiles y de difícil cuantificación. Esta situación ha motivado que el concepto de calidad haya sido objeto, en numerosos foros relacionados con la productividad en general, de diversas definiciones. Según la definición que se adopte, se obtienen diversos mecanismos o procedimientos para asegurar este elusivo concepto.

Sin embargo, para los fines de esta plática y para los intereses comunes que aquí congregan a los ingenieros especialistas en vías terrestres de todo el país, quizás resulte útil definir la calidad como lo hace la Asociación Americana de Ingenieros Civiles, diciendo que "la calidad es el cumplimiento de las necesidades del propietario dentro del presupuesto disponible".

En el caso de las obras de infraestructura vial, cabe preguntarse ¿quién es el propietario de ellas? no es el estado, no es el gobierno, no son las empresas concesionarias; es el pueblo representado por los usuarios de las carreteras. Y aquí debemos preguntarnos si estamos satisfaciendo las necesidades de estos usuarios, porque la respuesta a esta pregunta nos responderá si estamos construyendo las obras a nuestro cargo con la calidad necesaria.

Con toda honestidad debemos reconocer que la respuesta a la pregunta anterior no es del todo satisfactoria para calificar la calidad de nuestra red. Debemos reconocer que la imagen que el público y especialmente los usuarios de las carreteras, tienen de la red es pobre.

Existen desde luego numerosos justificantes a este resultado insatisfactorio; en el caso de las carreteras federales, el principal justificante ha sido la escasez de los recursos asignados a la conservación, motivados por políticas equivocadas de "ahorro de inversiones públicas"; en el caso de las nuevas carreteras, muchos problemas se han generado por la presión de construirlas en plazos excesivamente cortos, fijados por razones políticas y que no toman en cuenta los tiempos que necesariamente requiere la debida concepción y ejecución de una obra.

Esta percepción del público del México de hoy difiere radicalmente de la que tenían los mexicanos de hace 50 años. Y esto es explicable porque las expectativas de la población sobre la red de carreteras han cambiado. Han cambiado porque a pesar de todas las crisis que hemos vivido, el México de hoy es muy diferente al que se tenía hace 50 años; en aquellos tiempos la red de carreteras era incipiente, los vehículos tenían tecnologías atrasadas, las necesidades de transporte eran mucho menores. La población tenía memoria fresca de tiempos de traslado hasta de varias semanas para viajar de la Ciudad de México hacia las costas y en consecuencia, a los mexicanos de los años 40's les parecía asombroso disponer de una carretera que los llevase de México a Acapulco en sólo 12 horas.

Lo anterior nos indica que las expectativas de los dueños de las carreteras de aquellas generaciones, eran simplemente de comunicación y puesto que eran satisfechas por las obras que se hacían, se puede decir que estas obras tenían la calidad requerida.

En cambio ahora, en una sociedad más compleja y más avanzada tecnológicamente, el usuario aparte de comunicación exige rapidez, seguridad, comodidad, certidumbre y servicio.

Nuestras obras tendrán la calidad necesaria cuando satisfagan plenamente estos requerimientos. Obviamente no todos estos aspectos son de la competencia del área de infraestructura. Algunas de ellas rebasan la responsabilidad de los ingenieros y caen en muchas otras áreas de la sociedad civil; sin embargo, debemos esforzarnos que en lo que nos toca como ingenieros de vías terrestres, llenemos las expectativas de los usuarios. Aun este propósito limitado no es simple, porque abarca numerosos aspectos del proceso de creación de una obra y en cada una de las fases de ese proceso, los conceptos que deben cuidarse son cambiantes y están sujetos a coyunturas diversas que imponen la necesidad de estrategias, también diferentes.

Las fases a que nos referimos en términos simplificadorios pueden identificarse como los de planeación, estudios y proyectos, construcción, conservación y operación. Para asegurar la calidad de las obras y se insiste, para responder a las expectativas de los usuarios, la Subsecretaría de Infraestructura está procurando desarrollar e implementar para cada una de esas fases una estrategia diferente de aseguramiento de calidad. En esta tarea se debe tener en cuenta un marco más amplio que es el de la modernización del estado, que busca el fortalecimiento institucional, la descentralización administrativa y la privatización de los servicios. Este marco es referencia indispensable en el diseño de nuevos sistemas de aseguramiento de la calidad y obliga a cambiar los métodos de trabajo y la mentalidad de los funcionarios y técnicos responsables de las obras.

SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Un sistema de aseguramiento de la calidad comprende un marco legal, un marco institucional y un marco técnico. Para los fines que nos interesan, el marco legal son las leyes que estipulan las funciones y responsabilidades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y las que regulan las relaciones entre los particulares y la Secretaría o la participación de éstos en el desarrollo de la infraestructura carretera; ejemplos de estas leyes son la de Adquisiciones y Obra Pública y la Ley General de Vías de Comunicación. Dentro del marco institucional se incluye la organización de las diferentes dependencias de la Secretaría involucradas en la infraestructura para el transporte, los reglamentos internos y los manuales de procedimientos administrativos. En el marco técnico al que por las características de este foro habremos de referirnos en lo que sigue, se incluyen las normas, las técnicas, los procedimientos operativos, los equipos y el personal, que permiten fundamentar una confianza razonable en que los componentes de la obra se comportarán conforme a las expectativas del proyecto.

Se presenta a continuación para cada una de las etapas de evolución de los proyectos de infraestructura, una breve diagnosis de la situación actual, una descripción de las acciones que se estarán emprendiendo o se pretenden emprender y algunas ideas sobre las tendencias deseables a seguir en el futuro, todo con el objetivo de mejorar el sistema existente de aseguramiento de calidad de la infraestructura carretera.

Planeación.-

Esta etapa es de una importancia vital para que las obras resultantes satisfagan las expectativas de los usuarios en cuanto a los servicios y las expectativas de la nación respecto al desarrollo económico. En la planeación se toman las decisiones de mayor trascendencia y los errores que en esta etapa se cometen son generalmente irreparables y de un gran costo económico y social.

Durante la etapa de planeación, debe determinarse la ubicación general, las características principales y la factibilidad económica y financiera de la carretera en estudio. Las decisiones desacertadas en estos aspectos generan dificultades para operación y para la conservación, en obras poco factibles, lo que a su vez motiva la decepción de los usuarios. En esta fase también deben estudiarse los efectos de impacto ambiental, que son para la sociedad actual de importancia primordial y por otro lado, deben también someterse las obras a la consideración del público, a fin de que puedan escucharse y conciliarse los intereses encontrados que siempre hay para llevar a soluciones aceptables para todos.

Por esta razón, en países más desarrollados que el nuestro, la planeación de un proyecto importante toma varios años y en ocasiones el plazo dedicado a ella y a los estudios y proyectos es mayor que el empleado en la ejecución.

Para los trabajos de planeación de la red carretera es de importancia fundamental contar con datos estadísticos de las características del tránsito en esa red. Desafortunadamente las restricciones presupuestales obligaron recientemente a interrumpir la captación de esos datos, rompiendo una secuencia establecida por varias décadas; pero actualmente se están haciendo esfuerzos por retomar y fortalecer esos trabajos y se tiene programada la expansión y modernización de los equipos y técnicas que se aplican en la obtención de los datos del tránsito.

La descentralización de la administración de carreteras, promovida por el gobierno federal que en breve habrá de transferir a los gobiernos estatales una fracción importante de la red federal actual, dará mayor importancia en el futuro inmediato a la función de planeación que debe quedar en manos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, como uno de los medios de ejercer su rectoría en esta materia. Aun cuando la planeación en esta Secretaría ha sido y es una tarea fundamental, la descentralización de la red implica la necesidad de darle a esa tarea todavía una mayor atención. Una Unidad administrativa orientada a la planeación específica de las carreteras, es altamente deseable.

Estudios y Proyectos.-

Después de la planeación, ~~la etapa de los estudios y proyectos sigue en~~ importancia para la obtención de la calidad de las obras. En un estudio realizado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles sobre obras de infraestructura de muy diferentes tipos, se pudo determinar que en la etapa de estudios y proyectos se tiene la mayor probabilidad de influir en la calidad y el costo de una obra. Sin restar importancia a las decisiones que se toman en la construcción, la operación y la conservación, debe reconocerse que poco se puede hacer en esas etapas cuando se tiene un proyecto con serios errores de concepción por estudios y diseños inadecuados.

Es conveniente recordar ahora que en la definición de calidad que arriba se presentó, se supeditó el cumplimiento de las expectativas del cliente al presupuesto disponible. Y es bien conocido que los presupuestos disponibles la mayor parte de las veces resultan insuficientes para atender adecuadamente esas expectativas. Es aquí donde se genera la importancia del trabajo de los ingenieros experimentados en los estudios y el diseño. Los ingenieros con capacidad y experiencia pueden obtener de un presupuesto limitado el máximo provecho y alargar la durabilidad de las obras.

En la selección de los proyectos más adecuados, muchas veces se ha tomado como criterio básico el del mínimo costo inicial. Es evidente que debe considerarse el costo total que incluye aparte del costo de construcción, los costos de operación y conservación, que son mucho mayores y que en las rutas de la red troncal hacen plenamente justificables la adopción de diseños con más elevados estándares de calidad de materiales y técnicas de ejecución.

A la fase de estudios y proyectos debe dársele el tiempo que se requiere para que estos trabajos se hagan con la extensión y profundidad adecuadas. La iniciación de obras con proyectos incompletos o no fidedignos, ha dado lugar en el pasado, a graves problemas durante la construcción, implicando demoras en los tiempos de ejecución y elevación de los costos, cuestionando la factibilidad

financiera y económica y ha producido también problemas costosos de conservación.

El propósito de dar mayor importancia a los proyectos, aunado al deseo de elevar los estándares de calidad de las obras, aplicando la tecnología más avanzada en ingeniería de vías terrestres, ha motivado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a revisar las especificaciones generales de construcción que han estado vigentes durante varias décadas. En este esfuerzo se incluye la adecuación de ese cuerpo normativo, para tomar en cuenta las nuevas relaciones entre Secretaría y empresas constructoras que impone la modernización del estado. En las nuevas especificaciones generales se dará mayor libertad y mayor responsabilidad al constructor, al mismo tiempo que se dará mayor peso al proyecto y se demandará una mayor capacidad técnica a los ingenieros de la Secretaría. Se han logrado avances importantes en esta ardua tarea. Se cuenta ya con una primera versión de normas y manuales elaboradas por el Instituto Mexicano del Transporte, que están siendo revisadas en oficinas centrales por un grupo de trabajo y por un grupo ejecutivo y que se están distribuyendo en todos los Centros SCT para incorporar la valiosísima opinión de los ingenieros que habrán de aplicar estas normas en los frentes de trabajo. Está por concretarse una revisión técnica final por parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El proceso de descentralización de la red carretera resalta también la importancia de la actualización normativa que se está emprendiendo, ya que las especificaciones generales de proyecto, construcción y conservación de la infraestructura del transporte, serán una herramienta de gran utilidad para que los Estados atiendan adecuadamente la red que se les transfiera y para que la Secretaría ejerza su función rectora, vigilando la adecuada operación de esa red.

Para que los estudios y proyectos tengan una mayor oportunidad en el proceso de ejecución de las obras, es importante que se realicen de una manera descentralizada. Esta es la razón que ha motivado la creación de un Comité de Estudios y Proyectos en cada uno de los Centros SCT de la República. Por su cercanía a las obras y por su mayor conocimiento de las circunstancias locales,

estos Comités podrán incidir con mayor eficiencia en el aseguramiento de la calidad, pero es necesario que se fortalezcan y que se preocupen por incrementar sus habilidades técnicas para cumplir plenamente con ese propósito.

La Ley de Obra Pública ha implantado la necesidad de concursar los servicios de consultoría en materia de estudios y proyectos. Innegablemente esta disposición habrá de propiciar la competitividad y el desarrollo tecnológico de las empresas de servicios y en consecuencia, redundará en una mejor calidad de las obras. Sin embargo, en su aplicación se han experimentado algunos tropiezos con resultados contraproducentes, por la falta de algunas medidas regulatorias para la aplicación de esa ley que corresponde desarrollar a los ingenieros de la Secretaría. Una de estas medidas puede ser el acreditamiento de las empresas para que se permita concursar únicamente a aquellas que tengan la experiencia, la capacidad técnica y económica necesarias para el tipo de proyecto que se licita.

Además debe implantarse un mecanismo para que la Secretaría se asegure que esa capacidad y recursos se apliquen al proyecto contratado. Por otra parte, el criterio básico de adjudicación de un proyecto no debería ser únicamente el de la oferta económica más baja, sino que debería ponderarse adecuadamente la calidad de la oferta técnica. Esta circunstancia pone de relieve el especial cuidado que los Comités de Estudios y Proyectos deben prestar a la definición de los alcances y características de los estudios y proyectos que se licitan y a la redacción de los términos de referencia de las bases del concurso.

Construcción.-

Una buena planeación, unos buenos estudios y un buen diseño, no tendrán ningún efecto si se descuida el aseguramiento de calidad en la construcción. Todos los esfuerzos anteriores serán vanos si hay un constructor inescrupuloso y un supervisor negligente. El aseguramiento de calidad en la construcción empieza por el procedimiento de licitación para la adjudicación de los contratos. Al igual que en la licitación de estudios y proyectos, debería existir un siste

de acreditamiento de empresas constructoras, supervisores externos y laboratorios de control de calidad, para asegurarse que en cada caso sólo pudieran concursar aquellas empresas que contaran con la capacidad técnica y los recursos necesarios al tipo de obra. Ya en forma incipiente organismos con participación de entidades públicas y privadas, empiezan a desarrollar estos sistemas; es necesario apoyarlos, fortalecerlos e implantarlos. También deben fortalecerse los mecanismos que permitan a la Secretaría asegurarse de que los recursos ofrecidos por el concursante en su oferta, sean efectivamente aplicados en la obra si ésta se le adjudica.

En la construcción, el aseguramiento de la calidad está constituido por dos vertientes. La primera es el control de calidad que es responsabilidad de la empresa y la segunda es la verificación de la calidad que está a cargo de la Secretaría. En los términos de referencia de una licitación de obra, se debe pedir a cada empresa concursante que presente su sistema permanente de control de calidad y su plan específico para controlar la calidad de la obra que se licita. La inexistencia de cualquiera de estos documentos o la inadecuación del sistema y plan demandados para las necesidades de la obra, deben ser motivo de descalificación inmediata. Para juzgar la adecuación de los planes de control de calidad ofrecidos por los concursantes, se hace necesario que el Comité de Estudios y Proyectos defina su propio plan por lo menos en términos generales, para tener un parámetro de calificación.

Es conveniente reiterar que el control de calidad es un proceso sistemático y extensivo a cargo del constructor, que lo usa como una herramienta para mantener sus productos dentro de los márgenes de tolerancia aceptables, en torno al estándar de calidad establecido en el contrato. El constructor, analizando las desviaciones durante la ejecución, puede corregir adecuadamente el proceso y defender así sus intereses económicos. La Secretaría realiza una verificación de calidad que es de tipo puntual y aleatoria y que sólo tiene por objeto comprobar que el control de calidad del constructor es eficiente y que la obra que está recibiendo cumple con los requisitos del proyecto.

Desafortunadamente estos conceptos, aunque ya han sido ampliamente difundidos, todavía no trascienden de una manera completa a la práctica en las obras de la Secretaría, en donde se detecta que algunos funcionarios y algunos empresarios todavía arrastran costumbres e ideas de los tiempos en que la Secretaría, en forma paternalista y centralizada, atendía directamente el control de calidad de las obras a contrato. Esta práctica se traduce en problemas que repercuten en un decremento de la calidad de las obras porque, dadas las políticas de adelgazamiento del sector público, la Secretaría ya no cuenta ni con el personal, ni con los equipos, ni con los recursos que requiere un control de calidad adecuado en las grandes obras.

Conservación.-

Mucho de lo que se ha expuesto para las etapas de estudios y proyectos y de construcción, es aplicable a la de conservación. Únicamente cabe enfatizar que el problema del decremento de calidad de la red carretera, nace de la insuficiencia de recursos presupuestales asignados a su conservación. Muchas y muy complejas son las causas de esa escasez presupuestal, la mayoría de ellas por encima de los alcances de los ingenieros responsables de las vías terrestres. Sin embargo, cabe señalar que en ocasiones la insuficiencia presupuestal nace del desconocimiento que los propios ingenieros tienen de la magnitud de los recursos necesarios para el mantenimiento de los tramos a su cargo. Los sistemas de administración de pavimentos que se han desarrollado, constituyen una herramienta eficaz para que el ingeniero defina adecuadamente el monto de sus necesidades presupuestales. Por esta razón, la Subsecretaría de Infraestructura se ha preocupado por mejorar la operación de los sistemas implantados. Dentro de este propósito, se enmarca el plan piloto que se está llevando a cabo en la red de carreteras a cargo del Centro SCT Puebla, para calibrar el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos, desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte. En ese mismo sentido y con el objeto de captar información cuantitativa sobre el estado general de la red, las Unidades Generales de Servicios Técnicos, coordinadas por las Unidades Regionales, están realizando mediciones con Viga Benkelman y levantamiento

con Rugosímetro Mays. Estos datos, aunados a los datos estadísticos del tránsito, permitirán a la Dirección General de Conservación de Carreteras, fundamentar de mejor manera sus decisiones sobre los tratamientos que habrán de darse a los diferentes tramos de la red, en beneficio directo de la calidad que percibe el usuario.

Operación.-

El problema más importante en esta etapa sigue siendo el efectivo control de los pesos y dimensiones de los vehículos que circulan por la red. La Secretaría ha elaborado recientemente un reglamento de pesos y dimensiones, después de un prolongado diálogo con los transportistas y tomando en cuenta las investigaciones realizadas por el Instituto Mexicano del Transporte, y actualmente está estudiando posibles mecanismos que permitan vigilar la debida observancia de ese reglamento. Las cargas excesivas producen un acelerado deterioro de los pavimentos y daños severos en los puentes y son una de las causas primordiales de los bajos niveles de calidad de numerosos tramos. Es evidente que si queremos asegurarnos de la calidad de la infraestructura carretera y mejorar la opinión que los usuarios tienen de ella, este es un punto fundamental que debemos cuidar y que no se reduce únicamente a aspectos reglamentarios, legales o de vigilancia, sino que incluye también aspectos de educación, concientización y modernización del sector del transporte. En las autopistas concesionadas, el usuario que paga una cuota es más exigente en cuanto a sus expectativas. Espera un gran número de servicios conexos y mejores niveles de calidad. Actualmente la Secretaría está promoviendo la expansión y diversificación de los servicios, por ejemplo, existe un programa para el financiamiento y construcción de paraderos que permitan al usuario disponer de puntos de descanso y recreo que hagan más placentero su traslado por esas carreteras. Al mismo tiempo, para evaluar las condiciones de operación de las autopistas y verificar que éstas presten adecuadamente los servicios a que las obliga el título de concesión, el grupo de seguimiento de autopistas concesionadas ha desarrollado un manual para la evaluación de la operación.

Innovación Tecnológica.-

Esta exposición ha girado sobre la idea de correlacionar la calidad con las expectativas del usuario. Ya hemos dicho que estas expectativas son muy diferentes a las que se tenían en el pasado, lo que nos obliga a elevar los niveles de calidad de las obras. En el futuro, por el desarrollo tecnológico que tendrán los vehículos y los medios de comunicación, es indudable que las expectativas y exigencias del público serán aun mayores que ahora y que las presiones por disponer de obras viales mejores serán crecientes. ¿Cómo podremos responder a esa demanda?. Introduciendo un sistema dinámico que permita la rápida incorporación de las innovaciones tecnológicas de la ingeniería de vías terrestres a la práctica de la Secretaría. Con éste propósito, se están emprendiendo diversas acciones. En obsequio a la brevedad, únicamente se mencionará aquí la constitución de un Círculo Tecnológico sobre Asfaltos, CITEA, cuyo objetivo es elevar el nivel competitivo de las empresas que fabrican, comercializan o aplican productos derivados del asfalto en la construcción y conservación de obras viales; esa competitividad pretende elevarse mediante la incorporación de desarrollos tecnológicos. El Círculo establece una relación entre empresas, centros de desarrollo tecnológico y clientes. Uno de esos clientes, por la gran aplicación de los asfaltos en la red de carreteras es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

CITEA está todavía en una fase embrionaria; sin embargo, ha despertado un vivo interés entre especialistas del asfalto, empresarios y funcionarios que lo ven como un medio de grandes posibilidades para acelerar el desarrollo tecnológico de México en materia de asfaltos.

La calibración de los resultados que se obtengan mediante CITEA, permitirán a la Secretaría determinar la conveniencia de promover círculos tecnológicos en otras áreas de su acción.

Capacitación.-

Finalmente, se desea resaltar el hecho de que la raíz del problema de la calidad está en el ser humano. El problema de la calidad no se circunscribe a las vías terrestres, ni a la infraestructura ni a la ingeniería. Es un problema nacional que afecta todos los aspectos productivos de la sociedad y que en última instancia, es un problema de educación. Por esta razón, las estrategias en proceso o proyectadas para las diferentes etapas de las obras viales, deben complementarse con un extenso y continuo programa de capacitación del personal involucrado, en todos los niveles, tanto directivos como operativos y en todas las áreas.

Con objeto de mejorar la eficacia de las acciones de capacitación técnica, a partir de este año y por disposición del Subsecretario de Infraestructura, se definió y se está realizando un programa integral de capacitación para todos los ingenieros de la SCT, relacionados con las vías terrestres. Mediante este programa, se auspicia la asistencia a cursos y a otros eventos organizados por instituciones educativas y asociaciones profesionales tanto del país como del extranjero. Se espera tener la posibilidad de incrementar el número y la eficacia de estas acciones en los próximos años. Es satisfactorio mencionar que dentro de este programa, se pueden apoyar organizaciones como la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, que mediante la realización de eventos de capacitación como esta Reunión Nacional, contribuyen a la superación profesional de nuestros ingenieros y en consecuencia, a la elevación de los niveles de calidad de la infraestructura del transporte.

Ciudad de México, agosto de 1996.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

**Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES**

**para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

ASPECTOS TECNICOS Y NORMATIVOS DE APLICACION

Aspectos Técnicos y Normativos de Aplicación

El Acreditamiento de Laboratorios

Objetivo

El acreditamiento de los laboratorios dedicados al análisis de materiales empleados en industria de la construcción de edificios y obras viales, se hace necesario para asegurar la calidad de estas obras. El Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas es la encargada de evaluar la competencia técnica de los laboratorios para la ejecución de pruebas de materiales, estableciendo para ello los criterios generales en los siguientes aspectos. El SINALP se instituyó bajo los auspicios de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización con objeto de autorizar o de acreditar laboratorios que cuenten con equipo suficiente, personal técnico calificado y demás requisitos que establezca el reglamento, para que presten servicios relacionados con la normalización, principalmente en lo referente al control de calidad. El SINALP será coordinado por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y los laboratorios acreditados se clasificarán por ramas específicas y serán registrados en un directorio nacional que se publicará en la gaceta de esta Secretaría y periódicamente se actualizará.

REQUISITOS

Identidad Legal

El laboratorio tendrá una personalidad jurídica identificable

Imparcialidad, Independencia e Integridad

El laboratorio de pruebas debe estar libre de presión comercial, financiera o de cualquier otro tipo que pueda influenciar su juicio técnico. Debe evitarse cualquier influencia de personas u organizaciones, ajenas al laboratorio de pruebas, sobre los resultados de los exámenes y de las pruebas.

Competencia Técnica

El Laboratorio de Prueba debe:

- Contar con una estructura organizacional que le permita mantener la capacidad de ejecutar satisfactoriamente las funciones técnicas para las cuales se le concede el acreditamiento
- Cada integrante de esta organización debe conocer el alcance y las limitaciones de sus funciones
- Contar con un Representante Autorizado
- Contar con uno o más Responsables de las operaciones técnicas del laboratorio
 - ◆ Si la estructura organizacional del laboratorio lo permite, esta responsabilidad podrá recaer en una persona únicamente.
 - ◆ La organización debe contar con personal calificado, familiarizado con los procedimientos operativos y técnicos, con los objetivos establecidos por el propio laboratorio y con la evaluación de los resultados de las pruebas.
 - ◆ Debe contar con un documento actualizado y oficializado en donde se definan la organización y distribución de las responsabilidades.

Personal

- Debe tener la preparación, los conocimientos técnicos y la experiencia necesarios para desempeñar satisfactoriamente las funciones que se le encomienden.
- Debe estar sujeto a programas continuos de capacitación y entrenamiento con evaluaciones periódicas, llevando un registro de las constancias respectivas.
- El personal de nuevo ingreso debe ser adiestrado para desempeñar satisfactoriamente sus funciones y debe ejecutar pruebas bajo supervisión, hasta que demuestra buena aptitud y esta sea aprobada.

Los signatarios autorizados así como el personal de mando de las áreas en que se solicita el acreditamiento, deben cumplir con lo siguiente.

- Tener capacidad reconocida en el área correspondiente.
- Tener experiencia mínima comprobable de tres años en el área de laboratorio de pruebas de la rama específica.
- En casos especiales, esta experiencia mínima podrá ser diferente a la establecida y será determinada por el SINALP.
- Tener conocimiento sobre el manejo e interpretación de las normas, métodos y equipos de prueba.
- Contar con personal competente que sustituya al signatario autorizado, así como al personal operativo durante sus ausencias.
- El laboratorio debe mantener actualizada las informaciones relativas a la calificación, formación y experiencia de su personal técnico.

Locales y Equipos

El laboratorio debe contar con el local o locales y los equipos necesarios para la ejecución de las pruebas para las cuales solicita el acreditamiento.

Los locales destinados para la ejecución de pruebas deben estar protegidos contra las condiciones extremas, tales como exceso de calor, polvo, humedad, vapor, ruido, vibraciones y perturbaciones o interferencias electromagnéticas, debiendo ser objeto de un mantenimiento apropiado.

Deben ser lo suficientemente espaciosos para minimizar los riesgos de daño o de peligro y para permitir a los operarios facilidad y precisión en sus movimientos. Asimismo, debe contar con la instalación adecuada a las funciones a las que está destinada.

Debe regularse el acceso de personal ajena a las actividades de laboratorio

Debe asegurarse el buen funcionamiento del laboratorio mediante mantenimiento periódico de las instalaciones y el inmueble.

Debe garantizarse la seguridad del personal y protección del medio ambiente.

Todos los equipos deben recibir mantenimiento periódico y tener disponibles los detalles sobre los procedimientos de mantenimiento.

Debe ser puesto fuera de servicio, aquel equipo que presente deficiencia en su funcionamiento. esto es, que proporcione resultados dudosos, dificultad en su operación y en su calibración de resultados de repetibilidad superior en exceso del esperado. Puede volverse a usar únicamente hasta que se demuestre que ha sido reparado satisfactoriamente y que en su calibración se obtengan los resultados esperados.

Debe llevarse y tener siempre actualizado un registro de cada uno de los equipos de medición y de prueba. Este registro debe contener los datos siguientes.

- Nombre del equipo.
- Nombre del fabricante, tipo y número de serie.
- Fecha de recepción y de puesta en servicio.
- Ubicación. Si es portátil, su ubicación más habitual.
- Condiciones del equipo al iniciar su uso, nuevo, usado o reacondicionado.
- Mantenimiento. En qué consistió y estado de funcionamiento después
- Historial de funcionamiento y mantenimiento.

Los equipos de medición deben ser calibrados antes de su puesta en servicio y después periódicamente de acuerdo con el programa de calibración del laboratorio. Debe asegurarse la trazabilidad de las mediciones con patrones nacionales o internacionales y de no ser posible o necesario, obtenerlo mediante intercomparación de pruebas con otros laboratorios.

Los patrones de referencia a cargo del laboratorio sólo se utilizarán para la calibración. Serán calibrados por un organismo competente capaz de asegurar la trazabilidad con patrones nacionales o internacionales.

Cuando proceda, los equipos de prueba deben someterse a verificaciones durante el servicio, entre las calibraciones periódicas.

Métodos de Prueba y Procedimientos

El laboratorio de pruebas debe disponer de las instrucciones escritas sobre la utilización y el funcionamiento de todos los equipos empleados en la preparación y manipulación de las muestras y en la ejecución de pruebas, en forma de normas, manuales y datos de referencia, las cuales deberán mantenerse actualizadas y disponibles en el momento que sea requerido por el personal de laboratorio.

El laboratorio debe emplear los métodos prescritos por la especificación técnica de acuerdo con la cual se prueba el producto. Si el procedimiento empleado no está normalizado este deberá estar descrito en documentos que también debe estar disponible y accesible para el personal de laboratorio.

El laboratorio no deberá ejecutar las pruebas que no esté normalizado o que el procedimiento de ejecución proporcione resultados dudosos y faltos de objetividad.

Sistema de Calidad

El laboratorio debe implementar un sistema de calidad de acuerdo a las funciones que desempeña. Los lineamientos de este sistema deben estar contenidos en un documento denominado Manual de Calidad, el cual deberá estar disponible para el personal de laboratorio. La aplicación y la actualización de este Manual estará a cargo de un miembro responsable del laboratorio, designado expresamente para esta actividad.

El aseguramiento de la calidad en el laboratorio debe ser asignado por la Dirección o por uno o varios responsables que tengan acceso directo al más alto nivel de la Dirección.

El Manual de Calidad debe contener como mínimo.

- Una declaración que exprese la política de calidad.
- La estructura organizacional del laboratorio (organograma).
- Las actividades funcionales y operacionales relativas a la calidad, de manera que cada integrante del laboratorio conozca su alcance y limitaciones dentro de la organización.
- Los procedimientos generales de aseguramiento de calidad.
- En su caso, un referencia a los procedimientos de aseguramiento de calidad específicos de cada prueba.
- Cuando sea necesario, una referencia a las pruebas de aptitud, la utilización de materiales de referencia, etc.
- Las disposiciones adecuadas relativas a información de retorno y a las acciones correctivas cuando se detecten anomalías en el curso de las pruebas.
- Un procedimiento para el tratamiento de las reclamaciones.

El sistema de calidad debe revisarse sistemática y periódicamente por la dirección, con el fin de asegurar su eficiencia permanente.

Las revisiones deben ser registradas, así como los detalles de cualquier medida correctiva que se tomen.

Los trabajos ejecutados por un laboratorio debe presentarse mediante un informe el que debe reunir los siguientes requisitos.

- Nombre y dirección del laboratorio.
- Descripción e identificación única del informe, mediante número de serie, números de ensayos, etc. y sus páginas deben estar debidamente enumeradas.
- Nombre y dirección del cliente.
- Descripción e identificación de las muestras sujetas a prueba.
- Indicación del método o procedimiento de prueba y equipo empleado.
- Descripción del procedimiento de muestreo empleado, cuando proceda.
- Cualquier desviación, adición o exclusión de la especificación de prueba y cualquier otra información relativa a una prueba específica.
- Identificación de cualquier otro método o procedimiento de prueba no normalizado que se haya utilizado.
- Las mediciones, exámenes y resultados derivados se presentarán, cuando proceda, mediante tablas, gráficas, dibujos y fotografías, así como las posibles fallas detectadas.
- Indicación de la incertidumbre de las mediciones en su caso.
- Firma y cargo del signatario autorizado y la fecha de emisión del informe.
- Declaración de que el informe corresponde exclusivamente a la muestra sometida a prueba.
- Indicación de que el informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

El informe de pruebas debe ser lo suficientemente claro , especialmente en lo que se refiere a la presentación de los datos y resultados de las pruebas, de fácil comprensión para los usuarios.

Las modificaciones o adiciones a un informe de pruebas emitido deberán realizarse por medio de otro documento "Modificaciones/suplemento al informe de pruebas número de serie"

Un informe de prueba no debe contener ningún consejo o recomendación derivados de los resultados de las pruebas.

Los resultados de las pruebas deben presentarse con precisión, claridad, íntegramente y sin ambigüedades, de conformidad con las prescripciones que puedan formar parte de los métodos de pruebas.

Los resultados cuantitativos deberán presentarse con sus incertidumbres calculadas o estimadas.

Los resultados de las pruebas obtenidas de elementos que han sido seleccionados mediante un muestreo estadístico de un lote o una producción, se utilizan frecuentemente para inferir las propiedades de este lote o de esta producción. Cualquier extrapolación realizada sobre la base de los resultados de las pruebas a las propiedades de un lote o de una producción deberá ser objeto de un documento separado.

Nota: Los resultados de las pruebas pueden consistir en mediciones, conclusiones obtenidas mediante exámenes visuales o de la utilización práctica del objeto presentado a prueba, resultados derivados o cualquier otro tipo de observación que se desprenda de la actividad de prueba. Los resultados de las pruebas pueden ser apoyados con tablas, fotografías o cualquier otra información gráfica identificada de forma conveniente.

Registros

El laboratorio debe disponer de un sistema de registros que responda a sus características particulares y que esté de acuerdo con las posibles disposiciones legales y reglamentarias en vigor. Deben conservarse todas las observaciones iniciales, cálculos, resultados derivados de éstos, registros de calibración y los informes finales de las pruebas, durante un período apropiado. Los registros de cada prueba contendrán la información suficiente para permitir la repetición de la misma. Los registros deben incluir la identificación del personal encargado del muestreo de la preparación y de las pruebas.

Todos los registros e informes de pruebas deben conservarse en lugar seguro y tratarse de forma confidencial con el fin de salvaguardar los intereses del cliente, a menos que la ley disponga otra cosa.

Manejo de Muestras

Debe aplicarse un sistema para identificar las muestras o los objetos que deban probarse, mediante los documentos apropiados o por marcado, de manera que no pueda haber confusión alguna sobre la identidad de la muestra ni sobre los resultados de las mediciones realizadas. Debe existir un procedimiento, cuando sea necesario un almacenamiento específico de muestras o de objetos. Debe disponerse reglas claras para la recepción, la conservación y disposición de las muestras.

Confidencialidad y Seguridad

El personal de laboratorio deberá guardar secreto profesional sobre toda la información obtenida en el desempeño de sus tareas.

El laboratorio deberá respetar los términos y las condiciones requeridas por el usuario de sus servicios para asegurar la confidencialidad y la seguridad de sus prácticas.

Subcontratación

Cuando excepcionalmente un laboratorio subcontrate alguna parte de las pruebas, este trabajo debe confiarse a otro laboratorio de pruebas que cumpla con la norma NOM-CC-13-1992. El laboratorio de pruebas deberá notificar a su cliente de su intención de confiar la ejecución de una parte de las pruebas a otro laboratorio. El subcontratista debe ser aceptado por el cliente.

Cooperación con los clientes

El laboratorio de pruebas ofrecerá una cooperación al cliente a su representante, de manera que este pueda definir correctamente su pedido y pueda controlar el buen desarrollo de los trabajos a realizar. Esta cooperación consiste principalmente en.

- Permitir que el cliente presencie la ejecución de pruebas, siempre y cuando esto no perturbe el proceso de ejecución de éstas, ni que se relajen las reglas de confidencialidad y de seguridad aceptadas por ambas partes.
- La preparación, embalaje y expedición de muestras o elementos de pruebas que necesite el cliente para su verificación.
- El laboratorio de pruebas debe disponer de un procedimiento específico para el tratamiento de las reclamaciones.

El laboratorio de pruebas ofrecerá una cooperación razonable al SINALP y a sus representantes en la medida en que sea necesaria para permitir un control del cumplimiento de las prescripciones establecidas en la norma NOM-CC-13-1992 y de otros criterios complementarios. Esta cooperación comprenderá.

- El acceso del representante para presenciar las pruebas de laboratorio.
- Cualquier comprobación razonable que permita al SINALP verificar la capacidad del laboratorio para realizar las pruebas.
- La preparación, embalaje y expedición de las muestras o elementos de pruebas de verificación que necesite el SINALP.
- La participación en cualquier programa apropiado de pruebas de aptitud o de comparación que pudiera juzgar razonablemente necesario el SINALP.
- La autorización al SINALP para examinar los resultados de sus auditorías internas o de las pruebas de aptitud.

Se exhorta a los laboratorios de prueba a participar en la elaboración de las normas nacionales o internacionales en lo referente a pruebas de laboratorio. Se anima a los laboratorios de prueba a participar en el intercambio de información con otros laboratorios dedicados al mismo tipo de actividades, a fin de unificar procedimientos y mejorar la calidad en la ejecución de las pruebas. Asimismo, deben participar con regularidad en programas de comparación de resultados de pruebas mediante pruebas de aptitud.

OBLIGACIONES

Un laboratorio de pruebas acreditado debe.

- Cumplir en todo momento las prescripciones que establece el SINALP.
- Declarar su acreditación únicamente para las pruebas para las que se le ha concedido acreditamiento.
- Abonar las tarifas de la solicitud, participación, evaluación, supervisión y otros servicios, de acuerdo a lo establecido por el SINALP, teniendo en cuenta los costos.

- No utilizar la acreditación de manera que perjudique la reputación del SINALP y no hacer ninguna declaración referente al acreditamiento que pudiera considerarse abusiva.
- No hacer uso de la acreditación una vez que haya terminado el plazo de su vigencia.
- Indicar claramente en todos los contratos con sus clientes que la acreditación de laboratorio o cualquiera de los informes de pruebas por sí mismos no constituyen o implican, en manera alguna una aprobación del producto por el SINALP,
- Procurar que ningún informe de pruebas o parte del mismo sea utilizado por el cliente, o por alguien autorizado por éste, con fines promocionales o publicitarios, cuando el organismo otorgante de la acreditación considere improcedente tal utilización. En cualquier caso, el informe de las pruebas no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización escrita del SINALP y del laboratorio de pruebas.
- Informar inmediatamente al SINALP sobre cualquier modificación relativa al cumplimiento de los lineamientos de la norma NOM-CC-13-1992 y de cualquier otro criterio que pudiera afectar la capacidad o campo de actividad de laboratorio de pruebas.

Al hacer referencia en los medios de comunicación, tales como documentos, folletos o anuncios, a su condición de laboratorios de pruebas acreditado, este deberá utilizar en forma apropiada el texto siguiente: "Laboratorio de Pruebas Acreditado por el SINALP para las pruebas de (campo para el que se ha otorgado la acreditación) correspondiente al número (o a los números)..." u otro texto equivalente.

El laboratorio de pruebas exigirá que sus clientes, cuando hagan alusión a un laboratorio de pruebas acreditado, utilicen en la forma apropiada, la frase siguiente: " Prueba realiza por (nombre del laboratorio de prueba) acreditado por el SINALP, correspondiente al número (o a los números) de registro...", u otro texto equivalente.

A partir de la cancelación de su acreditación, el laboratorio de pruebas debe tomar las medidas necesarias para cese cualquier utilización de estas referencias. Un laboratorio de pruebas puede cancelar el acreditamiento, llegado el caso, previo aviso escrito con un mes de anticipación al organismo de acreditación (o con el plazo acordado por ambas partes).

La Precisión de Pruebas y la Confiabilidad

Precisión

La precisión es la acción de ejecutar con esmero una actividad para obtener resultados exactos, empleando para ello aparatos muy precisos.

Precisión.- efectuar una actividad empleando aparatos capaces de efectuar mediciones muy pequeñas con respecto a la unidad principal, esto es, si se usa como unidad principal el metro (m), aquel aparato que permita efectuar mediciones de un centésimo de metro (0.01m) es menos preciso que aquel que permita esta medición de un milésimo (0.001m).

La precisión en los resultados de una prueba se obtiene empleando en la ejecución de la misma, procedimientos normalizados, personal capacitado y actualizado continuamente, equipos modernos y precisos, e instalaciones que satisfagan los requisitos de los procedimientos de prueba.

Confiabilidad

La confiabilidad de un laboratorio de pruebas se obtiene mediante la observancia de buenas prácticas de laboratorio, empleo de procedimientos normalizados, personal capacitado y actualizado continuamente; asimismo, el empleo de equipos modernos y precisos, e instalaciones que satisfagan los requisitos de los procedimientos de prueba. Un laboratorio confiable es aquel que tiene implementado un sistema de aseguramiento de calidad en todas las actividades que realiza.

Caracterización de Materiales

Los materiales empleados en la construcción pueden ser naturales o procesados o la combinación de ambos. Los materiales naturales como los agregados pétreos, para su empleo en alguna obra, se les determinan sus características físicas y propiedades mecánicas requeridos para un propósito específico, esto es, si los agregados pétreos se van a emplear para concreto hidráulico se les determinan sus densidades relativas, pesos volumétricos, composición granulométrica, resistencia al intemperismo, durabilidad, reactividad potencial con los álcalis del cemento, etc.; sin embargo, si este mismo material se le pretendiera emplear en mezcla para carpeta asfáltica las pruebas serían apropiadas para este tipo de obras. A este proceso de evaluación las características físicas y propiedades mecánicas de los materiales se le llama caracterización. Sin embargo, este término es aplicado más comúnmente a la evaluación de materiales nuevos con fines de establecer parámetros de especificación.

Interpretación de Resultados de Pruebas

La interpretación de los resultados de pruebas efectuados a un determinado material no es la comparación de éstos con los requisitos de proyecto o de una especificación. La interpretación de los resultados de prueba de materiales consiste en establecer la relación que existe entre las propiedades índices del material y si éstas son consistentes. De la evaluación de resultados y de una sana experiencia, auxiliada de algunas herramientas estadísticas, es posible detectar fallas del personal o del equipo.

Muestreo

Es el proceso mediante el cual se obtiene una unidad representativa de un determinado material, denominada muestra. La obtención de muestras debe ser realizada por personal capacitado y de experiencia. La determinación del tamaño y frecuencia de muestreo debe establecerse en base al tipo de material, lugar de muestreo, almacenamiento o banco; con qué fin se realiza el muestreo, ¿para caracterización de materiales, control de calidad, verificación o para certificación de producto?

Muestreo aleatorio

Es la acción de seleccionar unidades representativas de una población empleando procedimientos que permitan que todas las unidades de esta población tengan las mismas oportunidades de ser seleccionadas, si se cumple con esta condición, se dice que el muestreo se efectuó aleatoriamente o fue elegido al azar. El muestreo aleatorio permite determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos deseados o no deseados, con la cual se puede asegurar que se conoce la frecuencia de aparición de dicho evento, o también su distribución de probabilidad

El empleo de las técnicas estadísticas para definir los parámetros de muestreo

En todo proceso de producción industrial, construcción de obras, ejecución de pruebas, etc., existen errores inherentes a estos procesos, debidos al uso y operación de equipos, uso de materiales de distintas procedencias, empleo de personal, etc. Los errores que se pueden presentar en estas actividades pueden ser sistemáticos y aleatorios. Los errores sistemáticos son por lo general, de un sólo signo, esto es, en una carta de control se ubican por encima de la media o por debajo de ella; los errores aleatorios, en una carta de control se ubican indistintamente por abajo o por encima de la media; son fluctuaciones tanto positivas como negativas, no siempre se pueden identificar, sin embargo sí pueden ser reducidos a un valor mínimo, de manera que no afecten los resultados esperados

Los errores sistemáticos pueden ser de cuatro tipos.

Instrumentales: *Equipos o instrumentos no calibrados.* Por ejemplo un termómetro que indica un valor de 102 °C en el punto de ebullición del agua y de 2 °C, en el punto de congelación.

Observacionales: Por ejemplo *errores de paralaje* al tomar las lecturas en una escala

Ambientales: *Temperatura, humedad, alimentación eléctrica* que afectan los valores de las lecturas haciéndolos consistentemente más bajos o más altos respecto del valor verdadero.

Teóricas: Simplificaciones del modelo a aproximaciones en las ecuaciones que lo describen. Por ejemplo no considerar los efectos de la temperatura en un equipo patrón de calibración, calibrado a una temperatura menor que la que se tiene cuando se emplea para calibrar una máquina de ensaye. Estos errores si pueden ser eliminados mediante la calibración periódica de los equipos de medición, capacitación continua del personal, regulación de las condiciones ambientales y de las instalaciones del laboratorio.

Los errores aleatorios pueden como posibles causas, las siguientes.

Observacionales: Errores de juicio de un observador al estimar el valor sobre la división más pequeña de la escala de un aparato de medición.

Ambientales: Fluctuaciones impredecibles en las condiciones en las que se realiza la medición, cambios aleatorios de temperatura, de tensión en la línea de alimentación eléctrica, etc.

Estos errores no es posible eliminarlos, pero sí pueden ser minimizados y evaluados para considerarlos en los ajustes finales.

El error de tipo aleatorio se calcula de la siguiente relación

$$e = \frac{S}{\sqrt{N}} t$$

En donde e : es el error obtenido en el proceso repetitivo de las mediciones efectuadas en la ejecución de pruebas y N es el número de mediciones repetidas efectuadas.

S : es la desviación obtenido en las mediciones.
$$S = \sqrt{\frac{\sum [x_i - \bar{x}]^2}{n-1}}$$

t : es la "t" de Student con $n-1$ grados de libertad y valores de 0.52 a 3 para niveles de confianza de 40% a 99.73% respectivamente.

Los resultados promedios obtenidos de las mediciones en la ejecución de pruebas se reportará de la siguiente manera.

$$\text{Resultado} = \bar{x} \pm e$$

De la relación para calcular el error se puede deducir el tamaño de la muestra, tomando en cuenta el nivel de confianza y la desviación estándar S . quedando la expresión de la siguiente manera.

$$N = \left[\frac{S}{e} t \right]^2$$

El concreto hidráulico debe ser dosificado y fabricado para una resistencia a la compresión promedio considerando el error aleatorio que se produce durante el proceso de dosificación y de elaboración, a fin minimizar la frecuencia de resultados de pruebas de resistencia por debajo del valor de la resistencia de proyecto. Esto supone que antes de diseñar un concreto con una f_c determinada, es necesario que se calcule o se estime el error aleatorio, el que se sumará a la f_c para obtener la resistencia requerida f_{cr} . La resistencia requerida es la que se emplea para diseñar la mezcla.

Una vez calculada la desviación estándar y la media se determinan los valores para dibujar la gráfica cuya forma debe ser del tipo de la campana de Gauss. Cualquiera que sea la forma de la curva teórica y el valor de la desviación estándar, el área bajo la curva en $(\bar{X} + \sigma)$ y $(\bar{X} - \sigma)$ será siempre el 68.2% del área total bajo la curva, y el área bajo la curva entre $(\bar{X} + 2\sigma)$ y $(\bar{X} - 2\sigma)$ será igual al 95.4% del área total. Si se considera únicamente la mitad de la curva bajo \bar{X} , el 34% del área quedará entre \bar{X} y $(\bar{X} - \sigma)$, de esto se deduce que el 15.9% del área de la curva quedará por debajo de $(\bar{X} - \sigma)$.

Se ha establecido que el 15.9% de las pruebas queda por debajo de $(\bar{X} - \sigma)$. En la tabla 1 se demuestra que si

$$f_{cr} = f'_c + t\sigma$$

entonces

$$f'_c = f_{cr} - t\sigma$$

Los datos de la tabla 1 se emplean para establecer el promedio de resistencia requerido y también para determinar la probabilidad de obtener resultados de pruebas inferiores a la resistencia especificada que se pueden tener en un proyecto, cuando se conoce el valor de σ

Ejemplo 1

Determinar la probabilidad de obtener resultados de pruebas por debajo de la f'_c que se pueden dar en el proyecto siguiente.

$$f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 259 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 35 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} - f'_c = (259 - 200) = 59 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} - f'_c = t\sigma = 59$$

$$t = 59/\sigma = 59/35 = 1.69$$

Por la tabla 1, la probabilidad de obtener resultados de pruebas por debajo de f'_c si $f_{cr} = f'_c + 1.69\sigma$ es aproximadamente igual al 4.5%, esto es, que puede esperarse que el 4.5% de las pruebas den resultados inferiores a 200 kg/cm².

Ejemplo 2

Supongamos que un proyectista de especificaciones desea que el 5% de los resultados de pruebas sean inferiores a 200 y obtener un valor de 32 kg/cm² para la desviación estándar esperada de los valores de las pruebas de resistencia del concreto.

¿Para qué resistencia promedio debe proyectarse el concreto? En la tabla 1, para 5% de pruebas abajo de f'_c , se ve que.

$$f_{cr} = f'_c + 1.65\sigma$$

$$f_{cr} = 200 + 1.65 \times 32$$

$$f_{cr} = 200 + 53$$

$$f_{cr} = 253 \text{ kg/cm}^2.$$

AREAS BAJO LA CURVA NORMAL

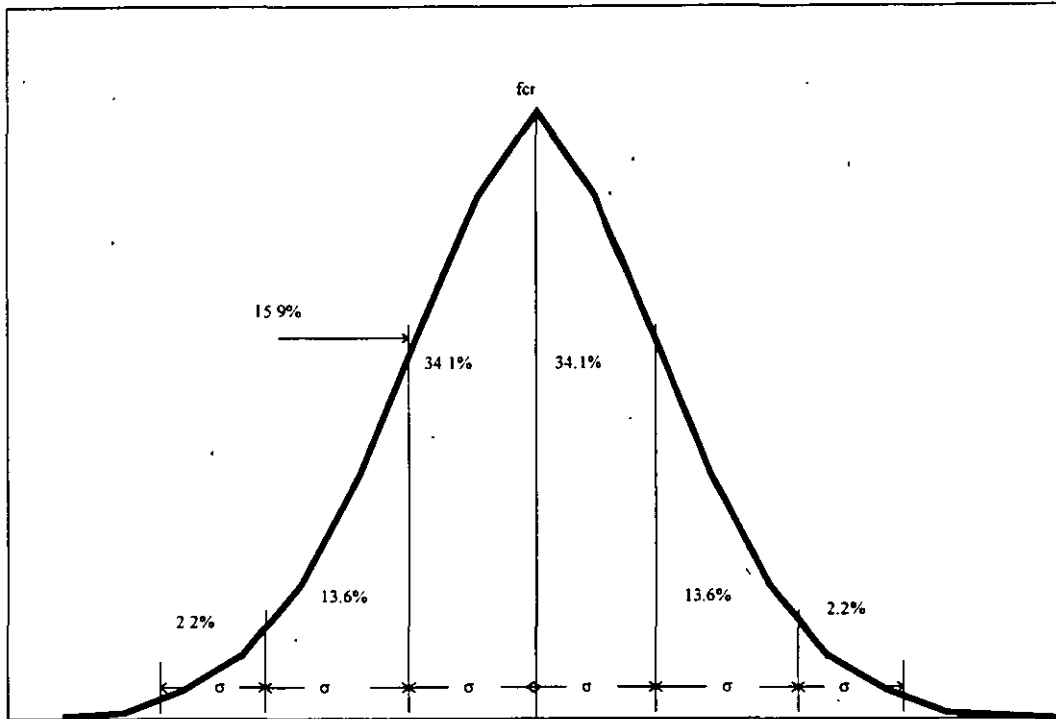


TABLA 1. PORCENTAJES INFERIORES A f_c ESPERADOS EN LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

RESISTENCIA REQUERIDA f_c	PORCENTAJE DE RESULTADOS BAJOS	RESISTENCIA REQUERIDA f_c	PORCENTAJE DE RESULTADOS BAJOS
$f_c + 0.10\sigma$	46.0	$f_c + 1.60\sigma$	5.5
$f_c + 0.20\sigma$	42.1	$f_c + 1.70\sigma$	4.5
$f_c + 0.30\sigma$	38.2	$f_c + 1.80\sigma$	3.6
$f_c + 0.40\sigma$	34.5	$f_c + 1.90\sigma$	2.9
$f_c + 0.50\sigma$	30.9	$f_c + 2.00\sigma$	2.3
$f_c + 0.60\sigma$	27.4	$f_c + 2.10\sigma$	1.8
$f_c + 0.70\sigma$	24.2	$f_c + 2.20\sigma$	1.4
$f_c + 0.80\sigma$	21.2	$f_c + 2.30\sigma$	1.1
$f_c + 0.90\sigma$	18.4	$f_c + 2.40\sigma$	0.8
$f_c + \sigma$	15.9	$f_c + 2.50\sigma$	0.6
$f_c + 1.10\sigma$	13.6	$f_c + 2.60\sigma$	0.45
$f_c + 1.20\sigma$	11.5	$f_c + 2.70\sigma$	0.35
$f_c + 1.30\sigma$	9.7	$f_c + 2.80\sigma$	0.25
$f_c + 1.40\sigma$	8.1	$f_c + 2.90\sigma$	0.19
$f_c + 1.50\sigma$	6.7	$f_c + 3.00\sigma$	0.13

TABLA DE AREAS BAJO LA CURVA NORMAL

Ejemplo: $z = 0.39$

Area de z_0 a $z_1 = 0.1517$ ó **15.17%**

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0398	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4494	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990
3.1	0.4990	0.4991	0.4991	0.4991	0.4992	0.4992	0.4992	0.4992	0.4993	0.4993
3.2	0.4993	0.4993	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4995	0.4995	0.4995
3.3	0.4995	0.4995	0.4995	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996
3.4	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4998
3.5	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998
3.6	0.4998	0.4998	0.4998	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.7	A partir de este valor pueden considerarse como 0.5000									

Bases para establecer los requisitos de resistencia

Las cantidades en que la resistencia requerida debe exceder a f_c depende de los criterios que utilicen en las especificaciones de un proyecto en particular. A continuación se describen tres criterios para calcular la resistencia requerida de diseño de mezclas de concreto hidráulico.

Criterio 1

Una probabilidad de 1 en 10 de que la resistencia en una prueba individual aleatoria sea inferior a f_c .

$$f_{cr} = f_c + 1.282\sigma$$

Criterio 2

Una probabilidad de 1 a 100 de que un promedio de tres pruebas consecutivas de resistencia sea inferior a f_c .

$$f_{cr} = f_c + \frac{2.326\sigma}{\sqrt{3}} = f_c + 1.343\sigma$$

Criterio 3

Una probabilidad de 1 en 100 de que una prueba de resistencia individual quede por debajo $f_c - 35$ kg/cm².

$$f_{cr} = f_c - 35 + 2.326\sigma$$

En donde:

f_{cr} : es la resistencia requerida promedio que debe utilizarse como base para elegir las proporciones del concreto, en kg/cm².

f_c : es la resistencia indicada en el proyecto, en kg/cm².

σ : es la desviación estándar de las pruebas de resistencia individuales, en kg/cm².

Nótese que con el criterio 2 se obtienen siempre un valor más elevado para la resistencia requerida que con el criterio 1. Asimismo, se obtendrá un promedio más alto que con el criterio 3, para desviaciones estándar de baja a moderada, hasta de 35 kg/cm². Sin embargo, para desviaciones estándar más altas, rige el criterio 3., es decir que la frecuencia esperada en las pruebas con valores inferiores a $f_c - 35$ kg/cm², es de 1 en 100.

El uso y la Calibración de Los Equipos de Medición

“Cuando uno puede medir aquello de lo que está hablando y expresarlo en números, sabe algo acerca de ello; pero cuando no puede medirlo, cuando no puede expresarlo en número, su conocimiento es escaso e insatisfactorio: podrá ser un principio de conocimiento, pero escasamente ha avanzado su conocimiento a la etapa de una ciencia”.

Lord Kelvin
Científico escocés

Metrología

La Metrología es la ciencia de las mediciones, también es válido decir que es el arte de medir bien. Estrictamente **METROLOGIA**, viene del griego **metron** - medida-, y **logos** -tratado.

La Metrología se clasifica en Metrología Científica, Metrología Industrial y Metrología Legal. De acuerdo con las magnitudes que estudia se le puede clasificar como Metrología de Fuerza, Metrología de Masa, Metrología Eléctrica, Metrología Física, etc.

Incertidumbre

La incertidumbre del resultado de una medición refleja la falta de conocimiento exacto del valor del mensurando. El resultado de una medición después de la corrección por efectos sistemáticos reconocidos es aún, solo una estimación del valor del mensurando debido a la presencia de incertidumbres por efectos aleatorios y de correcciones imperfectas de los resultados por efectos sistemáticos.

En la práctica, existen muchas fuentes posibles de incertidumbre en medición, entre otras se pueden mencionar.

- a) Definición incompleta del mensurando;
- b) Realización imperfecta de la definición del mensurando;
- c) Muestreos no representativos -la muestra medida puede no representar el mensurando definido;
- d) Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre las mediciones, mediciones imperfectas de dichas condiciones ambientales;
- e) Errores de apreciación del operador en la lectura de instrumentos analógicos ;
- f) Resolución finita del instrumento o umbral de discriminación finito;
- g) Valores inexactos de patrones de medición y materiales de referencia;
- h) Valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas y usados en los algoritmos de reducción de datos;
- i) Aproximaciones y suposiciones incorporadas en los métodos y procedimientos de medición;
- j) Variaciones en observaciones repetidas del mensurando bajo condiciones aparentemente iguales.

El Mensurando

El primer paso para efectuar una medición es definir el mensurando. El mensurando es la descripción de una magnitud. En principio, un mensurando no puede ser descrito completamente sin hacer uso de una cantidad de información infinita. Una definición incompleta del mensurando introduce una componente de incertidumbre en la incertidumbre del resultado de la medición que puede, o no ser significativa dependiendo de la exactitud que demanda la medición.

Calibración

Es el conjunto de operaciones, efectuadas bajo condiciones específicas, para establecer la relación entre las magnitudes indicadas por un instrumento o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones.

Los resultados de una calibración permiten correlacionar los valores correspondientes del mensurando o determinar las correcciones que se deben aplicar a las indicaciones

De los resultados de una calibración también se pueden determinar otras propiedades metroológicas tales como los efectos de magnitudes de influencia.

Los resultados de una calibración deben estar contenidos en un documento denominado certificado de calibración o informe de calibración.

Definición del Mensurando

Equipos de medición

Calibración de los equipos de medición



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES

para
**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

**PRUEBAS EN MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS,
SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTO**

Este curso está diseñado para proporcionar a los participantes conocimientos y habilidades para la aplicación de procedimientos de control de calidad en las obras de pavimentación y para fines de verificación de la calidad de las obras de pavimentación que se ejecuten en el país.

PRUEBAS EN MATERIALES PARA REVESTIMIENTOS, SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTO

109-01 CONTENIDO

109-01.1 En este Capítulo, se trata lo referente al muestreo, preparación de las muestras y descripción de las pruebas de laboratorio que es necesario efectuar a los materiales seleccionados que se emplean en la construcción de revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, para conocer su calidad, prever su probable comportamiento en la obra y controlar sus características durante la construcción. Las normas de calidad de los materiales, citados se establecen en el Libro 4.01.01 de las Normas SCT.

109-02 MUESTREO

109-02.1 Para llevar a cabo el muestreo, se tomará en cuenta lo siguiente:

- A El muestreo consiste en la obtención de una o varias porciones representativas del material seleccionado, generalmente, mediante sondeos y/o canales verticales, para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias, con el fin de juzgar su calidad; incluye también las operaciones complementarias de envase, identificación y transporte de las muestras. La obtención de las referidas muestras puede efectuarse en áreas de estudio de posibles bancos de materiales, en bancos ya localizados, en plantas de producción o de tratamiento, en almacenamientos, en el lugar de utilización, etc.
- B El número y tamaño de las muestras depende del volumen y homogeneidad del material por muestrear, así como del estudio que se requiera llevar a cabo. Cuando los materiales presentan poca variación en sus características, el número de muestras será menor y el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los bancos o fuentes de abastecimiento heterogéneos, y en los estudios preliminares, el espaciamiento será mayor que en los estudios definitivos. Cuando se trate de bancos, las muestras deberán tomarse hasta una profundidad que corresponda al nivel más bajo probable de explotación.

109-02.2 El equipo y materiales que generalmente se necesitan para llevar a cabo el muestreo son los que se indican en el inciso 108-02.3, debiendo disponerse, en algunas ocasiones, de equipo de perforación y de explosivos.

109-02.3 El muestreo se efectuará de acuerdo con lo que se indica a continuación:

- A En el caso de zonas probables de explotación y de bancos, se tomará en cuenta lo siguiente:
 - 1 El muestreo tiene por objeto obtener porciones representativas del material que constituye cada banco, a efecto de conocer su calidad y el volumen aprovechable. Como complemento, se definen, entre otros aspectos, la ubicación, topografía, humedad, despilme, posible zona y forma de ataque, para determinar si es con-

veniente la explotación de dicho material. Los bancos que comúnmente se muestrean son las formaciones de roca, fragmentos de roca y suelos, depósitos originados por acarreos y piedra de pepena. Generalmente, es necesario efectuar un muestreo preliminar y uno definitivo; el primero, se efectúa con el objeto de conocer en forma rápida las características de las zonas probables de explotación y en caso de obtener resultados satisfactorios, se lleva a cabo el muestreo definitivo con el objeto de verificar en forma más completa si el material cumple con los requisitos de calidad especificados y si es suficiente el volumen disponible.

- 2 Previamente a la obtención de las muestras, deberá determinarse la localización de los lugares de muestreo de acuerdo con el tipo de estudio que se desee llevar a cabo. Tratándose de muestreos preliminares de suelos, se harán como mínimo dos (2) sondeos en la zona probable de explotación en estudio, o bien, cuando dicha zona presenta frentes abiertos, se harán dos (2) canales o ranuras sobre el talud; tratándose de rocas, se hará cuando menos un sondeo, ya sea en zonas probables de explotación o de bancos. En el estudio definitivo, se harán sondeos a cada cincuenta (50) metros, aproximadamente, los cuales se distribuirán en forma de cuadrícula, dependiendo de la homogeneidad del material por muestrear y en caso de que éste sea heterogéneo, de acuerdo con su variabilidad se intercalarán sondeos adicionales. Cuando se tengan áreas pequeñas en estudio, la distancia de cincuenta (50) metros podrá reducirse, como en el caso de materiales cementantes y materiales de mejoramiento. En los frentes abiertos, se efectuarán canales a cada cincuenta (50) metros o menos, según la amplitud del frente y la homogeneidad del material en estudio.
- 3 Para la obtención de las muestras, se procederá en términos generales como se indica a continuación:
 - a Se elimina la capa de tierra vegetal o material superficial alterado y se excavan sondeos a cielo abierto, que tengan paredes sensiblemente verticales, con dimensiones mínimas convenientes para facilitar las maniobras y que ofrezcan seguridad durante las mismas. En el caso de frentes abiertos, se elimina de las zonas en que se practicarán los canales, el material superficial que por estar expuesto a la intemperie esté alterado; dichos canales serán de sección transversal uniforme, con profundidad no menor de veinticinco (25) centímetros y abarcarán todo el espesor por muestrear. Cada muestra, tanto para el estudio preliminar como para el definitivo, pesará como mínimo cincuenta (50) kilogramos.
 - b En suelos con apariencia homogénea, se obtendrá una muestra integral abriendo un canal en los casos que exista frente; además, se muestreará el área probable de explotación, tomando una muestra de cada sondeo, para lo cual se hará un canal en una de las paredes de dicho sondeo y el material así extraído se juntará en una lona y se cuarteará en ésta para formar la muestra. Cuando el banco sea heterogéneo, es decir, que esté formado por diferentes estratos, se tomará como mínimo una muestra por cada uno de dichos estratos y, si se requiere, se formarán muestras integrales que representen todos

los estratos en la proporción que estimativamente presentan en su estado natural.

- c Cuando se trate de afloramientos o frentes abiertos en roca, se tomarán fragmentos de diferentes lugares del área expuesta, los cuales servirán como orientación acerca de la calidad del material. Para definir el volumen y calidad del material que constituye un banco, se efectuarán sondeos a la profundidad necesaria, ya sea a cielo abierto por medio de explosivos o con máquinas perforadoras del tipo rotatorio para obtener corazones de la roca.

B En el caso de plantas de tratamiento, se tomará en cuenta lo siguiente:

- 1 El muestreo tiene como objetivos fundamentales conocer la calidad para orientar o encauzar la producción de los materiales pétreos; o bien, obtener la información de las características de los materiales producidos durante un lapso determinado, para fines de proyecto y verificación. El criterio de muestreo se establecerá de acuerdo con el objetivo que se persigue en el estudio respectivo y, en términos generales, se llevará a cabo como se indica en los siguientes subpárrafos.
- 2 Para conocer en un momento dado la calidad del material que se está procesando, se tomará la muestra en la descarga de la banda transportadora o en el elevador de cangilones interceptando toda la corriente del material a intervalos regulares. Estas fracciones de muestra serán de diez (10) kilogramos, aproximadamente, se tomarán cada quince (15) minutos y se combinarán para formar una muestra de cincuenta (50) kilogramos, que representará la producción durante el lapso en que se efectuó el muestreo; o bien, se podrán ensayar por separado.
- 3 Cuando el muestreo se haga en la descarga de la tolva, se tomará en el vehículo de transporte una muestra de un (1) metro cúbico aproximadamente, por cada cuatrocientos (400) metros cúbicos o fracción de material producido, se descargará en un lugar adecuado y se obtendrá por cuarteos sucesivos una muestra de cincuenta (50) kilogramos, aproximadamente. Cuando se requiera mayor información, se podrá tomar una muestra por cada cien (100) metros cúbicos o fracción, de acuerdo con el procedimiento antes indicado.

C En el caso de almacenamiento, se tomará en cuenta lo siguiente:

- 1 Para el muestreo en almacenamientos, se tendrán las precauciones debidas, ya que son materiales acomodados en forma que fácilmente se derrumban, lo que dificulta y hace imprecisa la obtención de las muestras; esta operación generalmente se realizará en los taludes y cuando se tengan superficies adecuadas se efectuará mediante sondeos. En los taludes, el muestreo se hará tomando material con una pala de mano, a diferentes alturas, de manera de abarcar toda la altura del talud; las zonas de muestreo se espaciarán diez (10) metros, aproximadamente, de acuerdo con el volumen y dimensiones del almacenamiento; el material obtenido de cada zona se mezclará y cuarteará sin contaminarlo para obtener muestras individuales con peso no menor de cincuenta (50) kilogramos. En la parte superior del depósito, las muestras se obtendrán del material extraído de excavaciones o sondeos hechos a la mayor profundidad posible y con un espacia-

miento que dependerá del área superior del almacenamiento; si la cantidad de material obtenida de cada sondeo es mayor de cincuenta (50) kilogramos, aproximadamente, se procederá a reducirla a este peso mediante cuarteos sucesivos.

D Para el muestreo de materiales en el lugar de utilización, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- 1** Se presentan tres (3) casos: cuando el material se encuentra formando montones, cuando está acamellonado y cuando está tendido o compactado.
- 2** En los dos (2) primeros casos indicados en el subpárrafo 1) de este párrafo, se tomará una (1) muestra por cada quinientos (500) metros cúbicos, debiendo tenerse en cuenta que para el material amontonado o acamellonado se aplicará la técnica del muestreo indicada en el párrafo C) de este inciso, pero la distancia a que deberá tomarse cada muestra no será mayor de doscientos cincuenta (250) metros. En el caso de material tendido o compactado, se tomarán las muestras a distancias no mayores de quinientos (500) metros, haciéndose por lo menos dos (2) sondeos en cada sección transversal al eje de carretera con distancia entre sí de tres (3) a cinco (5) metros; dichos sondeos deberán tener una profundidad igual al espesor de la capa del material que se va a muestrear y un área de dimensiones adecuadas a la cantidad de muestra que se requiera. En el caso de estudio de reconstrucción, el espaciamiento de las muestras dependerá de las condiciones y características generales de la obra de que se trate.

E La identificación, envase y transporte de las muestras deberá efectuarse como se indica en los párrafos E) a H) del inciso 108-02.3, del Instructivo para efectuar Pruebas e Suelos.

109-03 PREPARACION DE LAS MUESTRAS

109-03.1 Para efectuar la preparación de las muestras de materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

- A** Esta preparación en términos generales comprende lo descrito en la cláusula 108-04, pero en ciertos casos algunas muestras requerirán de tratamientos preliminares de acuerdo con el uso que se le pretende dar al material en la obra; estos tratamientos son necesarios a fin de obtener porciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar las pruebas en dichos materiales, ya sea separadamente, o bien, integrando mezclas.
- B** En algunos casos, las muestras de prueba se integran con mezclas de materiales que pueden tener o no tratamientos previos. De acuerdo con las condiciones de las muestras, pueden omitirse algunas de las operaciones citadas en la referida cláusula 108-04.

109-03.2 Los tratamientos a que comúnmente se someten las muestras de los materiales pétreos a que se refiere este Capítulo son cribado, trituración y lavado, los cuales deberán efectuarse a la muestra en condiciones semejantes a las de la obra.

A El cribado consiste en separar el material por tamaños, para mezclar éstos en proporciones adecuadas, a fin de obtener una granulometría semejante a la que se va a aplicar en la obra, o bien, a la que se requiera de acuerdo con el uso probable del material, eliminando, en algunos casos, las fracciones que se encuentren en exceso.

B La trituración de la muestra consiste en reducir el tamaño de sus partículas, con objeto de darle la granulometría requerida, para lo cual, a una porción de suelos gruesos o fragmentos de roca, se le someterá a cualquiera de los siguientes tratamientos.

1 Trituración manual, en la que los fragmentos de roca se rompen con marro sobre una superficie resistente, hasta obtener el tamaño máximo y cierta sucesión granulométrica.

2 Trituración mecánica, en la que el material se rompe mediante equipo de trituración.

C El lavado de la muestra, que tiene por objeto eliminar finos perjudiciales, se efectuará a una porción de material en el laboratorio o en el campo.

1 El lavado en el laboratorio se realiza por decantación, colocando la muestra dentro de una charola rectangular, vertiéndole agua hasta cubrir el material, agitándolo y removiéndolo en forma alternativa dentro del agua hasta lograr que esté en suspensión la fracción que se desea eliminar; en seguida, se deja reposar el tiempo necesario, hasta que se observe que el material aprovechable esté sedimentado y a continuación se elimina el agua por decantación. Este proceso se repite las veces que se requiera, hasta que el agua que se decante salga limpia.

2 El lavado en el campo se efectuará con el equipo de construcción de que se disponga en la obra.

109-03.3 El secado de las muestras se efectuará como se indica en el inciso 108-04.2.

109-03.4 La disgregación de las muestras se llevará a cabo como se indica en el inciso 108-04.3.

109-03.5 El cuarteo de las muestras se efectuará como se indica en el inciso 108-04.4.

109-03.6 El proyecto de mezclas de materiales requiere de estudios especiales que en cada caso deberá efectuarse, tomando en cuenta las necesidades de la obra, la disponibilidad de materiales, el aspecto económico, etc., y se llevará a cabo de acuerdo con alguno de los procedimientos que se indican en el inciso 112-04.2, relativo a la preparación de muestras para mezclas asfálticas. Cuando se trate de efectuar estudios de mezclas o combinaciones de las diferentes fracciones de un mismo material, o de diversos materiales en proporciones fijadas por anticipado, ya sea para el proyecto o para fines de verificación, se integrará la mezcla de prueba con las fracciones o porciones de material correspondiente, habiéndoles dado el tratamiento previsto, de acuerdo con lo que se indica en los incisos 109-03.2 a 109-03.5 de esta cláusula. Para la integración de mezclas de prueba en el laboratorio, los materiales seleccionados se pesarán por separado de acuerdo con las proporciones es-

tablecidas, haciendo las transformaciones necesarias en el caso de que dichas proporciones estén dadas en volumen.

109-04 DETERMINACION DE LA HUMEDAD O CONTENIDO DE AGUA

109-04.4 La determinación de la humedad o contenido de agua en materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento deberá efectuarse como se indica en la cláusula 108-05.

109-05 CORRECCION AL CONTENIDO DE AGUA DETERMINADO CON LA PRUEBA RAPIDA

109-05.1 La corrección al contenido de agua determinado con la prueba rápida, en los materiales a que se refiere este Capítulo, deberá hacerse de acuerdo con el procedimiento descrito en la cláusula 108-06.

109-06 DETERMINACION DE LOS PESOS ESPECIFICOS RELATIVOS Y DE LA ABSORCION

109-06.1 La determinación de los pesos específicos relativos aparentes y de la absorción se llevará a cabo tanto en el material retenido como en el que pasa la malla Núm. 4.75 y se efectuará de acuerdo con lo indicado en la cláusula 108-07.

109-06.2 La determinación del peso específico relativo aparente de un suelo o una mezcla de suelos, deberá efectuarse obteniendo previamente los pesos específicos relativos aparentes de las fracciones retenidas y pasando la malla Núm. 4.75 del suelo o de la mezcla de suelos y aplicando la fórmula del inciso 110-06.3.

109-07 DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA

109-07.1 La determinación de la composición granulométrica se aplicará en el estudio de materiales pétreos para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, tanto para ayudar a juzgar su calidad, como para hacer el proyecto de mezclas de materiales con objeto de corregir algunas deficiencias que presenten los mismos, en su granulometría, plasticidad, valor, soporte, etc.

109-07.2 La determinación de la composición granulométrica deberá efectuarse de acuerdo con lo descrito en la cláusula 108-08, excepto en lo que se refiere a la preparación de muestra, que deberá hacerse como se indica en la cláusula 109-03.

109-08 DETERMINACION DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD

109-08.1 La determinación de los límites de plasticidad en materiales pétreos para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, deberá hacerse de acuerdo con lo descrito en la cláusula 108-09, excepto en lo que se refiere a la preparación de la muestra que deberá hacerse como se indica en la cláusula 109-03.

TERRACERÍAS

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADO	TOLERABLE
GRANULOMETRÍA (mm)	80% MAT. < 76 95% MAT. < 200	80% MAT < 750	_____
TAMAÑO MÁXIMO (mm)	_____	1500	2000
% DE FINOS (MAT < 0.074 mm)	30 MÁX.	40 MÁX	40 MÁX
LÍMITE LÍQUIDO (%)	40 MÁX.	50 MÁX.	60 MÁX
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	12 M'X.	20 MÁX.	25 MÁX
COMPACTACIÓN (%)	95 MÍN. AASHTO STD.	90 MÍN. AASHTO STD.	90 MÍN AASHTO STD
C.B.R. (%)	15 MÍN.	10 MÍN.	10 MÍN.
EXPANSIÓN (%)	_____	_____	3 MÁX.

SUBRASANTE

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADO	TOLERABLE
GRANULOMETRÍA TAMAÑO MÁXIMO (mm)	76	76	76
% DE FINOS (M.A.T. < 0.074 mm)	25 MÁX.	35 MÁX.	40 MÁX.
LÍMITE LÍQUIDO (%)	30 MÁX.	40 MÁX.	50 MÁX.
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	10 MÁX.	20 MÁX.	25 MÁX.
COMPACTACIÓN (%)	100 MÍN. AASHTO STD.	100 MÍN. AASHTO STD.	100 MÍN. AASHTO STD.
C.B.R. (%)	20 MÍN.	15 MÍN.	15 MÍN.

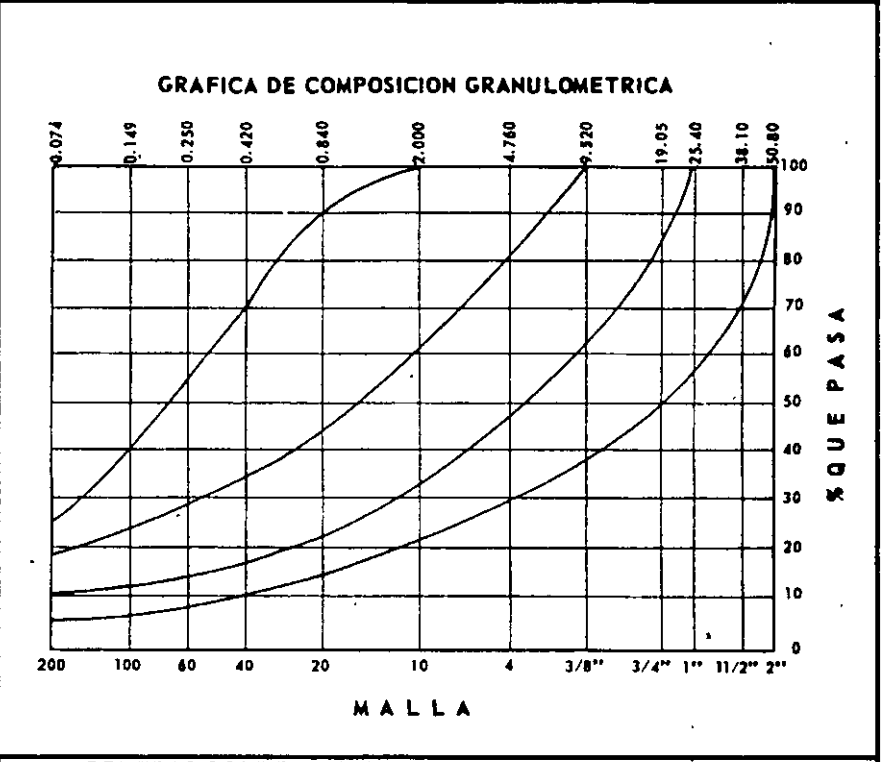


SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DIRECCION DE ESTUDIOS
 SUBDIRECCION DE LABORATORIOS
 DEPARTAMENTO DE ENSAYES GEOTECNICOS

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES PARA SUBRASANTE

ENSAYE NUM: _____	MUESTRA NUM.: _____	LOCALIZACION _____
MATERIAL: _____	ENVIADO POR _____	FECHA DE RECIBO: _____
PROCEDENCIA: _____	FECHA DE INFORME: _____	

	NORMA SCT
Peso volumétrico suelto Kg/m ³	
Peso volumétrico máximo (Porter) Kg/m ³	
Humedad óptima	
% que pasa la malla Núm. 50.0.	
Núm. 37.5	
Núm. 25.0	
Núm. 19.0	
Núm. 9.5	
Núm. 4.75	
Núm. 2.00	
Núm. 0.850	
Núm. 0.425	
0.250	
0.150	
Núm. 0.075	
% Desperdicio de la muestra:	
V.R.S. (estándar), %	10 Mín.
% Expansión	3 Máx.
Equivalente de arena	
Clasificación SUCS	



PRUEBAS EN MAT. > DE LA MALLA NUM. 9.5	PRUEBAS SOBRE MATERIAL QUE PASA LA MALLA NUM. 0.425
Absorción, %	
Densidad	Límite Líquido
Humedad de campo	Límite Plástico
	Índice Plástico
	Mat < Malla Num 0.075
	Mat > Malla Num 0.425
	Rel < 0.075 / > 0.425
	0.65 Máx.

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA _____	EL JEFE DEL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS _____ C PABLO LOPEZ LOPEZ	EL JEFE DE LA OFICINA DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS _____ PIC. JUAN M. CASTILLO RIVAS
-------------------------------	--	---

SUB_BASES

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADO	TOLERABLE
GRANULOMETRÍA TAMAÑO MÁXIMO (mm)	76	76	76
% DE FINOS (MAT. < 0.075 mm)	15 MÁX	20 MÁX.	10 MÁX
LÍMITE LÍQUIDO (%)	25 MÁX	30 MÁX	35 MÁX
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	10 MÁX.	12 MÁX	10 MÁX
COMPACTACIÓN (%)	100 MÍN AASHTO MODIF	100 MÍN. AASHTO MODIF	100 MÍN. AASHTO STD.
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	40 MÍN	30 MÍN	—
C.B.R (%)	40 MÍN.	30 MÍN	40 MÍN
DESGASTE LOS ANGELES (%)	40 MÁX	—	—
ZONA GRANULOMÉTRICA	1 - 2	1 A 3	1 A 3

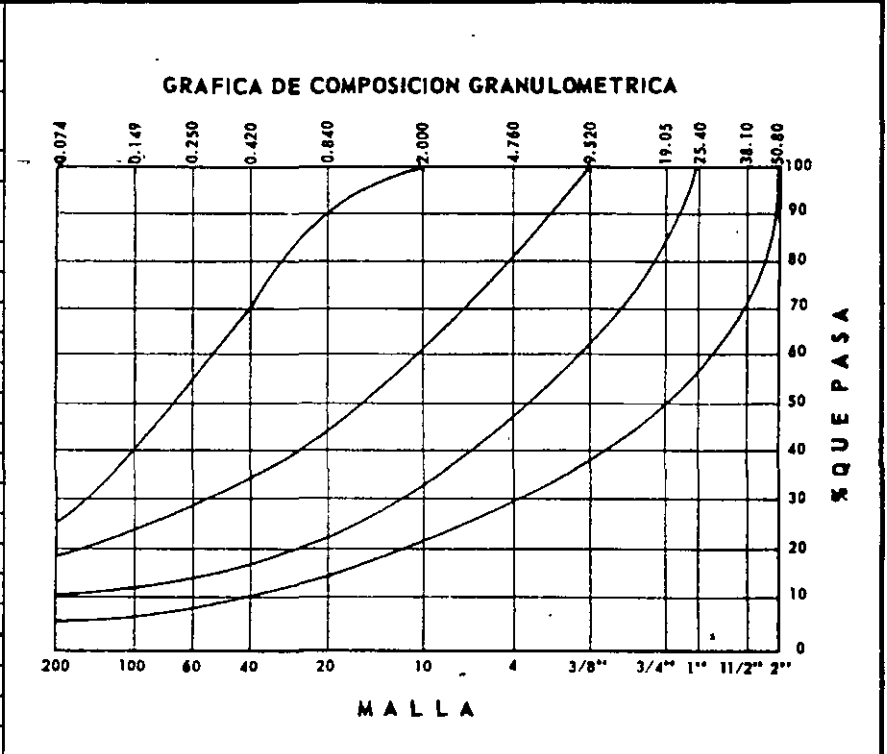


SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DIRECCION DE ESTUDIOS
 SUBDIRECCION DE LABORATORIOS
 DEPARTAMENTO DE ENSAYES GEOTECNICOS

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES PARA SUB-BASE

ENSAYE NÚM: _____	MUESTRA NUM. _____	LOCALIZACION _____
MATERIAL: _____		ENVIADO POR: _____
PROCEDENCIA: _____		FECHA DE RECIBO: _____
		FECHA DE INFORME: _____

	NORMA SCT
Peso volumétrico suelto Kg/m ³	
Peso volumétrico máximo (Porter) Kg/m ³	
Humedad óptima	
% que pasa la malla Núm. 50.0	
Núm. 37.5	
Núm. 25.0	
Núm. 19.0	
Núm. 9.5	
Núm. 4.75	
Núm. 2.00	
Núm. 0.850	
Núm. 0.425	
Núm. 0.250	
Núm. 0.150	
Núm. 0.075	
% Desperdicio de la muestra:	
V.R.S. (estándar), %	50 Min
% Expansión	
Equivalente de arena	20 Min.
Clasificación SUCS	



PRUEBAS EN MAT. > DE LA MALLA NÚM. 9.5	PRUEBAS SOBRE MATERIAL QUE PASA LA MALLA NÚM. 0.425
Absorción, %	
Densidad	Límite Líquido
Humedad de campo	Límite Plástico
	Índice Plástico
	Mat < Malla Núm 0.075
	Mat > Malla Núm 0.425
	Rel < 0.075 / > 0.425
	NORMA SCT
	0.65 Máx.

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA _____	EL JEFE DEL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS _____ C PABLO LOPEZ LOPEZ	EL JEFE DE LA OFICINA DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS _____ PIC. JUAN M. CASTILLO RIVAS
-------------------------------	---	--

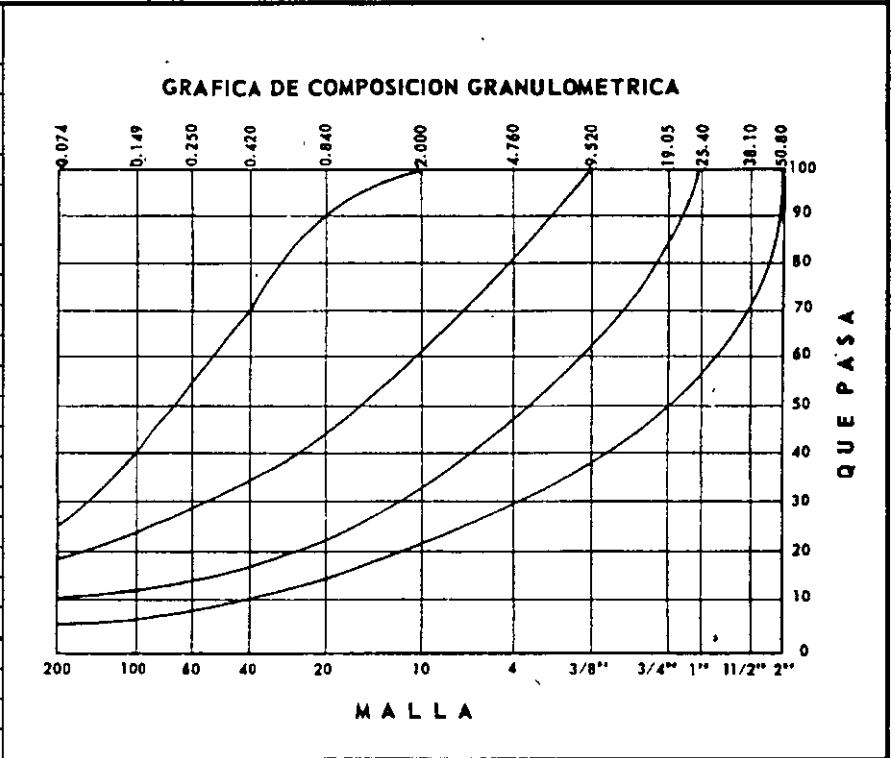


SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DIRECCION DE ESTUDIOS
SUBDIRECCION DE LABORATORIOS
DEPARTAMENTO DE ENSAYES GEOTECNICOS

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES PARA BASE

ENSAYE NUM: _____	MUESTRA NUM. _____	LOCALIZACION _____
MATERIAL _____		ENVIADO POR: _____
PROCEDENCIA: _____		FECHA DE RECIBO: _____
		FECHA DE INFORME: _____

	NORMA SCT
Peso volumétrico suelto Kg/m ³	
Peso volumétrico máximo (Porter) Kg/m ³	
Humedad óptima	
% que pasa la malla	
Núm. 50.0	
Núm. 37.5	
Núm. 25.0	
Núm. 19.0	
Núm. 9.5	
Núm. 4.75	
Núm. 2.00	
Núm. 0.850	
Núm. 0.425	
Núm. 0.250	
Núm. 0.150	
Núm. 0.075	
% Desperdicio de la muestra:	
V R.S. (estándar), %	100 Min
% Expansión	
Equivalente de arena	50 Min
Clasificación SUCS	



PRUEBAS EN MAT. > DE LA MALLA NUM. 9.5

Absorción, %	
Densidad	
Durabilidad	40 Min
Humedad de campo	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL QUE PASA LA MALLA NUM 0.425

	NORMA SCT	NORMA SCT
Límite Líquido	30 Máx.	Mat < Malla Núm 0.075
Límite Plástico		Mat > Malla Núm 0.425
Índice Plástico		Ret < 0.075 / > 0.425
		0.65 Máx.

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA _____ C PABLO LOPEZ LOPEZ	EL JEFE DEL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS _____ PIC JUAN M CASTILLO RIVAS	EL JEFE DE LA OFICINA DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS _____
--	---	---

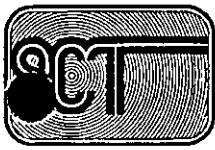
BASES

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADO
GRANULOMETRÍA TAMAÑO MÁXIMO (mm)	50	50
% DE FINOS (MAT. < 0.074 mm)	10 MÁX	15 MÁX
LÍMITE LÍQUIDO (%)	25 MÁX	30 MÁX
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	6 MÁX.	6 MÁX.
COMPACTACIÓN (%)	100 MÍN AASHTO MODIF.	100 MÍN AASHTO MODIF
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	50 MÍN.	40 MÍN
C B.R. (%)	100 MÍN.	80 MÍN.
DESGASTE LOS ANGELES (%)	40 MÁX	40 MÁX
ZONA GRANULOMÉTRICA	—— 1 Y 2	—— 1 Y 2

13

CARPETA ASFÁLTICA

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADO
GRANULOMETRÍA TAMAÑO MÁXIMO (mm)	25	25
% DE FINOS (MAT. < 0.074 mm)	4 MÁX.	8 MÁX.
LÍMITE LÍQUIDO (%)	-----	-----
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	-----	5 MÁX.
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	60 MÍN.	55 MÍN.
DESGASTE LOS ANGELES (%)	30 MÁX.	40 MÁX.
PARTÍCULAS ALARGADAS (%)	25 MÁX.	50 MÁX.



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

DIRECCION DE ESTUDIOS

SUBDIRECCION DE LABORATORIOS

DEPARTAMENTO DE ENSAYES GEOTECNICOS

INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

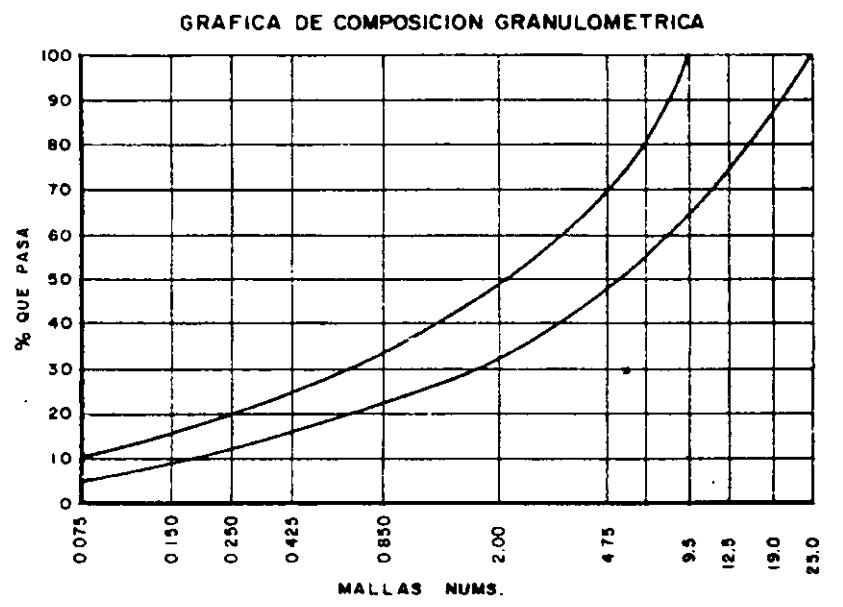
ENSAYE NUM. _____	MUESTRA NUM _____	LOCALIZACION: _____
MATERIAL: _____		ENVIADO POR: _____
PROCEDENCIA: _____		FECHA DE RECIBO: _____
		FECHA DE INFORME: _____

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL. _____ PARA USARSE EN: _____
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO _____
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO _____
	UBICACIÓN DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PETREO: _____

S DEL MATERIAL PETREO	P.E. SECO SUELTO Kg/m3			
	COMPOSICION GRANULOMETRICA	Mallas	% QUE PASA	DEL PROYECTO
		Núm. 25.0		
		Núm. 19.0		
		Núm. 12.5		
		Núm. 9.5		
		Núm. 6.3		
		Núm. 4.75		
		Núm. 2.00		
		Núm. 0.850		
		Núm. 0.425		
		Núm. 0.250		
		Núm. 0.150		
Núm. 0.075				
			NORMAS SCT	

CARACTERIS	P.E. (yp). gr/cm3	
	Absorción, %	
	Desgaste, %	
	% de Trituración	
	Part. Alargadas	
	Part. Lajeadas	
	Equiv. de arena, %	

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		NORMAS SCT
CONTENIDO DE ASFALTO. %		
ADITIVO USADO	MARCA	
	TIPO	
	CANTIDAD, %	
AFINIDAD		



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		NORMAS SCT	CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	
P.E Kg/m3			Tipo	
Estabilidad, Kg			Penetración	
Flujo, mm			Viscosidad	
Vacios, %			Temp. Recom	
V.A.M., %			Temp. de Aplic.	

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS	EL JEFE DE LA OFICINA DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS
_____	_____	_____
	C. PABLO LOPEZ LOPEZ	PIC. JUAN M. CASTILLO RIVAS



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DIRECCION DE ESTUDIOS
SUBDIRECCION DE LABORATORIOS
DEPARTAMENTO DE ENSAYES GEOTECNICOS

INFORME DE ENSAYE DE MEZCLA ASFALTICA

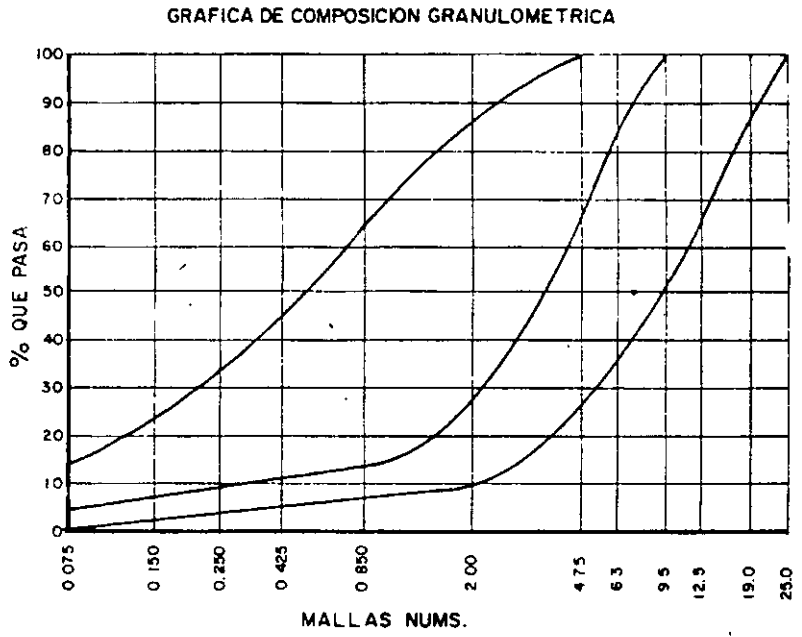
ENSAYE NUM _____	MUESTRA NUM. _____	LOCALIZACION _____
MATERIAL: _____		ENVIADO POR: _____
PROCEDENCIA _____		FECHA DE RECIBO: _____
		FECHA DE INFORME: _____

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL _____ PARA USARSE EN: _____
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: _____
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO _____
	UBICACIÓN DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PETREO: _____

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO		NORMAS SCT
P.E Seco Suelto kg/m3		
Equiv. Arena, %		
Desgaste, %		
Part. Alargadas, %		
Part. Lajeadas, %		
Adherencia		
% de Trituración.		

COMPOSICION GRANULOMETRICA	Mallas	% QUE PASA
	Núm. 25.0	
	Núm. 19.0	
	Núm. 12.5	
	Núm. 9.5	
	Núm. 6.3	
	Núm. 4.75	
	Núm. 2.00	
	Núm. 0.850	
	Núm. 0.425	
	Núm. 0.250	
	Núm. 0.150	
	Núm. 0.075	

Sup Especifica, kg/m2	
P E Relativo	
Absorción, %	
Indice Asfáltico, kg/m2	



OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA _____	EL JEFE DEL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS C. PABLO LOPEZ LOPEZ	EL JEFE DE LA OFICINA DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS PIC. JUAN M. CASTILLO RIVAS
-------------------------------	--	--



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DIRECCION DE ESTUDIOS
 SUBDIRECCION DE LABORATORIOS
 DEPARTAMENTO DE ENSAYES GEOTECNICOS

INFORME DE ENSAYE DE BASE ASFALTICA

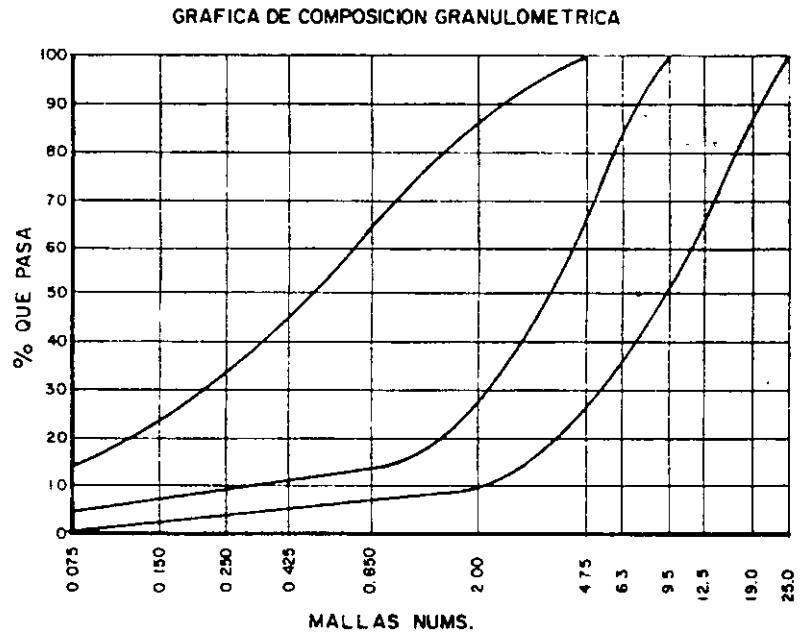
ENSAYE NÚM: _____	MUESTRA NÚM.: _____	LOCALIZACION _____
MATERIAL: _____	ENVIADO POR: _____	FECHA DE RECIBO: _____
PROCEDENCIA: _____	FECHA DE INFORME: _____	

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL _____ PARA USARSE EN. _____ TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO _____ CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO. _____ UBICACIÓN DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PETREO: _____
---------------------------	---

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

	NORMAS SCT
P.E. Seco Suelto kg/m3	
Equiv Arena, %	
Desgaste, %	
Part. Alargadas, %	
Part. Lajeadas, %	
Adherencia	
% de Trituración.	

COMPOSICION GRANULOMETRICA	Mallas	% QUE PASA
	Núm. 25.0	
	Núm. 19.0	
	Núm. 12.5	
	Núm. 9.5	
	Núm. 6.3	
	Núm. 4.75	
	Núm. 2.00	
	Núm. 0.850	
	Núm. 0.425	
	Núm. 0.250	
	Núm. 0.150	
	Núm. 0.075	



Sup. Especifica, kg/m2	
P.E. Relativo	
Absorción, %	
Indice Asfáltico, kg/m2	

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA _____	EL JEFE DEL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS _____ C. PABLO LOPEZ LOPEZ	EL JEFE DE LA OFICINA DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS _____ PIC. JUAN M. CASTILLO RIVAS
-------------------------------	---	---

EQUIVALENCIAS DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA, SAYBOLT UNIVERSAL, SAYBOLT FUROL Y ABSOLUTA.

La relación empírica entre la Viscosidad Universal y la Viscosidad Saybolt Furol a 100°F y 122°F respectivamente y Viscosidad Cinemática, se toma de la norma ASTM D2161-63T.

A otras temperaturas, las Viscosidades Saybolt varían únicamente como sigue:

Viscosidades sobre las que se obtienen con las siguientes relaciones:

Saybolt Universal (segundos) = Centistokes X 4.6347

Saybolt Furol (segundos) = Centistokes X 0.4717

Problema 1.- Determine la Viscosidad Absoluta de un aceite que tiene una Viscosidad Cinemática de 82 Centistokes y un peso específico de 0.83

Solución 1.- Una el valor 82 de la escala de Viscosidad Cinemática con el 0.83 del peso específico; lea 67 Centipoises en la intersección con la escala de Viscosidad Absoluta.

Problema 2.- Determine la Viscosidad Absoluta de un aceite que tiene un peso específico de 0.83 y una Viscosidad Saybolt Furol de 40 segundos.

Solución 2.- Una el valor de 0.83 de la escala del peso específico con el de 40 segundos de la escala Saybolt Furol; lea 67 Centipoises en la intersección en la escala de Viscosidad Absoluta.

μ .- Viscosidad Absoluta, en Centipoises.

v.- Viscosidad Cinemática, en Centistokes.

s.- Peso Específico.

VISCOSIDAD Se define como la resistencia que presenta un material a ser deformado, en función de la velocidad de aplicación de una carga, y se debe al rozamiento o fricción interna de sus moléculas.

La unidad de **Viscosidad Dinámica o Absoluta**, en el sistema C.G.S. es el **Poise**, definido como:

$$1 \frac{\text{dina X segundo}}{\text{centímetro}} \quad ; \quad \frac{\text{fuerza X tiempo}}{\text{longitud}}$$

Para Viscosidades muy pequeñas, se emplea como unidad el **Centipoise o Micropoise**, equivalentes a una centésima y a una millonésima parte del **Poise**, respectivamente.

La **Viscosidad Cinemática** de un líquido se define como el cociente de su **Viscosidad Dinámica** entre su **Peso Específico**.

En el sistema C.G.S., la unidad de Viscosidad Cinemática es el **Estokes**, equivalente a:

$$1 \frac{\text{cm}^2}{\text{segundo}} \quad \frac{(\text{longitud})^2}{\text{tiempo}}$$

Frecuentemente se emplea el **Centistokes**, que es igual a la centésima parte del **Stokes**.

$$\text{dina} = 10^{-5} \text{ newton}$$

$$\text{dina} = 1.0197 \times 10^{-3} \text{ gramos fuerza}$$

$$1\text{-gramo fuerza} = 980,665 \text{ dinas} = 980,665 \times 10^{-5} \text{ newtons}$$

$$1 \text{ newton} = 0.101970 \text{ Kg f (kilogramos fuerza)}$$

SELECCIÓN DEL LIGANTE ASFÁLTICO SEGÚN SUPERPAVE

1. SELECCIONAR LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS MÁS PRÓXIMAS DEL LUGAR DEL PROYECTO
2. SELECCIONAR EL NIVEL DE RIESGO DE DISEÑO PARA ALTAS Y BAJAS TEMPERATURAS
3. ESTIMAR LAS TEMPERATURAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO CORRESPONDIENTES, CON EL NIVEL DE RIESGO ADOPTADO
4. DETERMINAR EL GRADO DE COMPORTAMIENTO (PG) MÍNIMO DEL LIGANTE QUE SATISFARÁ LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS ESTIMADAS Y
5. AJUSTAR EL GRADO DE COMPORTAMIENTO MÍNIMO DEL LIGANTE SELECCIONADO DE ACUERDO CON EL TIPO DE TRÁNSITO ESPERADO

SELECCIÓN DEL LIGANTE MÁS ADECUADO

ESTA SELECCIÓN SE PUEDE EFECTUAR POR TRES MÉTODOS DISTINTOS

1. SEGÚN LA GEOGRAFÍA DEL ÁREA CONSIDERADA, EN MAPAS DONDE SE HAN GRAFICADO LAS TEMPERATURAS DE CADA REGIÓN
2. SEGÚN LA TEMPERATURA DEL PAVIMENTO, EN QUE LA SELECCIÓN DEL LIGANTE SE HACE EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE DISEÑO
3. SEGÚN LA TEMPERATURA DEL AIRE.- CON ESTE DATO SE ENTRA A UNA GRÁFICA PARA OBTENER LA TEMPERATURA DEL PAVIMENTO DE DISEÑO

TEMPERATURAS DE DISEÑO

TEMPERATURA MÁXIMA.- ES LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS 7 DÍAS DE MÁXIMA TEMPERATURA A 20 *mm* DE LA SUPERFICIE

TEMPERATURA MÍNIMA.- ES LA TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE EN LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO

LA ADOPCIÓN DE LA TEMPERATURA DE DISEÑO ESTÁ CONDICIONADA POR DOS PARÁMETROS:

- LA TEMPERATURA DEL AIRE DE LA REGIÓN CONSIDERADA
- EL NIVEL DE RIESGO A ADOPTAR

MECANISMOS DE FALLA CONSIDERADOS

DEFORMACIONES PERMANENTES ($G\delta/\text{sen } \delta$)

1.59Hz --- 80Km/h (10 radianes/seg) 60 segundos

FISURAMIENTO POR FATIGA ($G\delta.\text{sen } \delta$)

FISURAMIENTO TÉRMICO ($S_{(t)}$)

$S_{(t)}$ Módulo-Stiffness se define como la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación causada y varía con la temperatura y el tiempo de carga

m es la pendiente mínima de la curva carga-deformación a la rotura en el ensayo de Tensión Directa

ENVEJECIMIENTO ($G\delta/\text{sen } \delta$; $G\delta.\text{sen } \delta$; $S_{(t)}$ Y m)

Es el cambio que se produce en las propiedades físicas y químicas del asfalto cuando se somete a distintos procesos durante la elaboración, la colocación, compactación y posterior exposición a los agentes atmosféricos durante su vida en servicio. Los factores más importantes son la oxidación y la volatilización de varios de sus componentes

FALLA POR PRESENCIA DE HUMEDAD (afinidad del material pétreo)

PROPIEDADES DEL MATERIAL PETREO Y SU EVALUACION

EN UN PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO, EL MATERIAL PETREO CONFORMA DEL 90 AL 95% EN PESO DE LA MEZCLA Y PARA SER CONSIDERADO ADECUADO PARA PAVIMENTO ASFALTICO DE BUENA CALIDAD, DEBE REUNIR BUENAS PROPIEDADES DE:

- COMPOSICION GRANULOMETRICA
- LIMPIEZA
- DUREZA
- FORMA DE SUS PARTICULAS
- TEXTURA SUPERFICIAL
- CAPACIDAD DE ABSORCION
- AFINIDAD CON EL ASFALTO
- PESO ESPECIFICO

GRANULOMETRIA Y TAMAÑO MAXIMO

LAS ESPECIFICACIONES DE PAVIMENTO ASFALTICO REQUIEREN QUE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO ESTEN DENTRO DE UN CIERTO MARGEN DE TAMAÑOS Y QUE CADA TAMAÑO ESTE EN CIERTA PROPORCION

TAMAÑO MAXIMO

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL

SE DESIGNA COMO LA MALLA MAS GRANDE QUE EL TAMAÑO MAXIMO QUE LA PRIMERA MALLA QUE RETIENE MAS DEL 10% DE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO

TAMAÑO MAXIMO DE PARTICULA

SE DESIGNA COMO LA MALLA MAS GRANDE QUE EL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DE PARTICULA, QUE ES LA MALLA MAS PEQUEÑA POR LA CUAL PAS EL 100% DE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO

TIPOS BÁSICOS DE ASFALTOS DE PAVIMENTACIÓN

PRÁCTICAMENTE TODOS LOS ASFALTOS UTILIZADOS SON PRODUCTO DE LA DESTILACIÓN DE PETRÓLEO CRUDO Y SE PRODUCEN EN UNA VARIEDAD DE TIPOS Y GRADOS QUE VAN DESDE LOS MUY DUROS HASTA OTROS TAN LÍQUIDOS COMO EL AGUA. EL CEMENTO ASFÁLTICO ES LA BASE DE TODOS ESOS PRODUCTOS, FLUIDIZÁNDOLO MEDIANTE CALENTAMIENTO, ADICIONANDO ALGÚN SOLVENTE O POR EMULSIFICACIÓN.

EMULSIONES ASFÁLTICAS

EL MAYOR USO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS EN EL PASADO CONSISTIÓ EN:

- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
- BACHEO
- CAPAS DE RENIVELACIÓN
- MORTERO ASFÁLTICO
- ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES

EN LA ACTUALIDAD, LAS CRISIS ENERGÉTICAS Y LA NECESIDAD DE REDUCIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL HAN SIDO LOS PRINCIPALES GENERADORES PARA DESARROLLAR VARIOS TIPOS DE EMULSIONES ASFÁLTICAS QUE SATISFACEN PRUEBAS DE LABORATORIO Y REQUISITOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.

MEZCLAS ASFÁLTICAS

SON PRODUCTOS QUE SE OBTIENEN MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE UN MATERIAL ASFÁLTICO (CEMENTO, REBAJADO O EMULSIÓN) A UN MATERIAL PÉTREO CON UNA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DETERMINADA.

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

OBJETIVO.

ESTABLECER LAS PROPORCIONES DE LOS MATERIALES QUE INTERVIENEN EN LA MEZCLA, CON OBJETO DE OBTENER LAS PROPIEDADES DE FUNCIONAMIENTO Y DURACIÓN ADECUADAS AL USO QUE SE LE PRETENDA DAR.

PROPIEDADES

ESTABILIDAD

RESISTENCIA AL INTEMPERISMO

RESISTENCIA AL DESGRANAMIENTO

FLEXIBILIDAD

INTEMPERISMO

TEXTURA

CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEADAS EN TRABAJOS DE PAVIMENTACIÓN, DE ACUERDO CON LAS CARACTERÍSTICAS DE ELABORACIÓN, SE PUEDEN CLASIFICAR EN:

MEZCLAS ELABORADAS EN CALIENTE.

MEZCLAS ELABORADAS EN FRÍO.

MEZCLAS ELABORADAS EN CALIENTE.

CONCRETOS ASFÁLTICOS.- SE HACEN EN CALIENTE, CON MATERIALES PÉTREOS BIEN GRADUADOS Y CEMENTO ASFÁLTICO, EN UNA PLANTA MEZCLADORA FIJA.

MEZCLAS ELABORADAS EN FRÍO.

MEZCLAS ELABORADAS EN EL LUGAR DE LA OBRA.- SE HACEN EN FRÍO, CON MATERIALES GRADUADOS Y UNA EMULSION, EN UNA PLANTA MEZCLADORA MÓVIL (SEMI-PORTÁTIL).

EN ESTA CATEGORÍA PODEMOS INCLUIR LOS MORTEROS ASFÁLTICOS QUE SE HACEN CON UN MATERIAL PÉTREO GRADUADO Y UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA, MEZCLADOS Y TENDIDOS CON EQUIPO ESPECIAL.

32

UTILIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN TRABAJOS DE PAVIMENTACIÓN

CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO
Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

CARPETAS

BASES ASFÁLTICAS

TRATAMIENTOS
SUPERFICIALES

CAPA RENIVELADORA

SOBRECARPETA

SELLO

BORDILLOS

... las capas de dicho fondo y el material así
... en una zona y se cuanteará en esta para formar la muestra.

CONTENIDOS MÍNIMO Y ÓPTIMO DE ASFALTO

EN LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA, SE ESTABLECEN DOS CONCEPTOS BÁSICOS: EL MÍNIMO REQUERIDO PARA CUBRIR LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO PÉTREO Y EL ÓPTIMO, QUE PERMITA LAS MEJORES POSIBILIDADES PARA EL USO DE LA MEZCLA.

MÉTODOS DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

- FORMULAS EMPIRICAS
- EQUIVALENTE DE QUEROSENO CENTRIFUGADO (CKE).
- COMPRESIÓN SIN CONFINAR
- MARSHALL
- HVEEM
- HUBBARD-FIELD
- ABRASION EN HUMEDO (Morteros asfálticos)

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE HUBBARD - FIELD

Este método se aplica en el proyecto de mezclas elaboradas con cemento asfáltico en caliente y material pétreo cuyas partículas pasan la malla Núm. 4.75 y como mínimo, el 65% de las mismas pasa la malla Núm. 2.0

La prueba consiste en elaborar especímenes con el agregado pétreo y diferentes proporciones de cemento asfáltico, en los que se definen mediante su resistencia a la extrusión y porcentaje de vacíos, las diferentes proporciones de asfalto que permiten satisfacer los requisitos de proyecto.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Previamente a la preparación de las mezclas de prueba, al material pétreo se le determina su peso específico por el procedimiento de inmersión en cemento asfáltico y al cemento asfáltico su peso específico. También deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo; para el primero la temperatura mencionada es aquella a la que tenga una viscosidad Saybolt - Furol de 85 ± 10 segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más 10°C . También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el cemento asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de 140 ± 15 segundos; para fijar estas temperaturas se deben utilizar las gráficas de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico empleado.

La cantidad de material pétreo requerida para cada mezcla es de 500 gramos y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido óptimo aproximado determinado mediante fórmulas empíricas.

Se elaboran especímenes (dos por punto), variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Antes de iniciar la elaboración de especímenes, se limpian y calientan dos moldes completos a una temperatura de 130°C en un horno durante 10 minutos como mínimo. La elaboración de especímenes se hace en los moldes previamente calentados colocando en ellos una cantidad aproximada de 100 gramos para obtener pastillas con una altura de 25.4 ± 0.5 mm, después de lo cual se regresan al horno los moldes con su contenido y se mantienen a la temperatura de compactación durante 10 minutos como mínimo.

Se saca del horno uno de los moldes con la mezcla y apoyándolo sobre las calzas se coloca el conjunto sobre la platina de la prensa y se introduce en el molde el pistón de compactación y se aplica una carga inicial de 230 kg; a continuación se retira la carga, se remueven las calzas y se compacta el espécimen hasta alcanzar en dos minutos una carga de 4,275 kg, equivalente a una presión de 211 kg/cm². a continuación se llena el recipiente con agua fría hasta un tirante de 8 cm y se deja enfriar la muestra y se mantiene esa carga durante 5 minutos y después se libera, se invierte el molde, se retira la placa de base, se saca la pastilla del molde utilizando el pistón de extrusión y se marca con un crayón su parte superior para identificarla, se deja a temperatura ambiente por lo menos durante 12 horas antes de ser probada.

Transcurrido el periodo de reposo se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes. La resistencia a la extrusión se determina colocando las pastillas y los moldes de prueba en un baño de agua a 60°C y se dejan en éste durante una hora como mínimo antes de la prueba; a continuación se introduce uno de los especímenes en el molde de prueba cuidando que su cara superior quede hacia arriba; se coloca el conjunto sobre la platina de la máquina de ensaye y se le aplica carga para que el espécimen se deforme a una velocidad constante de 60 mm/min. Se designa como resistencia a la extrusión el valor de la carga máxima obtenida en kg.

En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente:

Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio.

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de cada uno de los especímenes.

DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

CUANDO SE REDUCEN LOS VACÍOS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS, EL PAVIMENTO PRESENTA TRES PROPIEDADES IMPORTANTES:

- ESTABILIDAD
- COHESIÓN
- IMPERMEABILIDAD

LOS CRITERIOS PARA ESTABLECER EL REQUISITO DE DENSIDAD DE LAS MEZCLAS ESTÁN ENFOCADOS A OBTENER UNA CAPA COMPACTADA QUE EN PROMEDIO TENGA APROXIMADAMENTE UN 8% O MENOS DE VACÍOS, ESOS CRITERIOS SON:

- PORCENTAJE DE DENSIDAD DETERMINADA EN LABORATORIO
- PORCENTAJE DE DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA
- DENSIDAD DE UNA FRANJA DE CONTROL

DETERMINACIÓN DE DENSIDADES

PARA SUELOS.- MODO DE TRANSMISIÓN DIRECTA QUE CONSISTE EN EMITIR LA RADIACIÓN A TRAVÉS DEL MATERIAL DEL CUAL SE DESEA CONOCER SU DENSIDAD (LA FUENTE RADIOACTIVA CONTIENE CESIO 137).

PARA CARPETAS ASFÁLTICAS.- MODO DE EMISIÓN INDIRECTA O DE REFLEXIÓN, SE BASA EN QUE LOS RAYOS GAMMA EMITIDOS DEBEN SER REFLEJADOS PARA ALCANZAR LOS DETECTORES DEL EQUIPO, ESTO SE LOGRA MANTENIENDO LA VARILLA QUE CONTIENE LA VARILLA RADIOACTIVA AL MISMO NIVEL DE LOS DETECTORES EN LA BASE DEL EQUIPO.

CONTROL DEL CONTENIDO DE ASFALTO Y COMPACTACIÓN EN CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

**DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO
ASFÁLTICO, DOS DE LOS PARÁMETROS IMPORTANTES DE
CONTROLAR SON EL CONTENIDO DE ASFALTO EN LA MEZCLA Y LA
DENSIDAD DE LA CAPA TERMINADA.**

**CARPETAS CON UN PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO Y BUENA
COMPACTACIÓN REDUCEN LA OXIDACIÓN DEL ASFALTO Y LO
HACEN MAS RESISTENTE AL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS
PROLONGANDO SU VIDA ÚTIL.**

MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN LAS MEZCLAS.

EN FRÍO.- EQUIPO ROTORES.

EN CALIENTE.- EQUIPO DE REFLUJO.

MÉTODO NUCLEAR. CON ESTE EQUIPO SE DETERMINA DE MANERA RÁPIDA Y PRECISA EL CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN LAS MEZCLAS, SIN NECESIDAD DE SOLVENTES O AGENTES QUÍMICOS CORROSIVOS.

LOS EQUIPOS NUCLEARES EMPLEAN UNA FUENTE RADIOACTIVA (AMERICIO 241-BERILIO), QUE EMITE ENTRE OTRAS UNA RADIACIÓN DE NEUTRONES QUE FLUYEN HACIA UN DETECTOR Y QUE POR DIFERENCIA CUANDO SE COLOCA UNA MUESTRA ENTRE LA FUENTE DE NEUTRONES Y EL DETECTOR MIDE EL CONTENIDO DE HIDRÓGENO EN LA MEZCLA Y POR ANALOGÍA DETERMINA EL CONTENIDO DE ASFALTO EN DICHA MEZCLA.

**COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO
(COMPARACIÓN CUALITATIVA)**

Método Parámetro	Extractor Centrífugo	Medidor Nuclear
Operación	Lento (aprox. 1.0 hora) y con frecuencia limitada	Rápido, (aprox. 10 min.), mayor frecuencia de ensayos
Utilización	Limitado para corregir anomalías en la planta. Adecuado para aceptación.	Permite corregir oportunamente anomalías en planta. Adecuado para aceptación.
Calibración	No requiere, el resultado es directo.	Imprescindible para cada dosificación.
Personal	Requiere precauciones por posibilidad de intoxicación	Al inicio requiere entrenamiento y mayor asistencia.
Mantenimiento	Fácil de resolver.	Limitado.

42

**COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA DENSIDAD EN CAPAS DE PAVIMENTO
(COMPARACIÓN CUALITATIVA)**

Método Parámetro	Extractor Centrífugo	Medidor Nuclear
Operación	Proceso lento y cada muestra representa una gran superficie.	Rápido, permite mayor frecuencia de ensayos.
Utilización	En la práctica sólo para control de aceptación.	Posible utilizar durante y después de la compactación.
Calibración	No requiere, el resultado es directo.	Imprescindible para cada dosificación.
Personal	Requiere más tiempo y paciencia.	Al inicio requiere entrenamiento y mayor asistencia.
Mantenimiento	Resoluble.	Limitado.

Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada.

Utilizando los valores promedio obtenidos para cada contenido de asfalto se dibujan las gráficas correspondientes.

En cada gráfica se analizará cual es la proporción de asfalto que en mejor forma satisface los requerimientos del proyecto, fundamentalmente en cuanto a la resistencia a la extrusión y vacíos, con lo cual se definirá el contenido óptimo.

DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS Y VERIFICACIÓN DE SU CALIDAD POR MEDIO DE LA PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO

Las determinaciones preliminares y procedimientos que se deben aplicar para el estudio de la dosificación y verificación de la calidad de los morteros asfálticos constituidos por mezclas de arena, emulsión asfáltica, agua y en algunos casos finos adicionales a base de cemento Portland o de cal hidratada, consiste fundamentalmente en efectuar la prueba de abrasión en húmedo a dichos especímenes para evaluar la eficiencia del ligante en el mortero endurecido.

El diseño contempla el análisis de varias proporciones de los materiales seleccionados, determinando en las mezclas frescas y previamente a la preparación de especímenes sus características de consistencia, tiempo de curado y tiempo de fraguado; con base en esos resultados se selecciona el mortero que mejor se ajusta a los requisitos del proyecto y/o al uso que se le destine.

PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO

Esta prueba es un buen instrumento de diseño si se logra correlacionar adecuadamente sus resultados con el comportamiento real de la mezcla; mide la resistencia de este tipo de capas delgadas en condiciones de inmersión en agua y da una buena idea. El procedimiento comienza después de haber obtenido las características físicas del material pétreo y haber establecido la granulometría de trabajo; el residuo teórico de asfalto que se empleará se determina mediante la siguiente fórmula:

$$SE = 1/100 (0.342G + 1.92g + 15.33K + 118F)$$

donde:

- SE es la superficie específica del material pétreo
- G es el porcentaje entre mallas 3/8" y Núm. 4
- g es el porcentaje entre mallas Núm. 4 y Núm. 50
- K es el porcentaje entre mallas Núm. 50 y Núm. 200
- F es el porcentaje que pasa la malla Núm. 200

Con el valor de SE se entra a la gráfica para el porcentaje de residuo teórico donde existen tres curvas cuyos valores dependen del tipo de materiales y propiedades previamente determinadas.

La cantidad de agua necesaria para la mezcla se determina por tanteos y el porcentaje inicial será aquel que, al incorporarse en la arena y mezclarse sin emulsión produzca una mezcla trabajable y suelta sin que exista agua libre.

Cuando se incorpore la emulsión al material pétreo con el cemento o la cal ya incluida se harán los ajustes necesarios pues esta humedad será la que se utilice para elaborar las mezclas que más tarde se probarán en la máquina de abrasión.

Las cantidades de emulsión que se emplearán se incrementarán en 0.5% desde el contenido teórico - 1.0% hasta el contenido teórico + 2.0%; en todos los casos, es recomendable mantener constante la cantidad de finos (cemento o cal), en un porcentaje de 1% con respecto al material pétreo, sin embargo, una vez determinada la cantidad de emulsión óptima, se verá el desgaste que puede tener variando de 0.5 a 2.0% a fin de garantizar el menor desgaste posible.

Las pastillas de prueba se formarán sobre losetas que pueden ser vinílicas o cualquier otro material no absorbente pero que permita una buena adherencia; el espesor de la pastilla será de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo que se utilice. Estos especímenes se secan a peso constante en horno a una temperatura de 60°C; se dejan enfriar a la

temperatura ambiente y se les determina su peso: finalmente, este peso se comparará con el peso del espécimen seco y a la temperatura ambiente determinado después de la prueba de abrasión en húmedo.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Elaboración de especímenes.

Evaporación del agua contenida en los especímenes y se le determina su peso P_{E1} .

Inmersión del espécimen en baño de agua a 25°C durante una hora antes de la prueba.

Prueba del espécimen durante 5 minutos también en inmersión (método ASTM D 3910).

Después de haberse sometido al desgaste, el espécimen se seca hasta peso constante en horno a 60°C.

Se pesa el espécimen y se registra como P_{E2} .

La abrasión se calcula en kg/m^2 , con la siguiente fórmula:

$$F_a = \frac{(P_{E1} - P_{E2})}{A} = \frac{(P_{E1} - P_{E2})}{0.03038} = 32.9 (P_{E1} - P_{E2})$$

donde:

- F_a es el factor de abrasión, en g/m^2 .
- P_{E1} peso del conjunto de la base y el espécimen antes de la prueba.
- P_{E2} peso del conjunto de la base y el espécimen después de la prueba.
- A área de desgaste en el espécimen (0.03038 m^2). *NOTA: el área varía según la longitud del elemento de desgaste de la máquina utilizada.*

GRANULOMETRIA SUGERIDA POR A.S.T.M. PARA DIFERENTES TIPOS DE MORTEROS			
MALLA	TIPO I	TIPO II	TIPO III
3/8"	% que pasa 100	% que pasa 100	% que pasa 100
NÚM. 4	100	90 - 100	70 - 90
NÚM. 8	90 - 100	65 - 90	45 - 70
NÚM. 16	65 - 90	45 - 70	28 - 50
NÚM. 30	40 - 65	30 - 50	19 - 34
NÚM. 50	25 - 42	18 - 30	12 - 25
NÚM. 100	15 - 30	10 - 21	7 - 18
NÚM. 200	10 - 20	5 - 15	5 - 15

En algunos países se acepta hasta un 45% como mínimo de equivalente de arena, sin embargo es recomendable tener un material limpio con 60% de equivalente de arena.

CONCEPTO	GRANULOMETRÍA A. S. T. M.		
	I	II	III
Espesor mínimo	3 mm	4 mm	6 mm
Cantidad de material pétreo promedio kg/m ²	2 - 6	7 - 12	10 - 15
% de asfalto con respecto a los agregados.	10 - 18	8 - 14	7 - 12
% de agua de mezclado.	10 - 20	10 - 20	10 - 20

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE HVEEM

Este método se aplica para el proyecto y verificación de mezclas elaboradas, utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente, rebajados o emulsiones asfálticas; el método consiste fundamentalmente en preparar dos series de especímenes con variaciones similares en sus contenidos de material asfáltico, utilizando el equipo de compactación de Hveem, que somete a la muestra a ciertas presiones repetidas, aplicadas en forma gradual mediante un pisón; a los especímenes de una serie se les determina su resistencia a la desintegración, alteración volumétrica y permeabilidad mediante la prueba de expansión; a los de la serie restante se les determina su resistencia a la deformación lateral, aplicándole a cada uno carga vertical en una celda de tipo triaxial o estabilómetro, bajo condiciones previas de humedad y temperatura; a los especímenes de ambas series se les determina su peso volumétrico y su resistencia a la tensión mediante el cohesiómetro de Hveem.

Con los resultados obtenidos se hace un análisis gráfico para seleccionar la proporción óptima de cemento asfáltico que permita las mejores características de la muestra; el procedimiento consiste fundamentalmente en la preparación de muestras y elaboración de especímenes para determinar sus características volumétricas, efectuar la prueba del estabilómetro, la del cohesiómetro, la de expansión y permeabilidad.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico; así también el del cemento asfáltico el cual será corregido tanto en el caso de rebajados como en el caso de emulsiones mediante las gráficas de peso específico - residuo asfáltico, tomando en cuenta los solventes y el agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

Deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico o rebajado y del material pétreo; para los primeros la temperatura mencionada es aquella a la que tengan una viscosidad Saybolt - Furol de 85 ± 10 segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más 10°C . Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se obtenga el mejor cubrimiento. También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el material asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de 140 ± 15 segundos; esta temperatura también se puede determinar de la gráfica viscosidad - temperatura del asfalto o producto utilizado.

La cantidad de material pétreo para cada mezcla será la necesaria para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm (aproximadamente 1,100 gramos de material pétreo) y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido mínimo determinado mediante fórmulas empíricas variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Durante la operación de mezclado se mantendrá la temperatura de compactación antes mencionada pudiendo aplicar calor durante esta etapa y en el caso de asfaltos rebajados se tendrá una relación de solvente a cemento asfáltico (valor de K) de 0.8 para rebajados de fraguado rápido y de 0.12 para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsión, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando el peso de la mezcla a fin de que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el 80% aproximadamente del agua y solventes de la emulsión; la humedad que conserve la mezcla será la mayor que no origine exudación en el espécimen al compactarla, ni ocasione deformación excesiva bajo la acción del piñón.

Al terminar la preparación de la mezcla y el proceso de curado, cuando este se requiera, se procederá lo antes posible a moldear los especímenes de prueba utilizando el compactador mecánico de presiones repetidas de acuerdo con lo siguiente:

Se inicia con los especímenes de prueba del estabilómetro, calentando previamente los moldes a la temperatura de compactación de la mezcla y regulando la temperatura de la placa inferior del compactador para evitar que se le adhiera la mezcla. Se vierte al molde de compactación la mitad de la mezcla colocada en la canaleta y se acomoda picándola con la varilla 20 veces en la parte central y 20 veces en la parte perimetral, después de lo cual se vierte en el molde la mezcla restante y se repite el procedimiento de picado con la varilla.

Se pone a funcionar el compactador con una presión de 17.6 kg/cm^2 y se aplican de 10 a 50 golpes con objeto de dar una compactación preliminar a la mezcla (el número de golpes se determina observando que la mezcla no se deforme excesivamente al aplicar presiones de 35 kg/cm^2). Después de la compactación preliminar se remueven las calzas en que se apoya el molde con lo cual éste se libera y permite la compactación por las caras inferior y superior del espécimen. Se eleva la presión de compactación a 35 kg/cm^2 y se dan 150 aplicaciones con el pisón.

El molde conteniendo el espécimen se coloca en un horno a 60°C durante hora y media, excepto cuando se trate de mezclas con emulsiones asfálticas en las que no se calienta la mezcla. En estas condiciones de temperatura se coloca el molde con el espécimen en la máquina de compresión descansándolo en el cuerpo cilíndrico de menor tamaño y el de mayor tamaño se instala en la parte superior; a continuación se aplica por el método de doble pistón una carga para nivelación de 5,700 kg con una velocidad de desplazamiento de la platina de 1.3 mm/min; se desmonta el molde con el espécimen y se dejan enfriar a la temperatura ambiente y en estas condiciones se determina su peso en gramos y se mide la altura del espécimen en mm.

Cuando se trate de una mezcla asfáltica con materiales arenosos o muy inestables la compactación del espécimen se hará aplicando una carga estática de 18,000 kg mediante el método de doble pistón dejando que se desplacen libremente los pistones de la máquina de prueba con una velocidad de desplazamiento de la platina de 1.3 mm/min y manteniendo la carga durante 30 ± 5 segundos.

Para la elaboración de los especímenes que se emplean en la prueba de expansión se sigue el método antes descrito excepto en lo siguiente: los moldes no se calientan y se acondicionan colocándoles alrededor de su parte inferior y a una altura de 15 a 20 mm una tira de papel impregnado de parafina, para evitar el escape del agua entre el molde y el espécimen durante el periodo de inmersión a que serán sometidos; en lo referente a la temperatura de compactación, ésta será de 110°C cuando se trate de cementos asfálticos y de 60°C cuando se utilicen rebajados; las excepciones en el tratamiento del espécimen después de aplicar la carga de compactación, consisten en que éste no se mete al horno y la carga de nivelación no se aplica por el sistema de doble pistón, sino que para ello se invierte el molde desplazando el espécimen dentro del mismo hasta que queda apoyado en la platina de la máquina y en estas condiciones se continua con la aplicación de la carga de nivelación.

Después del periodo de enfriamiento se extraen los especímenes del molde y se les determina su peso volumétrico. En esta parte del procedimiento mediante el estabilómetro de Hveem se determina la resistencia a la deformación evaluada mediante la presión lateral que se desarrolla en los especímenes al aplicarles una carga vertical dentro del estabilómetro.

Los especímenes para la prueba del estabilómetro se meten al horno a una temperatura de 60°C por un periodo no menor de 2 horas después de lo cual dichos especímenes se introducen cuidadosamente en el estabilómetro, se le instala el seguidor en la parte superior y a continuación todo el sistema se instala en la máquina de compresión. Se aplica una presión lateral al espécimen de 0.35 kg/cm² operando la manivela del estabilómetro y en seguida se le aplica carga vertical a un velocidad de avance de 1.3 mm/min y se van anotando las lecturas de presión lateral producidas por el espécimen en el manómetro del estabilómetro, para las cargas de 225, 450, 910, 1360, 1815, 2270 y 2720 kg. Inmediatamente después de alcanzar la carga vertical mencionada se descarga hasta 450 kg y se mantiene en este valor y operando la manivela del estabilómetro se fija la presión horizontal en 0.35 kg/cm² lo cual suele originar normalmente una reducción de la carga vertical y por lo tanto no es necesario hacer ninguna corrección.

Se ajusta a cero el micrómetro que mide el desplazamiento de la bomba, se gira la manivela del estabilómetro a una velocidad de dos vueltas por segundo hasta alcanzar 7.03 kg/cm² en el manómetro del estabilómetro y se registra el desplazamiento indicado en el micrómetro. Durante esta operación la carga registrada en la máquina de compresión, que en algunos casos origina que se exceda la carga vertical de 450 kg lo cual es normal por lo que no se debe hacer ninguna corrección; se libera la carga vertical y se acciona la manivela del estabilómetro hasta dar tres vueltas más después de que el manómetro registró cero y se extrae el espécimen de dicho aparato.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

El valor de R de estabilidad para cada uno de los especímenes de los diferentes contenidos de asfalto, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{22.2 (P_v - P_H)}{P_H \cdot D_E + 0.222 (P_v - P_H)}$$

donde:

- R es el valor de estabilidad en la mezcla asfáltica determinado con el método de Hveem.
- P_v es la presión vertical de 28.2 kg/cm², correspondiente a una carga total de 2270 kg.
- P_H es la presión horizontal medida en el manómetro del estabilómetro, correspondiente a P_v.
- D_E es el desplazamiento de la bomba al probar el espécimen en el estabilómetro, dado en número de vueltas de la manivela.

En caso de ser necesario estos valores se corregirán por variación de la altura de los especímenes utilizando la gráfica de la figura Núm. 92.

La medición de la cohesión se efectúa mediante el cohesiómetro del Hveem, en el que se registra la carga de falla al someter a doblado especímenes que se sujetan por uno de sus extremos y son los mismos que se someten a la prueba del estabilómetro

El procedimiento consiste en calibrar el regulador del lastre del cohesiómetro para que las municiones fluyan a razón de $1,800 \pm 20$ gramos por minuto y se verifica que la longitud del brazo que produce el esfuerzo de flexión, sea de 76 cm.

Los especímenes se mantienen durante dos horas a $60 \pm 1^\circ\text{C}$, se ajusta el termostato para que la temperatura en el interior del cohesiómetro se mantenga a esa misma temperatura y en seguida se fije el brazo de carga con su seguro, se saca del horno el espécimen y se monta en el cohesiómetro sujetándolo firmemente sin dañarlo, se cierra la tapa, se espera para que la temperatura en el interior del gabinete se recupere y entonces se retira el seguro de fijación del brazo y se oprime el botón de descarga para liberar las municiones hasta que el espécimen falla, lo cual ocurre cuando el brazo de carga se desplaza 13 mm con lo que automáticamente se interrumpe el paso de municiones. Se pesan las municiones que pasaron y se registra el dato.

El valor de cohesión se calcula con la siguiente fórmula.

$$C = \frac{L}{W \cdot (0.02H + 0.0044H^2)}$$

donde:

- C es el valor de cohesión estimado por ancho de probeta de 25 mm, medidos sobre el diámetro de falla y corregido para alturas de probeta de 76 mm, en gramos/cm².
- L es el peso de las municiones, en gramos.
- W es el diámetro del espécimen, en cm.
- H es la altura del espécimen, en cm.

Se calcula y reporta el promedio de los valores del cohesiómetro para cada contenido de cemento asfáltico.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio.

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de cada uno de los especímenes.

Porcentaje de vacíos en la mezcla compactada

Estabilidad relativa R y valor del cohesiómetro C.

Con los valores promedio se dibujan las gráficas que se analizarán para definir el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

Que en todas las etapas de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

Vigilar y/o verificar la calibración del equipo de prueba.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE MARSHALL

Este método se aplica para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente; también se puede aplicar cuando se usen asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas; el procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los que se les determina su peso volumétrico, porcentaje de vacíos, estabilidad en sentido diametral y deformación al alcanzarse la máxima resistencia; estas dos últimas determinaciones se pueden hacer bajo condiciones de humedad y de temperatura desfavorables.

A las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o con emulsiones también se les determina la influencia del agua en su comportamiento.

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación.

Para el diseño de mezclas asfálticas se elaboran especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuales son los que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el contenido óptimo de asfalto o el más conveniente para el material pétreo estudiado.

Para verificar la mezcla asfáltica producida en la obra se comparan las características de granulometría, contenido de asfalto y peso volumétrico de la mezcla compactada y cuando haya discrepancias entre los datos mencionados se elaboran especímenes con la mezcla producida en la obra y se les determina su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos para verificar esas características con las de proyecto.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico; así también el del cemento asfáltico el cual será corregido tanto en el caso de rebajados como en el caso de emulsiones mediante las gráficas de peso específico - residuo asfáltico, tomando en cuenta los solventes y el agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

Deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico o rebajado y del material pétreo; para los primeros la temperatura mencionada es aquella a la que tengan una viscosidad Saybolt - Furol de 85 ± 10 segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más 10°C . Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se obtenga el mejor cubrimiento. También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el material asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de 140 ± 15 segundos; esta temperatura también se puede determinar de la gráfica viscosidad - temperatura del asfalto o producto utilizado.

La cantidad de material pétreo para cada mezcla será la necesaria para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm (aproximadamente 1.100 gramos de material pétreo) y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido mínimo determinado mediante fórmulas empíricas variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Durante la operación de mezclado se mantendrá la temperatura de compactación antes mencionada pudiendo aplicar calor durante esta etapa y en el caso de asfaltos rebajados se tendrá una relación de solvente a cemento asfáltico (valor de K) de 0.8 para rebajados de fraguado rápido y de 0.12 para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsión, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando el

peso de la mezcla a fin de que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el 80% aproximadamente del agua y solventes: la humedad que conserve la mezcla será cercana a la óptima de compactación y se definirá dibujando la curva del peso volumétrico de la mezcla contra su humedad.

El conjunto de placa de compactación, pisón y los moldes completos, la espátula y placa de base se calientan a 90°C en un baño con agua a dicha temperatura.

Con la mezcla de prueba preparada y a la temperatura de compactación (normalmente entre 120 y 150°C), se saca del baño un molde, se seca y arma poniendo en el fondo una hoja de papel filtro circular y se vacía la mezcla dentro del molde, acomodándola con la espátula (introduciéndola quince veces en la parte perimetral y diez en la parte central, para acomodarla sin que se clasifique); por último se acomoda la parte superior de la mezcla procurando una superficie ligeramente abombada y colocando otra hoja de papel filtro. A continuación se monta el molde sobre el pedestal y se compacta aplicando 50 golpes de pisón o bien 75 golpes dependiendo de lo que especifique el proyecto para el tipo de tránsito considerado. La altura de caída del martillo es de 457 mm.

Una vez aplicada esta compactación se invierte el molde con el espécimen y se vuelven a colocar sus dispositivos para aplicar a la otra cara del espécimen el mismo número de golpes que en la primera cara.

El espécimen dentro del molde se deja enfriar a la temperatura ambiente para que al ser extraído no sufra deformaciones y se mantiene en reposo a la temperatura ambiente durante aproximadamente 24 horas: después del periodo de enfriamiento se determina el peso volumétrico de cada espécimen y antes de la prueba todos los especímenes se sumergen de 30 a 40 minutos en un baño de agua a $60 \pm 1^\circ\text{C}$, excepto en el caso de las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o emulsiones, en que los especímenes antes de ser probados se mantienen a una temperatura ambiental de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 2 horas.

La determinación de estabilidad y de flujo se iniciará a los 30 minutos de inmersión debiendo sacar y probar el último de los especímenes a los 40 minutos de haber sido introducido en el baño.

En el caso de mezclas elaboradas con cemento asfáltico, los cabezales de prueba deben mantenerse a una temperatura de $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y en el caso de mezclas con rebajados o emulsiones a $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

La carga se aplica al espécimen con una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min hasta producir la falla del espécimen a la temperatura de prueba: dicha carga es el valor de estabilidad Marshall, en kg.

Mientras la carga se aplica, el extensómetro medidor de flujo colocado sobre la varilla guía de los cabezales de prueba registra las deformaciones, al presentarse la carga máxima, la lectura registrada es el valor de flujo, en mm.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio.

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de cada uno de los especímenes.

Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada.

Valores de estabilidad y de flujo.

Con los valores promedio anteriores se dibujan las gráficas que se analizarán para definir el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto.

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

Que en todas las etapas de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

Que la superficie interior de los cabezales de prueba corresponda a un radio de 50.8 mm.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR PRUEBAS DE COMPRESIÓN AXIAL Y DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

Este método considera la elaboración de especímenes de prueba utilizando mezclas preparadas con diferentes contenidos de material pétreo y de producto asfáltico, las cuales se compactarán con carga estática, dándoles previamente un acomodo para disminuir la influencia de la forma de las partículas del material pétreo; un grupo de los especímenes se someterá a la acción de cargas axiales y otro a la de cargas diametrales, hasta alcanzar la falla, en ambos casos se harán determinaciones con especímenes en seco y saturados. Con los pesos específicos, resistencia a la compresión axial, deformación final, resistencia a la compresión diametral y en algunos casos por ciento de vacíos, se definirá gráficamente la proporción óptima de asfalto con la cual se logre en los especímenes la mejor combinación de dichas características.

Este procedimiento no se aplicará a mezclas que contengan menos del 10% de partículas de material pétreo pasando la malla Núm. 2, consideradas de textura abierta, ni a las que se elaboren con cemento asfáltico, limitándose su aplicación al caso de mezclas con más de 12% de partículas retenidas en la malla Núm. 25 y que pasen la Núm. 37.5.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

En primer lugar, se determinan el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico y el peso específico relativo del residuo asfáltico. Se determina el peso del material pétreo que pasa la malla Núm. 25, necesario para elaborar cada una de las ocho mezclas de prueba que se preparan por cada contenido de asfalto, para lo cual se tomará en cuenta el peso volumétrico de la mezcla determinado con un espécimen preliminar, los especímenes se elaborarán con una relación altura/diámetro de 1.25.

La proporción de asfalto de cada uno de los contenidos que como mínimo se estudiarán son:

Contenido óptimo aproximado, - 1.0%.

Contenido óptimo aproximado, - 0.5%

Contenido óptimo aproximado.

Contenido óptimo aproximado, + 0.5%

Contenido óptimo aproximado, + 1.0%

Contenido óptimo aproximado, + 1.5%

Contenido óptimo aproximado, + 2.0%

Se elabora una de las ocho mezclas que corresponde a uno de los contenidos de material asfáltico y considerando solo la fracción de material que pasa la malla Núm. 25, se toma el peso del material pétreo y se calientan los materiales pétreos y asfálticos a 50°C, excepto cuando se utilizan emulsiones asfálticas.

Se revuelven las mezclas así preparadas, manteniéndolas a la temperatura indicada hasta completar su curado, el cual se controla verificando su peso a intervalos no mayores de 10 minutos debiendo ser más cortos a medida que la mezcla se acerca a su peso final P_f , o sea el que tiene cuando pierde la cantidad de solventes, P_{se} , previamente establecida; esta última se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P_{se} = P_s - K P_c$$

donde:

P_{se} es el peso de los solventes que se eliminan de la mezcla durante su elaboración, previamente a su compactación, en gramos.

P_s es el peso de los solventes que inicialmente contiene el producto asfáltico, en gramos.

P_c es el peso del residuo asfáltico que contiene el producto utilizado, en gramos.

K es la relación en peso de solventes con respecto al residuo asfáltico en la mezcla fijada para su compactación; es adimensional y en general será de 0.08, debiendo establecerse para cada estudio.

A continuación se determina el peso final de la mezcla asfáltica curada más la tara P_{ft} , mediante la siguiente fórmula:

$$P_{ft} = P_p + P_t + P_a \cdot P_{se}$$

donde:

P_{ft} es el peso final de la mezcla de prueba ya curada, más la tara, en gramos.

P_p es el peso de la muestra de material pétreo seco, en gramos

P_t es el peso de la tara, en gramos.

P_a es el peso del material asfáltico utilizado para elaborar la mezcla de prueba, en gramos.

P_{se} es el peso de los solventes que se eliminan de la mezcla durante su elaboración y curado, en gramos.

El curado de las mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas se efectuará remezclándolas hasta que claramente se inicie el rompimiento de la emulsión sin provocar que se desprenda del agregado pétreo; al ocurrir el rompimiento se escurrirá el agua remanente, siendo este el punto en que se compactará la mezcla, seleccionando para ello la humedad y estado de rompimiento que proporcione los mayores pesos volumétricos.

Con la placa de base, la placa de compactación y el molde de prueba limpios y a la temperatura de 50°C, se arma el conjunto que debe quedar nivelado sobre una superficie firme, en el caso de mezclas con emulsión no será necesario calentar el equipo.

Después de curada la mezcla se deposita en el molde en dos capas, dándole un acomodo inicial mediante 20 penetraciones con la varilla, repartidas simétricamente. A continuación, para formar el espécimen de prueba, se compacta la mezcla contenida en el molde, aplicándole por medio de la máquina de compresión una carga inicial de 25 kg/cm²; realizado lo anterior, se libera dicha carga y se remueven las calzas en que se apoya el molde; en seguida se aplica carga en forma lenta y uniforme hasta alcanzar en 5 minutos la carga de compactación

correspondiente a la presión de 100 kg/cm^2 , que se sostiene durante dos minutos, después de lo cual se libera.

Se retira de la máquina de compresión el molde con el espécimen, se remueve la placa de base y se dejan a la temperatura ambiente hasta que el espécimen adquiera la consistencia que permita ser extraído sin que sufra daño; en el caso de mezclas con emulsión asfáltica el período será de 3 días manteniendo los moldes en posición horizontal para facilitar el drenado.

Después del período de reposo se extrae el espécimen del molde y se mide con aproximación de un milímetro y se anota el promedio en la hoja de registro, verificando su relación altura/diámetro que debe ser de 1.25, aproximadamente. Así se continúa la elaboración de especímenes hasta completar los 8 de cada contenido considerado en el estudio, cuidando de hacer los ajustes necesarios para que la altura de los especímenes sea uniforme; tratándose de mezclas del mismo estudio, en los diferentes contenidos de asfalto, respecto a la altura de todos no debe haber diferencias de más de 5 milímetros, los que no cumplan con este requisito se desecharán y se sustituirán por nuevos especímenes que si cumplan.

Se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de cada contenido de asfalto mediante el peso sumergido, separando los valores correspondientes a cada contenido de asfalto. Con los 8 especímenes de cada contenido de asfalto se forman 2 grupos, uno para mantenerlo de 16 a 24 horas a la temperatura ambiente y después se colocan en baño de aire o en ambiente a la temperatura de $25 \pm 0.5^\circ \text{ C}$, durante 2 horas antes de probarlos; el segundo grupo se conservan de 16 a 24 horas, a la temperatura ambiente y después durante 4 días inmersos en un baño de agua a $25 \pm 0.5^\circ \text{ C}$.

Dos de los especímenes del primer grupo se prueban a la compresión simple aplicándole una carga inicial de 10 kg. ; se instala el extensómetro y se ajusta a cero, después se somete a la prueba de compresión axial, aplicándole carga a una velocidad uniforme para obtener una deformación vertical de 50.0 mm/min hasta alcanzar la mayor carga que resista el espécimen la que se registra como P_a , en kg. Al presentarse dicha carga se lee el extensómetro y se anota en la hoja de registro como valor del flujo d_a , en mm

El tercero y cuarto de los especímenes del primer grupo se somete a la prueba brasileña o de compresión diametral con registro de flujo vertical, colocando el espécimen en la platina de la máquina de compresión y montando el extensómetro para la determinación del flujo; al espécimen así instalado se le aplica carga uniforme a lo largo de dos de sus generatrices unidas por un mismo diámetro y a una velocidad constante de deformación vertical de 50.0 mm/min hasta alcanzar la carga de ruptura que se registra como P_a , en kg; al alcanzar dicha carga se toma la lectura del extensómetro y se anota como valor de flujo "d", en mm, con aproximación de 0.1 mm. Se hace notar que en todos los casos se utiliza las cuatro placas para guiar y centrar la carga y las dos tiras de distribución de la misma. Al cuarto espécimen después de la prueba se le determina el contenido de cemento asfáltico.

Del segundo grupo de especímenes se toman sucesivamente dos y se dejan escurrir el tiempo indispensable para que no mojen el equipo, lapso que no será mayor de 5 minutos; después se someten sucesivamente a la prueba de compresión axial con medición del flujo vertical como ya se describió anteriormente. Los dos especímenes restantes de este segundo grupo se dejan escurrir y también se someten a la prueba de compresión diametral con medición de flujo como ya fue descrito.

CÁLCULO Y REPORTE

Los pesos volumétricos de todos los especímenes con un mismo contenido de asfalto se promedian, desechando aquellos que discrepen en forma significativa y el resultado se anota con aproximación de 10 kg/m^3 .

La resistencia a la compresión axial de cada uno de los especímenes de prueba de ambos grupos tanto los ensayados en húmedo como en seco de los diferentes contenidos de asfalto se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{P_a}{A_s}$$

donde:

R_c es la resistencia a la compresión axial en kg/cm^2

P_a es la carga axial máxima que se registra al inicio de la falla, en kg

A_s es el área de la sección transversal del espécimen calculada con su diámetro promedio, con aproximación de 0.1 cm^2

Los valores de resistencia de los dos especímenes de cada grupo se promedian y registran, por una parte los ensayados en seco y por otra los probados en húmedo de cada contenido de asfalto.

El valor de resistencia a la tensión por compresión diametral de cada uno de los especímenes tanto de los probados en seco como de los probados en húmedo de los diferentes contenidos de asfalto se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_d = \frac{P_d}{Dh}$$

donde:

R_d es el valor de la resistencia a la tensión por compresión diametral, en kg/cm^2

P_d es la carga máxima aplicada diametralmente, en kg

D es el diámetro promedio del espécimen en cm, con aproximación de 0.1 cm

h es la altura promedio del espécimen en cm, con aproximación de 0.1 cm

Se promedian y registran los valores de resistencia a la tensión por compresión diametral de los dos especímenes de prueba de cada grupo, por una parte los ensayados en seco y por la otra los probados en húmedo, de cada contenido de asfalto.

Se promedian y registran los valores de flujo d_a de los dos de cada grupo probados a la compresión axial, por una parte los ensayados en húmedo y por la otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

Se promedian y registran los valores de flujo d , de los dos especímenes de cada grupo probados a la compresión diametral, por una parte los ensayados en húmedo y la otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada de todos los especímenes elaborados con un mismo contenido de asfalto, determinando los pesos volumétricos, el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada correspondiente a cada contenido de asfalto y se anotan en la hoja de registro.

Con los datos de peso volumétrico, de resistencia, de flujo y porcentaje de vacíos y los correspondientes contenidos de asfalto expresados como por ciento en peso, con relación al del material pétreo de los especímenes respectivos, se dibujan las gráficas del por ciento de cemento asfáltico, contra cada uno de los siguientes conceptos: peso volumétrico, resistencia a la compresión axial en seco, resistencia a la compresión axial en húmedo, resistencia a la

compresión diametral en seco, resistencia a la compresión diametral en húmedo, así como contra flujo de especímenes en seco, flujo de especímenes en húmedo y porcentaje de vacíos. Del análisis de todas estas gráficas se deduce la proporción óptima de asfalto que permita el mayor peso volumétrico, las mayores resistencias y el flujo aceptable, siendo en todo caso el por ciento de asfalto recomendado, aquél con el cual se logre más ventajas en todos los aspectos señalados.

PRECAUCIONES QUE SE DEBEN TOMAR EN ESTA PRUEBA

Extraer cuidadosamente los especímenes de los moldes para evitar que sufran distorsiones o disgregaciones.

Cuando no sea posible efectuar a los especímenes las pruebas en seco, durante las 24 horas siguientes a su elaboración, se colocarán en recipientes herméticos para protegerlos.

Verificar que los especímenes tengan la misma temperatura en el momento de ser sometidos a la prueba de carga.

PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO CENTRIFUGADO (CKE)

Se lleva a cabo a partir del área superficial de las fracciones gruesa y fina del material pétreo o combinación de materiales seleccionados para la mezcla; así también, a partir de la obtención de un factor k que depende de la rugosidad y grado de porosidad de las partículas de material pétreo, evaluados mediante procedimientos de retención de queroseno y de aceite. Dichos parámetros se correlacionan gráficamente para obtener la proporción óptima de un asfalto rebajado con viscosidad especificada, pudiendo después ajustarse el resultado para otros materiales asfálticos.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

A una muestra de material pétreo, se le determina su composición granulométrica y se separan dos fracciones de mil quinientos (1.500 gr.) cada una; la que pasa la malla núm. 9.5 y retiene la 4.75 y la que pasa la malla últimamente mencionada, denominadas fracción gruesa y fracción fina respectivamente, se secan al horno a un temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ\text{C}$), hasta peso constante. De cada una de estas fracciones se toman mil (1.000) gramos para determinar el correspondiente peso específico relativo aparente. La parte restante de la fracción fina se utiliza en la determinación del retenido de queroseno y la de la fracción gruesa en la del retenido de aceite.

A cada uno de los dos vasos de centrifugado se le coloca su malla y papel filtro, se tara y se anota su peso con aproximación de cero punto un (0.1) gramo; se pesa en cada uno de ellos cien (100) gramos de la fracción seca que pasa la malla núm. 4.75 y en esas condiciones se colocan un recipiente que contenga queroseno con una cantidad suficiente para que cubra las muestras, permaneciendo así durante treinta (30) minutos para que se sature.

Después de la saturación se instalan los vasos en la centrifuga y se someten durante dos (2) minutos a un fuerza centrífuga de cuatrocientas (400) veces la fuerza de la gravedad, determinada con la siguiente fórmula:

$$RPM_c = \sqrt{\frac{35\ 600\ 000}{R}}$$

donde: RPM_c es el número de revoluciones por minuto a que deben girar los vasos de centrifugado.

36 000 000 representa la aceleración a la que debe someterse la muestra para producir una aceleración de 400 veces la fuerza de la gravedad, en centímetros sobre segundo al cuadrado.

r radio de giro del centro de gravedad de la muestra.

Después del centrifugado se pesa cada uno de los vasos con su muestra y se determina el porcentaje de queroseno retenido, respecto al peso inicial y de no diferir significativamente los dos resultados, se reporta el promedio como equivalente de queroseno centrifugado (CKE), de lo contrario se repite el procedimiento.

A continuación se coloca una muestra de cien (100) gramos de la fracción gruesa seca, en cada uno de los dos embudos y en esas condiciones se sumergen en los vasos de precipitado con aceite lubricante tipo **SAE - 10**, con una cantidad suficiente para que el material quede cubierto, permaneciendo así durante cinco (5) minutos a temperatura ambiente.

Después de dicho lapso se sacan los embudos con el material y se dejan escurrir durante dos (2) minutos cuidando que no se pierda material; a continuación, se meten al horno con las muestras, procurando que el escurrimiento prosiga durante quince (15) minutos, a una temperatura de sesenta (60°C) grados centígrados.

Se sacan los vasos con las muestras del horno y se vacían en charolas previamente taradas, se dejan enfriar a la temperatura ambiente y se pesan con aproximación de cero punto un (0.1) gramo. En seguida se determina el porcentaje de aceite retenido respecto al peso inicial de los

agregados secos. de no existir discrepancia significativa se reporta el promedio como porcentaje de aceite retenido **AR**. de lo contrario se repite el procedimiento.

Los cálculos y reportes son los siguientes:

Si el peso específico relativo aparente de la fracción fina es diferente de dos punto sesenta y cinco (2.65 ± 0.05) se corrige el valor promedio del equivalente de queroseno centrifugado e_{kc} , mediante la siguiente fórmula:

$$EKC_c = EKC_{Saf} / 2.65$$

donde:

EKC_c equivalente de queroseno centrifugado, corregido por el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

EKC equivalente de queroseno centrifugado de la fracción fina.

S_{af} densidad o peso específico relativo aparente de la fracción fina.

2.65 peso específico relativo aparente considerado para la fracción fina.

Se calcula el área superficial del material pétreo a partir de su composición granulométrica, por medio de la siguiente fórmula:

$$A = \sum (P F_a)$$

donde:

A es el área superficial del material pétreo considerado, en metros cuadrados por kilogramo.

P es el porcentaje en peso de cada uno de los retenidos parciales del material pétreo, en sus respectivas mallas.

F_a es el área superficial que corresponde a cada fracción comprendida entre las mallas, como se indica a continuación:

MATERIAL		AREA SUPERFICIAL DE LOS RETENIDOS PARCIA- LES EN m ² /kg.
PASA MALLA NUM.	RETIENE MALLA NUM.	
19.000	9.500	00.20
09.000	4.750	00.41
04.750	2.360	00.82
02.360	1.180	01.64
01.180	0.600	03.28
00.600	0.300	06.15
00.300	0.150	12.30
00.150	0.075	24.58
00.075		53.30

Se determina la constante de superficie "K_r" para la fracción fina, utilizando la gráfica de la figura 70 a partir del equivalente de queroseno EKC corregido y en función de del área superficial del material pétreo, así como del porcentaje de material que pasa la malla núm. 4.75

Si el peso específico relativo aparente de la fracción gruesa es diferente de dos punto sesenta y cinco más menos cero punto cero cinco (2.65 ± 0.05) se corrige el valor promedio del porcentaje de aceite retenido AR, mediante la siguiente fórmula:

$$ARc = AR S_{dg} / 2.65$$

donde:

ARc proporción de aceite retenido corregida por densidad de la fracción gruesa, en por ciento.

AR proporción de aceite retenido por la fracción gruesa, en por ciento.

S_{dg} peso específico relativo aparente de la fracción gruesa.

2.65 peso específico relativo aparente considerado para la fracción gruesa.

Se obtiene la constante de superficie K_g para la fracción gruesa, utilizando la gráfica de la figura núm. 71 a partir del porcentaje de aceite retenido corregido.

Se calcula el peso específico relativo aparente promedio del material pétreo, mediante la siguiente fórmula.

$$S_{dp} = \frac{100}{\frac{G}{S_{dg}} + \frac{F}{S_{dt}}}$$

donde:

S_{dp} peso específico relativo aparente promedio del material pétreo.

G es la proporción en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo, en por ciento.

S_{dt} peso específico relativo aparente de la fracción gruesa.

F es la proporción en peso de la fracción fina con respecto al material pétreo, en porcentaje.

S_{dt} es el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

Se obtiene la constante de superficie, K_m , para la combinación de las fracciones gruesa y fina mediante la siguiente fórmula:

$$K_m = K_f + K_{fc}$$

donde:

K_m es la constante de superficie del material pétreo integrado con sus fracciones fina y gruesa.

K_f es la constante de superficie para la fracción fina.

K_{fc} es la corrección a la constante de superficie de la fracción fina, determinada con la gráfica de la figura núm. 72

el valor de la constante K_{fc} se determina en función del área superficial del material, del porcentaje en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo y de la diferencia $K_g - K_f$, siendo el signo de esta diferencia el mismo que se da en la corrección K_{fc} y cuando el valor de K_{fc} es inferior a 0.05 no se aplica ninguna corrección a K_f , siendo en este caso el valor de K_m igual al de K_f .

De la gráfica de la figura núm. 73 y a partir del área superficial del material pétreo y tomando en cuenta el peso específico relativo aparente promedio S_{dp} del material pétreo, así como en función de la constante de superficie K_m , se obtiene el contenido óptimo aproximado de asfalto rebajado de fraguado medio o rápido, del grado dos (2), en por ciento.

Cuando se trate de cemento asfáltico o algún otro rebajado diferente de los indicados, se corrige la proporción óptima de asfalto mediante la gráfica de la figura núm. 74, como sigue: a partir del área superficial del material pétreo y del grado del rebajado o de la penetración del cemento asfáltico que se utilice, se determina un punto en la escala auxiliar **C** que unido con el punto de la escala **D** correspondiente al contenido óptimo de asfalto rebajado de grado dos (2), define en la escala **E** el contenido óptimo corregido para el material asfáltico seleccionado; esta será la que se aplique para elaborar la mezcla asfáltica.

Cuando se requiera determinar la proporción óptima aproximada de material asfáltico para una mezcla que se elabore con emulsión y no obstante que de acuerdo con el uso de dicha mezcla su proporción óptima de asfalto sea relativamente variada, se podrá aplicar el procedimiento de equivalente de queroseno centrifugado, excepto que la determinación de la proporción óptima corregida de emulsión asfáltica, se efectúa a partir del porcentaje de rebajado asfáltico tipo dos (2), obtenido con el EKC y multiplicando este valor por uno punto uno (1.1). Este resultado se ajustará de acuerdo con las restricciones que imponga el uso de la mezcla.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO EN EL PROYECTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR MEDIO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS (DOS VARIANTES)

APLICACIONES

Calcular en forma aproximada el contenido mínimo de asfalto necesario para cubrir las partículas del agregado pétreo en una mezcla con materiales graduados, dato necesario para verificar las pruebas de estabilidad.

Hacer correcciones en el contenido óptimo de asfalto durante el control de la elaboración de la mezcla, cuando se presentan variaciones apreciables en la composición granulométrica del agregado pétreo

VARIANTE UNO

Se aplica a materiales graduados que contienen finos; se basa en la estimación aproximada de la superficie total del agregado pétreo en función de su granulometría. Conocida el área total del agregado pétreo para un kilogramo de material se obtiene el contenido mínimo de asfalto multiplicando dicho valor por el índice asfáltico.

Para calcular la superficie total del agregado se emplean las constantes de área de la tabla 1. La determinación del porcentaje de asfalto se hará calculando los contenidos parciales para los tamaños indicados en dicha tabla, multiplicando el porcentaje de material de cada tamaño por la constante de área correspondiente y este producto a su vez se multiplicará por el índice asfáltico de la tabla 2 para cada una de las fracciones.

La suma de los contenidos parciales dará el contenido total de la muestra.

TABLA 1

MATERIAL		Constante de área, m ² /kg.
Pasa malla	Se retiene en la malla	
37.50 mm (1 1/2")	19.00 mm (3/4")	00.27
19.00 mm (3/4")	4.75mm (Núm. 4)	00.41
4.75mm (Núm. 4)	0.425mm (Núm. 40)	02.05
0.425mm (Núm. 40)	0.075mm (Núm. 200)	15.38
0.075mm (Núm. 200)		53.30

TABLA 2

MATERIAL	ÍNDICE ASFÁLTICO
Gravas o arenas de río o materiales redondeados, de baja absorción	0.0055
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de absorción media	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción	0.0080

VARIANTE DOS

Se aplica a materiales graduados que tienen pocos finos, con granulometría cercana al límite inferior de las especificaciones; se usa la siguiente fórmula:

$$A = 0.020 a + 0.045 b + cd$$

donde:

- A es el contenido de asfalto (expresado como cemento asfáltico), referido al peso del agregado.
- a es el por ciento de material retenido en la malla Núm. 10
- b es el por ciento de material que pasa la malla Núm. 10 y se retiene en la malla Núm. 20
- c es el por ciento de material que pasa la malla Núm. 200
- d coeficiente asfáltico que varía con las características del material, tabla 3

TABLA 3

MATERIAL	"d"
Gravas y arenas de río o materiales redondeados, de baja absorción	0.15
Gravas trituradas, de baja absorción	0.20
Rocas trituradas de absorción media	0.30
Rocas trituradas de alta absorción	0.35

Quando se utilice cemento asfáltico en la elaboración de la mezcla, el valor de A debe multiplicarse por 1.25

La corrección del contenido óptimo de asfalto para variaciones en la granulometría del agregado pétreo, se hace como sigue:

Se utilizan las constantes de las tablas 1 y 2 de la variante uno; dividiendo el contenido óptimo de asfalto determinado, entre la superficie total del agregado considerada para ese óptimo, se obtiene un valor promedio del índice asfáltico que será el que se utilice para calcular el nuevo contenido óptimo de asfalto.

CÁLCULO DEL CONTENIDO MÍNIMO DE ASFALTO POR MEDIO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS

EJEMPLO.- Suponga una mezcla de roca triturada de baja absorción, con arena de río para proporcionar los tamaños finos. Para simplificar el cálculo se puede considerar que la arena constituye todo el material que pasa la malla Núm. 4 y que los gruesos están constituidos en su totalidad por el material triturado. Los datos de la mezcla de materiales y de asfalto, son los siguientes:

MALLA NÚM.	% DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA
19.05 mm	100
12.70 mm	76
09.52 mm	62
NÚM 4	44
NÚM. 10	30
NÚM. 20	25
NÚM. 40	20
NÚM. 60	14
NÚM. 100	8
NUM. 200	5

PVSS = 1450 kg/m³

FR-3 con 69 % en peso de residuo asfáltico y densidad de 0.94

tamaño del material	% en peso	constante de área	superficie parcial, en m ² /kg.	Índice asfáltico, kg/m ²	Contenido parcial de asfalto,
19.05 MM a Núm. 4	56	0.41	$\frac{56 \times 0.41}{100} = 0.23$	0.0060	$0.23 \times 0.0060 = 0.00138$
Núm. 4 a Núm. 40	24	2.05	$\frac{24 \times 2.05}{100} = 0.492$	0.0055	$0.492 \times 0.0055 = 0.00271$
Núm. 40 a Núm. 200	15	15.38	$\frac{15 \times 15.38}{100} = 2.307$	0.0055	$2.307 \times 0.0055 = 0.01269$
Pasa Núm. 200	5	53.30	$\frac{5 \times 53.3}{100} = 2.665$	0.0055	$2.665 \times 0.0055 = 0.01466$
TOTAL	100		5.694		0.03144

El contenido de cemento asfáltico es de 0.031 kg., de cemento asfáltico por cada kg de material pétreo, esto es, 3.1 % en peso.

Contenido de asfalto FR-3 = $3.1/0.69=4.49$ de FR-3 en peso.

Contenido de producto asfáltico en volumen

$$= \frac{4.49}{0.94} \times \frac{1450}{1000} = 6.9\% \text{ de FR-3 en peso.}$$

= 69 litros de FR-3 por m³ de agregado

EJEMPLO DE CORRECCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR VARIACIONES EN LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO PÉTREO

El material que se utilizó en la determinación del contenido óptimo de asfalto, se compone de las siguientes fracciones:

MATERIAL QUE PASA LA MALLA	MATERIAL QUE SE RETIENE EN LA MALLA	% EN PESO
19.05 mm	NÚM. 4	56
NÚM. 4	NÚM. 40	24
NÚM. 40	NÚM. 200	15
NÚM. 200		5
		100

La superficie total del agregado fue de 5.694 m²/kg.

El contenido óptimo fue de 4.5 %

Se calcula el índice asfáltico promedio = $0.045/5.694=0.0079$

Suponiendo que la nueva composición granulométrica es:

MATERIAL QUE PASA LA MALLA	MATERIAL QUE SE RETIENE EN LA MALLA	% EN PESO	NUEVA SUPERFICIE
19.05 mm	NÚM. 4	50	0.205
NÚM. 4	NÚM. 40	20	0.410
NÚM. 40	NÚM. 200	18	2.768
NÚM. 200		12	6.396
		100	9.779

La nueva superficie total será de 9.779 m²/kg. Y el nuevo contenido óptimo de asfalto será de:

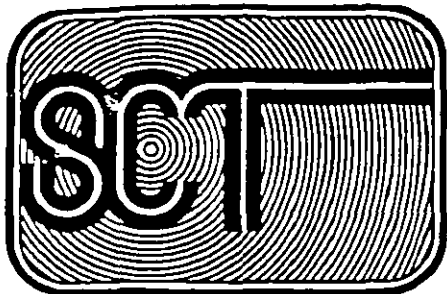
$9.779 \times 0.0079 = 0.0773 = 7.73\%$ en peso de cemento asfáltico.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES
para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997

**Guía General Tentativa para el Uso de los Nuevos
Asfaltos que produce PEMEX**



**SUBSECRETARIA
DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS**

**GUIA GENERAL TENTATIVA PARA EL USO DE LOS NUEVOS
ASFALTOS QUE PRODUCE PEMEX**

JUNIO DE 1996

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

GUIA GENERAL TENTATIVA PARA EL USO DE LOS NUEVOS ASFALTOS
QUE PRODUCE PEMEX

1. ANTECEDENTES

Durante más de 40 años, PEMEX ha fabricado el cemento asfáltico - núm. 6 para mezclas en caliente, asfalto rebajado FR-3 para mezclas en el lugar con motoconformadora, para carpetas de riegos superficiales y para riegos de liga, así como también el asfalto rebajado FM-1 para riegos de impregnación de las bases hidráulicas.

Los resultados obtenidos con estos asfaltos en obras de pavimentación convencionales han sido en general adecuados, con excepción de los dos casos que se citan enseguida, especialmente en los últimos años de la red troncal de carreteras, al tener que soportar altas intensidades de tránsito.

1.1 Aunque el cemento asfáltico núm. 6 (CA-6) es aplicable a los requerimientos promedio de uso en el país, no puede abarcar toda la diversidad de condiciones de trabajo que se presentan en los pavimentos que se construyen en las distintas regiones, principalmente por lo que se refiere a tránsitos (volúmenes y cargas por eje), climas, materiales y procedimientos constructivos.

1.2 Por otra parte, el sistema de mezcla asfáltica elaborada en el lugar o en plataforma, empleando asfalto rebajado FR-3 y motoconformadora, que se utilizó desde 1948, aproximadamente, en la construcción y mantenimiento de carpetas asfálticas tanto de carreteras federales como de estatales y de alimentadoras, dio buenos resultados durante un lapso considerable.



mientras el tránsito fue más bien bajo. Sin embargo, este sistema es hoy totalmente inapropiado y fuera de lugar, por las razones siguientes:

- 1.2.1 Baja calidad y mal comportamiento de estas mezclas asfálticas para las condiciones impuestas de tránsitos actuales elevados.
- 1.2.2 Costos comparativos cercanos, similares o aún más altos, a los de las técnicas más avanzadas, como la mezcla asfáltica elaborada en planta, en caliente, si se toma en cuenta el servicio, comportamiento y duración de ambos tipos de mezclas asfálticas.
- 1.2.3 Desperdicio de recursos no renovables, que implica el uso de solventes a base de gasolinas, los cuales originan adicionalmente la inestabilidad de la carpeta asfáltica, cuando quedan atrapados en cantidades excedidas.
- 1.2.4 Reducción en la calidad de estas mezclas asfálticas al quedar expuestas a los efectos perjudiciales del medio ambiente, el cual recibe a su vez la inducción de contaminantes no controlables, que originan un impacto muy desfavorable en la ecología del lugar.
- 1.2.5 Fuertes interferencias al tránsito en los trabajos de conservación, que afectan la buena operación de las carreteras, sobre todo las de alta circulación.

2. SITUACION ACTUAL DE LOS ASFALTOS

2.1 Disponibilidad y demanda

El mayor consumo de combustibles en nuestro país, así como la naturaleza de los crudos pesados que en su mayor parte se utilizan para producirlos mediante el proceso de refinación - -



...

(procedentes de la sonda de Campeche), han proporcionado una mayor disponibilidad de residuo asfáltico, mismo que se está utilizando tanto para consumo nacional como para fines de exportación. Ahora bien, la demanda principal que se tiene de este producto en el extranjero proviene de los Estados Unidos, país que exige el cumplimiento de las Normas ASTM 1992 grado viscosidad, las cuales parecen explicar mejor el manejo y comportamiento del asfalto en obra, respecto a las normas vigentes de la SCT grado penetración.

Debido a lo antes expuesto, PEMEX ha visto la necesidad de - unificar la producción de cementos asfálticos para satisfacer ambas demandas y asimismo, ha determinado suspender la producción de los asfaltos rebajados FR-3 y FM-1 atendiendo seguramente a razones económicas, logísticas y de mejor aprovechamiento de recursos no renovables.

2.2 Impulso a la tecnología

Lo anterior permite también impulsar la tecnología de los asfaltos en México, al contar con mayor diversidad y una aplicación más racional de ellos.

2.3 Producción futura

Aunque en la actualidad PEMEX sólo está produciendo en sus refineries de Madero, Cadereyta y Salina Cruz los cementos asfálticos AC-20 y AC-30 de ASTM y sigue fabricando el CA-6 únicamente en Salamanca, pretende iniciar en fecha próxima (un mes) la producción de dichos cementos asfálticos con clasificación AC en la refinería de Tula, Hgo. Así también, se considera factible que PEMEX pueda elaborar en sus refineries, en un lapso razonable, los cementos asfálticos AC-10 y AC-5, este último especialmente para emulsiones.



...

2.4 Uso de emulsiones

Por otra parte, la falta de los asfaltos rebajados FM-1 y FR-3 utilizados en riegos de impregnación y de liga, carpetas de riegos superficiales, mezclas asfálticas, etc., puede resolverse con el empleo de emulsiones asfálticas de buena calidad y tipo apropiado a la obra correspondiente, ajustadas a las necesidades nacionales, a las normas que se fijen al respecto, siguiendo procedimientos constructivos adecuados y tomando en cuenta los nuevos programas de producción de PEMEX en cuanto a los cementos asfálticos.

3. CONCLUSIONES

Se dan enseguida las principales conclusiones que se derivan de lo antes expuesto:

- 3.1 Las medidas adoptadas por PEMEX en cuanto a la producción de asfaltos se consideran justificadas y benéficas para el país porque significan la entrada de divisas y el impulso a la tecnología de los asfaltos en nuestro medio.
- 3.2 Además del uso adecuado de los nuevos cementos asfálticos, debe mejorarse la calidad y diversidad de las emulsiones asfálticas, así como su aprovechamiento, puesto que constituyen con ventaja el sustituto natural de los asfaltos rebajados, en los trabajos de pavimentación consistentes en riegos superficiales, morteros y mezclas asfálticas, sellos premezclados, elaborados los tres últimos, siempre en planta, en frío.
- 3.3 Es necesario llevar a cabo una cuidadosa evaluación y seguimiento del comportamiento de las obras que se construyan con los nuevos cementos asfálticos y emulsiones utilizados en lo venidero, a fin de efectuar en su oportunidad los ajustes que sean pertinentes, relacionados principalmente con el tipo apropiado de asfalto, cantidad óptima del mismo, materiales pétreos y procedimientos constructivos recomendables.



...

4. RECOMENDACIONES GENERALES

Las recomendaciones generales que pueden hacerse con carácter tentativo, sobre el manejo y uso de los nuevos asfaltos, se citan a continuación:

4.1 Distribución de cementos asfálticos, base viscosidad

Asfalto	Región que se recomienda para uso tentativo
- AC-5	Para elaboración de emulsiones asfálticas en general y para concretos asfálticos que se utilicen en algunas partes de la Sierra Madre Occidental comprendidas en los estados de Durango y Chihuahua.
- AC-10 (equivalente al CA-6)	Para la región central y altiplano de la República.
- AC-20	Para el sureste de la República y las regiones costeras del Golfo y del Pacífico, hasta el estado de Sinaloa, incluyendo también Baja California Sur.
- AC-30	Para la región Norte y Noroeste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

La distribución anterior se basa principalmente en condiciones climáticas, y no incluye otras variables muy importantes como son los tipos de agregados pétreos, intensidad de tránsito, etc., por lo que deben tomarse en cuenta adicionalmente las siguientes recomendaciones:

...

- . Emplear materiales pétreos sanos, limpios y bien graduados.
- . Utilizar procedimientos constructivos adecuados en lo que se refiere especialmente al mezclado, tendido y compactación de las capas asfálticas, aplicando también las temperaturas apropiadas a la viscosidad de los asfaltos.
- . Prever el uso de cementos asfálticos modificados con algún aditivo, cuando las condiciones propias de la obra así lo ameriten.
- . Llevar a cabo una evaluación y seguimiento cuidadoso sobre el comportamiento de las obras de pavimentación que se construyan con los nuevos cementos asfálticos, a fin de ir formando la experiencia mexicana, que incluya las condiciones reales de nuestro medio y que permita en el futuro próximo tomar decisiones cada vez más acertadas relativas a la ejecución de este tipo de obras.

4.2 Aplicaciones de los nuevos cementos asfálticos y de las emulsiones asfálticas.

Cemento asfáltico o emulsión

Trabajos que se recomiendan en forma general

- AC-5, AC-10, AC-20 y AC-30 (solos o bien modificados)

Para concretos asfálticos en las regiones antes señaladas y para carreteras de alta circulación - (en intensidad de tránsito y cargas por eje).

- Emulsiones asfálticas catiónicas:

- . Fraguado lento o superestable

Para riegos de impregnación de bases hidráulicas.



...

- | | |
|--------------------------|--|
| . Fraguado rápido | Para riegos de liga, carpetas asfálticas de riegos superficiales y riegos de sello convencionales. |
| . Fraguado medio o lento | Para carpetas asfálticas de mezcla en planta, en frío, y para carreteras con tránsito máximo de 2000 vehículos diarios y 20% de pesados - (tentativo), incluyendo trabajos de conservación como bacheos, <u>reni</u> velaciones y sobrecarpetas. |

En la presente guía general se han tratado de proporcionar las ideas fundamentales para la aplicación y uso correcto de los nuevos cementos asfálticos que PEMEX ya está produciendo y asimismo, para tratar de resolver la problemática originada por la suspensión por parte de - PEMEX de la elaboración de los asfaltos rebajados FR-3 y FM-1, ya - que ambos aspectos influyen sustancialmente en los estudios, proyectos, construcción y conservación de las obras de pavimentación a cargo (la SCT. Sin embargo, se considera necesario insistir en la importancia que tiene la buena selección del producto asfáltico adecuado, según las condiciones particulares de cada obra y también, en la oportuna evaluación y seguimiento del comportamiento del pavimento construido, con objeto de formar la experiencia nacional a corto plazo.

Ciudad de México, 20 de Junio de 1996



ODBR'JERM'mrb



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES
para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997

- Propiedades de los Asfaltos -

PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS

- DURABILIDAD
- ADHESION Y COHESION
- SUSCEPTIBILIDAD A LA TEMPERATURA
- ENDURECIMIENTO Y ENVEJECIMIENTO

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

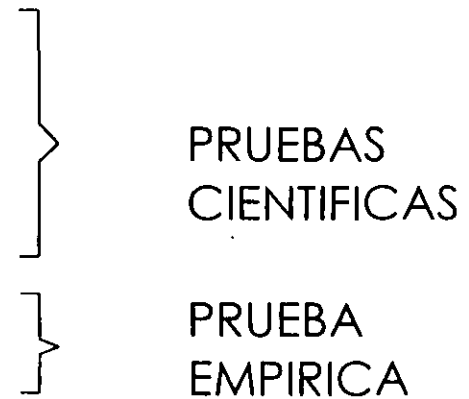
- GRANULOMETRIA
- LIMPIEZA
- DUREZA
- TEXTURA SUPERFICIAL
- FORMA DE LA PARTICULA
- ABSORCION
- AFINIDAD CON EL ASFALTO
- GRAVEDAD ESPECIFICA
- TAMAÑO MAXIMO Y NOMINAL

METODOS DE CLASIFICACION DE ASFALTOS

* VISCOSIDAD

* VISCOSIDAD DESPUES DE
PELICULA DELGADA

* PENETRACION



PENETRACION	40	25	20
NUEVA CLASIFICACION	AR - 2000	AR - 4000	AR - 8000
VISCOSIDAD DINAMICA	1500 - 2500	3000 - 5000	6000 - 10,000

EMULSIONES ASFALTICAS

VENTAJAS:

- * NO NECESITAN CALENTAMIENTO
- * PUEDEN UTILIZARSE EN CONDICIONES CLIMATOLOGICAS MAS FAVORABLES
- * SE APROVECHAN MEJOR LOS EQUIPOS CONSTRUCTIVOS AL NO HABER TIEMPOS MUERTOS POR LA PERDIDA DE SOLVENTES
- * PUEDEN OBTENERSE MEJORES MEZCLAS Y DE MAYOR CALIDAD QUE LAS OBTENIDAS CON REBAJADOS ASFALTICOS

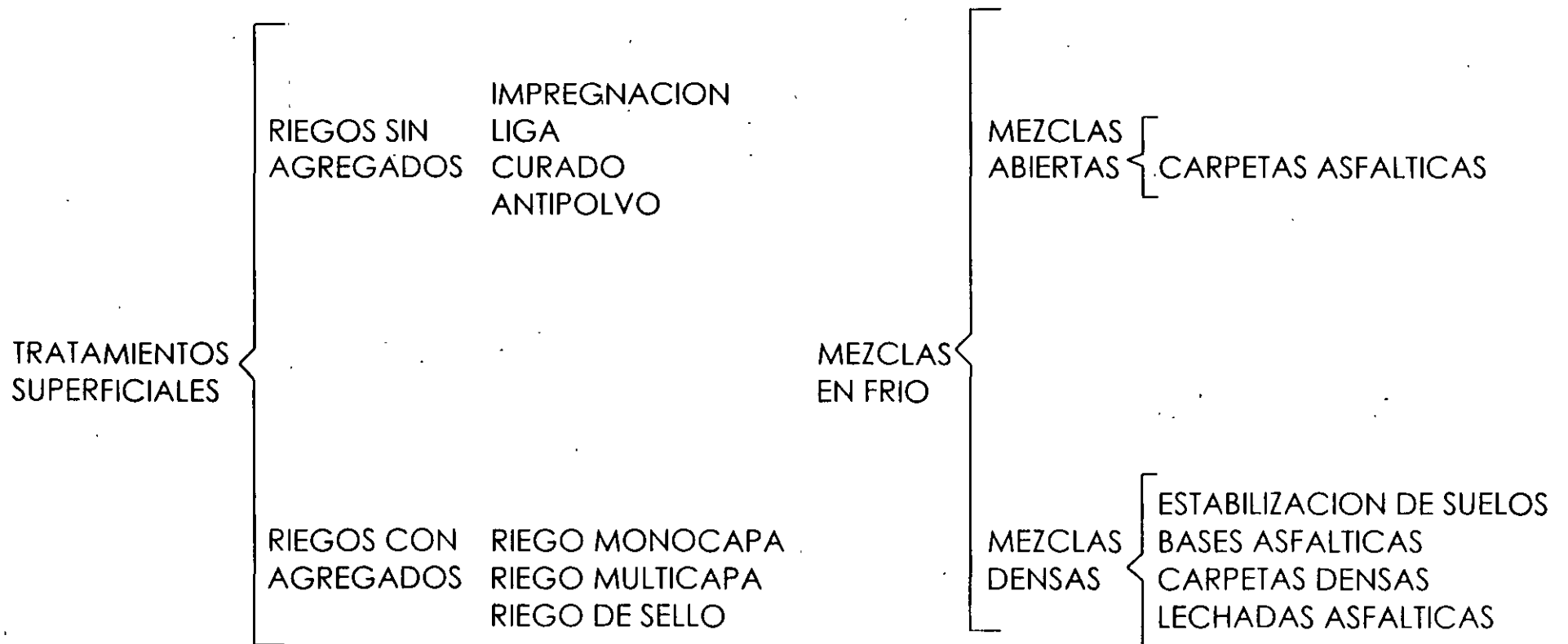
EMULSIONES ASFALTICAS
DESARROLLO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA

- * MEJORAMIENTO DE LOS TIPOS DE EMULSIONES
- * SIMPLICIDAD DE LOS EQUIPOS CONSTRUCTIVOS
- * VERSATILIDAD ANTE CLIMAS Y MATERIALES
- * AHORRO ENERGETICO
- * REDUCCION DE LA CONTAMINACION

**EJEMPLO DE LA RESISTENCIA ESPERADA EN MEZCLAS ASFALTICAS
ELABORADAS CON ASFALTOS DE DISTINTA DUREZA**

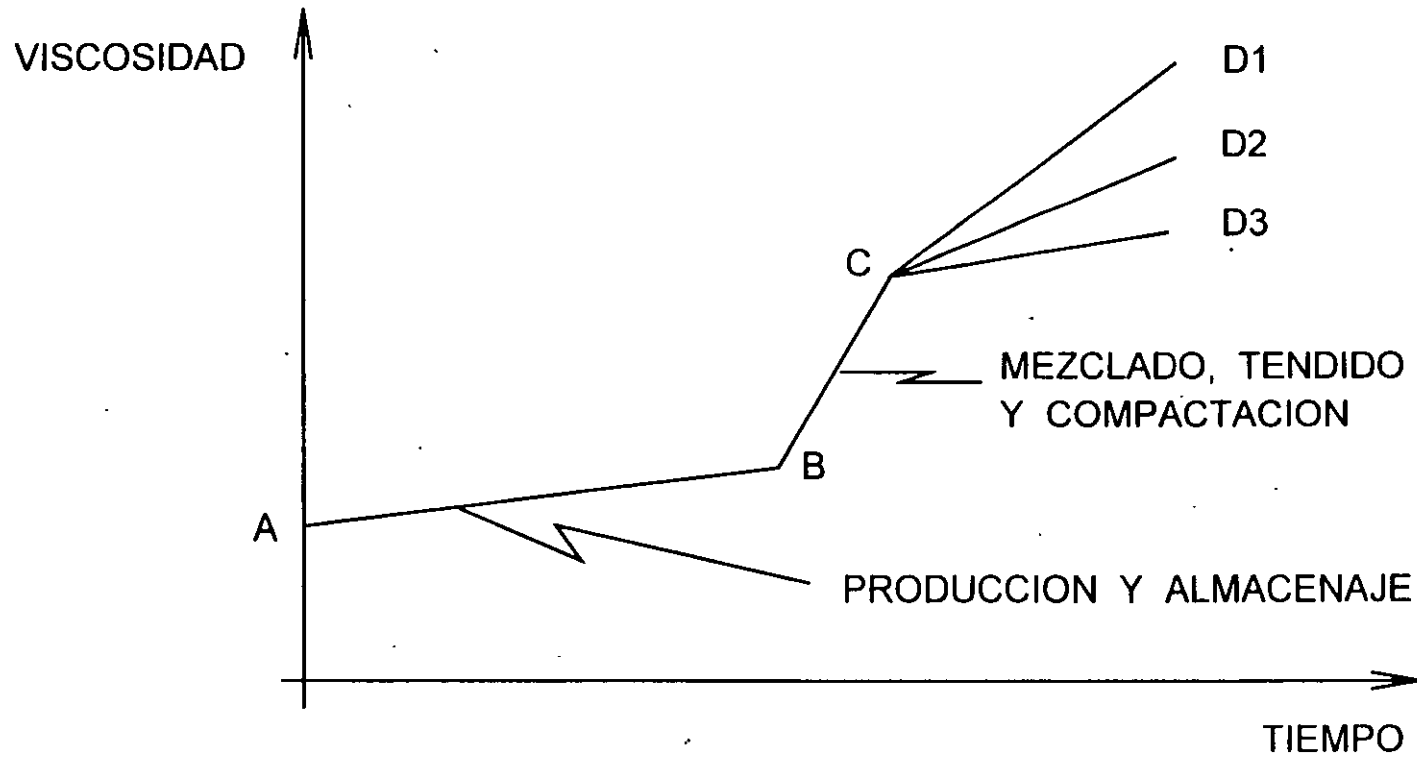
	CEMENTO ASFALTICO CA-6	REBAJADO ASFALTICO FR-3	EMULSION ASFALTICA RL-3K
PENETRACION INICIAL	100	120	100
PENETRACION EN LA OBRA	55	120	90
RESISTENCIA A COMPRESION EN Kg/cm ²	30	10	20

UTILIZACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS



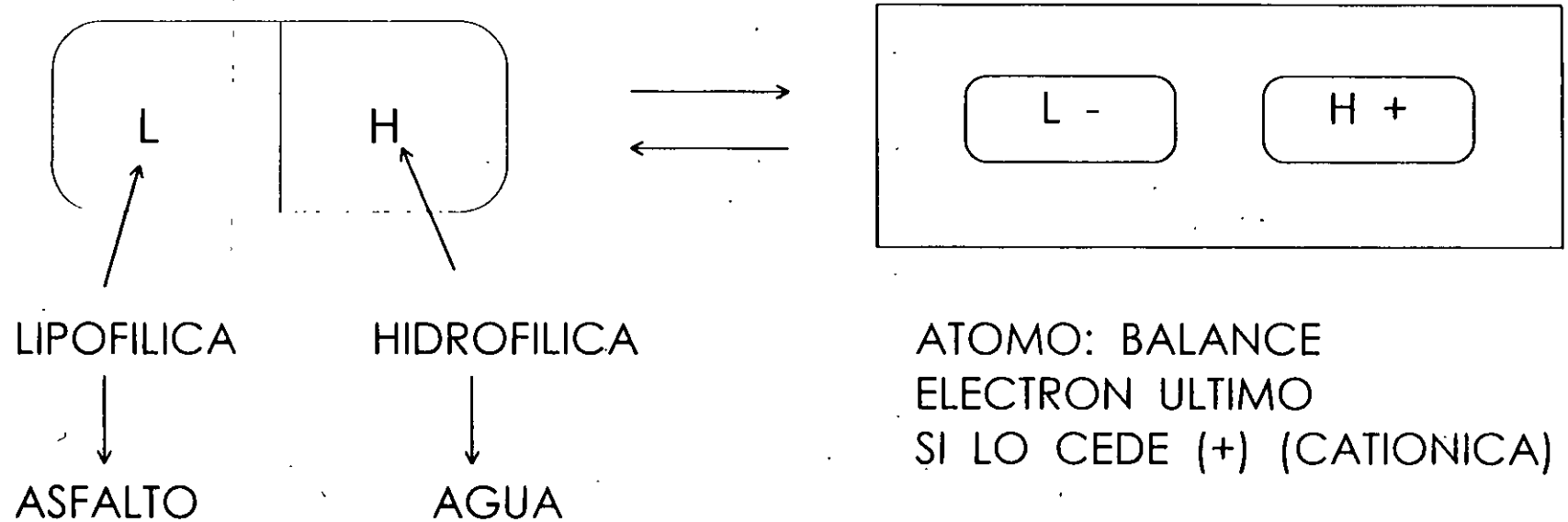
VARIACION DE LA VISCOSIDAD DE LOS ASFALTOS

DURANTE SU UTILIZACION



EMULSIFICANTE (TENSOACTIVO)

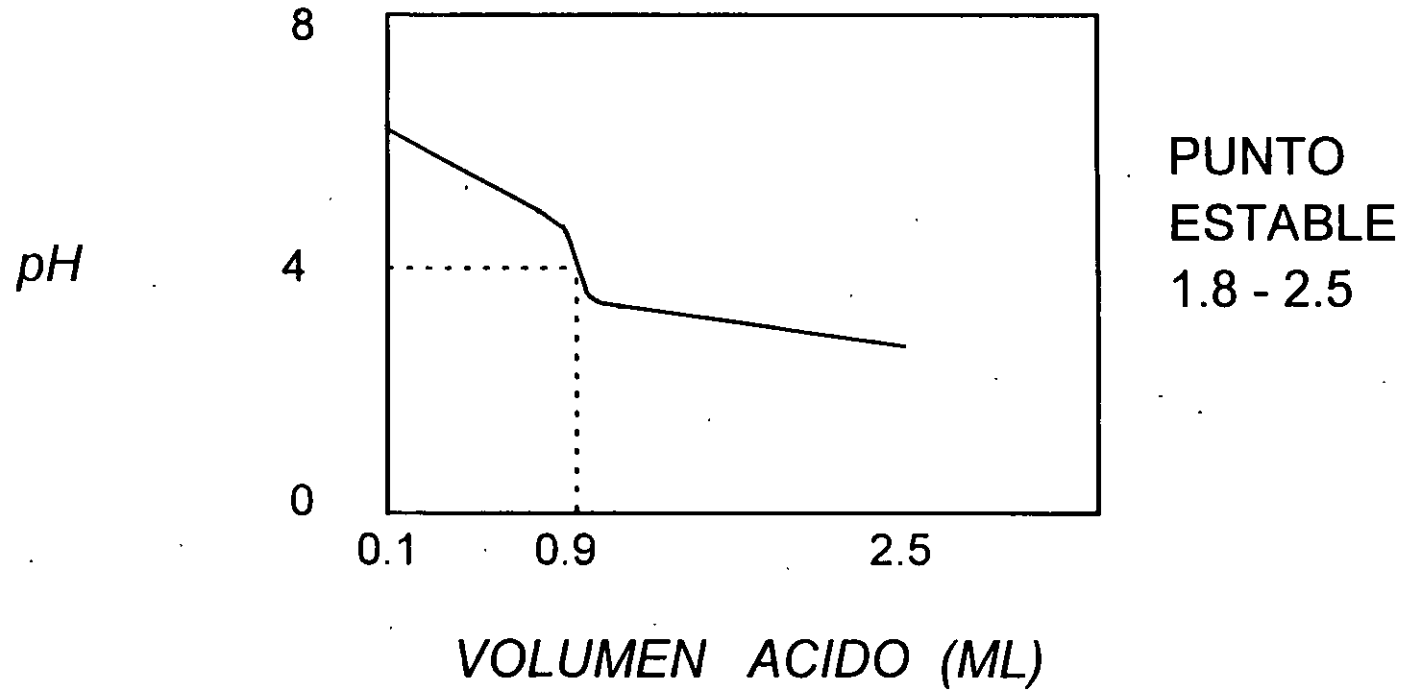
ACCION: MODIFICAR LA TENSION SUPERFICIAL DEL AGUA
(EJEMPLO: BAÑO - JABON - AGUA - REMOVER GRASA)



LA LIGA SE ESTABLECE A TRAVES DEL ACIDO

- FACILITA DISPERSION
- EVITA AGLOMERACION
- PUENTE QUIMICO

CURVA DE NEUTRALIZACION



USO DE AGUAS
DURAS

► SUBE EL pH

pH < 2
PROBLEMAS DE
ADHESIVIDAD

ELABORACION DE EMULSIONES

- *MOLIENDA*

FUERZA DE CORTE → CALIDAD

SEPARACION ROTOR Y ESTATOR

(CUIDAR QUE NO SE FORCE → AMPERIMETRO)

REVOLUCIONES: 3,500 rpm MOTOR: 30 - 125 CF

COMUN: 50 CF

- *TEMPERATURA DEL ASFALTO: AC 20 - 140 °C*

TEMPERATURA DE LA SOLUCION JABONOSA: 40 - 60 °C

APLICAR LA REGLA DEL 200

PROBLEMAS DE EBULLICION DEL AGUA

- *DUREZA DEL AGUA: 300 - 500 rpm (ADECUADA)*

12

MAYOR CONTENIDO DE ASFALTO A 68%

EFFECTOS: ALTA VISCOSIDAD
POCA SEDIMENTACION
PROBLEMAS DE MANEJO

ADICION DE SOLVENTES AL ASFALTO

EFFECTOS: GRANULOMETRIA UNIFORME
DIAMETRO DE PARTICULAS PEQUEÑO
MAYOR VISCOSIDAD
MENOR ASENTAMIENTO

FACTORES PARA SELECCIONAR UNA EMULSION

- TIPO DE CONSTRUCCION
- TIPO Y DISPONIBILIDAD DE AGREGADOS
- DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO DE CONSTRUCCION
- UBICACION GEOGRAFICA
- CONTROL DE TRAFICO
- CONDICIONES AMBIENTALES

FACTORES DE ROMPIMIENTO

- COMPOSICION
- TIPO DE EMULSION
- NATURALEZA DEL PETROLEO
- TEMPERATURA
- CONDICIONES DE HUMEDAD

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

- SIN AGREGADO
- CON AGREGADO

USOS:

- PROTECCION
- SUPERFICIE ANTIDESLIZANTE
- REJUVENECIMIENTO DE SUPERFICIE
- COBERTURA TEMPORAL EN BASE
- PROTECCION TEMPORAL DE PAVIMENTOS DETERIORADOS
- DEFINIR ACOTAMIENTOS
- SUMINISTRAR FRANJAS RUIDOSAS

CARACTERISTICAS IDEALES EN RIEGO DE SELLO

- CUMPLIR ESPECIFICACIONES DEL AGREGADO
- VISCOSIDAD ADECUADA
- BUENA HUMECTACION DE AGREGADOS
- BUENA ADHESIBILIDAD
- ROTURA RAPIDA DE LA EMULSION
- FRAGUADO RAPIDO DEL ASFALTO

RIEGO DE SELLO CON EMULSION

REVISAR:

CONDICIONES CLIMATICAS

- BAJA HUMEDAD RELATIVA
- TEMPERATURA SUPERIOR A 20°C.

CONDICIONES DEL PETREO

- CUMPLIR ESPECIFICACIONES
- LAVADO DE MATERIALES

PROBLEMAS COMUNES

- PERDIDA DE AGREGADO
- RAYADO
- SANGRADO

CONDICIONES DE LA EMULSION

- CONTROL DE CALIDAD
- APLICACION EN FRIO O CALIENTE
- EVITAR RECALENTAR EMULSION
- EVITAR BAJAS TEMPERATURAS
- EVITAR CAMBIOS DE pH AL DILUIR
- CONTROL DE VISCOSIDAD
(CANTIDAD DE ASFALTO)
- CONTROL DE ROMPIMIENTO (pH)

IMPREGNACION CON EMULSION

FUNCIONES: PROTEGER
 IMPERMEABILIZAR
 PREPARAR Y LIGAR

SE REQUIEREN GLOBULOS MAS PEQUEÑOS: 4 - 8 MICRAS

ADICIONAR ADITIVO ORGANICO AL ASFALTO
(RECOMENDADO: 15% EMULREC)

NECESARIO: MENOR CONTENIDO DE ASFALTO
(DILUCIONES)

MICROCARPETAS

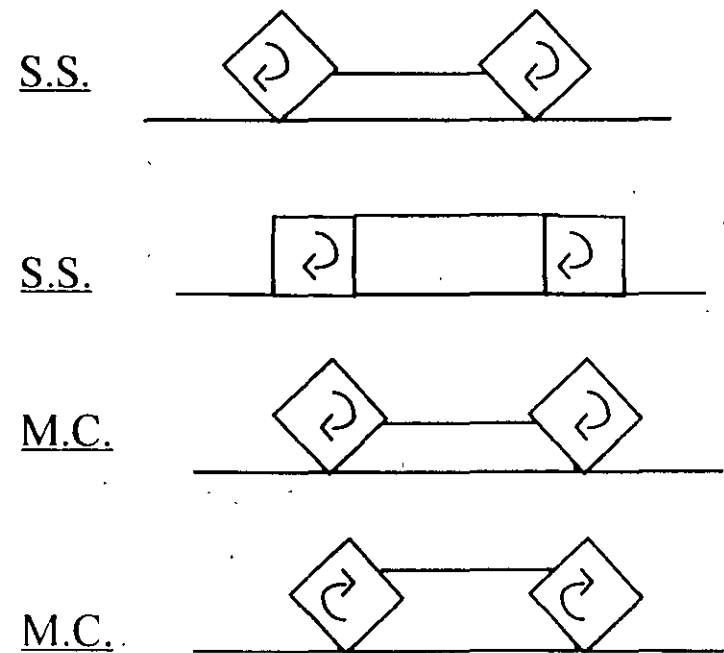
MEZCLA DE AGREGADOS CON EMULSION EN EL SITIO.

PREMISA: EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO ES MENOS COSTOSO QUE EL CORRECTIVO.

VENTAJAS

- ALTA RESISTENCIA A FRICCIÓN
- MEJORAMIENTO DE PERFIL
- PROTEGE CONTRA OXIDACION
- RAPIDA APLICACION Y APERTURA AL TRANSITO
- NO HAY DESPRENDIMIENTOS
- BUENA ADHESION AL ASFALTO Y AL CONCRETO HIDRAULICO
- EXPECTATIVA DE VIDA: 8-10 AÑOS

DIFERENCIAS CON SLURRY SEAL





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES
para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997

Emulsiones Asfálticas

MATERIAL DIDÁCTICO PREPARADO POR
LA EMPRESA "QUIMIKAO"
KM 22.5, CARRETERA GUADALAJARA - EL SALTO
45680, EL SALTO, JALISCO
TEL.: (3) 688-0422
TELEFAX: (3) 688-0861

Representante Técnico: *Ing. René Preza*

INDICE

1. INTRODUCCION	1
2. TEORIA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS	2
2.1 GENERALIDADES	2
2.1.1. <i>Asfalto</i>	2
2.1.2. <i>Emulsificantes</i>	4
2.1.3. <i>Agregados pétreos</i>	7
2.1.4. <i>Emulsión Asfáltica y Agregados Pétreos</i>	8
2.2 <i>CARACTERISTICAS Y CLASIFICACION</i>	10
2.3 <i>VENTAJAS DEL USO DE EMULSIONES ASFALTICAS</i>	13
2.4 <i>CONTROL DE CALIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS</i>	14
2.4.1 <i>Carga de la Partícula</i>	14
2.4.2 <i>Residuo por Evaporación</i>	15
2.4.3 <i>Viscosidad</i>	17
2.4.4 <i>Asentamiento</i>	18
2.4.5 <i>Retenido en Malla No. 20</i>	19
2.4.6 <i>Prueba de mezcla con Cemento</i>	19

3. FABRICACION DE EMULSIONES EN PLANTA.....	22
3.1. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO	36
4. APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	37
4.1. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	37
4.1.1. <i>Uso de los Tratamientos Superficiales</i>	38
4.1.2. <i>Procedimiento de Aplicación</i>	38
4.2. RIEGO DE GRAVILLAS	39
4.2.1. <i>Condiciones de Aplicación</i>	40
4.2.2. <i>Procedimiento de Aplicación</i>	40
4.2.3. <i>Recomendaciones Generales</i>	41
4.3. EMULSIONES ESPECIALES PARA RIEGO DE IMPREGNACION.....	41
4.3.1. <i>Recomendaciones</i>	44
4.4. MORTERO ASFALTICO (SLURRY SEAL).....	45
4.4.1. <i>Características y Usos del Slurry Seal</i>	46
4.4.2. <i>Componentes</i>	48
4.4.3. <i>Condiciones Ambientales</i>	49
4.4.4. <i>Ventajas del Slurry Seal sobre el riego de gravilla</i>	49
4.4.5. <i>Prueba de Cohesión</i>	50

5. MEZCLAS ASFALTICAS.....	52
5.1 MEZCLA EN EL LUGAR O PLATAFORMA.....	52
5.1.1. <i>Elaboración y Aplicación de la Mezcla</i>	53
5.1.2. <i>Observaciones</i>	54
5.2. MEZCLAS EN PLANTAS ESTABILIZADORAS.....	55
5.2.1. <i>Procedimiento de Fabricación</i>	56
5.2.2. <i>Observaciones</i>	56
5.3. METODO DE DISEÑO PARA MEZCLAS ASFALTICAS	57

1. INTRODUCCION

Las técnicas de pavimentación donde se utiliza el asfalto como agente ligante han estado en constante desarrollo con la finalidad de mejorar la calidad y el periodo de vida de los caminos, así como facilitar el trabajo del constructor.

Durante mucho tiempo los asfaltos obtenidos del subsuelo fueron diluidos con solventes derivados del petróleo para obtener un producto más manejable, sin embargo, estos solventes son cada vez más difíciles de obtener y por consecuencia más caros, teniendo además el inconveniente de producir una considerable contaminación ecológica, así como riesgos en el trabajo.

Debido a lo anterior, actualmente se utiliza el agua como solvente, logrando una compatibilidad con el asfalto por medio de la aplicación de técnicas de emulsificación, siendo además esta opción, una buena respuesta a la crisis mundial de energía y a la preservación del medio ambiente.

2. TEORIA DE EMULSIONES ASFALTICAS

2.1 GENERALIDADES

Las emulsiones asfálticas comenzaron a utilizarse para la construcción y mantenimiento de carreteras a principios de este siglo. Al inicio, su crecimiento fue lento debido a la falta de conocimientos sobre su aplicación, sin embargo, actualmente el uso de las emulsiones asfálticas comprende una gran variedad de aplicaciones, desde tratamientos superficiales, mantenimiento de carreteras (bacheo), carpetas asfálticas, slurry seal y riegos de gravillas entre otros.

Para obtener excelentes resultados en la aplicación de una emulsión asfáltica es necesario seleccionar la emulsión adecuada para cada agregado pétreo y el equipo de aplicación apropiado.

Las emulsiones asfálticas son versátiles, económicas y no contaminantes, además de su fabricación y aplicación se obtiene un importante ahorro de energía. Pueden ser utilizadas en frío e incluso con materiales pétreos húmedos.

2.1.1 *Asfalto*

El asfalto es una mezcla de hidrocarburos que incluye grupos alifáticos saturados o parafinas, grupos nafténicos o cicloparafinas, grupos compuestos de anillos aromáticos y grupos alifáticos con enlaces dobles olefinicos.

Existen además numerosos componentes en el asfalto, tales como compuestos de nitrógeno, azufre, oxígeno y varios metales.

Típicamente los constituyentes del asfalto se dividen en asfaltenos (constituyentes sólidos, de alto peso molecular) y los maltenos (aceites de bajo peso molecular).

Los asfaltenos aportan la dureza al asfalto, mientras que los maltenos aportan las propiedades de ductilidad y adhesividad. Los aceites y resinas que están presentes influyen en la viscosidad o en las propiedades de flujo del asfalto. Debido a la compleja interacción de las diferentes sustancias en el asfalto es prácticamente imposible predecir con exactitud su comportamiento, especialmente en las emulsiones asfálticas.

En esencia, el asfalto es una estructura coloidal o una emulsión donde los maltenos son la fase continua y los asfaltenos son la fase discontinua. Existen también algunos constituyentes aromáticos que se encuentran dispersos en la fase de los maltenos.

Como se mencionó anteriormente la consistencia, la fuente y la composición del asfalto son variables, lo cual afecta directamente el funcionamiento del asfalto como interfase con el agregado.

En las emulsiones asfálticas, un factor muy importante es la calidad del asfalto utilizado ya que comprende más del 60 % del producto final. El asfalto y el emulsificante deben de visualizarse como un sistema que en conjunto funciona como agente ligante. Ya que el asfalto debe de enlazarse con el agregado, es también un punto crítico la selección apropiada del agregado.

Las mezclas bituminosas usadas para la construcción de caminos están constituidas básicamente por un sistema de dos fases, el asfalto (agente ligante) y el agregado. En tal sistema, la función principal del asfalto es la de formar un enlace adhesivo con el agregado, lo cual se logra mediante una interacción mecánica o química.

Una interacción mecánica es el enlace de dos componentes a través de una interfase o superficie. Este tipo de acción es importante cuando una de las sustancias es porosa y la otra puede penetrar los poros y solidificarse. Un segundo tipo de interacción mecánica depende de la resistencia friccional debida a la presión ejercida de un componente alrededor del otro.

Un enlace químico en la interfase se desarrolla al humedecer una superficie sólida con un líquido (el asfalto puede considerarse como un líquido). Una vez que se obtiene el contacto molecular las dos fases pueden interactuar a través de fuerzas intermoleculares. La fuerza de la interacción depende del tipo de enlace químico formado. El enlace químico se puede clasificar en un enlace primario o un enlace secundario. Un enlace primario puede ser iónico, covalente o metálico.

El enlace iónico se forma debido a interacciones electrostáticas entre átomos altamente electronegativos y electropositivos. Un elemento electronegativo dona electrones a los átomos electropositivos formando iones que son responsables del enlace electrostático.

El enlace covalente se obtiene cuando un electrón es compartido por dos átomos. La capa electrónica de los átomos pierde su identidad y forma un orbital molecular alrededor de los núcleos de los átomos que están interactuando.

Un enlace metálico es similar al enlace covalente en donde los electrones son compartidos por los núcleos de varios átomos.

La calidad o durabilidad del enlace dependerá de las propiedades del asfalto, del agregado y de las condiciones bajo las cuales se forma el enlace.

2.1.2 Emulsificantes

Las propiedades de una emulsión asfáltica dependen en gran medida del emulsificante a utilizar. Un emulsificante es un agente tensoactivo que modifica la tensión superficial en la interface entre las partículas de asfalto y de agua, por lo que mantiene los glóbulos de asfalto estables en suspensión y controla el tiempo de rompimiento.

Un producto químico que sea utilizado como emulsificante debe tener en su estructura química dos zonas perfectamente definidas, una parte hidrófoba o apolar (repelente al agua) y una parte hidrófila o polar (afin al agua). Este comportamiento permite obtener una dispersión estable del asfalto en el agua, obteniendo así la emulsión deseada.

La parte polar de la molécula del emulsificante asfáltico presenta cargas libres muy positivas o muy negativas, por lo que los emulsificantes deberán encontrarse en forma de sales para obtener su funcionamiento como tales.

La mayoría de los emulsificantes catiónicos son principalmente aminas grasas, además de amidoaminas e imidazolininas.

Las aminas son principalmente convertidas en sales mediante la reacción con ácido clorhídrico.

Las sales cuaternarias de amonio son utilizadas normalmente como aditivos. son sales solubles en agua, que no requieren la adición de ácido, presentan estabilidad y son efectivas.

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que la emulsión asfáltica es una dispersión de una fase orgánica o aceitosa líquida (asfalto) en otra fase líquida (agua) en forma de pequeños glóbulos (Fig. 1).

Esta dispersión se obtiene por medios mecánicos (molino coloidal) y por medios fisicoquímicos que consisten en la adición de agentes emulsificantes.

La presencia del agente emulsificante facilita la dispersión inicial del asfalto en el agua y evita que las partículas formadas vuelvan a unirse. Cuando este fenómeno ocurre, se dice que la emulsión ha roto.

Existen muchos factores que pueden afectar la estabilidad de las emulsiones, sin embargo, en la práctica la rotura de la emulsión ocurre al contacto de ésta con las superficies minerales de los materiales pétreos y/o a la evaporación del agua de la emulsión (Fig. 2).

Una vez rota la emulsión, el asfalto queda firmemente adherido al material pétreo debido a la acción del agente emulsificante ya que éste forma un puente químico entre ambas superficies.

El rompimiento de una emulsión es el proceso de deposición del asfalto en la superficie del material de construcción.

Debido a que todos los materiales presentan características superficiales distintas, se requiere de una emulsión diferente en cada caso.

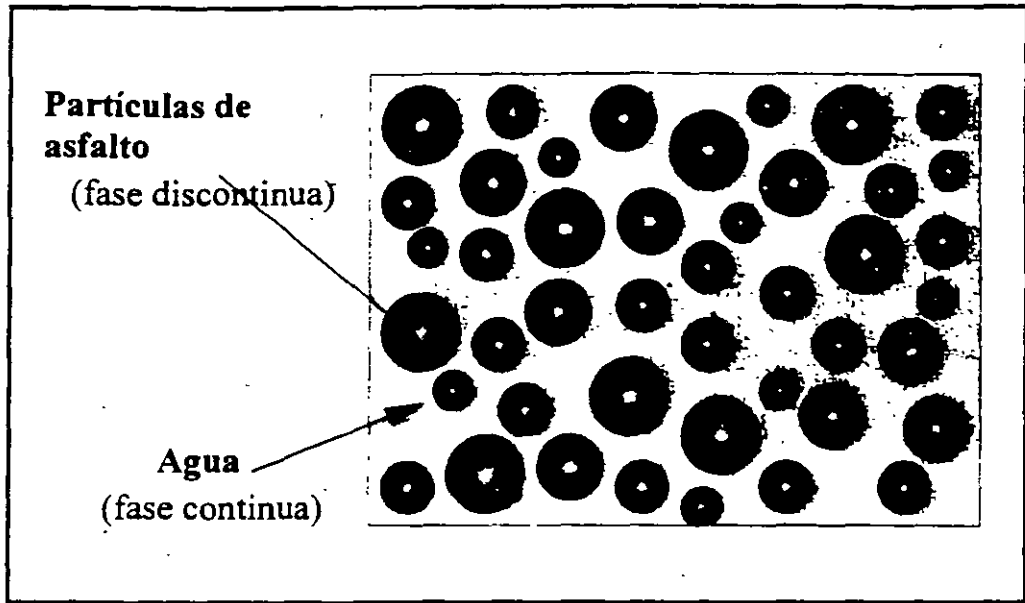


Figura 1.- Emulsión asfáltica

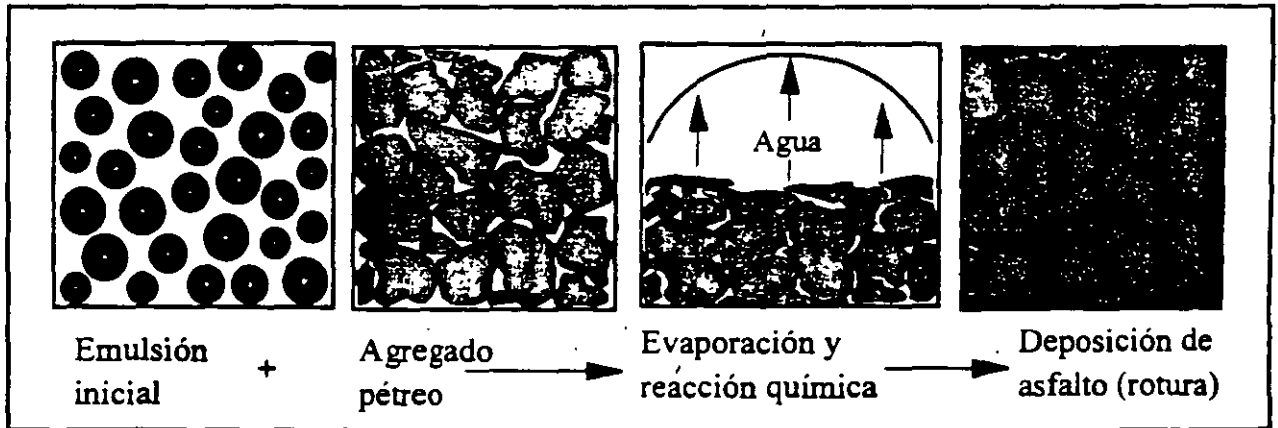


Figura 2.- Rompimiento de una Emulsión Asfáltica

2.1.3. Agregados Pétreos

Los materiales pétreos se combinan con asfaltos para preparar mezclas con diversas aplicaciones. Como los agregados constituyen normalmente el 90% en peso o más de estas mezclas, sus propiedades tienen gran influencia sobre las del producto terminado.

Los pétreos más empleados son piedra y escoria partida, gravas, arenas y fillers. En la construcción de pavimentos asfálticos el control de las propiedades de los pétreos es tan importante como el del asfalto.

Los agregados pétreos utilizados en la construcción de carreteras, al igual que otras sustancias, poseen cargas superficiales que se encuentran en desequilibrio generando cierta energía superficial. Cuando la superficie del agregado se cubre con un líquido de polaridad opuesta se satisfacen las demandas de energía y se forma un enlace. Debido a lo anterior, los agregados pueden ser hidrofílicos o hidrofóbicos.

Se considera que los agregados con carácter ácido son hidrofílicos y los agregados básicos son hidrofóbicos. Las rocas ácidas generalmente proporcionan mejor adhesión que las rocas básicas que contienen cuarzo y otra clase de feldespatos (Tabla 1).

TIPO DE PETREO	% CUARZO	CARACTER ACIDO/BASE
Rocas Igneas		
Granito	30	Acido
Riolita	32	Acido
Rocas Metamórficas		
Cuarcita	84	Acido
Pizarra	29	
Micacita	37	Acido
Rocas Sedimentarias		
Arenisca	79	Acido
Arenisca Caliza	35	-
Horsteno	93	Acido
Piedra caliza	6	Básico
Dolomita	5	Básico

Tabla 1.

2.1.4. Emulsión Asfáltica y Agregado Pétreo

Como se ha mencionado anteriormente, una emulsión asfáltica químicamente está compuesta por emulsificante, asfalto y agua.

El agua es el segundo mayor componente en la formulación de una emulsión, por lo que debe tomarse en cuenta la calidad del agua que se utiliza, ya que puede tener un gran impacto en el funcionamiento de la emulsión. Además, el agua en general, afecta directamente la relación entre el asfalto y el agregado.

Las reacciones químicas que ocurren entre la superficie del agregado y las emulsiones determinan las propiedades de adhesión, cohesión, estabilidad, compatibilidad, asentamiento, curado, etc. de la mezcla. Anteriormente se consideraba a los agregados calizos como electropositivos y a los silicosos como electronegativos. Esto puede ser cierto siempre y cuando el agregado esté perfectamente seco. Cuando están húmedos ambos agregados tienen carga negativa.

Los materiales calizos o de naturaleza básica, que son fragmentos de roca con alto contenido de carbonato de calcio, al ser humedecidos presentan una ionización en su superficie, generando cargas electrostáticas del tipo negativo y compuestos básicos (Figura 3). Por otra parte, los materiales ácidos o silicosos, que son fragmentos de roca ácida con alto contenido de sílice, al ser humedecidos producen una ionización en la superficie del material, formando iones de carga negativa (Figura 4).

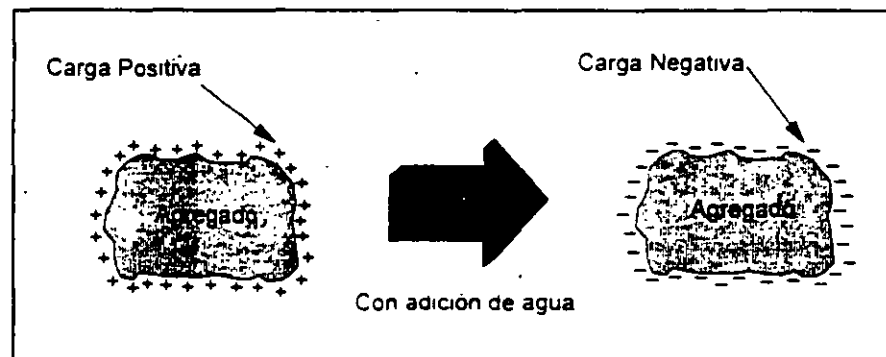


Figura 3.- Agregados pétreos calizos o de naturaleza básica.

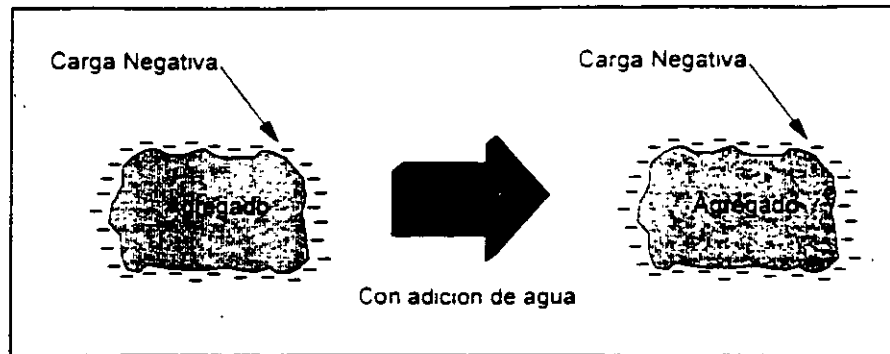


Figura 4.- Agregados pétreos ácidos o silíceos.

Las características físicas del agregado pétreo, al igual que las características químicas, deben de tomarse en cuenta, ya que juegan un papel importante para el adecuado funcionamiento de las emulsiones asfálticas en la fabricación y mantenimiento de carreteras.

Cuando la superficie de un agregado pétreo presenta rugosidad, puede haber agua o aire atrapado entre las hendiduras de la superficie, ocasionando un mojado inadecuado.

La presencia de poros, hendiduras y capilares en la superficie de la roca ocasiona la penetración del asfalto dentro de los mismos, y consecuentemente, la formación de una interacción física del asfalto y el agregado.

La presencia de polvo en la superficie del agregado pétreo reduce la velocidad de difusión y de mojado del asfalto. En algunos casos puede llegar a formarse un enlace inadecuado entre el asfalto y el polvo.

2.2 CARACTERISTICAS Y CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

De acuerdo con su naturaleza iónica, las emulsiones asfálticas se clasifican en iónicas (catiónicas y aniónicas) y no iónicas. Las del tipo no iónico prácticamente no son utilizadas.

Las emulsiones aniónicas se obtienen empleando emulsificantes del tipo aniónico, tales como las sales sódicas o potásicas de ácidos grasos o resinicos, mismas que actúan como jabones ($\text{RCOO} \cdot \text{Na}$) ionizándose en el agua en Na^+ y en RCOO^- . Los aniones RCOO^- se adsorben en los glóbulos de asfalto confiriéndole a dichas partículas polaridad negativa, mientras que los cationes Na^+ son adsorbidos por el agua.

Este tipo de emulsiones tienen un carácter básico debido a que se trabajan con valores de pH mayores a 7 (normalmente entre 11 y 12).

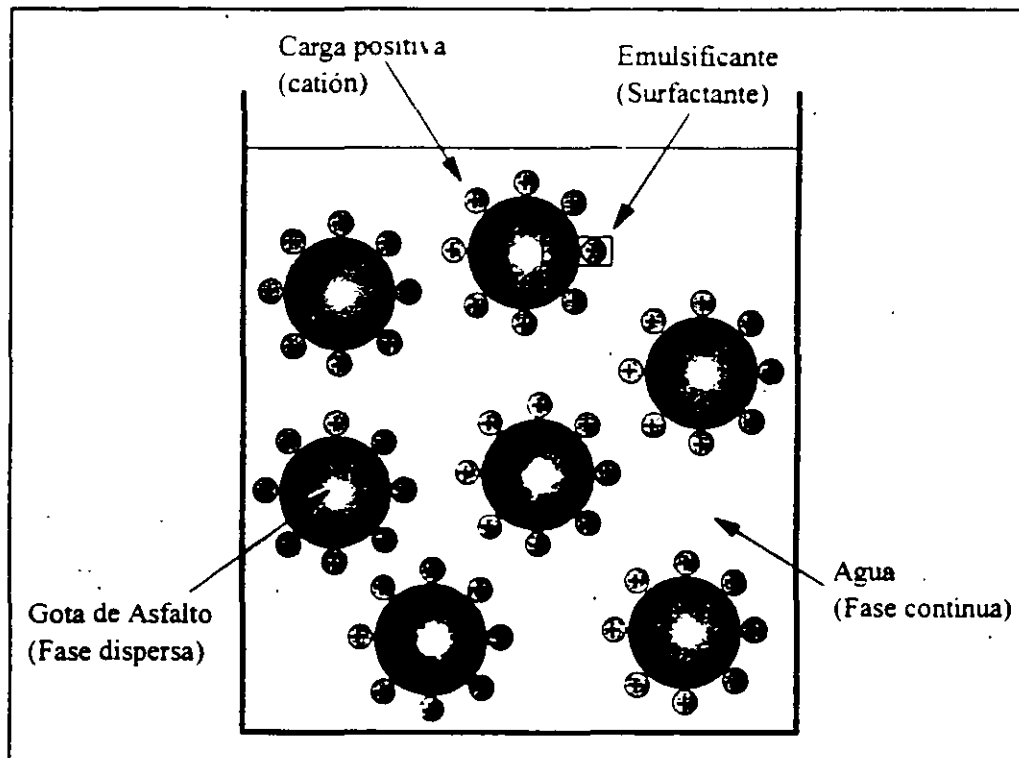


Figura 5.- Emulsión catiónica

Por su parte, las emulsiones catiónicas se obtienen empleando emulsificantes del tipo catiónico, siendo comúnmente sales de compuestos orgánicos electropositivos como sales de amonio cuaternario, clorhidratos de diaminas y poliaminas grasas, amidoaminas e imidazolininas derivadas normalmente del sebo animal o del tall oil.

Los clorhidratos de diamina ($R_1NHR_2NH_2 \cdot 2HCl$) se ionizan en el agua en cationes $R_1NH_2RR_2NH_3^+$ y en aniones $2Cl^-$. Estos últimos son adsorbidos por el agua, mientras que los cationes son adsorbidos por los glóbulos de asfalto confiriéndoles una polaridad positiva (Fig. 5).

Las emulsiones catiónicas presentan un carácter ácido ya que se trabajan con valores de pH menores a 7 (normalmente entre 1.5 y 4.0).

Las emulsiones se clasifican también dependiendo de la velocidad de separación del asfalto respecto al agua y su posterior deposición al material pétreo. Los términos de rompimiento rápido, medio, lento y rompimiento superestable se utilizan para simplificar y estandarizar esta clasificación. (Tabla 2).

Tipo de Rompimiento	Características	Tiempo de Descarga	kg emulsif. por ton emulsión	% de Cemento Asfáltico	pH Solución Jabonosa	Aplicación
Rápido	Gran carga efectiva Poca sedimentación Gran adhesividad	0-10 min.	2.0 - 3.5	63 - 65	2.0 -3.5	Riego de gravilla Riegos de liga
Medio	Buena adhesividad Carga efectiva Poca sedimentación	15-25 min.	4.0 - 7.0 *8.0 dependiendo del pétreo	60 - 62	1.8-2.5	Mezclas asfálticas
Lento	Poca carga efectiva Buena adhesividad Sedimentación alta	30-60 min.	8.0 - 10.0	60 - 62	1.8-2.5	Mezclas asfálticas
Superestable	Asentamiento considerable	60 min.- 24 horas	10 - 18	60 - 62	1.8-2.5	Mezclas asfálticas, Lechadas asfálticas o Slurry Seal Microsuperficies

Tabla 2.- Clasificación de las emulsiones según el tipo de rompimiento.

Se ha comprobado que en las emulsiones de rompimiento medio y lento fabricadas con más de 0.6% de emulsificante tipo poliamina se presenta un asentamiento más marcados. Este fenómeno es reversible y se soluciona recirculando la emulsión cada tercer día en caso de tener que ser almacenada por algún periodo de tiempo. Otra opción para evitar el asentamiento consiste en modificar la viscosidad de la fase dispersante mediante la adición de polímeros.

Es también recomendable recircular las emulsiones de rompimiento superestable cada tercer día, ya que presentan un asentamiento considerable.

Además de la selección del agente emulsificante, otro factor importante que influye en la calidad final de la emulsión asfáltica es el trabajo efectuado por el molino coloidal. Este tipo de equipos está compuesto por un rotor y un estator cuya separación es regulable, determinándose de esta manera la abertura de dicho molino.

La abertura del molino determina el tamaños de los glóbulos (granulometría de la emulsión) y esto incide directamente en la estabilidad de la emulsión.

2.3 VENTAJAS DEL USO DE EMULSIONES ASFALTICAS SOBRE LOS REBAJADOS ASFALTICOS Y MEZCLAS EN CALIENTE

1. La presencia del agua y el emulsificante en la emulsión asfáltica favorece el mezclado del cemento asfáltico con los materiales pétreos, obteniéndose mejores cubrimientos de éstos.
2. Las adhesividades pasiva y activa que se obtienen mediante el uso de una emulsión asfáltica son superiores a las obtenidas con rebajados asfálticos. La presencia del emulsificante asegura una unión química asfalto-agregado con lo que se obtiene mejor cubrimiento y adherencia.
3. Se obtiene un ahorro energético al evitarse totalmente el calentamiento de solventes ya que en la emulsión lo que se pierde es agua.
4. Se evita contaminación ambiental al no efectuarse la evaporación de solventes mencionada.
5. La emulsión asfáltica es el método más práctico para el transporte, almacenamiento y aplicación del asfalto en forma líquida.
6. El empleo de las emulsiones puede llevarse a cabo controlando el factor atmosférico, mientras que el trabajo con rebajados exige la presencia de un clima favorable.
7. En la actualidad prácticamente todos los trabajos de construcción, reparación y mantenimiento de carreteras puede efectuarse con el uso de las emulsiones, con excepción de la fabricación de concreto asfáltico.

2.4. CONTROL DE CALIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Es de suma importancia tener un adecuado control de la calidad de las emulsiones para que su almacenamiento, manejo y aplicación sea lo más efectivo posible.

Las pruebas de control de calidad que se realizan en el laboratorio tienen los siguientes objetivos:

- Medir las propiedades relacionadas con el almacenamiento, manejo y aplicación en campo.
- Controlar la calidad y uniformidad del producto durante su fabricación y uso.
- Predecir su comportamiento en campo.
- Cumplir con las especificaciones requeridas.

Los principales análisis para emulsiones asfálticas se mencionan a continuación, siendo importante señalar que estas pruebas deben efectuarse una vez que la muestra de emulsión a ser analizada se encuentre a temperatura ambiente.

2.4.1. Carga de la Partícula

Con esta prueba se identifica la naturaleza de la emulsión (catiónica o aniónica). Se realiza mediante la inmersión de un electrodo positivo (ánodo) y un electrodo negativo (cátodo) en una muestra de emulsión que se conectan a una fuente de corriente directa controlable. Al cabo de una variación de corriente específica los electrodos se observan para determinar si el cátodo tiene una capa apreciable de asfalto depositado. El asfalto de las emulsiones catiónicas migra hacia el cátodo.

Equipo

- Amperímetro en escala de mV.
- Vaso de precipitado de 250 ml.
- Electrodo de acero inoxidable.
- Cronómetro.

Procedimiento

1. Poner 200 ml de emulsión en el vaso de precipitado.
2. Introducir los electrodos nivelados y a $\frac{3}{4}$ de altura.
3. Prender el amperímetro y nivelar la lectura a 8.0 ma.
4. Comenzar a medir el tiempo.
5. Medir el tiempo hasta que la lectura llegue a 2.0 ma.
6. Sacar los electrodos y observar en cual de los dos se adhirió el asfalto.

Nota: En el caso de las emulsiones catiónicas se puede utilizar un criterio general en base al tiempo de descarga para tener una idea del tipo de emulsión que se está analizando (no está estandarizado por ASTM):

Tiempo (minutos)	Tipo de Emulsión
0 - 10	Rápidas
15 - 35	Medias
35 - 60	Lentas
Más de 60	Superestables

Este criterio es muy útil sobre todo en el trabajo en campo cuando existe duda respecto al tipo de emulsión con el que se está trabajando.

2.4.2. Residuo por Evaporación

Esta prueba está diseñada para medir el porcentaje de cemento asfáltico en la emulsión mediante la evaporación del agua. Los porcentajes típicos de cemento asfáltico en la emulsión normalmente varían entre 57 y 67%

Equipo

- Recipiente cilíndrico de 500 ml de capacidad boca amplia (cacerola o charola con mango).
- Hornilla de calentamiento.
- Balanza de 1.0 g de precisión.
- Varilla de agitación.

Procedimiento

1. Pesar el recipiente de calentamiento (A).
2. Pesar aproximadamente 100 g de emulsión en el recipiente (B).
3. Calentar la emulsión a fuego directo hasta ebullición con agitación continua por medio de la varilla.
4. Enfriar cuando comiencen a evaporar los solventes (Presencia de humo y ausencia de burbujas de aire).
5. Pesar el residuo dentro del recipiente (C).
6. Calcular el porcentaje de cemento asfáltico según la siguiente expresión:

$$\% CA = (C - A)(100)/(B-A)$$

⊗ Otra opción (no estandarizada por ASTM) para llevar a cabo esta prueba es la utilización de una balanza de radiación infrarroja, la cual reporta directamente la lectura del agua evaporada de la emulsión. Se aplica el siguiente procedimiento:

1. Programar la balanza para operar a 120 ° C durante 17-20 minutos.
2. Pesar 50 g de emulsión y homogeneizar.
3. Colocar 5 g en una charola de aluminio previamente tarada.
4. Iniciar la operación de la balanza, la cual después de transcurrido el tiempo programado reportará la lectura automática del porcentaje de agua evaporada.

$$\% CA = 100 - \% \text{ agua reportado}$$

En caso de que se tengan diversas muestras de emulsiones para ser analizadas, puede seguirse el procedimiento anterior utilizando un horno con capacidad múltiple, en el cual se colocan dichas muestras a 120°C durante 24 horas. No existe variación significativa en los resultados obtenidos por los diversos métodos.

2.4.3. Viscosidad

La viscosidad se define como la resistencia que presenta un fluido al movimiento. En el caso de las emulsiones asfálticas la prueba de viscosidad es utilizada como una medida de consistencia y los resultados se reportan en segundos Saybolt Furol. Por conveniencia y exactitud de la prueba, las viscosidades se miden a dos diferentes rangos de temperatura 50 y 25°C.

La viscosidad de las emulsiones es un parámetro importante para efectuar los riegos de liga o adherencia y los riegos de gravilla, en este último, se presenta el fenómeno de embebido.

La viscosidad de las emulsiones está relacionada con cuatro factores importantes:

1. Contenido de cemento asfáltico. A partir de contenidos de cemento asfáltico superiores al 65% y considerando pequeños aumentos en la concentración de este último, la viscosidad de la emulsión se eleva considerablemente. Las características del cemento asfáltico utilizado también ejercen influencia en este parámetro.

2. Tamaño de la partícula. El tamaño de la partícula es determinante en la viscosidad de la emulsión, entre menor es el tamaño de la partícula mayor es la viscosidad de la emulsión.

3. La viscosidad de la fase continua. El aumento de la viscosidad de la fase continua (agua) con diversos aditivos como celulosas y gomas aumenta la viscosidad de la emulsión y evita tener asentamientos, sin modificar las propiedades de la emulsión en cuanto a su funcionamiento en campo.

4. La naturaleza química del emulsificante. De acuerdo a la composición química y a la dosificación del emulsificante se puede incrementar la viscosidad de la emulsión.

Equipo

- Viscosímetro Saybolt Furol.
- Copas de aforación de 60 c.c.
- Vasos de precipitado de 200 ml.
- Plato de calentamiento.

Procedimiento

1. Poner 100 ml de la emulsión en un baño de temperatura durante 15 minutos, señalar la temperatura (25 o 50 °C).
2. Estabilizar la temperatura del viscosímetro durante 30 minutos.
3. Llenar el recipiente del viscosímetro con emulsión y dejar que se estabilice a la temperatura deseada por 5 minutos.
4. Quitar el tapón de corcho de la parte baja del viscosímetro y comenzar a medir el tiempo en ese momento.
5. Cuando la copa de aforo se llene hasta la marca del cuello, detener la medición del tiempo.
6. El reporte se realiza en segundos y la medida debe efectuarse en el viscosímetro Saybolt Furol.

2.4.4. Asentamiento

La prueba de asentamiento se utiliza para determinar la estabilidad de la emulsión cuando se almacena. Esta prueba sirve además, para indicar la calidad de la emulsión aún cuando no se vaya a almacenar por un periodo de tiempo. Normalmente esta prueba se diseña a cinco días, sin embargo, cuando la emulsión va a ser utilizada inmediatamente puede checar el asentamiento a un día.

Procedimiento

1. Llenar una probeta o cilindro graduado de 500 c.c. con una muestra de emulsión recién fabricada.
2. Dejar en reposo uno o cinco días.
3. Obtener 50 ml de muestra de la parte alta y otra de la más baja.
4. Obtener el porcentaje de residuo asfáltico de ambas muestras.
5. Obtener el porcentaje de asentamiento según la siguiente expresión:

$$\% \text{ Asentamiento} = B - A$$

Donde:

A = % CA en la parte de arriba

B = % CA en la parte de abajo

2.4.5. Retenido en Malla No. 20

La prueba del retenido en la malla No. 20 complementa la prueba del asentamiento ya que se utiliza para determinar la cantidad de asfalto en forma de glóbulos grandes que no fueron detectados en la prueba de asentamiento y que indican la calidad de molienda obtenida.

Procedimiento

1. Pesar 100 ml de emulsión recién fabricada (A).
2. Pesar una malla No. 20 completamente seca (B).
3. Pasar a través de esta malla el total de la emulsión.
4. Quitar el exceso de emulsión en la malla con agua.
5. Secar y pesar la malla (C).
6. Calcular el porcentaje de asfalto retenido según la siguiente expresión:

$$\% \text{ Retenido} = (C-B)/A$$

7. Volver a realizar la prueba al tercer día de fabricada la emulsión y comparar los resultados.

2.4.6. Prueba de Mezcla con Cemento

Esta prueba se realiza para emulsiones lentas y superestables del tipo aniónico (en algunos países se aplica también a emulsiones catiónicas) y mide la capacidad de reacción de un determinado emulsificante.

Las emulsiones lentas y superestables se utilizan con materiales finos y con materiales que tienen polvos. Para esta prueba, ASTM ha estandarizado el uso del cemento tipo III (Fraguado rápido) el cual es difícil de obtener. Por ese motivo puede usarse el cemento Portland para fines prácticos.

La reacción de mezclado de cemento con emulsiones catiónicas y no catiónicas es muy diferente. Las emulsiones catiónicas reaccionan con el cemento debido al área superficial de éste último y las aniónicas reaccionan químicamente con los constituyentes del cemento formando una sal insoluble en agua.

Equipo

- Balanza con precisión de ± 0.1 g.
- Malla circular "U.S. Standard" de aberturas cuadradas, de 0.177 mm, No. 80.
- Malla circular "U.S. Standard" de aberturas cuadradas, de 1.41 mm, No. 14 con su fondo.
- Recipiente metálico de fondo redondo de 500 ml de capacidad.
- Varilla metálica de extremos redondeados de 1.25 cm de diámetro aproximadamente.
- Probeta de vidrio de 100 ml.
- Cemento tipo III (Puede utilizarse Cemento Portland Tipo I).
- Emulsión asfáltica.

Procedimiento

1. Preparar 200 g de emulsión asfáltica ajustándola con agua a un contenido de cemento asfáltico del 50%.

Para lograr la dilución de la emulsión se emplean las siguientes ecuaciones:

$$X = (A)(B)/C$$
$$Y = A - X$$

Donde:

A = Gramos de emulsión diluida que se quiere preparar.

B = % de asfalto que se quiere obtener en la emulsión diluida.

C = % de asfalto en la emulsión original.

X = Gramos de emulsión original que se mezclarán con agua para obtener la nueva emulsión diluida.

Y = Gramos de agua que se deben añadir a la emulsión original para obtener la nueva emulsión diluida.

2. Pesar 100 g de la emulsión diluida a 25°C en el recipiente metálico.
3. Cribar una porción de cemento a través de la malla de 0.177 mm, No. 80. Tomar 50 ± 0.1 g de fracción que pasa por dicha malla y agregarlos a los 100 g de la emulsión diluida. Mezclarlos mediante movimientos circulares de la varilla metálica logrando que todo el cemento quede mezclado perfectamente con la emulsión.
4. Después de transcurrido un minuto de mezclado agregar 150 ml de agua y continuar agitando por 3 minutos más.

5. Cribar la mezcla a través de la malla No. 14, cuyo peso incluyendo el fondo se ha anotado previamente como W_t . Lavar con agua el recipiente donde se hizo la mezcla y pasar este lavado a través de la malla, la cual se lavará con agua hasta que salga transparente. Para el lavado de la malla, el agua deberá dejarse caer desde una altura de 15 cm aproximadamente para no forzar el paso de los grumos retenidos.
6. Colocar el fondo de la malla y secar en el horno a una temperatura de 163°C hasta peso constante.
7. Pesarse la malla con su fondo y el retenido, anotando el peso como W_r .
8. Calcular el peso en gramos del material retenido en la malla y en el fondo mediante la siguiente expresión:

$$M = W_r - W_t$$

Donde:

M = Peso del material retenido en la malla y el fondo en gramos.

W_r = Peso de la malla, fondo y material retenido en gramos.

W_t = Peso de la malla y fondo en gramos.

El valor de M será el que se reporte como resultado de la prueba de mezcla con cemento, expresado como porcentaje de los 100 g de la emulsión empleada.

La especificación para el valor de M es de máximo 2%.

3. FABRICACION DE EMULSIONES EN PLANTA

Una planta de emulsión se compone de tres áreas básicas:

Molino coloidal: Dispositivo mecánico que tiene la capacidad de separar el asfalto en pequeños glóbulos. Está formado por un rotor de alta velocidad (1.000 - 6.000 rpm) con un rango de abertura en el molino de 0.25 a 0.50 mm. lo que permite obtener tamaños de glóbulos del orden de 1 a 10 micras.

Tanque de solución jabonosa: Se utiliza para mezclar el emulsificante y el agua para obtener una solución diluida de emulsificante.

Tanques de almacenamiento: Se requieren tanques para almacenar el asfalto, el emulsificante y la emulsión final. Para la emulsión final se recomiendan cuatro tanques para los diferentes tipos de emulsión.

Para fabricar la emulsión asfáltica se bombea el asfalto de su tanque de almacenamiento al molino coloidal. En el molino coloidal se combinan el asfalto y el emulsificante previamente diluido y con un pH ajustado para formar la emulsión asfáltica, la cual se bombea al tanque de almacenamiento adecuado.

La temperatura de entrada del asfalto y de la solución jabonosa al molino coloidal es un factor muy importante para obtener buena calidad en la emulsión fabricada, ya que estas variables son indispensables para controlar el contenido de asfalto y la temperatura final de la emulsión.

La temperatura a la salida del molino coloidal no debe exceder 85°C para evitar la ebullición del agua, ya que la pérdida por evaporación implica una mayor concentración de asfalto en la emulsión.

Entre más duro sea el asfalto con el que se trabaje, mayor deberá ser la temperatura de entrada al molino para lograr su emulsificación.

La solución jabonosa normalmente se alimenta a una temperatura de 45°C.

La solución jabonosa se prepara mezclando el agua, el ácido y el emulsificante hasta lograr la dispersión de éste último, efectuándose un ajuste final de pH. Sin embargo, en algunos casos dependiendo de las características del producto es necesario adicionar el emulsificante al principio.

A continuación se anexan diversas gráficas que ayudan a controlar el contenido de asfalto en la preparación de una emulsión basándose en la temperatura de la solución jabonosa y del asfalto.

PREPARACION DE EMULSIONES 57 % DE CEMENTO ASFALTICO.

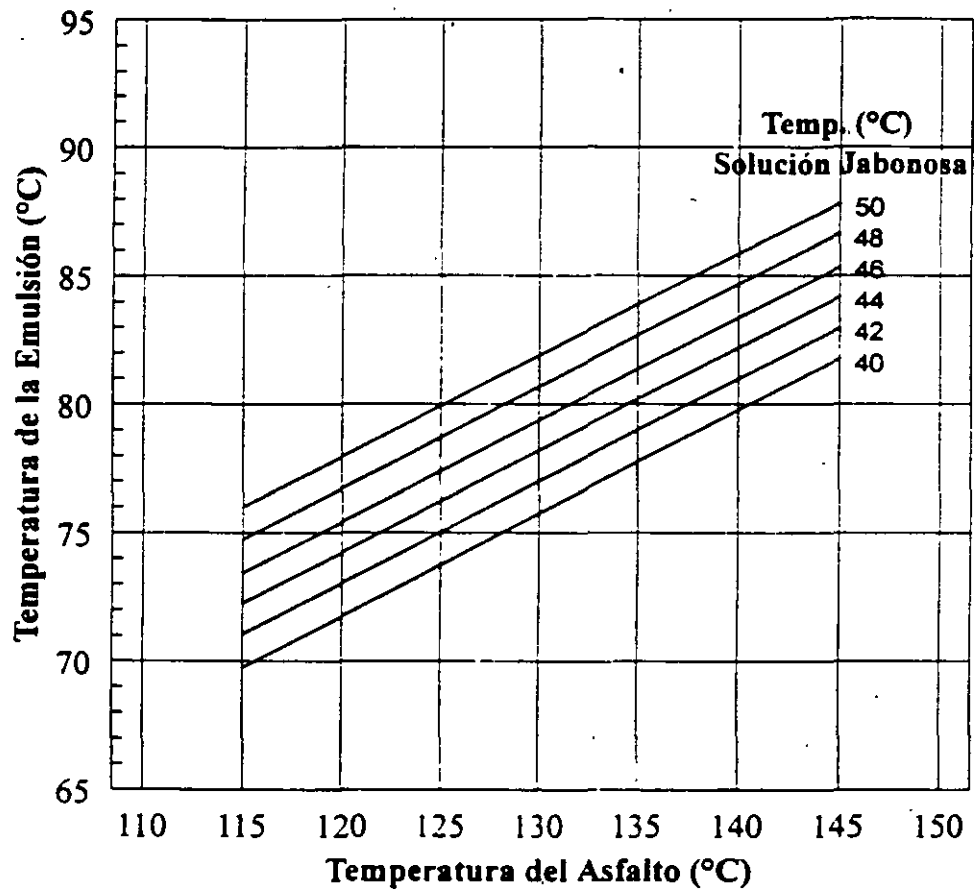


Figura 4.

PREPARACION DE EMULSIONES

58 % DE CEMENTO ASFALTICO

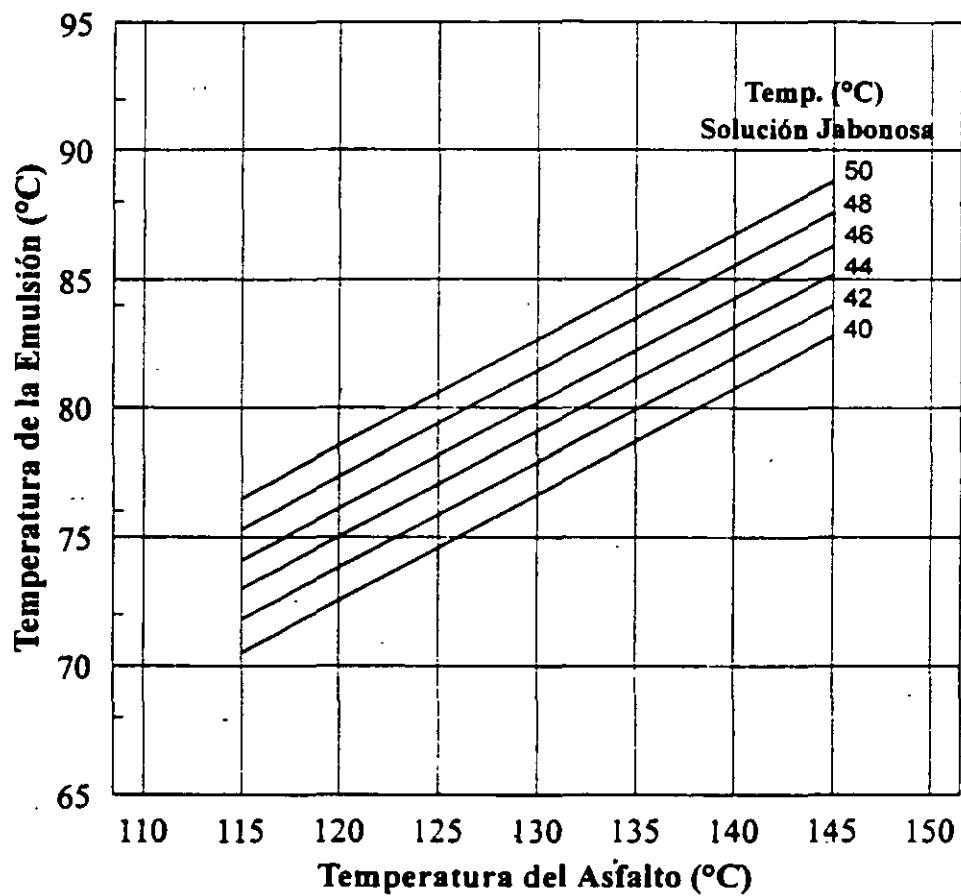


Figura 5.

PREPARACION DE EMULSIONES 59 % DE CEMENTO ASFALTICO

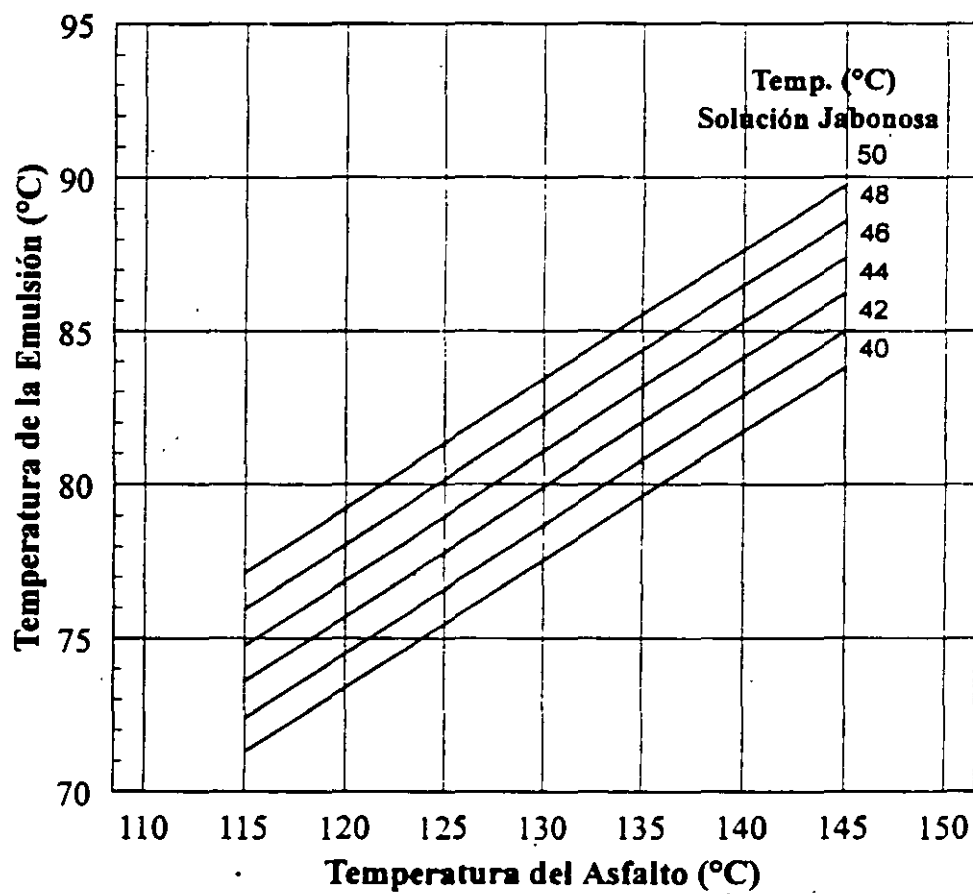


Figura 6.

PREPARACION DE EMULSIONES 60 % DE CEMENTO ASFALTICO

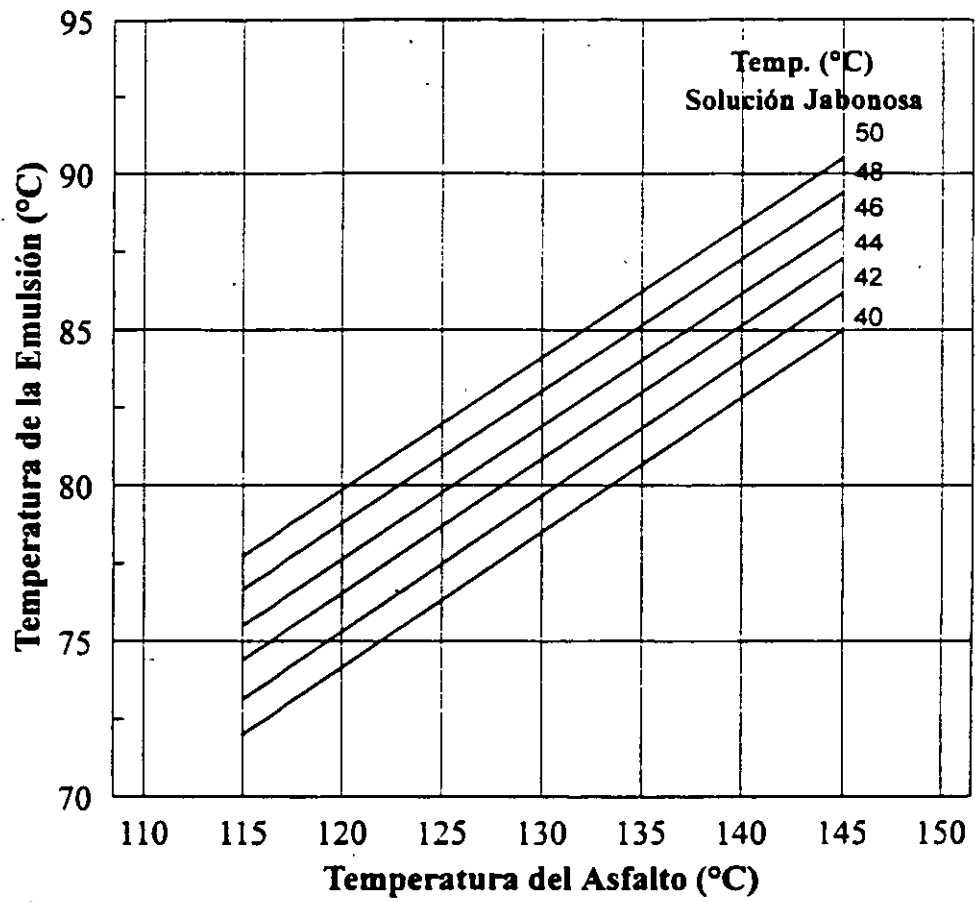


Figura 7.

PREPARACION DE EMULSIONES 61 % DE CEMENTO ASFALTICO

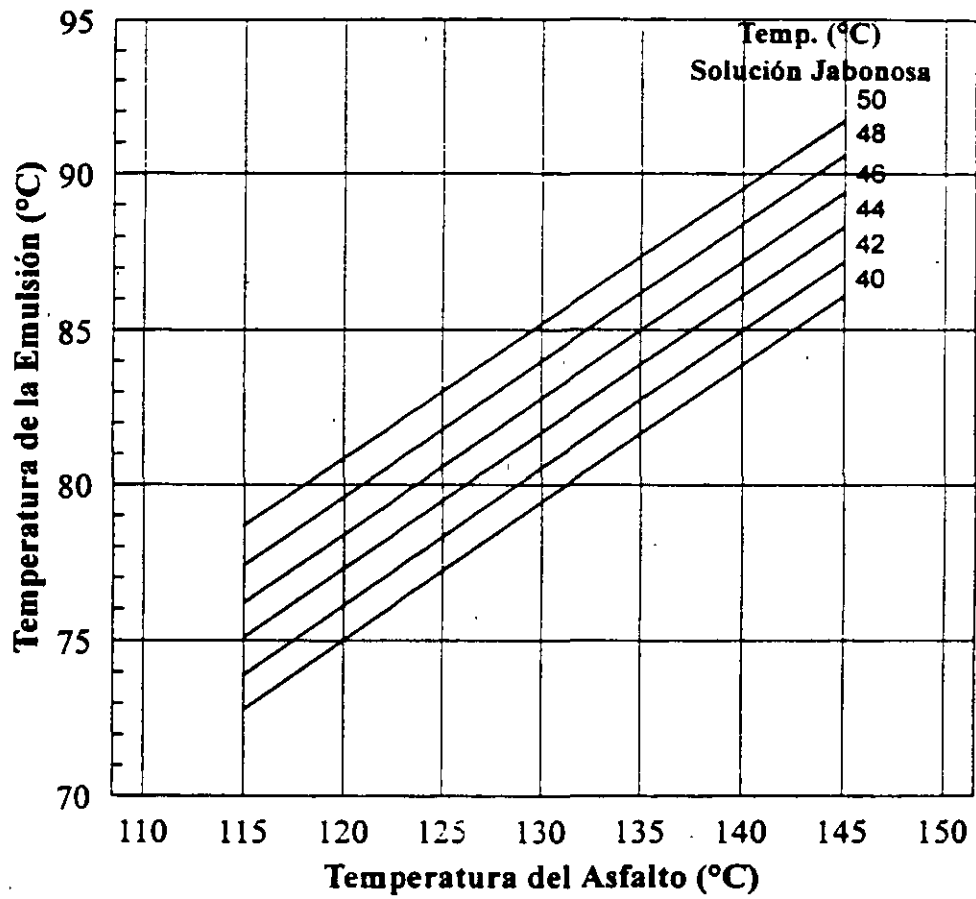


Figura 8.

PREPARACION DE EMULSIONES 62 % DE CEMENTO ASFALTICO

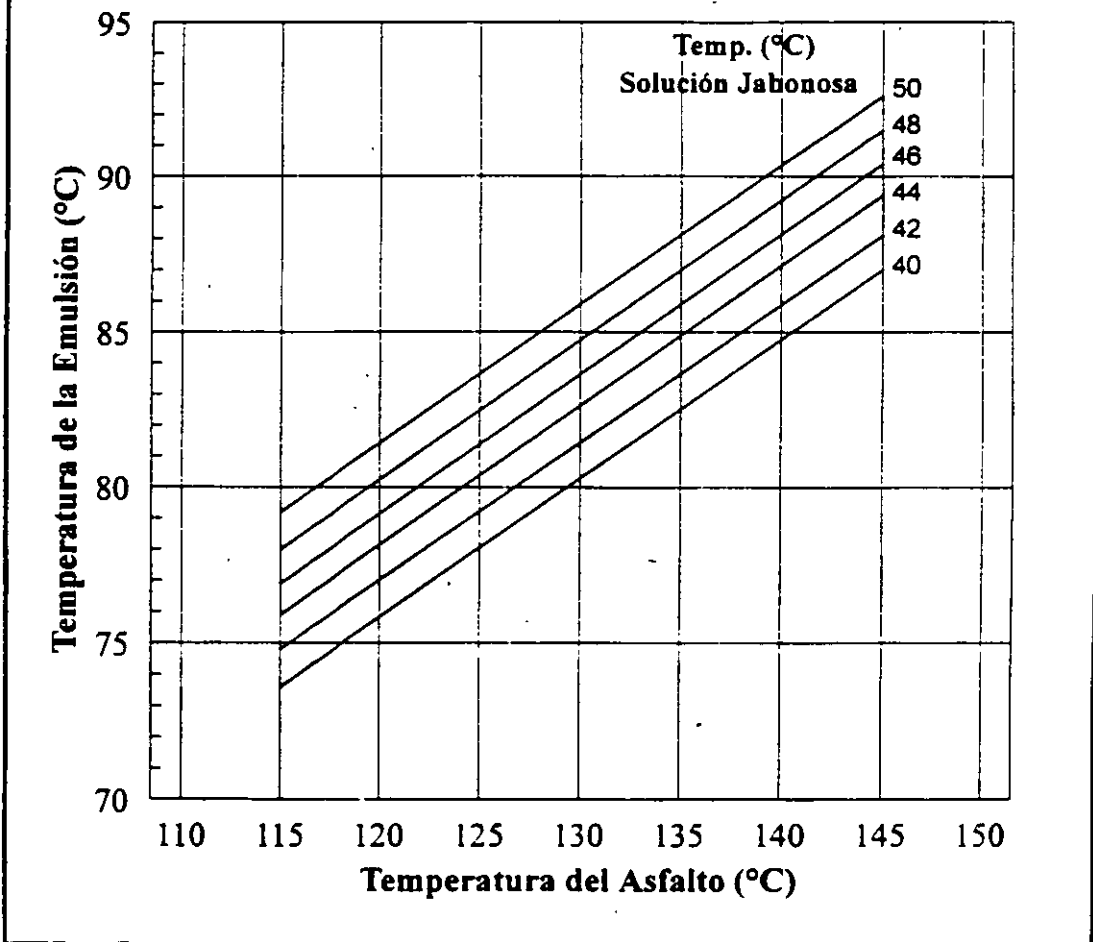


Figura 9.

PREPARACION DE EMULSION 63 % DE CEMENTO ASFALTICO

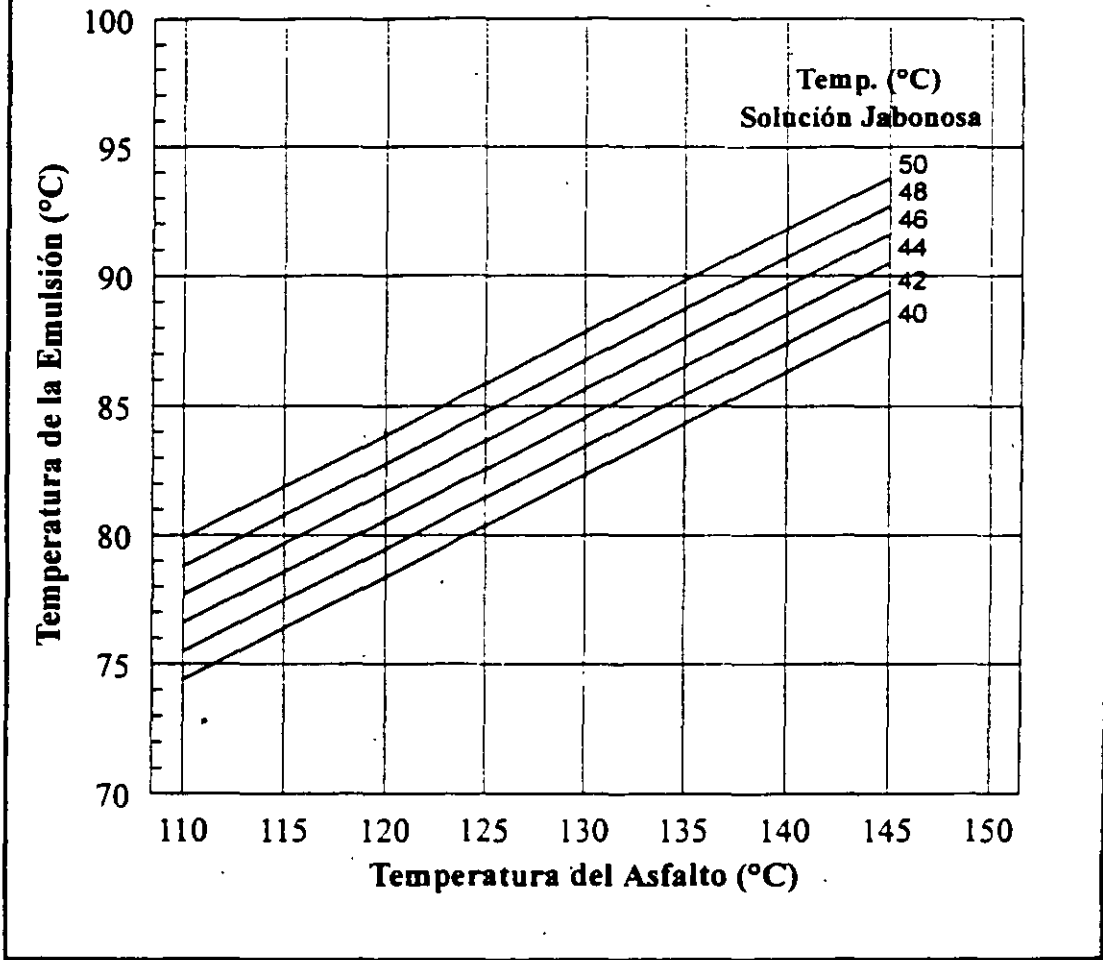


Figura 10.

PREPARACION DE EMULSIONES 64 % DE CEMENTO ASFALTICO

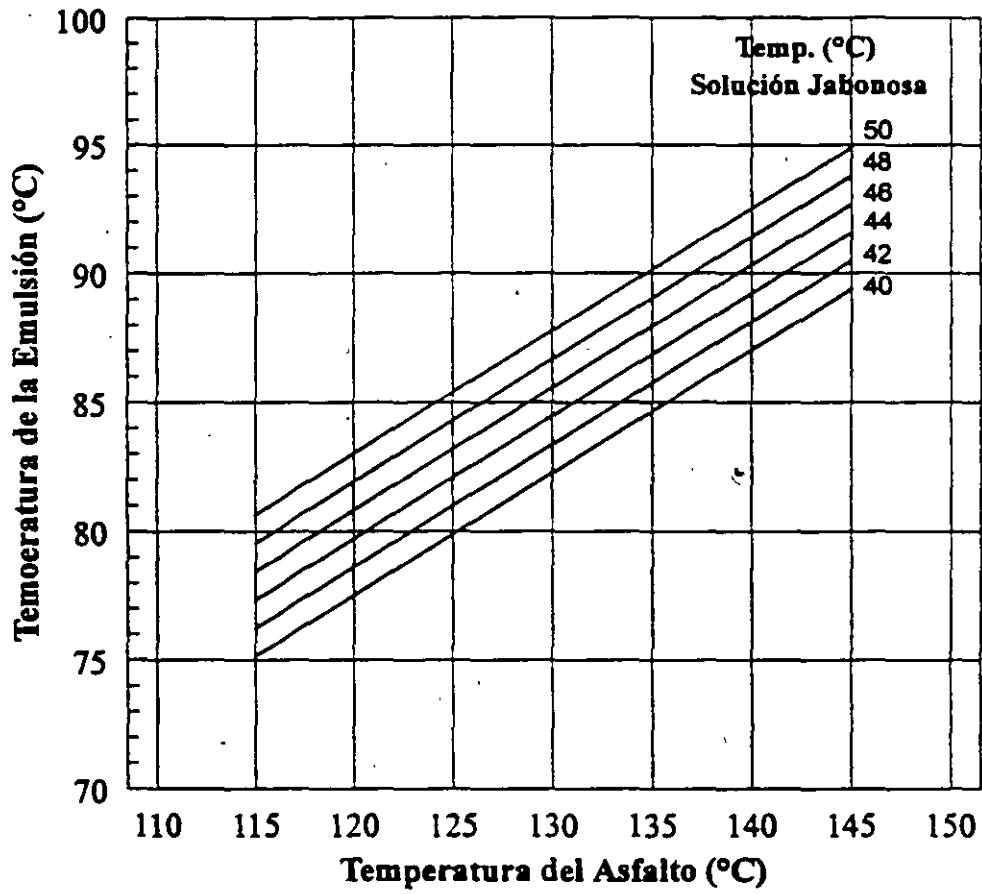


Figura 11.

PREPARACION DE EMULSIONES 65 % DE CEMENTO ASFALTICO

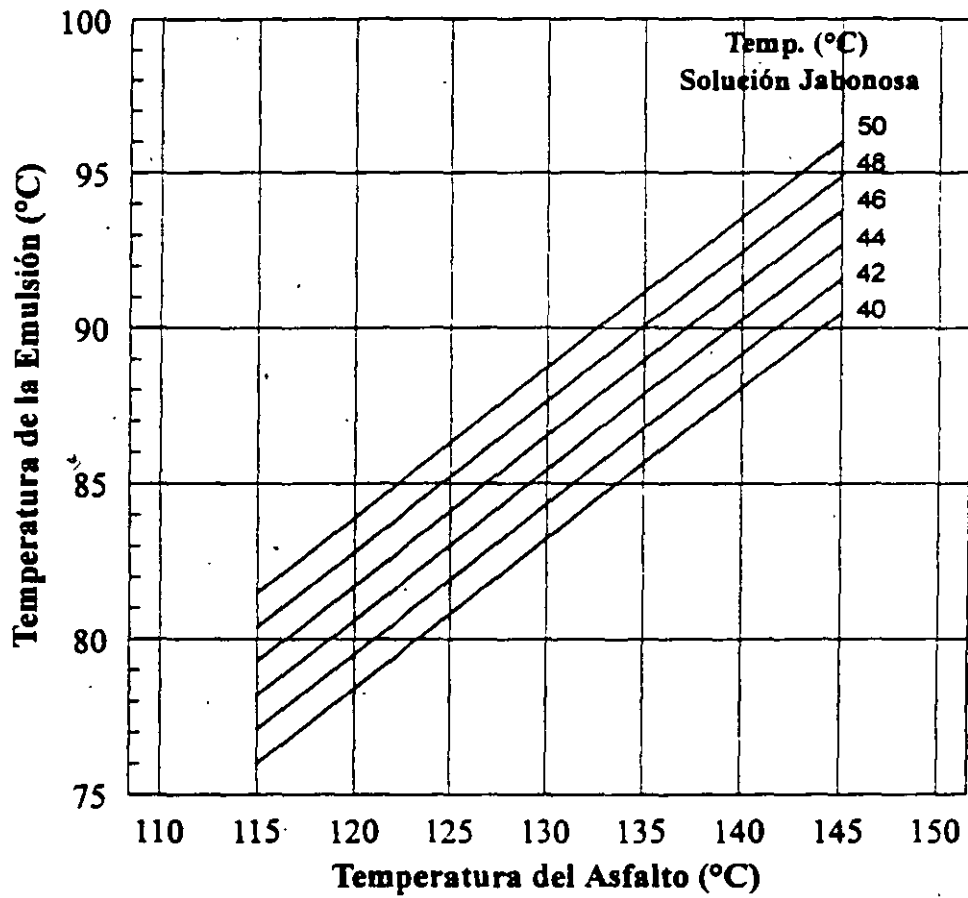


Figura 12.

PREPARACION DE EMULSIONES 66 % DE CEMENTO ASFALTICO

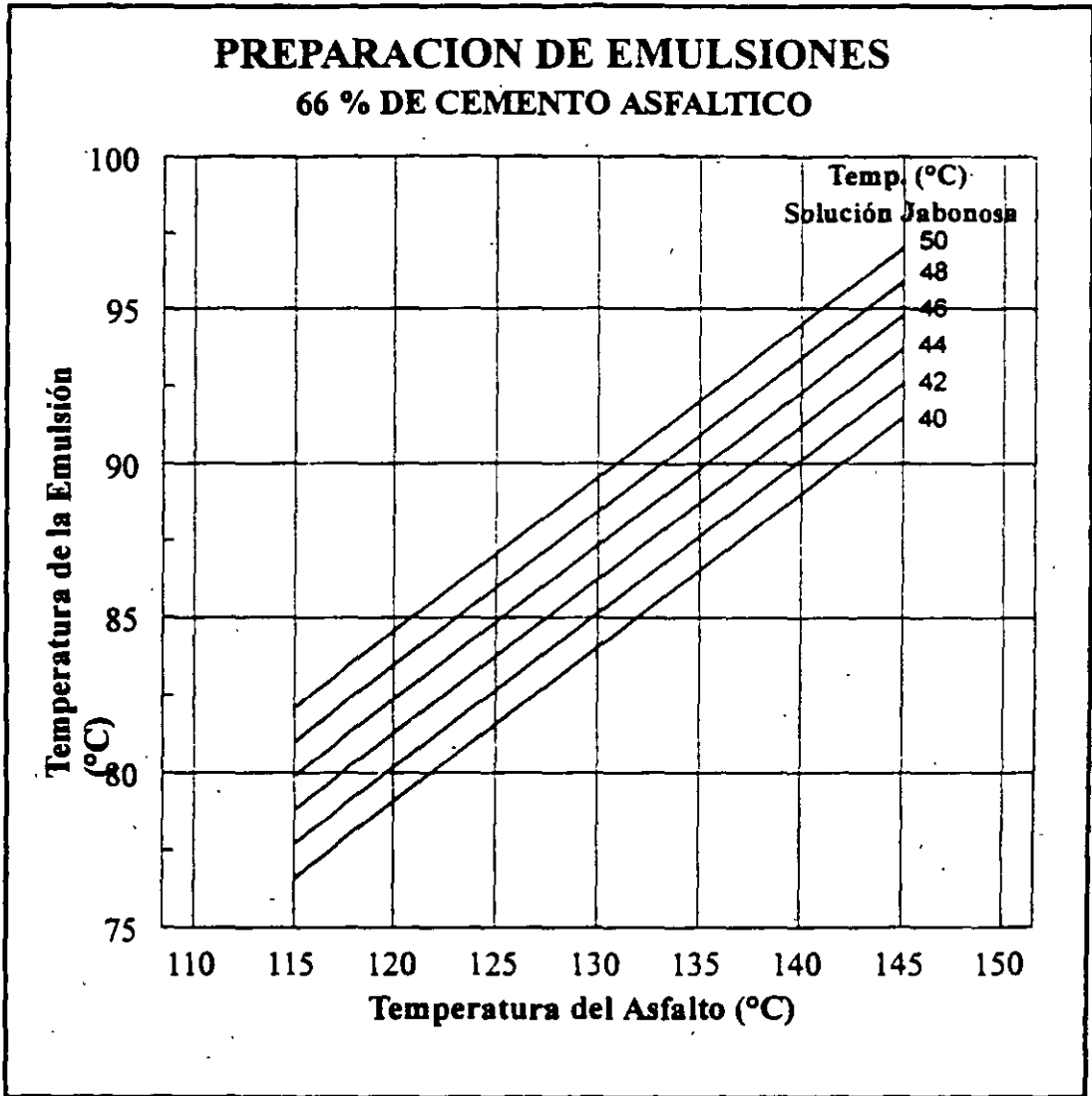


Figura 13.

PREPARACION DE EMULSIONES 67 % DE CEMENTO ASFALTICO

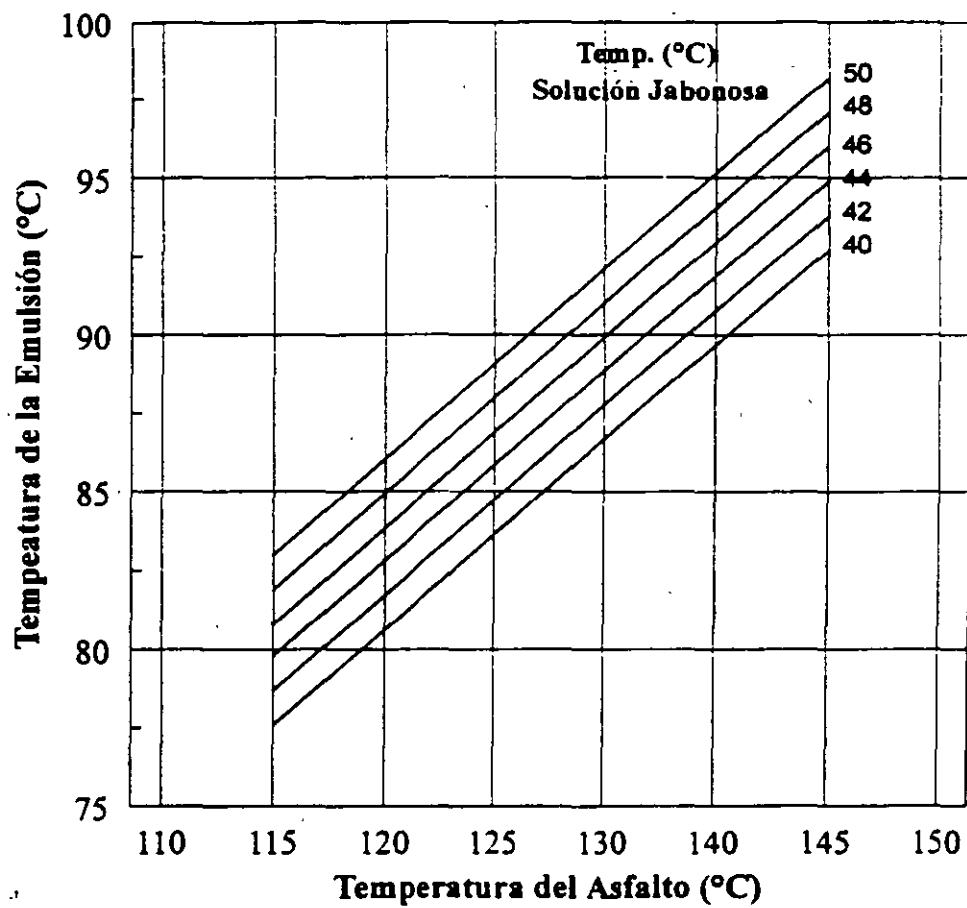


Figura 14.

En las tablas 3, 4 y 5 se menciona el equipo necesario que debe haber en una planta para la fabricación de emulsiones asfálticas, así como posibles contaminantes y circunstancias que deben evitarse para la obtención de una buena emulsión.

EQUIPO NECESARIO PARA UNA PLANTA DE EMULSION ASFALTICA				
Tanque de Asfalto	Tanque de la Solución Jabonosa	Tanque de Emulsión	Tanque del Emulsificante	Molino coloidal
<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (aceite) • Agitación • Recirculación • Aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor) • Agitación • Recirculación • Revestimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor baja presión) • Agitación baja (prevención de nata) • Aislamiento (emulsiones de alta viscosidad) • Enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento (vapor baja presión) • Aislamiento • Agitación ó recirculación 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor/Estator • Válvula de presión positiva

Tabla 3.

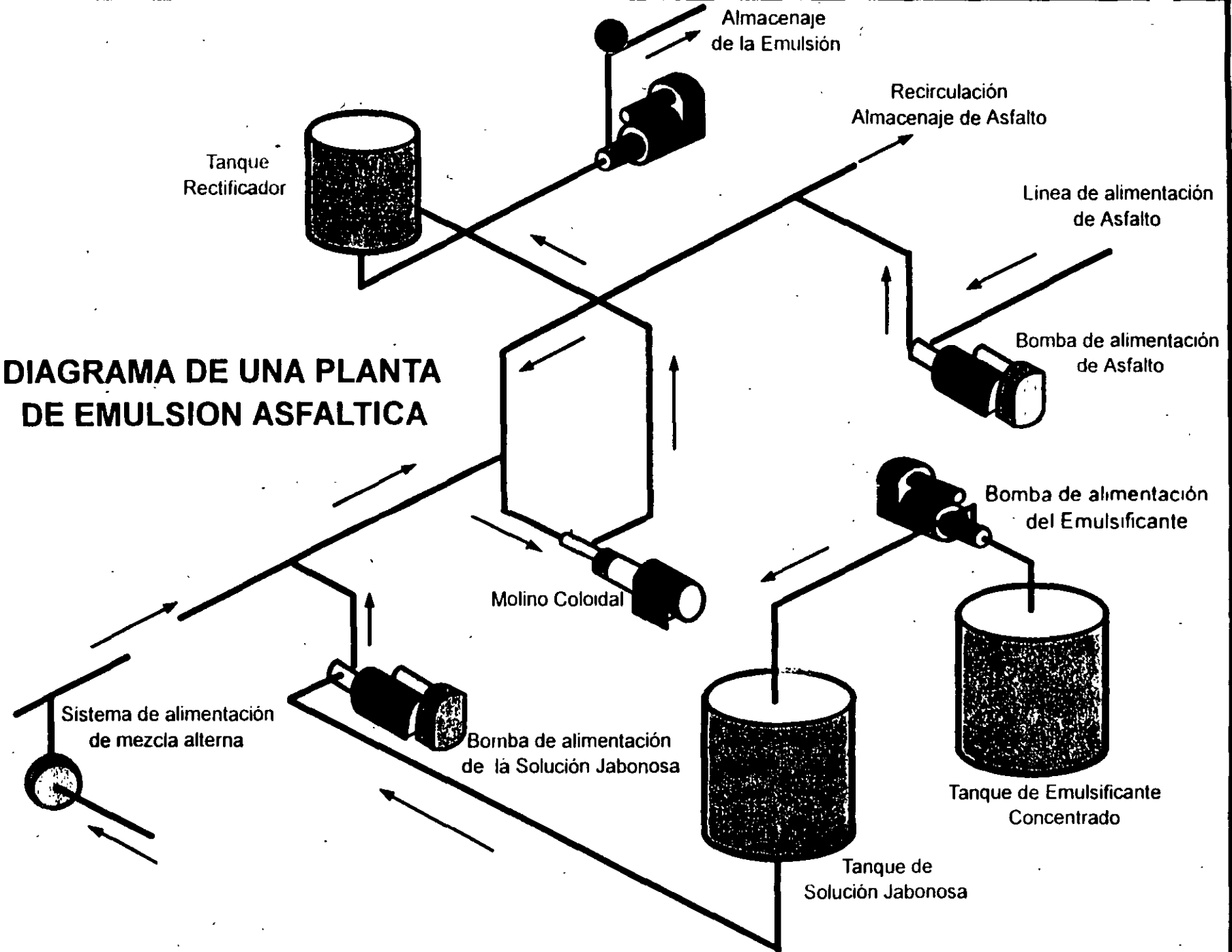
CIRCUNSTANCIAS QUE DEBEN EVITARSE EN LA FABRICACION DE UNA EMULSION ASFALTICA	
Viscosidad baja	Sedimentación alta
<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiente cantidad de emulsificante • pH inadecuado o inestable • Emulsificante no completamente disuelto o ionizado • Presión insuficiente • Asfalto insuficiente o contaminado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de descarga en la emulsión muy alta • Temperatura de la solución jabonosa o del asfalto incorrecta • Molienda excesiva o insuficiente • Contaminación por partículas extrañas • Calentamiento Localizado • Formación de nata • Contaminación

Tabla 4.

POSIBLES CAUSAS DE CONTAMINACION		
Asfalto	Solución jabonosa	Emulsión
<ul style="list-style-type: none"> • Solventes 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del emulsificante • Aniónica/Catiónica • Base/Acido • Agua (Dureza, sales, aditivos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aniónica/catiónica • Diferentes viscosidades • Presencia de nata • Rompimiento prematuro de la emulsión

Tabla 5.

DIAGRAMA DE UNA PLANTA DE EMULSION ASFALTICA



3.1. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

•**Formación de Espuma.** Los emulsificantes utilizados originan formación de espuma en las emulsiones debido a su propia naturaleza, por lo que se recomienda no agitarlas violentamente ni verterlas en cascada. El transporte de las emulsiones debe efectuarse en pipas equipadas con rompeolas y el llenado de la pipa debe hacerse prolongando la tubería con una manguera flexible hasta unos 10 o 20 cm del fondo.

En caso de ser necesario recircular la emulsión, se recomienda utilizar bombas herméticas, con objeto de que no aspiren aire.

•**Natas y Sedimentos.** Durante el almacenamiento de la emulsión se forman natas en la superficie de la misma que protegen al resto de la emulsión. Es recomendable almacenar la emulsión en depósitos cilíndricos de eje vertical alimentados desde el fondo, con la intención de reducir el área superficial de dichas natas.

Por otra parte, se forman sedimentos con el tiempo aumentando la viscosidad de la emulsión en la zona inferior del depósito, originándose decantación. Mientras no se produzca el rompimiento de la emulsión, este fenómeno puede hacerse reversible mediante la recirculación de la misma.

•**Mezclas incompatibles.** Deben evitarse las mezclas de emulsiones del tipo aniónico y catiónico ya que son incompatibles entre sí y coagularán por reacción electroquímica. Emulsiones catiónicas de diferentes tipos tampoco deben mezclarse, excepto en proporciones adecuadas y bajo ciertas condiciones.

•**Temperatura.** Las emulsiones conservan sus propiedades a temperaturas comprendidas entre 10 y 80 °C. Por debajo de los 5°C pueden congelarse y romper.

Por su parte, el calentamiento de la emulsión por encima de los 80°C genera un aumento en la energía cinética de las moléculas y la evaporación del agua, disminuyendo la estabilidad de dicha emulsión.

4. APLICACION DE LAS EMULSIONES

4.1 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El término "Tratamientos Superficiales" comprende de manera general diversos tipos de aplicaciones del asfalto y del asfalto-pétreo, sobre cualquier clase de superficie vial que tenga un espesor menor a una pulgada (2.54 cm).

Los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de las superficies viales, sin embargo, no se consideran parte estructural del pavimento debido a que añaden poca capacidad de soporte. Normalmente no se toman en cuenta al calcular la carga límite de un pavimento.

Para producir tratamientos superficiales durables y de alta calidad, tanto la emulsión como el agregado deben cumplir normas establecidas de calidad.

El tratamiento superficial puede ser aplicado sobre una superficie vial granular o similar, o sobre un pavimento ya existente. Los tratamientos que se aplican al pavimento ya existente se denominan capas de sello. Los tratamientos superficiales pueden clasificarse de la siguiente manera:

Con agregado pétreo:

- Riego de gravilla
- Mortero asfáltico (Slurry Seal)
- Riego de sellado o sello de arena.

Sin agregado pétreo:

- Riego de impregnación.
- Riego antipolvo.
- Riego de curado.
- Riego de liga.
- Riego negro.

4.1.1. Uso de los Tratamientos Superficiales

Los tratamientos superficiales se utilizan básicamente para los siguientes propósitos:

- a) Formar una capa de protección impermeable para evitar la entrada de agua a las capas subyacentes.
- b) Suministrar una superficie de rodamiento antideslizante. Los agregados ásperos y duros proporcionan resistencia al deslizamiento.
- c) Dar nueva vida a superficies secas y envejecidas.
- d) Suministrar protección temporal a una base nueva.
- e) Proteger pavimentos viejos que se han deteriorado por la edad o por grietas de retracción o de fatiga, mientras se efectúa un mejoramiento permanente.
- f) Definir acotamientos para que no se confundan con carriles de circulación.
- g) Permitir la aplicación de franjas ruidosas para seguridad.

4.1.2 Procedimiento de Aplicación

- a) Verificar que los materiales empleados cumplan con las especificaciones de obra.
- b) Inspeccionar y calibrar todo el equipo de construcción.
- c) Asegurar la compatibilidad entre emulsión asfáltica y agregado. Seleccionar las características de rompimiento y viscosidad de la emulsión catiónica y utilizar material pétreo de tamaño adecuado libre de polvo, evitando la presencia de lascas en dicho agregado (debe tener forma lo más cúbica posible).
- d) Determinar la dosificación óptima de aplicación de la emulsión y la cantidad correcta de agregado por metro cuadrado.
- e) Limpiar la superficie a ser sellada previamente a la aplicación de la emulsión.
- f) Seleccionar el tipo y peso apropiados de compactadores.
- g) Trabajar en condiciones climáticas adecuadas.

4.2. RIEGO DE GRAVILLAS

El riego de gravillas es un tratamiento superficial comúnmente usado, el cual puede ser del tipo simple o doble.

Se define como tratamiento superficial simple a la aplicación de una película continua de ligante asfáltico sobre la superficie vial, seguida de la extensión y compactación de una sola capa de agregado.

Por su parte, el tratamiento superficial doble se define como la aplicación consecutiva de dos tratamientos superficiales simples, los cuales generalmente son de diferentes características.

En ambos casos el ligante asfáltico desempeña un papel muy importante para obtener una aplicación correcta, ya que es el vínculo de unión entre los mismos agregados y entre éstos y la capa subyacente.

La emulsión catiónica empleada debe cumplir las siguientes características:

- Buena adhesividad con todo tipo de agregados (calizos y silicosos).
- Fluidez suficiente que permita un buen esparido sobre la superficie por parte de la petrolizadora y una fácil humectación de los materiales pétreos.
- Ruptura rápida que permita desarrollar cohesión con el material pétreo en el menor tiempo posible.
- Adecuada viscosidad en relación con el tamaño del agregado y con las características geométricas del trazado de la carretera para evitar escurrimientos.

En la mayoría de los casos de aplicación, el punto principal es el tiempo de ruptura de la emulsión. Existen diversos factores intrínsecos que inciden sobre dicho tiempo, como el tamaño de partícula del asfalto, pH, dosificación y naturaleza del emulsificante, etc.

Por otra parte, las condiciones climatológicas tienen marcada influencia sobre dicho tiempo de ruptura, aún cuando la emulsión es significativamente tolerante a estas condiciones, su rompimiento se afecta sensiblemente bajo condiciones extremas de frío y humedad.

La emulsión puede aplicarse a temperatura ambiente o con cierto grado de calentamiento (50-60°C) teniendo en este caso menos problemas de taponamiento de las espreas de la petrolizadora.

4.2.1. Condiciones de Aplicación

El equipo necesario para esta aplicación consta de una barredora mecánica o personal de limpieza, petrolizadora, camiones de volteo equipados con esparcidores y un compactador tipo plancha ligera o del tipo neumático (de preferencia).

4.2.2. Procedimiento para el Riego de Gravillas

1. Limpiar la superficie que se va a sellar.
2. Por medio de la petrolizadora regar la cantidad necesaria de la emulsión. Es muy importante una dosificación adecuada de ésta última, tomando en cuenta las condiciones de la carpeta. Los difusores de la petrolizadora deben estar limpios para asegurar un riego uniforme de emulsión.
3. Inmediatamente, por medio de los camiones de volteo y el mecanismo esparcidor, cubrir con las gravillas el riego de emulsión, dosificándolas de manera que quede una capa con el espesor adecuado permitiendo el perfecto cubrimiento de toda el área por sellar.

Es importante que el riego de las gravillas se efectúe en forma uniforme antes de que se produzca el rompimiento de la emulsión regada con la finalidad de asegurarse que las partículas de material pétreo tengan adecuada adherencia con el ligante asfáltico, evitando su desprendimiento. Dicho rompimiento puede detectarse cuando la emulsión cambia de un color café a negro brillante.

4. La compactación debe también efectuarse inmediatamente después de la extensión del material pétreo para que éste y el ligante puedan terminar de adherirse convenientemente.

Para efectuar esta operación se recomiendan principalmente los compactadores del tipo neumático ya que no destruyen las partículas de material y se adaptan mejor a las irregularidades de la superficie por sellar, dando como resultado una mejor fijación del material sobre la misma.

4.2.3. Recomendaciones Generales

1. Se recomienda utilizar materiales pétreos libres de polvo para que cumpla con las especificaciones y tenga mejor adherencia con el asfalto. Otra opción es premezclarlo con emulsión antes de efectuar el riego.
2. Otra observación muy relacionada con el punto anterior es la de humedecer ligeramente el material pétreo con el fin de eliminar el polvo adherido a la gravilla. Una variante de esta opción es la de premezclar con emulsión dicho material pétreo antes de efectuar el riego de gravilla.

4.3 EMULSIONES ESPECIALES PARA RIEGO DE IMPREGNACION

El riego de impregnación es la aplicación de un asfalto fluidizado a la base granular de un pavimento que no ha sido tratado previamente, con la finalidad de obtener una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, con mayor resistencia y sin la presencia de polvo o partículas minerales sueltas. Estas condiciones permiten extender adecuadamente las capas asfálticas superiores sin que exista un corrimiento de las mismas.

La impermeabilidad de la base impide la penetración de más humedad y evita que no se evapore el agua y no se pierda la compactación.

Para el riego de impregnación se utilizan asfaltos de baja viscosidad, propiedad que debe mantenerse durante cierto tiempo para que el asfalto pueda penetrar ligeramente por capilaridad.

Estas exigencias varían según el tipo de base a tratar. Las bases con alto contenido de suelo de grano fino, sobre todo si estos son arcillosos, presentan una cierta dificultad para impregnar.

La cantidad de ligante necesaria se suele fijar como la que es capaz de absorber la base en un periodo de 24 horas (0.8 - 1.2 litros de asfalto por metro cuadrado). Después de este periodo, las zonas especialmente ricas en asfalto pueden cubrirse con arena o árido fino (poreo de arena) para absorber el exceso y las zonas especialmente porosas se tratan con un nuevo riego de impregnación.

Anteriormente en México y en muchos otros países la mayoría de las impregnaciones se efectuaban con rebajados asfálticos de fraguado medio y no con emulsión asfáltica. Algunas impregnaciones se han realizado con asfalto modificado con solventes ligeros obteniendo malos resultados por la evaporación rápida del solvente, quedando el asfalto en la superficie de la base sin lograr el objetivo de la impregnación.

Cuando el asfalto se rompe en partículas minúsculas en un molino coloidal y se dispersa en agua por medio de un emulsificante, se convierte en una emulsión asfáltica. Las micelas o partículas de asfalto (de 3 a 8 micras de diámetro) permanecen uniformemente en suspensión hasta que se usa la emulsión para un propósito previsto.

El uso de la emulsión asfáltica para el riego de impregnación no ha tenido resultados aceptables, ya que las pequeñas partículas de asfalto deben ser capaces de penetrar los vacíos presentes en la base de la superficie granular. Si estos vacíos en la superficie son demasiado pequeños sirven como filtro y atrapan a las partículas de asfalto sobre la superficie formando una membrana superficial del mismo.

Por esta razón, las emulsiones asfálticas de cualquier tipo (aniónicas, catiónicas, rápidas, medias, lentas y superestables) no funcionan adecuadamente para esta aplicación.

Con el objetivo de lograr la impregnación con emulsiones, se ha tratado de emulsificar asfaltos utilizando solventes tipo FM-1 obteniendo resultados aceptables al aplicarse sobre bases abiertas, y no así sobre bases cerradas.

Algunos constructores al no penetrar la emulsión en la superficie, adicionan un poreo de arena con el propósito de que ésta absorba el asfalto residual.

Otra opción consiste en el "Riego a cielo abierto", en el cual, la base no se compacta totalmente y la emulsión logra impregnar.

Para obtener resultados aceptables al utilizar emulsiones en la impregnación, se propone modificar el estado original del asfalto (asfaltos típicos de penetración 80-100) con aditivos orgánicos para su posterior emulsificación. Esto no representa un aumento sustancial en el costo de la emulsión.

La función de este aditivo orgánico sobre el asfalto original es la de disminuir la viscosidad del mismo, reblandeciéndolo, logrando obtener en la molienda un tamaño de partícula mucho menor (décimas de micra) que el obtenido con el asfalto original (de 3 a 8 micras).

Con este tamaño de partícula mucho menor, se obtienen emulsiones que favorecen la penetración de las mismas en la base granular. Las partículas de asfalto que quedan en la superficie formando la membrana de asfalto siguen impregnando debido a su viscosidad modificada hasta que son absorbidas por la base, obturando así los huecos y poros, logrando la impermeabilización en periodos de tiempo de aproximadamente 24 horas.

Este tipo de aditivos no se volatilizan ni separan del asfalto, logrando endurecer la capa asfáltica después de que se ha logrado la impregnación. Con este tipo de emulsiones se evita la contaminación ambiental causada por la evaporación de solventes orgánicos y se obtienen un ahorro energético al utilizar estos solventes en otras aplicaciones más útiles.

Cabe señalar que el riego de impregnación funciona solamente como una protección para la base granular, sin que esto signifique que después de aplicarlo quede lista una superficie de rodadura. Lo más conveniente es proteger la base ya sea con una carpeta asfáltica o con un riego de gravilla.

La formulación para este tipo de emulsiones depende principalmente del tipo de base a tratar, lo más recomendable es hacer pequeños tramos de prueba para lograr mejores resultados. Sin embargo, como punto de partida cuando se tenga una base arcillosa demasiado cerrada o abierta, se recomiendan las siguientes formulaciones:

Componentes	Bases Arcillosas Cerradas	Bases Granulares Abiertas
Asfalto, %	35	48
Aditivo, %	15	12
Agua, %	50	40
Asfier 208, %	0.6	0.6
pH (solución. jabonosa).	1.6 - 1.8	1.6 - 1.8

Tabla 6.- Formulación de emulsiones asfálticas dependiendo del tipo de base.

En la tabla anterior se puede observar que la diferencia entre las dos formulaciones de emulsión es el contenido del aditivo, de esto se puede concluir que una base cerrada requiere mayor cantidad de aditivo que una base abierta.

En México se han impregnado gran cantidad de kilómetros, en diferentes tipos de bases con este tipo de emulsión obteniendo resultados muy favorables (penetraciones entre 3 y 6 mm).

4.3.1. Recomendaciones

1. Aplicar la emulsión a una temperatura entre 50 y 60 °C.
2. La dosificación depende del tipo de base a tratar y debe determinarse experimentalmente haciendo ensayos previos. Generalmente en bases cerradas se dosifican de 1.0 a 1.2 litros por metro cuadrado y en bases abiertas de 1.4 a 1.8.
3. Para obtener mejores resultados de impregnación la emulsión debe de aplicarse entre las nueve y quince horas del día.
4. Las espreas de la petrolizadora deben de estar limpias para lograr una dosificación correcta y distribuida de la emulsión.
5. Es necesario limpiar (barrer) la superficie de la base. Si existe polvo en la misma, la emulsión puede reaccionar con éste dificultando la impregnación.

4.4. MORTERO ASFALTICO (SLURRY SEAL)

El mortero asfáltico es un tipo de tratamiento superficial que se emplea como capa de desgaste o de sello, por lo que no debe considerarse como parte estructural del pavimento; en otras palabras, es un mantenimiento preventivo no correctivo.

Un mortero asfáltico está compuesto por finos como el cemento o cal, el agregado, agua, emulsión y aditivo si se requiere. Estos materiales se mezclan en forma homogénea, dándole al mortero propiedades tixotrópicas con buena resistencia a la abrasión.

El mortero asfáltico se fabrica en el lugar de aplicación de forma rápida y precisa. El mezclado y extendido se realizan mediante una operación continua y el pavimento puede ser utilizado nuevamente en cuestión de algunas horas.

Con el transcurso del tiempo, la tecnología se ha ido perfeccionando tanto desde el punto de vista aplicación, como desde el punto de vista químico. Existen máquinas modernas que producen 1350 kg /min. de mortero asfáltico. Un equipo con capacidad de 8 m³ puede producir hasta 2000 m² de slurry seal en 15 minutos.

Para la fabricación del mortero asfáltico se emplean normalmente emulsiones catiónicas de rompimiento lento, controlado o superestables y materiales pétreos debidamente clasificados y uniformes.

En México, generalmente se han empleado emulsiones superestables para la aplicación de los morteros asfálticos, lo cual ocasiona tiempos largos en la apertura al tráfico, sobre todo cuando se emplea en días nublados o en época de invierno.

En la actualidad se requieren emulsiones que permitan un rompimiento controlado, de tal forma que la apertura al tráfico sea casi inmediata o en un tiempo máximo de 60 minutos contados a partir de que se tira la mezcla.

Un aspecto importante en el diseño del Slurry Seal es el tiempo que tarda en curar o fraguar, mismo parámetro que determina el tiempo en que la obra puede ser abierta al tráfico.

Actualmente, es muy común escuchar el término "Quick Set", lo cual se presta a ciertas confusiones tanto para los fabricantes de emulsiones como para los constructores. Esta definición se explica claramente en un boletín técnico de la ISSA para la medición de la cohesión. Este artículo muestra que el rompimiento puede ser menor de 30 minutos, pero el tiempo para abrir al tráfico puede prolongarse por varias horas. De lo anterior se definen los siguientes sistemas:

- **QUICK SET (Rompimiento Rápido).** El tiempo de rompimiento no es mayor a 30 minutos.
- **DIRECT QUICK TRAFFIC (Rompimiento Rápido - Tráfico Inmediato).** En 30 minutos a partir de que se tira la mezcla se desarrolla la cohesión necesaria para abrir al tráfico.
- **QUICK SET - QUICK TRAFFIC (Rompimiento Rápido - Tráfico Rápido).** En 60 minutos contados a partir de que se tira la mezcla se puede abrir al tráfico.
- **QUICK SET - SLOW TRAFFIC (Rompimiento Rápido).** El tiempo de rompimiento es menor a 30 minutos, pero el tiempo necesario para abrir al tráfico puede prolongarse hasta 3 horas.
- **SLOW SET - SLOW TRAFFIC (Rompimiento Lento - Tráfico Lento).** El tiempo de rompimiento es mayor de 30 minutos y la apertura al tráfico se prolonga a más de 3 horas.

- ***FALSE SET - SLOW TRAFFIC (Rompimiento Aparente - Tráfico Lento)***. El último caso se presenta cuando hay un rompimiento aparentemente rápido pero la apertura al tráfico se prolonga demasiado.

Cuando se elabora slurry seal del tipo "Quick Set" normalmente la apertura al tráfico puede tardar de 30 minutos a una hora pero se requiere de equipo adecuado para realizar la aplicación y el uso de materiales pétreos compatibles con la emulsión asfáltica. En este caso el mecanismo de rompimiento no está bien definido, pero se considera que es una acción química en la que todos los componentes individuales repentinamente pierden sus cargas estáticas y se combinan espontáneamente.

Por su parte, el slurry seal del tipo "Slow Set" rompe por un mecanismo de expulsión del agua y fragua a medida que el agua se evapora. En días soleados, calurosos y con presencia de viento podrá abrirse al tráfico en un lapso de tiempo entre 3 y 4 horas. Si el día está frío, nublado o con humedad relativa alta dicho tiempo de apertura al tráfico puede demorar hasta 12 horas. Desde luego, este tipo de slurry no es adecuado para utilizarse durante la noche ni para trabajos en aeropuertos o donde tenga que abrirse rápidamente al tráfico.

4.4.1 Características y Usos de los Morteros Asfálticos

El deterioro por la aparición de grietas por contracción puede ser contrarrestado mediante un sellado a tiempo. Los morteros asfálticos se pueden aplicar sobre asfalto, concreto hidráulico y enladrillados. Como el mortero asfáltico es semilíquido es muy efectivo ya que no solamente penetra en las grietas del pavimento y las rellena, sino que deja una nueva superficie que protegerá la capa inferior de la intemperie.

La Asociación Internacional de Slurry Seal, reconoce tres tipos de agregados dependiendo de su distribución granulométrica (Tabla 7).

Tipo I. Material fino con tamaño máximo de $\frac{1}{8}$ " , se usa para máxima penetración las grietas y como preparación para mezcla en caliente o sello convencional. En áreas de poco tránsito también se utiliza como sello.

Tipo II. Tamaño máximo de $\frac{1}{4}$ " , es el más utilizado para sellar, corrige defectos severos y aumenta la resistencia al derrape.

Tipo III. Agregado grueso con tamaño máximo de $\frac{3}{8}$ " , corrige defectos severos de la superficie proporciona resistencia al derrape.

MALLA	TIPO I Fino	TIPO II General	TIPO III Grueso
1/2	100	100	100
3/8	100	100	100
No. 4	100	85-100	70-90
8	100	65-90	45-70
16	65-90	45-70	28-50
30	40-60	30-50	19-34
50	25-42	18-30	15-25
100	15-30	10-21	7-18
200	10-20	5-15	5-15
% Residuo Asfáltico	10-16	7.5-13.5	6.5-12
Agregado Seco kg/m²	2.2-5.4	5.4-8.1	8.1-13.6
Espesor Máximo milímetros	3.2	6.4-8	9.5-11
pulgadas	1/8	1/4-5/16	3/8-7/16

Tabla 7.- Granulometría del Slurry Seal.

4.4.2. Componentes del Slurry Seal

• **Materiales Pétreos.** Se ha utilizado grava triturada como calizas, granito, basalto, lava, y escoria de fundición entre otros.

Los agregados dependiendo de su carga superficial pueden llegar a desarrollar cohesión para abrir al tráfico en tiempos muy variados. Por lo tanto, podemos decir que el tipo de agregado así como la naturaleza química del emulsificante son de primordial importancia para que el mortero llegue a comportarse como un sistema "Quick Set - Quick Traffic".

• **Agua.** El agua se presenta en los morteros en tres formas diferentes, en la humedad del agregado, en el pre-mezclado y el agua de la emulsión.

El exceso de agua, además de derramar la mezcla, evitará el correcto cubrimiento del material por el asfalto y existirá el problema de mala adherencia.

El contenido óptimo de agua se determina mediante la prueba del cono (consistencia entre 2 y 3 cm).

• **Filler Mineral.** Generalmente se utiliza cemento portland o cal, con la siguiente finalidad:

- a) Mejorar la granulometría (en caso de ausencia de finos).
- b) Ayudar a la estabilidad.
- c) Acelerar o retardar el rompimiento.

Experimentalmente se ha observado en el laboratorio, que con algunos agregados con los que no se utiliza filler el tiempo de mezcla con la emulsión no es suficiente para el tendido del mortero (2-3 minutos).

• **Emulsión Asfáltica.** El rompimiento y la estabilidad de la emulsión asfáltica dependen del tipo de emulsificante que se utilice, así como del contenido de cemento asfáltico. Normalmente las emulsiones para mortero asfáltico son aquellas que requieren mayor cantidad de emulsificante para su fabricación (del orden de 1.0 a 1.8%).

El contenido mínimo óptimo de cemento asfáltico en el mortero se calcula mediante el método de la prueba de abrasión en húmedo (WTAT) y el contenido máximo utilizando el método de la rueda cargada (LWT).

4.4.3 Condiciones Ambientales

•**Temperatura.** Es preferible que la temperatura ambiental sea mayor de 13 °C para que ayude a eliminar el agua de la mezcla.

•**Humedad Relativa.** Es preferible que sea menor de 70% para que el ambiente no esté muy saturado e impida la evaporación del agua de la mezcla. Es importante mencionar que mientras exista agua en la mezcla no se desarrolla cohesión, aun cuando haya roto la emulsión. Se puede ayudar a eliminar el agua con compactación neumática.

4.4.4. Ventajas del Slurry Seal sobre el Riego de Gravilla

1. No se desperdicia material.
2. No es necesario barrer para recuperar el exceso de grava.
3. Penetra en las grietas.
4. No hay proyección de piedras contra los vehículos.
5. No hay riesgo de derrape recién abierto el tráfico.

4.4.5. Prueba de Cohesión

Este método se utiliza para efectuar la medición del tiempo de rompimiento y curado del Slurry Seal.

Equipo

- Cohesiómetro modificado
- Material no absorbente
- Moldes de 6 y 8 mm con diámetro de 60 mm.
- Malla de $\frac{1}{4}$ y malla No. 4
- Material para calibración: Arena de Ottawa y Lija para papel del No. 100 y No. 220.

Procedimiento

Los agregados del tipo II y del tipo III se criban a través de las mallas No. 4 y de $\frac{1}{4}$ respectivamente; la porción que se retiene se descarta. Para el slurry del tipo II se utiliza el molde de 6 mm de espesor y para el tipo III el molde de 10 mm. Se debe tener cuidado de producir una superficie uniforme.

Las mediciones de cohesión se toman a intervalos de tiempo de 30, 60, 90, 150 y 270 minutos después del tiempo de rompimiento. La muestra se centra debajo del pie de neopreno a una presión de 200 kPa y se compacta durante 5 segundos. El torquímetro se ajusta a cero y se gira uniformemente en una posición horizontal dentro de un arco entre 90 y 120 grados. Se anota la lectura y se limpia el pie de neopreno.

Calibración

El disco de hule se pule con la lija del No. 220 hasta que se repita una lectura constante entre 12 y 13. Después se prueban la arena de Ottawa contenida en un molde de 1 cm y la lija del No. 100 y se anotan las lecturas de calibración.

Resultados

Los resultados se registran a intervalos de tiempo apropiados (30, 60 min., etc.) hasta que se establezca una tendencia. La gráfica mostrará una curva característica para el desarrollo de cohesión particular para cada sistema que se evalúa (Fig. 15).

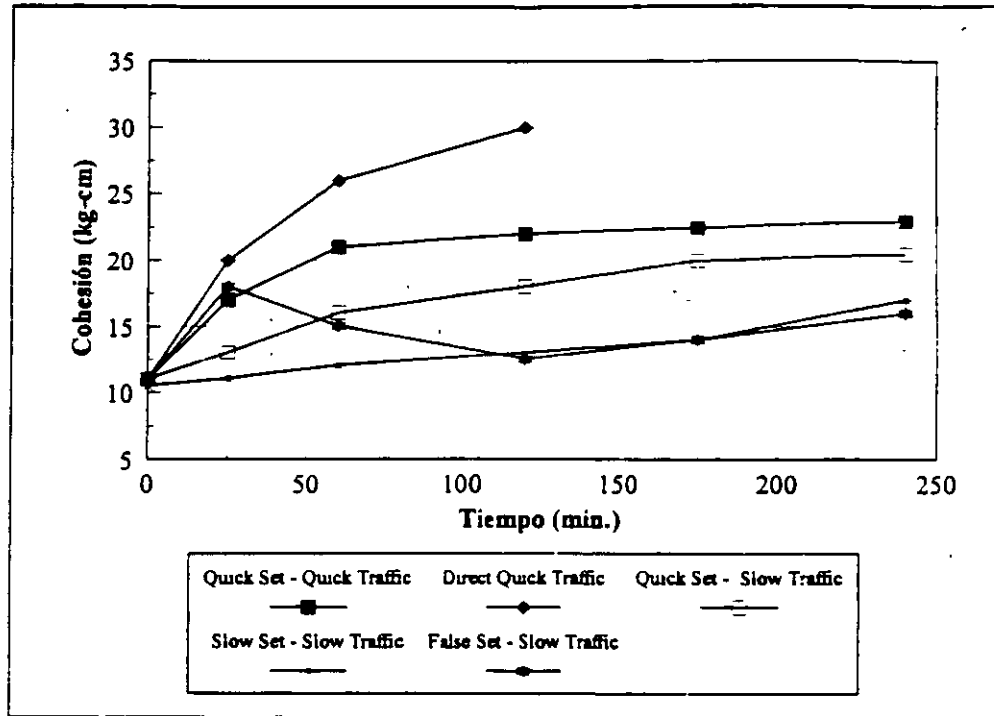


Figura 15.- Gráfica de Cohesión para diferentes sistemas de Quick Set.

Tiempo de Rompimiento

El tiempo de rompimiento se define en diferentes formas:

- Cuando un sistema de slurry ya no puede ser remezclado uniformemente.
- Cuando no se presentan desplazamientos laterales en la compactación.
- Cuando un papel absorbente no se mancha al presionarlo ligeramente en la superficie del slurry.
- Al lavar con agua no escurre la emulsión.

Apertura al Tráfico

Es cuando se tiene una lectura de cohesión entre 20 y 21 kg-cm.

El Quick Set (rompimiento rápido) se define como un sistema de slurry en el cual la lectura de cohesión alcanza valores entre 12 y 13 kg-cm en un tiempo no mayor de 30 minutos.

El Quick Traffic (Apertura rápida al tráfico) se define como un sistema de slurry en el cual se alcanzan valores de cohesión entre 20 y 21 kg-cm en un tiempo no mayor de 60 minutos, incluyendo el tiempo de rompimiento.

5. MEZCLAS ASFALTICAS

Se conocen como mezclas asfálticas, aquellas mezclas que están constituidas por partículas minerales de material pétreo, las cuales están envueltas por una película continua del ligante. Actualmente constituyen un material ampliamente usado en la construcción de firmes flexibles.

A partir de la mezcla asfáltica se lleva a cabo la formación de la carpeta, que constituye principalmente la capa superficial del pavimento. También se utilizan en la instalación de sobrecarpetas y mezclas para bacheo entre otros.

Se denomina mezcla asfáltica en frío a la mezcla que puede manejarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente.

El uso de la emulsión asfáltica asegura una dosificación más uniforme del ligante respecto al material pétreo, mejor adhesividad y permite el uso de materiales de menor calidad respecto al material requerido para la mezcla en caliente.

Las mezclas asfálticas con emulsión pueden clasificarse en tres tipos:

- a) De textura cerrada, si los vacíos existentes entre el material pétreo están comprendidos entre el 3 y 6 % de la mezcla.
- b) De textura semicerrada, si los vacíos están comprendidos entre el 6 y 12%.
- c) Abiertas, si los espacios vacíos abarcan más del 12%.

5.1. MEZCLA EN EL LUGAR O PLATAFORMA

Este tipo de mezclas se elaboran en el lugar de aplicación, ya sea sobre el mismo camino o sobre una plataforma localizada a un costado de dicho camino. Normalmente la acción de dos motoconformadoras es la que lleva a cabo la mezcla de los pétreos y de la emulsión.

Para llevar a cabo este trabajo se requiere además de una petrolizadora, equipo de compactación y una barredora mecánica o personal de limpieza.

En México este sistema se emplea principalmente en el mantenimiento de carretera. Sin embargo, no es el método más adecuado debido principalmente a los siguientes inconvenientes:

- Bajo nivel de producción de mezcla asfáltica. En condiciones óptimas se produce un máximo de 30 m³/h (300 m³ diarios).
- Uso de maquinaria y personal en cantidades considerables, incrementando el costo de la obra.
- Posibilidad de que la mezcla no quede homogénea debido a una mala distribución de la emulsión asfáltica o una mala operación de las motoconformadoras.
- Necesidad de contar con personal calificado para la operación de dichas motoconformadoras.

5.1.1 Elaboración y Aplicación de la Mezcla

1. Se inicia el proceso incorporando la humedad de mezclado necesaria al material pétreo por medio de una pipa. Es conveniente señalar que la humedad de mezclado en campo debe ser mayor respecto a la recomendada por el laboratorio.
2. Por medio de las motoconformadoras se homogeneiza el material pétreo y el agua de mezcla.
3. Una vez hecho esto, se procede a la incorporación de la emulsión asfáltica. La motoconformadora abre una cama en el camellón de material pétreo con el menor espesor posible para que la petrolizadora haga su primer riego de emulsión. En seguida debe pasar la segunda motoconformadora cubriendo la emulsión con material al mismo tiempo que lo revuelve, dejando una nueva cama para la siguiente aplicación.
4. Se repite la operación anterior. Es importante que la dosificación total de la emulsión se haga en el mayor número de pasadas posibles de la petrolizadora, ya que esto ayuda a tener mejor difusión del ligante.
5. Cuando se termina de agregar la emulsión, debe homogeneizarse la mezcla, efectuando el mezclado con las motoconformadoras.

5.1.2. Observaciones

1. No debe dejarse arropada la emulsión asfáltica para proseguir el mezclado al día siguiente.
2. El camellón no deberá ser mayor de 250 m³.
3. En ocasiones las compañías contratistas solicitan al proveedor de la emulsión que incorpore su producto directamente de la pipa o autotanco al material pétreo, en este caso debe tenerse cuidado de que en cada pasada de la pipa el flujo de emulsión depositada sobre el material sea el menor posible y el número de pasadas sea el mayor posible.
4. La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar debe cumplir con lo que indique el proyecto en cada caso.
5. Posterior al mezclado, la mezcla asfáltica se deja reposar para que adquiera su humedad óptima de compactación. Cuando se obtiene dicha humedad es necesario preparar la superficie a tratar barriéndola para que a continuación se efectúe sobre ella un riego de liga y entonces proceder al tendido de la mezcla.
6. La compactación se efectúa una vez que la mezcla ha sido tendida. Primero se utiliza el rodillo liso del Duo-pactor dando únicamente una cerrada, para continuar después con el equipo neumático, de preferencia el autopulsado.
7. Debe procurarse tender la mezcla asfáltica en capas no mayores de 75 mm.
8. Las propiedades de mezclado, cubrimiento y manejabilidad de la mezcla asfáltica no deben tratar de mejorarse adicionando un exceso de agua. Estos factores dependen del tipo de emulsión empleada y de las características del material pétreo.
9. Las mezclas en el lugar siempre se efectúan con pétreos de textura cerrada. Debido a estas características se considera que son impermeables después de haber sido compactadas.

5:2 MEZCLAS EN PLANTAS ESTABILIZADORAS

Este sistema de mezclado es más eficaz y adecuado respecto al anterior. Con este tipo de plantas es factible producir $60 \text{ m}^3/\text{h}$ y las características de la mezcla serán más homogéneas.

Un aspecto práctico es colocar la planta estabilizadora en el lugar más cercano a donde se localice el banco de material.

Para el diseño de la mezcla asfáltica debe analizarse el material pétreo con el propósito de observar que cumpla con las especificaciones de diseño.

El equipo necesario para llevar a cabo este tipo de aplicación es el siguiente;

- Planta estabilizadora convencional.
- Un cargador frontal.
- Una pavimentadora o "finisher".
- Un Duo-Factor y equipo neumático de compactación.
- Barredora mecánica o personal de limpieza.
- Tanques de almacenamiento de emulsión.
- Petrolizadora.

Al principio de la operación se determina la humedad del pétreo en su estado natural por medio del laboratorio. Una vez hecho esto, dicho material se vuelca sobre la tolva de la planta estabilizadora utilizando un cargador frontal.

En caso de que el material pétreo no tenga la suficiente humedad para el mezclado, se le dosifica en la planta mediante una barra irrigadora colocada sobre la banda transportadora del material antes de llegar a la caja mezcladora.

Una práctica común de los constructores es habilitar una rampa para descargar los camiones de volteo sobre la tolva de la planta. Esta debe contar con una bomba volumétrica alimentadora de emulsión con el objeto de calibrar la máquina de acuerdo con el flujo de material pétreo.

Cuando se trata de una mezcladora continua, es necesario cuidar de cerca la dosificación de la emulsión, ya que el volumen de flujo del material pétreo varía según la humedad que contenga.

Un buen mezclado depende de la posición, desgaste y velocidad de las paletas mezcladoras. Es recomendable almacenar la mezcla sobre una plantilla previamente preparada para evitar posibles contaminaciones al momento de cargar los camiones de volteo.

El funcionamiento óptimo de una planta estabilizadora se cumple de acuerdo a los siguientes puntos:

- Determinación del material pétreo alimentado.
- Determinación y dosificación del agua de mezclado.
- Dosificación de la emulsión asfáltica de acuerdo a la cantidad de agregado.

5.2.1. Procedimiento de Fabricación

1. El material pétreo se recibe en una tolva.
2. El material pétreo se pasa de la tolva, a través de los dosificadores, a una banda transportadora, la cual descarga en el mezclador de paletas.
3. La emulsión asfáltica es bombeada del almacenamiento al mezclador de paletas a través de una tubería.
4. La emulsión asfáltica es distribuida en el mezclador de paletas por medio de una barra.
5. El consumo de emulsión es controlable y por tanto el residuo asfáltico en la mezcla no varía.

5.2.2. Observaciones

1. Es importante procurar que la velocidad de rompimiento de la emulsión sea el adecuado para no disminuir el rendimiento de la máquina.
2. Es importante incorporar a la planta una bomba adicional para la incorporación de la humedad de mezclado al material pétreo.

5.3 METODO DE DISEÑO PARA MEZCLAS ASFALTICAS

El Siguiete método funciona de manera práctica para el diseño general de una mezcla de material pétreo con emulsión. El material pétreo puede ser cualquiera que cumpla con la granulometría adecuada para la obra en custrión.

El primer paso a realizar es conocer todas las características del material pétreo:

- Identificación petrográfica
- Peso volumétrico seco suelto.
- Granulometría
- Porcentaje de absorción.
- Equivalente de arena.

Una vez que se tienen estos datos se procede a determinar el tipo de emulsión más adecuada.

Dentro de las emulsiones catiónicas se pueden tener formulaciones que van desde 0.4 hasta 1.2% de emulsificante por tonelada de emulsión, y con un pH de 1.8 hasta 2.5. Todas estas variantes pueden aplicarse para el diseño de la emulsión más apropiada.

El procedimiento general que se presenta a continuación para diseñar la emulsión adecuada para una mezcla asfáltica, está basado en la ecuación del Instituto de Asfalto para determinar el porcentaje óptimo teórico de residuo asfáltico para la mezcla.

**PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE UNA EMULSION PARA MEZCLAS
ASFALTICAS**

1.	Homogeneizar la muestra de material pétreo (cuarteo).
2.	Realizar el análisis granulométrico del material. a) Tamizado en seco. b) Tamizado en húmedo. Se lava el material sobre una malla No. 200 y se deja secar al aire.
3.	Determinar el Porcentaje de Absorción y la Densidad. a) Pesar aproximadamente entre 100 y 200 g de material pétreo, pasado por la malla de 1/2" y retenido en la malla de 1/4". b) Depositar el material en un vaso de precipitado con 700 ml de agua y dejar reposar durante 24 horas. c) Sacar el material y quitar el exceso de agua con una franela. d) Pasar el material húmedo a una probeta con una volumen conocido de agua y observar el cambio de volumen. e) Sacar el material, secarlo y pesarlo: $\% \text{ Absorción} = (\text{Peso material húmedo} - \text{Peso material seco}) / \text{Peso material seco}$ $\text{Densidad (g/ml)} = \text{Peso material seco} / \text{Cambio de volumen}$
4.	Determinar el peso volumétrico seco suelto (kg/m^3).
5.	Determinar la humedad natural del material. a) Pesar de 100 a 200 g de material (A) en una cápsula de porcelana. b) Colocar la cápsula en un horno a 110-115°C durante una hora. c) Enfriar el material en desecador químico. d) Una vez frío pesarlo (B). $\% \text{ Humedad natural} = (A-B)(100)/A$
6.	Gráfica de clasificación (Abierta / Semicerrada / Cerrada).

7. Calcular el equivalente de arena.

- a) Pesar de 100-110 g de material previamente tamizado por la malla No. 4.
- b) En la probeta de análisis adicionar 4 pulgadas de solución de trabajo (solución acuosa de cloruro de calcio, glicerina y formaldehído).
- c) Adicionar el material a la probeta.
- d) Golpear el fondo de la probeta con la mano para desalojar el aire atrapado.
- e) Dejar reposar el sistema durante 10 minutos.
- f) Tapar la probeta y agitar en forma horizontal durante 30 seg. a una velocidad de 90 ciclos por minuto.
- g) Lavar las paredes con solución de trabajo hasta completar las 15 pulgadas de volumen.
- h) Dejar reposar el sistema durante 20 minutos.
- i) Tomar la lectura superior de la arcilla (H-1).
- j) Tomar la lectura superior de la arena (H-2).

$$\% \text{ Equiv. de arena} = (H-2)(100)/(H-1)$$

Esta prueba proporciona una idea de la actividad del material pétreo. De aquí se puede seleccionar de manera preliminar el tipo de emulsión a ser utilizada:

	Equivalente de Arena	Tipo de Emulsión
Para mezclas	45-80	Emulsión superestable
	75-100	Emulsión media o lenta
Para mortero	50-90	Emulsión superestable

8. Determinación del porcentaje teórico de asfalto (P).

$$\% \text{ Teórico de Asfalto} = 0.032A + 0.045B + CD + K$$

- A = % retenido en malla no. 10 (100 - % que pasa).
 B = % que pasa malla no. 10 - % que pasa malla no. 200.
 C = % que pasa la malla no. 200.
 D = Valor que depende del % que pasa la malla no. 200.

- 0.20 (de 11 a 15 % que pasa la malla no. 200)
 0.18 (de 6 a 10% que pasa la malla no. 200)
 0.15 (menos de 5 % que pasa la malla no. 200)

- K = 2 (Para material volcánico, poroso, de alta absorción o que está dentro de la zona 2 o de mezcla cerrada. Ver gráfica de tamizado).
 K = 1.2 (Para material en mezcla semi-cerrada).
 K = 0.7 (Para material en mezcla abierta o en zona 1).

9. Contenido de cemento asfáltico en la emulsión (% C.A.).

<p>11. Determinar el volumen de emulsión (litros emulsión / m³ material).</p> <p style="text-align: center;">Volumen de emulsión = (P.V.S.S. * %E) / (Densidad de la emulsión * 100)</p> <p style="text-align: center;">Densidad de la emulsión = 1 kg/litro aproximadamente</p>
<p>12. Con la humedad natural del material y el porcentaje de absorción, fijar un porcentaje de humedad de premezclado para 500 g de material, basado en el porcentaje retenido, para lograr una mezcla representativa.</p>
<p>13. Evaluar el cubrimiento y manejabilidad de las mezclas con diferentes porcentajes de humedad de premezcla, manteniendo constante el porcentaje de asfalto.</p>
<p>14. Encontrado el porcentaje adecuado de humedad de premezcla, disminuir o aumentar el porcentaje de asfalto para encontrar el porcentaje adecuado para un buen cubrimiento (no mayor a 6.5%).</p>
<p>15. Repetir las mejores mezclas a las mismas condiciones utilizando 1200 g de material, para realizar el análisis de estabilidad con el método Marshall modificado.</p>



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

**Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES**

**para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

**Control del Contenido de Asfalto en Concreto
Asfáltico por Métodos no Tradicionales**

8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

CONTROL DEL CONTENIDO DE ASFALTO EN CONCRETO ASFALTICO POR METODOS NO TRADICIONALES

METODOS TRADICIONALES:

- DISOLUCION CON CL_4C
- METODO DEL EXTRACTOR CENTRIFUGO

VENTAJA:

- CONTROL DE LA GRANULOMETRIA EN EL
AGREGADO

DESVENTAJAS:

- EXCESIVO TIEMPO DE PRUEBA
- TOXICIDAD DEL SOLVENTE
- CORROSION DE METALES
- PROBABILIDAD DE DISTORSION DE RESULTADOS EN
MUESTRAS PEQUEÑAS, METODO SUSCEPTIBLE A
ERRORES.



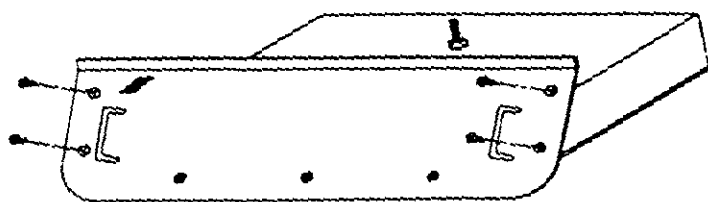
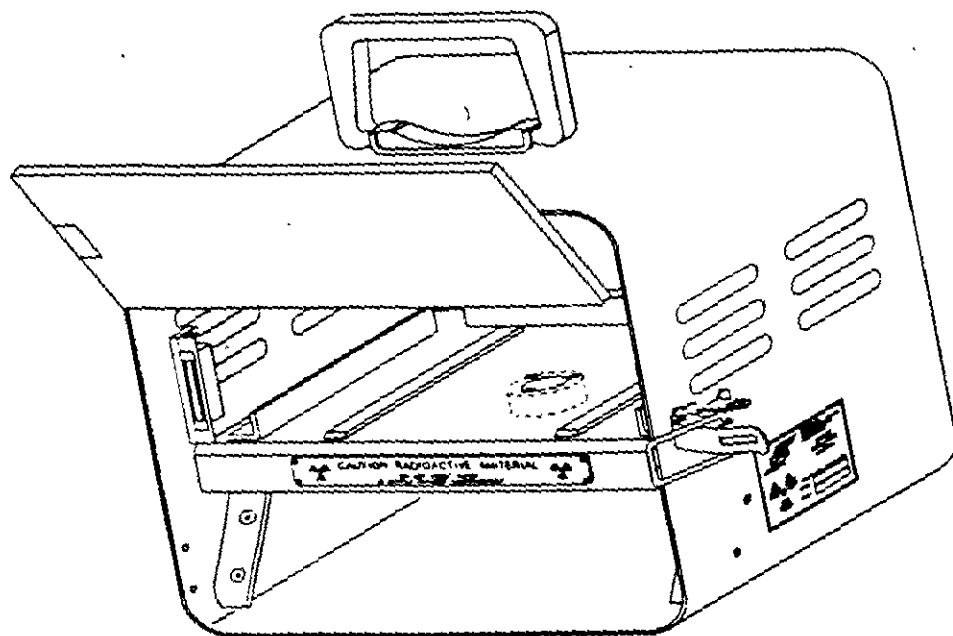
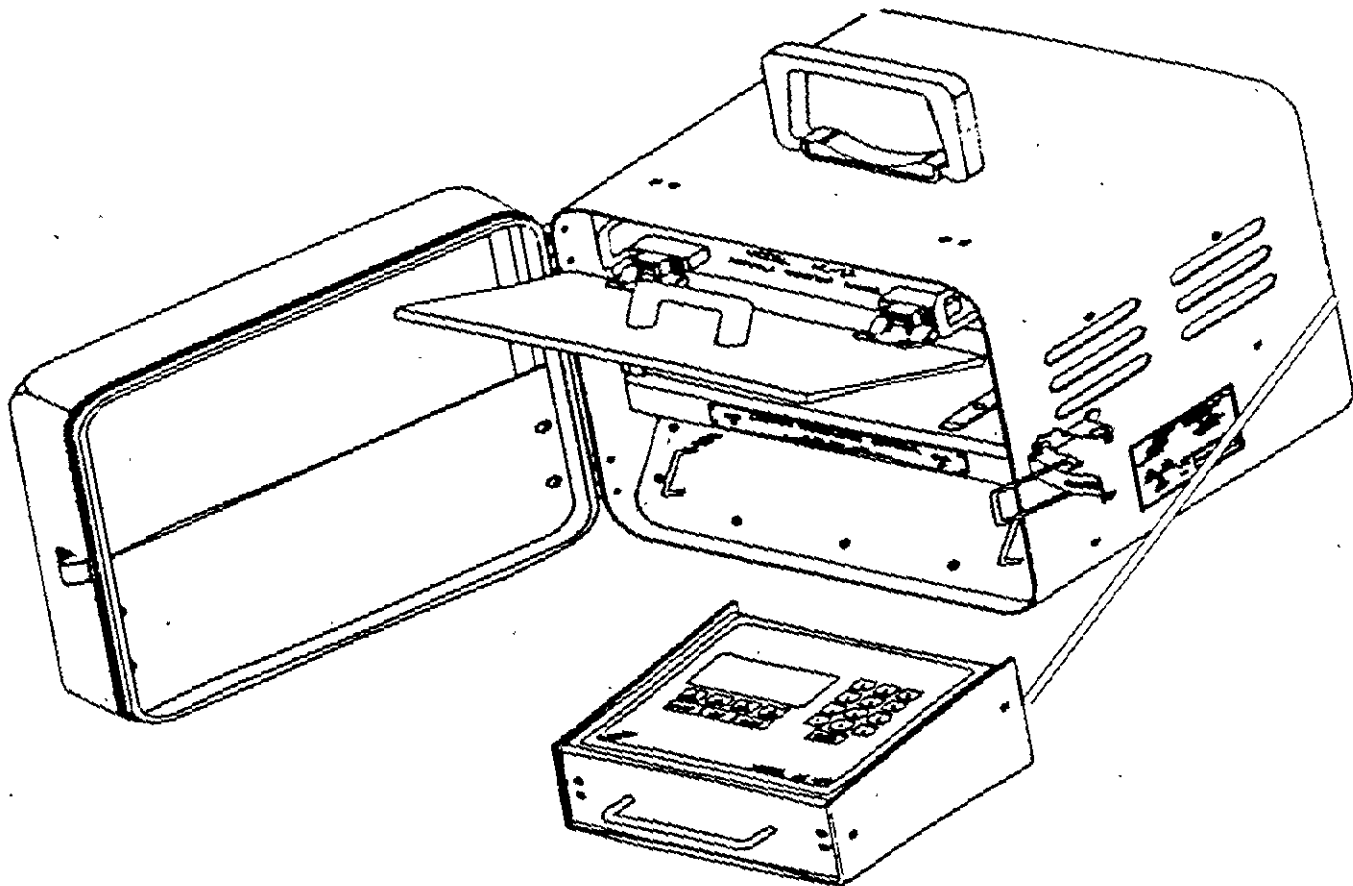
002

8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

CONTROL DEL CONTENIDO DE ASFALTO METODO NUCLEAR.- TROXLER MOD. 3241-C

TEORIA.- RADIACION DE 3 TIPOS:

- **PARTICULAS ALFA: ABSORBIDAS POR OTRA FUENTE RADIATIVA**
- **RAYOS GAMMA (FOTONES): MIDE LA DENSIDAD. ELECTROMAGNETICOS-SIN MASA-CARGA ELECTRICA NULA-ATRAVIESA SOLIDOS.**
- **RADIACION DE NEUTRONES: MIDE EL CONTENIDO DE HIDROGENO. NO TIENEN CARGA Y POSEEN ALTA CAPACIDAD DE PENETRACION**
- **FUENTE RADIATIVA: AMERICIO 241-BERILIO**
- **DETECTOR: GAS DE HELIO (CON UN NEUTRON)**



8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

CONTROL DEL CONTENIDO DE ASFALTO METODO NUCLEAR

PRECAUCIONES DE USO DEL MEDIDOR NUCLEAR

- **VOLTAJE SIN VARIACIONES MAYORES AL 10%**
- **TEMPERATURA AMBIENTE ENTRE 10 Y 32.5 °C
HUMEDAD RELATIVA ENTRE 20 Y 80%**
- **EQUIPO INSTALADO A MAS DE 1 METRO DE
CUALQUIER OBJETO Y A MAS DE 2 METROS DE
OBJETOS HUMEDOS O CON HIDROGENO.**
- **SUPERFICIE FIRME Y NIVELADA.**
- **SIN VARIACIONES ABRUPTAS DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD EN EL AMBIENTE.**

8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

CONTROL DEL CONTENIDO DE ASFALTO METODO NUCLEAR

CALIBRACION

- CUATRO CONTENIDOS DE ASFALTO, PREVIAMENTE CONOCIDOS
- CONTEO DE NEUTRONES PARA CADA CONTENIDO DE ASFALTO
- ANALISIS DE REGRESION LINEAL Y COEFICIENTE DE CORRELACION
- TIEMPO DE MEDICION: 1, 4, 8 Y 16 MIN.
PARA EL ESTUDIO SE FIJO DE 1 MINUTO Y 5 LECTURAS.

SEGURIDAD

- REM (ROENTGEN EQUIVALENT MAN)
- REGULACIONES VIGENTES EN U.S.A.:
LIMITE DE RADIACION DE 1 PERSONA:
1250 MILIREM/TRIMESTRE
5000 MILIREM/AÑO
- EN CONDICIONES NORMALES (40 h/SEMANA):
DOSIS DE 4 MILIREM/SEMANA O 200 MILIREM/AÑO
4% DE LA DOSIS MAXIMA PERMITIDA

8° CONGRESO IBERO-LA' ' NOAMERICANO DE ASFALTO

CONTROL DEL CONTENIDO DE ASFALTO METODO NUCLEAR

VENTAJAS DEL MEDIDOR NUCLEAR

- DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO INMEDIATAMENTE (PRACTICAMENTE EN 10 MINUTOS)
- FACILIDAD DE OPERACION CON RESULTADOS PRECISOS, CONTROL MAS RIGUROSO CON MENOS CARGA DE TRABAJO.
- SOLO POSIBLES DISTORSIONES SI EL EQUIPO ESTA MAL UBICADO O CON MUESTREOS INADECUADOS
- NO PRESENTA DESVIACIONES AUN CUANDO LA GRANULOMETRIA DEL AGREGADO SUFRA VARIACIONES GRANDES

DESVENTAJAS

- RESISTENCIA DE ADOPCION POR EL PERSONAL DE LABORATORIO.
ENTRENAMIENTO Y ASISTENCIA AL PERSONAL.
- SUSCEPTIBILIDAD A LA COMPOSICION QUIMICA DEL ASFALTO.
RESULTADOS ERRONEOS SI NO SE CALIBRA.

**DETERMINACION DE CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO
CON EQUIPO NUCLEAR Y EXTRACTOR CENTRIFUGO**

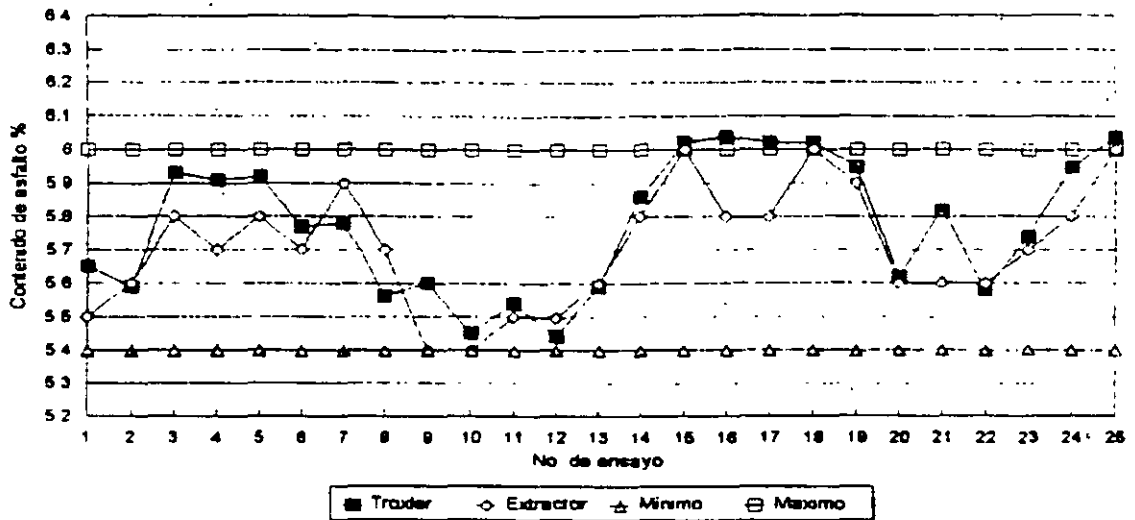
N°	Conteo Troxler			% CAP Troxler			Límites % CAP		Equipo Nuclear		Extractor
	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Mínimo	Máximo	Conteo	Asfalto	Asfalto
	neutron	neutron	neutron	%	%	%	% CAP	% CAP	neutron	% CAP	%-CAP
1	3274	3258	3253	5.68	5.64	5.63	5.40	6.00	3262	5.65	5.50
10	3215	3208	3224	5.45	5.44	5.47	5.40	6.00	3216	5.45	5.40
20	3284	3263	3270	5.64	5.61	5.6	5.40	6.00	3272	5.62	5.60
30	3266	3254	3251	5.59	5.56	5.55	5.40	6.00	3257	5.57	5.60
40	3196	3220	3214	5.41	5.47	5.45	5.40	6.00	3210	5.44	5.50

DETERMINACION DE CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO
 CON EQUIPO NUCLEAR Y EXTRACTOR CENTRIFUGO DE ASFALTO

C:\LOTUS\W\IM\FILES\HORNO2.WK4

Graficos de ensayos de contenido de asfalto mediante equipo nuclear y extractor centrifugo

Dosif Nro 1 (% CAP con equipo nuclear y extractor centrifugo)



MEDICION DEL CONTENIDO DE ASFALTO

METODO PARAMETRO	EXTRACTOR CENTRIFUGO	MEDIDOR NUCLEAR
OPERACION	Lento, (aprox. 1.0 hora) y con frecuencia limitada	Rápido, (aprox. 10 min.). mayor frecuencia de ensayos
UTILIZACION	Limitado para corregir anomalías en la planta. Adecuado para aceptación.	Permite corregir oportunamente anomalías en planta. Adecuado para aceptación.
CALIBRACION	No requiere, el resultado es directo	Imprescindible para cada dosificación
PERSONAL	Requiere precauciones por posibilidad de intoxicación	Al inicio requiere entrenamiento y mayor asistencia
MANTENIMIENTO	Fácil de resolver	Limitado

8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

CONTROL DE LA COMPACTACION EN CONCRETO ASFALTICO POR METODOS NO TRADICIONALES

EFFECTOS: MAYOR DURABILIDAD Y RESISTENCIA
(IMPERMEABILIDAD, COHESION Y ESTABILIDAD)

METODO TRADICIONAL

- EXTRACCION DE NUCLEOS CIRCULARES O CUADRANGULARES
- EXTRACCION DE CORAZONES DE 4" DE DIAMETRO CON PERFORADORA.
- MEDICION DE LA DENSIDAD REAL CON SUFICIENTE PRECISION..

VENTAJA

- METODO DE MEDICION DIRECTA Y PRECISA

DESVENTAJAS

- PROCEDIMIENTO LENTO QUE NO PERMITE RECOMPACTACION A TEMPERATURAS ADECUADAS. (PRUEBAS DE ACEPTACION)
- FRECUENCIA DE MUESTREO LENTO. POCAS MUESTRAS → GRANDES VOLUMENES.
- METODO DESTRUCTIVO: RELLENO DE HUECOS.

**8° CONGRESO BERO- LATINOAMERICANO DEL
ASFALTO**

**CONTROL DE LA COMPACTACION
METODO NUCLEAR.- TROXLER MOD. 3440**

TEORIA: 4 TIPOS DE RADIACION

- **PARTICULAS ALFA:** PARA PRODUCIR NEUTRONES
- **PARTICULAS BETA:** ABSORBIDAS POR LA CAPSULA
- **RAYOS GAMMA:** SENSIBLE A LA DENSIDAD DE
LOS MATERIALES, CESIO 137 → DESINTEGRACION
EN BARIO 137
- **RADIACION DE NEUTRONES:** SENSIBLES AL
CONTENIDO DE HIDROGENO

BOMBARDEO DEL BERILIO CON PARTICULAS ALFA
EMITIDAS POR LA DESINTEGRACION DEL AMERICIO
241.

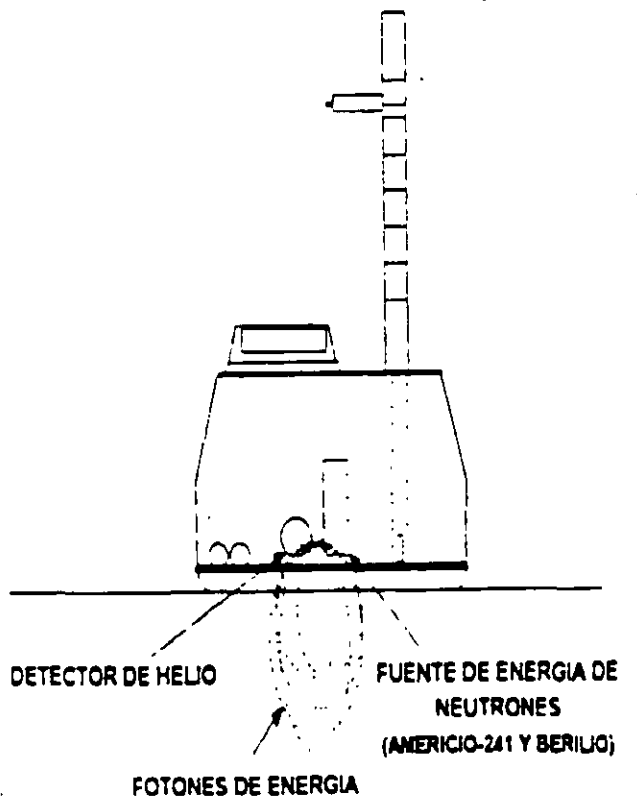
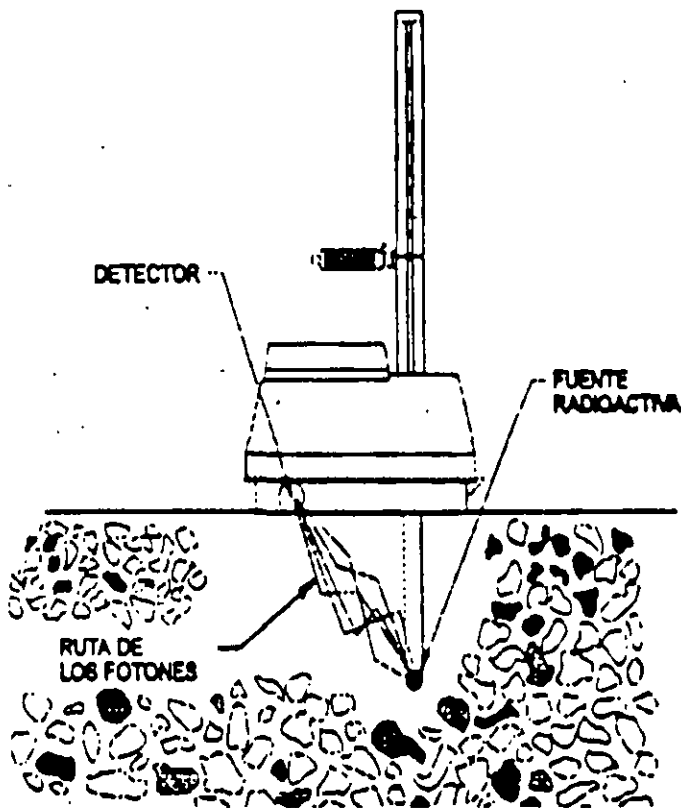
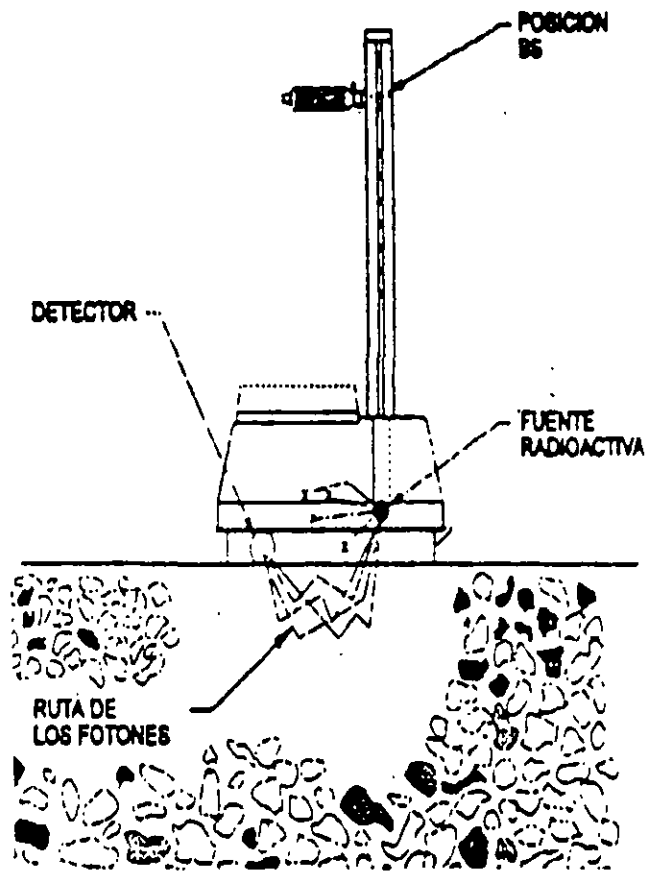
8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

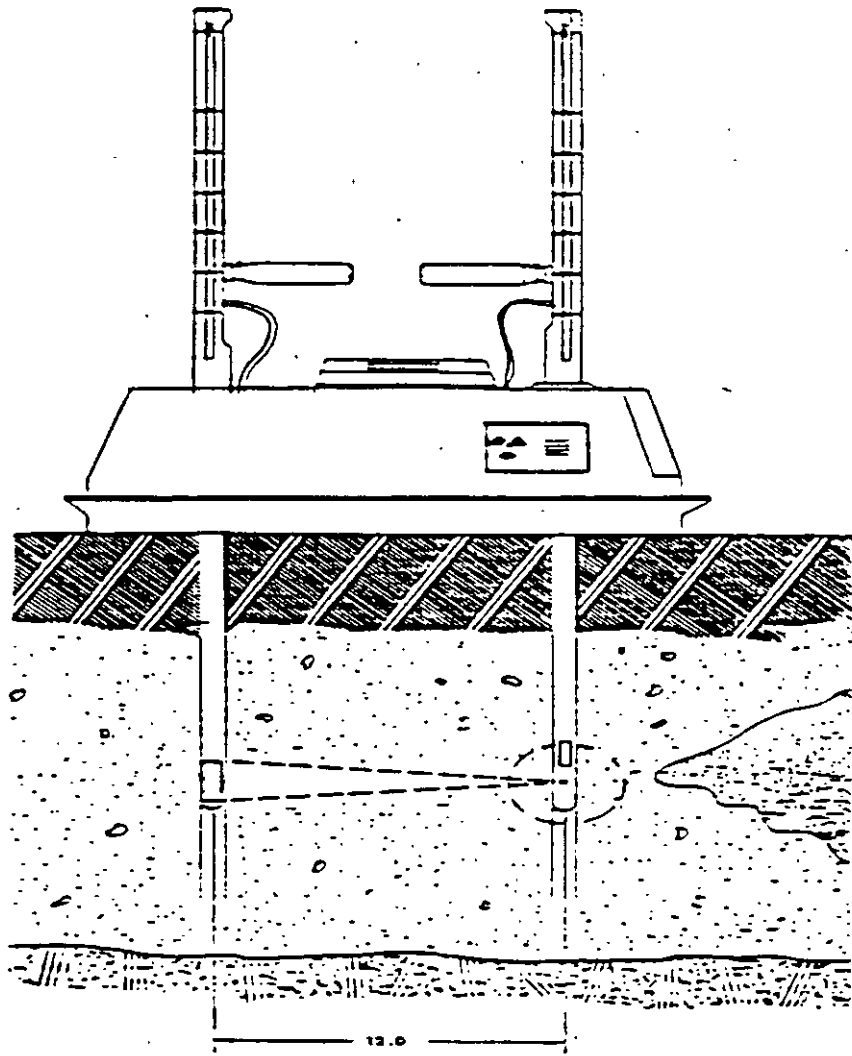
CONTROL DE LA COMPACTACION

METODO NUCLEAR

MODOS PARA MEDICION { DIRECTO: PARA SUELOS (MAYOR PRECISION)
RAYOS GAMMA → A TRAVES DEL SUELO
INDIRECTO: PARA CARPETAS ASFALTICAS
REFLEXION DE RAYOS

CONTENIDO DE HUMEDAD: AMERICIO 241:BERILIO
"TERMALIZACION" DE NEUTRONES





8° CONGRESO IBERO-AMERICANO DEL ASFALTO

CONTROL DE LA COMPACTACION

CALIBRACION

- DETERMINAR LA DENSIDAD CON DENSIMETRO
- DETERMINAR LA DENSIDAD EN NUCLEOS EXTRAIDOS
- CALIBRACION EN BASE A ESTAS DOS MEDIDAS

CALIBRACION PRELIMINAR

- CUATRO CONTEOS ESTANDAR PARA CONSIDERAR: AMBIENTE Y DECAIMIENTO DE LA FUENTE RADIATIVA.
- USO DE UN BLOQUE DE REFERENCIA (DENSIDAD > 1600 Kg/m³)

VALORES DE < 1% EN DENSIDAD < 2% EN HUMEDAD

- BLOQUE A MAS DE 2 M DE CUALQUIER CONSTRUCCION
A MAS DE 10 M DE OTRA FUENTE RADIATIVA

USO DEL EQUIPO

PARA CAPAS MENORES DE 7.5 cm: MODO NOMOGRAFO
ESPESOS Y DENSIDAD DE CAPA SUBYACENTE

SENSIBLE POR CAMBIOS DE GRANULOMETRIA

8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

CONTROL DE LA COMPACTACION

METODO NUCLEAR

VENTAJAS

- MEDICION RAPIDA (MINUTOS). USO EN CONTROL Y ACEPTACION
- FACIL DE OPERAR

DESVENTAJAS

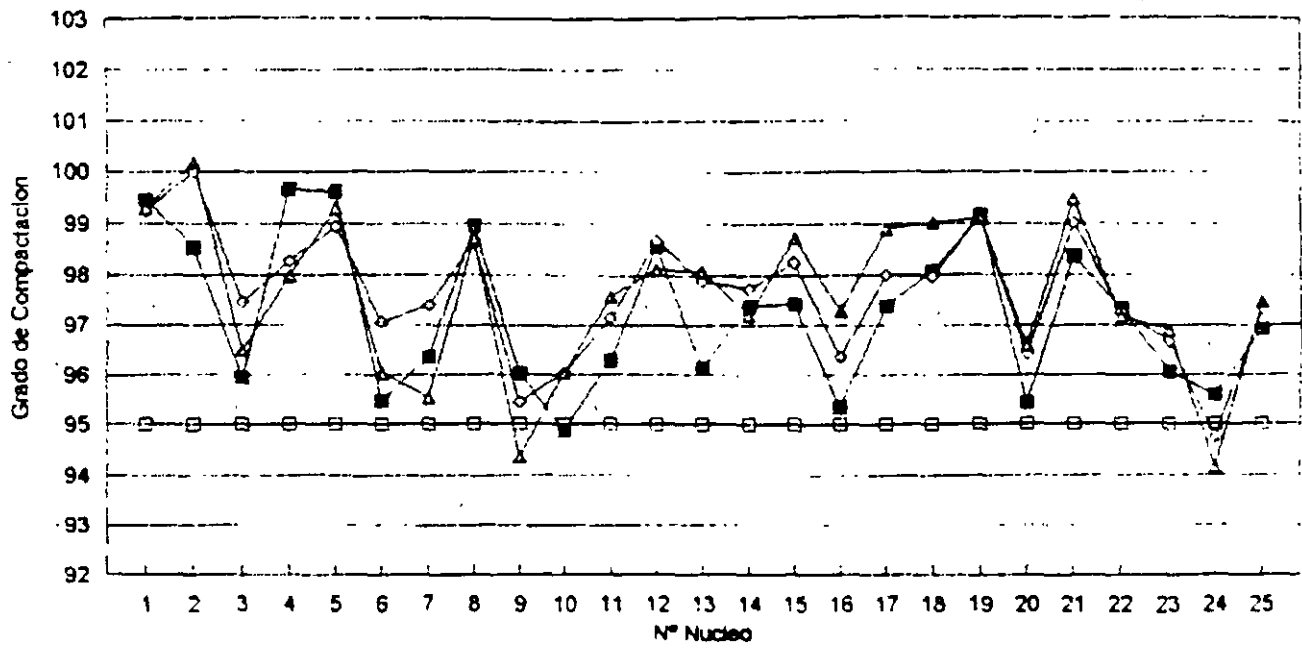
- MIDE LA DENSIDAD INDIRECTAMENTE.
REQUIERE CALIBRACION PREVIA EN EL SITIO
PARA CADA DOSIFICACION REQUIERE CALIBRARSE
- RESISTENCIA DEL PERSONAL DE LABORATORIO
ENTRENAMIENTO Y ASISTENCIA

**COMPARACION DE DENSIDADES DE CARPETA ASFALTICA
NUCLEOS EXTRAIDOS - DENSIMETRO NUCLEAR**

Núcleo	Densidades			Densímetro nuclear				Núcleo	Grado de compactación				Factor de relación entre densidades	
	Marshall Diseño	Marshall Campo	Núcleo Extraído	Standard		Nomograph			Núcleo Extraído	Troxler Standard	Troxler Nomograph	Minimo Especif.	Standard	Nomograph
				15 seg	1 mín	15 seg	1 mín						adim.	adim.
Nº	gr/dm3	gr/dm3	gr/dm3	gr/dm3	gr/dm3	gr/dm3	gr/dm3	Nº	%	%	%	%	adim.	adim.
1	2364	2363	2351	2345	2347	2346	2349	1	99.5	99.2	99.3	95	1.002	1.001
10	2364	2295	2243	2271	2270	2268	2273	10	94.9	96	96	95	0.988	0.988
20	2363	2348	2255	2282	2274	2292	2273	20	95.4	96.4	96.6	95	0.99	0.988
30	2364	2349	2231	2248	2244	2234	2245	30	94.4	95	94.7	95	0.993	0.996
40	2346	2359	2317	2345	2344	2343	2337	40	98.8	99.9	99.7	95	0.988	0.99

19

Analisis de densidades
Extraccion de nucleos - Densimetro nuclear



■ Nucleo ◇ Standard ▲ Nomograph □ Especif.

MEDICION DE LA DENSIDAD

METODO PARAMETRO	EXTRACTOR DE NUCLEOS	DENSIMETRO NUCLEAR
OPERACION	Proceso lento y cada muestra representa una gran superficie	Rápido, permite mayor frecuencia de ensayos
UTILIZACION	En la práctica sólo para control de aceptación	Posible de utilizar durante y después de la compactación
CALIBRACION	No requiere el resultado es directo	Imprescindible para cada dosificación
PERSONAL	Requiere más tiempo y paciencia	Al inicio requiere entrenamiento y mayor asistencia
MANTENIMIENTO	Resoluble	Limitado

**8° CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL
ASFALTO
CONTROL DEL CONTENIDO DE ASFALTO Y DE LA
COMPACTACION POR METODO NUCLEAR**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- USO JUSTIFICADO POR RAPIDEZ Y FACILIDAD EN LA OBTENCION DE RESULTADOS, AUN A PESAR DE UN MAYOR COSTO RELATIVO DE ADQUISICION.
- APLICACION DIRECTA COMO METODO CORRECTIVO DEL PROPIO PROCESO DE PRODUCCION Y CONSTRUCCION.
- USO MENOR PARA SUPERVISION, PERO DE GRAN INTERES SI SE REQUIERE UN CONTROL RIGUROSO.
- SE REQUIERE UTILIZAR LOS METODOS TRADICIONALES
 - * PARA EL CONTROL DE GRANULOMETRIA.
 - * PARA EFECTUAR LA CALIBRACION DEL DENSIMETRO NUCLEAR.
- IMPORTANTE SEGUIR LOS PROCEDIMIENTOS DE OPERACION Y CUIDADOS RECOMENDADOS POR EL FABRICANTE.
ADEMAS TOMAR PREVISIONES PARA SU MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

Curso

CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES

para

**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

Aseguramiento de calidad

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD SU APLICACIÓN EN CONCRETO HIDRÁULICO

- PROPIEDADES DE MATERIALES. REQUISITOS DE CALIDAD E INTERPRETACIÓN

Grava
Arena
Cemento
Agua

- VERIFICACIÓN DE ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES

LUGAR
FRECUENCIA
CONDICIONES
SISTEMAS

- LA RESISTENCIA REQUERIDA Y EL PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

$$f_{cr} = f'_c + tS$$

METODO DE DISEÑO

- INFLUENCIA DE LA MANO DE OBRA Y DE LOS EQUIPOS CONSTRUCTIVOS

MANO DE OBRA. FACTORES DE VARIACIÓN
EQUIPOS DE CONSTRUCCIONES. FACTORES DE VARIACIÓN

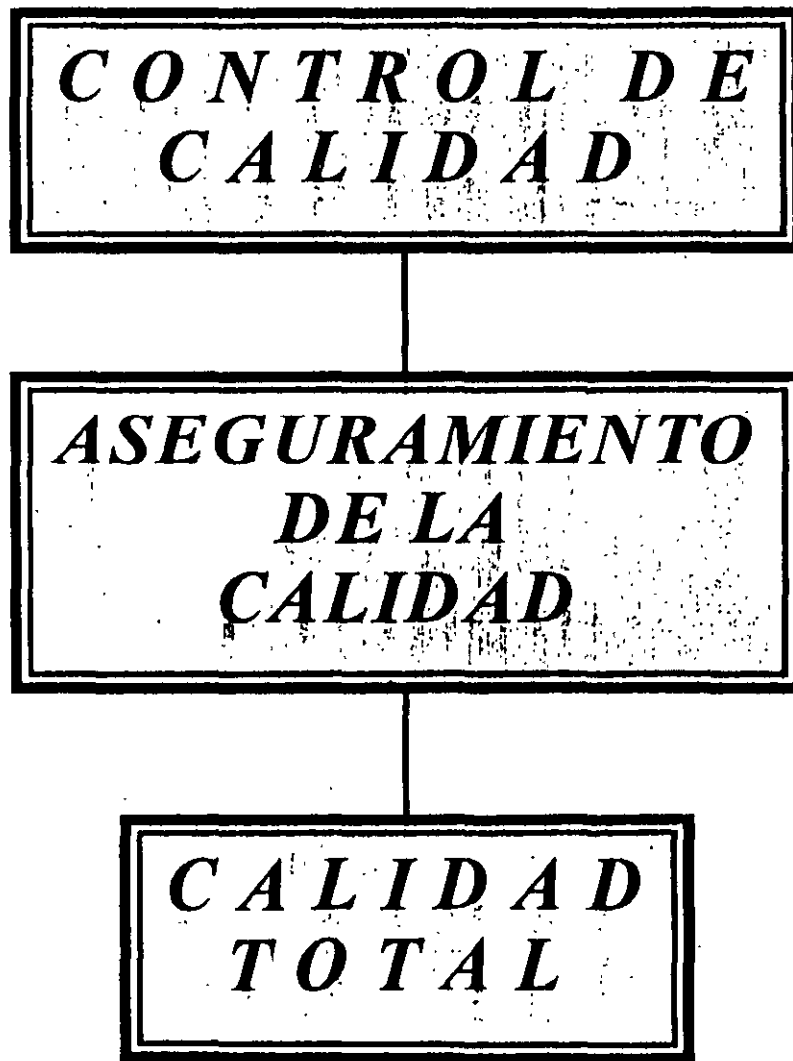
- EL CONTROL DURANTE LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

VERIFICACION DE AGREGADOS
VERIFICACIÓN DE CEMENTANTE
VERIFICACIÓN DE PROPORCIONAMIENTO
VERIFICACIÓN DEL EQUIPO
VERIFICACIÓN DEL CONCRETO FRESCO

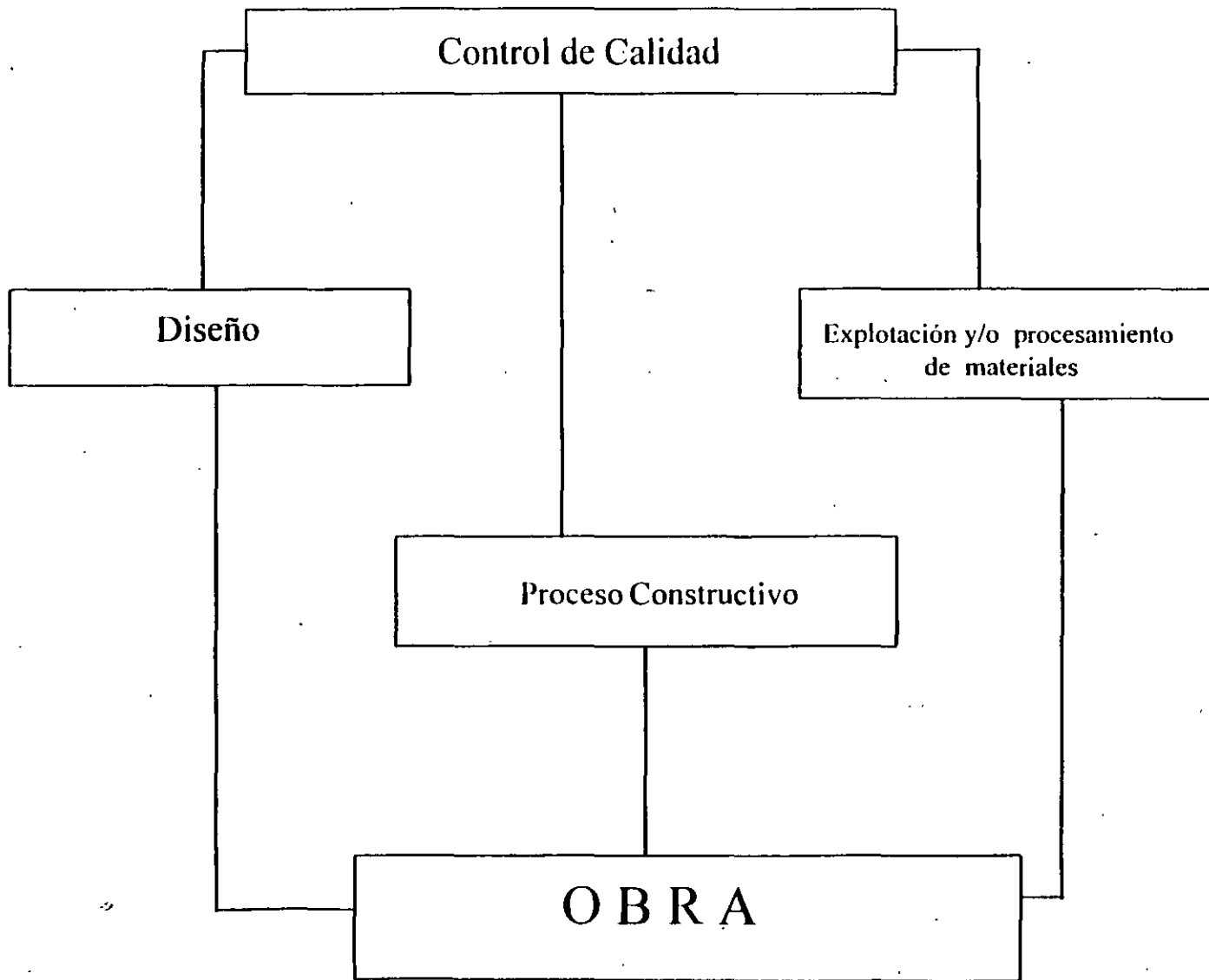
- EL ANALISIS DE DATOS Y LAS ACCIONES CORRECTIVAS

REGISTRO DE DATOS
ESTRATIFICACIÓN
HISTOGRAMA
CURVA NORMAL
CARTA DE CONTROL
INTERPRETACIÓN Y RECOMENDACIONES

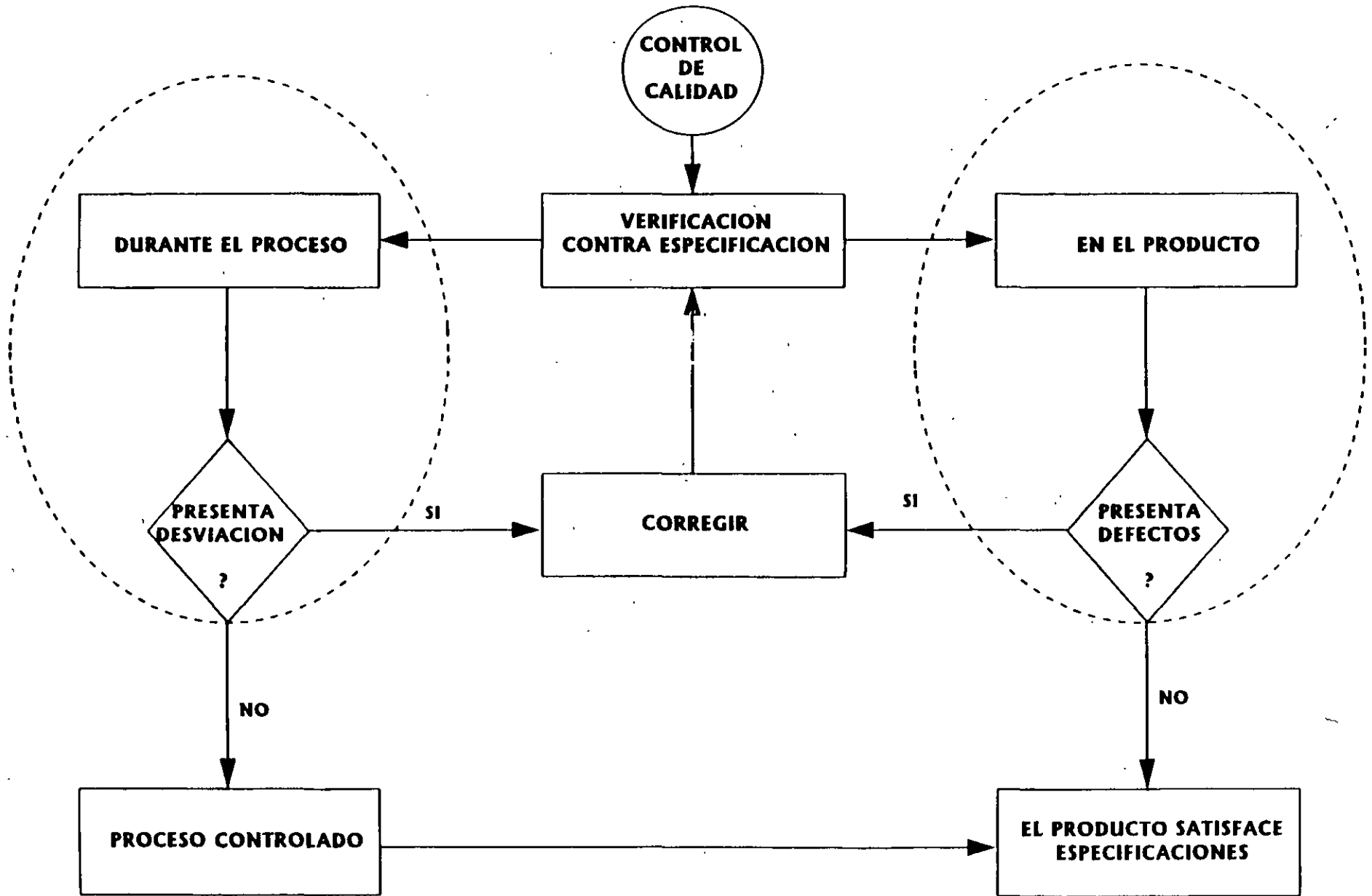
ASEGURAMIENTO Y GESTION DE LA CALIDAD



3
24

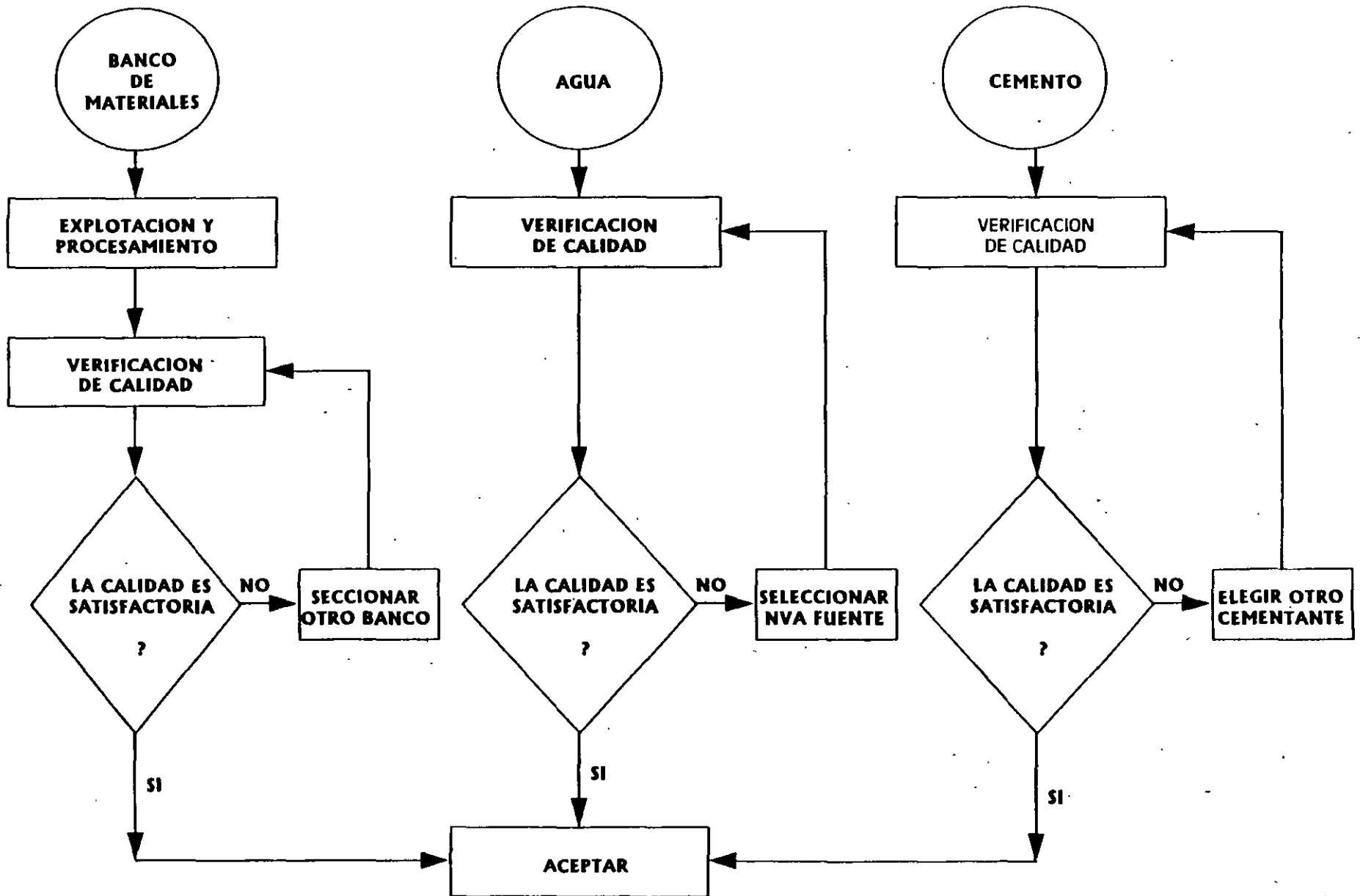


4

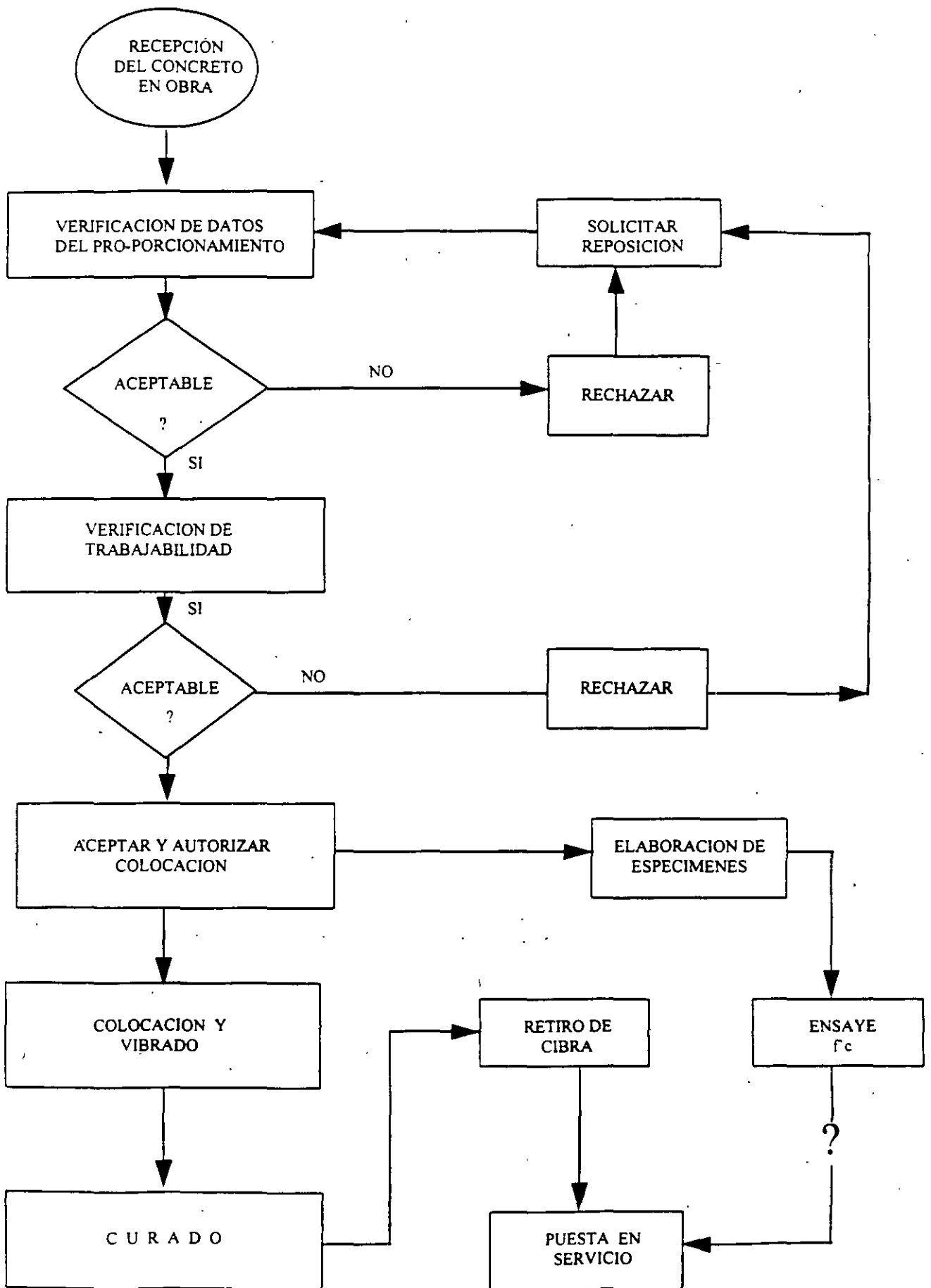


SE DEBE REDUCIR EN LO POSIBLE EL CONTROL DE CALIDAD EN EL PRODUCTO YA QUE ESTE HECHO NO MEJORA LA CALIDAD DE ESTE, PERO LO CONTRARIO INCREMENTA SU COSTO. ES PREFERIBLE EFECUAR " " CONTROL DURANTE EL PROCESO.

5
21



6
 27



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECANICAS DEL CEMENTO PORTLAND PARA CONCRETO HIDRAULICO

PRUEBA	OBJETIVO	EFECTO EN EL CONCRETO
Resistencia a la compresión simple en kg/cm ²	Determinar la resistencia a la compresión del mortero de cemento a diferentes edades.	La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica de la pasta de cemento que afecta directamente su comportamiento ante la acción de cargas de compresión.
Resistencia a la tensión, en kg/cm ²	Determinar la resistencia a la tensión del mortero de cemento a diferentes edades.	La resistencia a la tensión es una propiedad mecánica de la pasta de cemento que afecta directamente su comportamiento ante la acción de cargas de tensión.
Calor de hidratación	Medir la cantidad de calor, en calorías por gramo, que se libera durante el proceso de fraguado.	El calor de hidratación es el que se genera durante la reacción del cemento ante la presencia de agua y cuanto mayor es la finura de éste mayor calor se disipa. El calor de hidratación contribuye al incremento de la resistencia de la pasta de cemento; no obstante en elementos muy voluminosos este calor puede provocar agrietamientos importantes, lo que obliga a emplear cementos de bajo calor de hidratación.
Falso fraguado	Determinar la rigidez prematura y anormal que se presenta en la pasta de cemento dentro de los primeros dos minutos después del mezclado.	El falso fraguado es una condición que no trae consecuencias dañinas al concreto y es conveniente que en caso de que se presente, se efectúe nuevamente el mezclado del concreto para eliminarlo.

8

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECANICAS DEL CEMENTO PORTLAND PARA CONCRETO HIDRAULICO

PRUEBA	OBJETIVO	EFECTO EN EL CONCRETO
Finura con Turbidímetro de Wagner	Determinar la finura del cemento	La finura es una propiedad importante del cemento ya que de ella depende la velocidad de hidratación y evolución.
Permeabilidad con aparato Baline	Medir la finura del cemento	Una mayor finura del cemento hace que se incremente la velocidad de hidratación y acelera el desarrollo de resistencia.
Expansión en autoclave	Determinar la sanidad del cemento	Pone de manifiesto la presencia de compuestos como puede ser la cal libre, sulfato de magnesio o sulfato de calcio, en proporciones perjudiciales que afecten La consistencia de una pasta es su capacidad de conservar su volumen después de haber fraguado
Tiempo de fraguado con aparato de Gillmore o con aparato de Vicat	Mide la rigidez que alcanza la pasta de cemento en un lapso determinado de cemento	El fraguado se refiere a un cambio de un estado líquido a un estado rígido. Se determina para conocer el tiempo que tarda en endurecer la pasta de cemento a fin de permitir la programación en la elaboración y colado del concreto.
Contenido de aire	Medir el contenido de aire en el mortero de cemento hidráulico	Los cementos pueden fabricarse con aditivos que producen la inclusión de aire. Modifican el comportamiento del cemento haciéndolos más resistentes a los cambios volumétricos causados por los cambios bruscos de temperatura.

6
A.

INFLUENCIA DE LOS COMPUESTOS QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

COMPUESTOS	RESISTENCIA MECANICA	CALOR DE HIDRATACION *	CAMBIOS VOLUMETRICOS	RESISTENCIA A LA CONGELACION Y DESHIELO	RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS
Silicato Tricálcico C3S	La incrementa a edades tempranas y su efecto continúa a edades posteriores	1.14 ± 0.054	No tiene influencia	La mejora	La mejora
Silicato Dicálcico C2S	Anula influencia a edades temprana; aumenta a edades posteriores	0.436 ± 0.045	No tiene influencia	La mejora	---
Aluminato tricálcico C3A	Sólo contribuye en las primeras edades	2.02 ± 0.20	Los aumenta	La disminuye	Cuando es mayor del 8%, la reduce
Ferroaluminato Tetracálcico C4AF	Tiene poco efecto	0.48 ± 0.18	No tiene influencia	---	Cuando es mayor de 8%, la reduce
Magnesia Periclasa MgO	---	---	Produce expansión en agua	---	Cuando es mayor de 5%, la reduce

* Calorías a 28 días, como porcentaje del compuesto.

10
7

DETERMINAR LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA UN MÓDULO DE RUPTURA ($MR = 45 \text{ kg/cm}^2$); EL CONCRETO ES PARA LOSA DE PAVIMENTO.

DATOS DE MATERIALES:	GRAVA	ARENA	CEMENTO
Densidad, en g/cm^3	2.6	2.7	3.1
Absorción, en %	5.2	3.4	---
PVSS, en kg/m^3	1450	1520	---
PVSC, en kg/m^3	1575	1730	---
Humedad, en %	2.3	1.0	---
Módulo de finura	6.6	2.5	---

Tamaño máximo de agregado grueso, 40mm

Determinar el valor equivalente aproximado de f'_c mediante la fórmula :

$$f'_c = (MR / K); \quad \text{siendo valor de K : 2.12 a 2.4}$$

Para este caso se toma $K = 2.35$

$$f'_c = (45 / 2.35)^2 = 367 \text{ kg/cm}^2$$

Considerando una buena condición de control de campo, la desviación estándar será igual a 20 kg/cm^2 ; y con una probabilidad de que el promedio de 3 pruebas consecutivas de resistencia sea inferior a la f'_c para lo cual se empleará un valor de $t = 2.33$, se calculará la resistencia requerida f_{cr} para el diseño con la siguiente ecuación.

$$f_{cr} = f'_c + (tS / (3)^{1/2}); \quad \text{en donde S = desviación estándar} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 367 + 1.343 \times 30 = 393.9 \text{ se redondeará a } 400 \text{ kg/cm}^2$$

El diseño se ejecutará empleando el método ACI por lo que de aquí en adelante se hará referencia a una serie de valores de tablas obtenidos del libro "Práctica Recomendable Para dosificar Concreto Normal y Concreto Pesado ACI 211.1 - 74)"

Paso 1.- Considerando que el concreto se empleará en losa de pavimento el valor de revenimiento será de $6 \pm 2\text{cm}$. Tabla número 5.3.1.

Paso 2.- Estimación del agua de mezclado y del contenido de aire atrapado, en función del tamaño máximo de agregado; de la tabla 5.3.3 se tiene :
 agua = 175 kg/m^3 aire atrapado = 1%

Paso 3.- De acuerdo con la tabla 5.3.4 (a), la relación agua/cemento para una resistencia de 400 kg/cm^2 en un concreto sin aire incluido es de 0.43

Paso 4.- Cálculo del contenido de cemento

$$175/0.43 = 407 \text{ kg/m}^3$$

Paso 5.- De acuerdo con la tabla 5.3.6 se estima la cantidad de agregado grueso seco, en función del módulo de finura de 2.5 y tamaño máximo de agregado de 40mm.

$$0.75 \times 1575 = 1,181 \text{ kg}$$

Paso 6.- Con base en el volumen absoluto de los materiales calculados hasta ahora, se determinará el peso requerido de arena.

Volumen de agua neta de mezclado	$175/1000 =$	0.175 m^3
Volumen absoluto de cemento	$407/(3.1 \times 1000) =$	0.131 m^3
Volumen absoluto de grava	$1,181/(2.6 \times 1000) =$	0.454 m^3
Volumen de aire atrapado	$0.01 \times 1 =$	<u>0.010 m^3</u>
Volumen absoluto total de los ingredientes		0.770 m^3
Volumen absoluto de arena requerida	$1.0 - 0.770 =$	0.330 m^3
Peso requerido de arena seca	$0.330 \times 2.7 \times 1000 =$	891 kg

Paso 7.- Ajuste por humedad :

Grava húmeda	$1,181 \times 1.023 =$	1208 kg
Arena húmeda	$891 \times 1.010 =$	900 kg

Paso 8.- Ajuste por absorción . El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado por lo que debe excluirse del ajuste por adición de agua :

$$175 - 1,181(0.052 - 0.023) - 891(0.034 - 0.01) = 119 \text{ kg}$$

La proporción para un metro cúbico de concreto es :

Agua por añadir	119 kg
Cemento	407 kg
Agregado grueso húmedo	1208 kg
Agregado fino húmedo	<u>900 kg</u>
	2634 kg/m^3

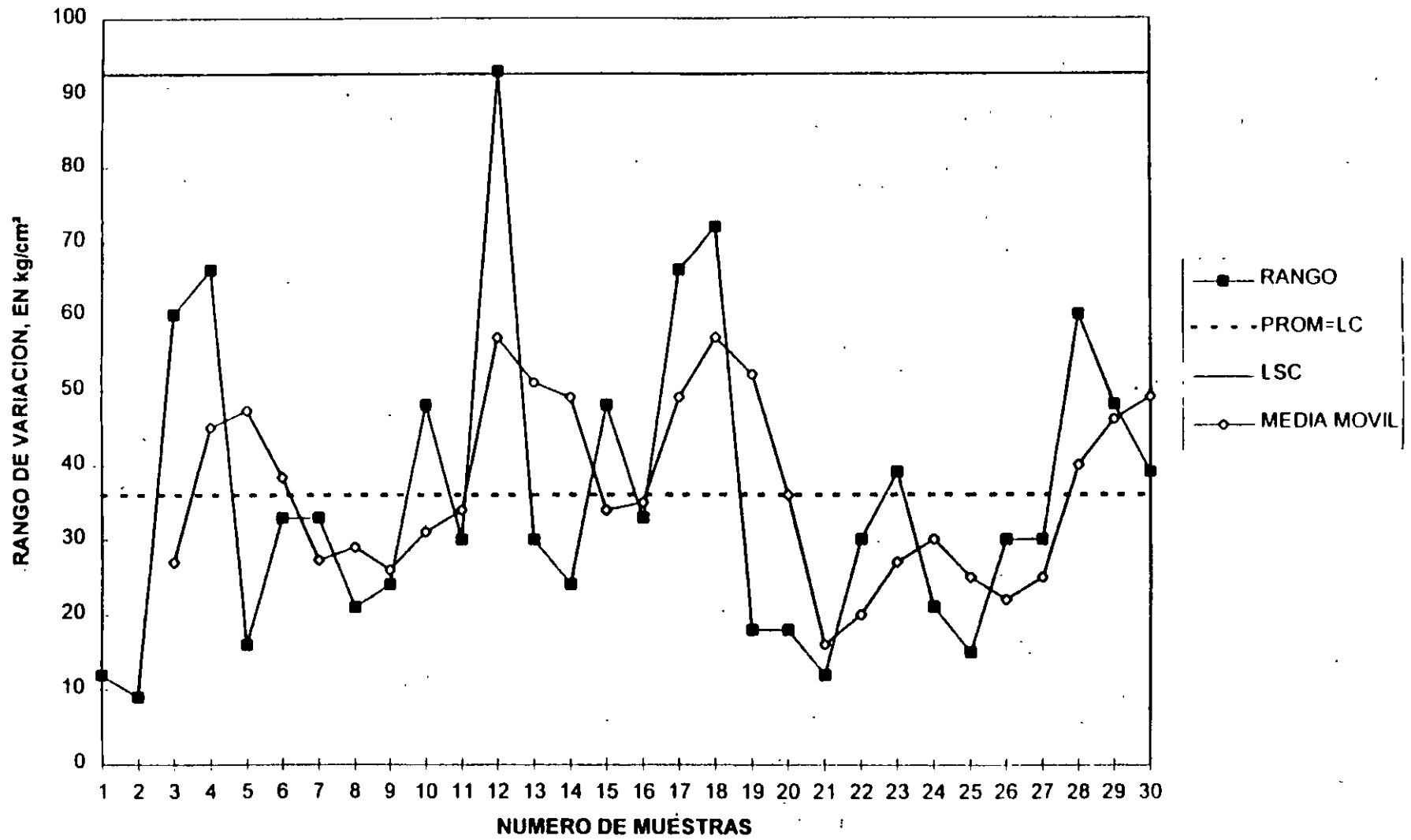
Paso 9.- Cálculo de la proporción para prueba de laboratorio, considerando un volumen de 40 l de concreto.

Agua añadido	$119 \times 0.04 =$	4.7 kg
Cemento	$407 \times 0.04 =$	16.3 kg
Agregado grueso húmedo	$1208 \times 0.04 =$	48.3 kg
Agregado fino húmedo	$900 \times 0.04 =$	<u>36.0 kg</u>
		105.3 kg

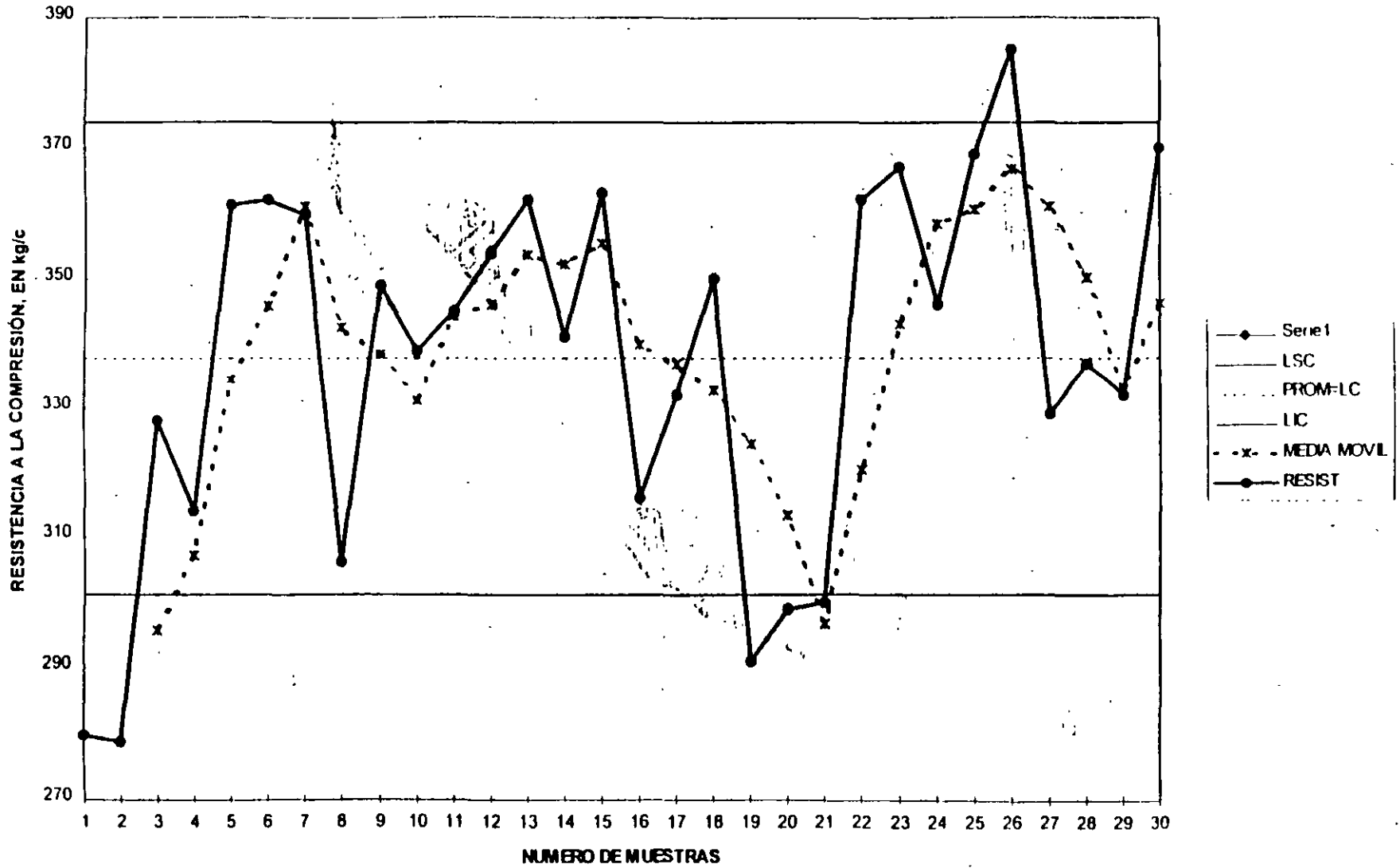
NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO

VARIACION TOTAL					
Clase de Operación	Desviación estándar para diferentes normas de control, en kg/cm ²				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de Control en el Campo	< 25	25 a 35	35 a 40	40 a 50	> 50
Mezclas de prueba de laboratorio	< 15	15 a 17	17 a 20	20 a 25	> 25
VARIACION EN LAS PRUEBAS					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes normas de control, en %				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de Control en el Campo	< 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	> 6
Mezclas de prueba de laboratorio	< 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	> 5

CARTA DE CONTROL DE RANGOS



CARTA DE CONTROL DE MEDIAS



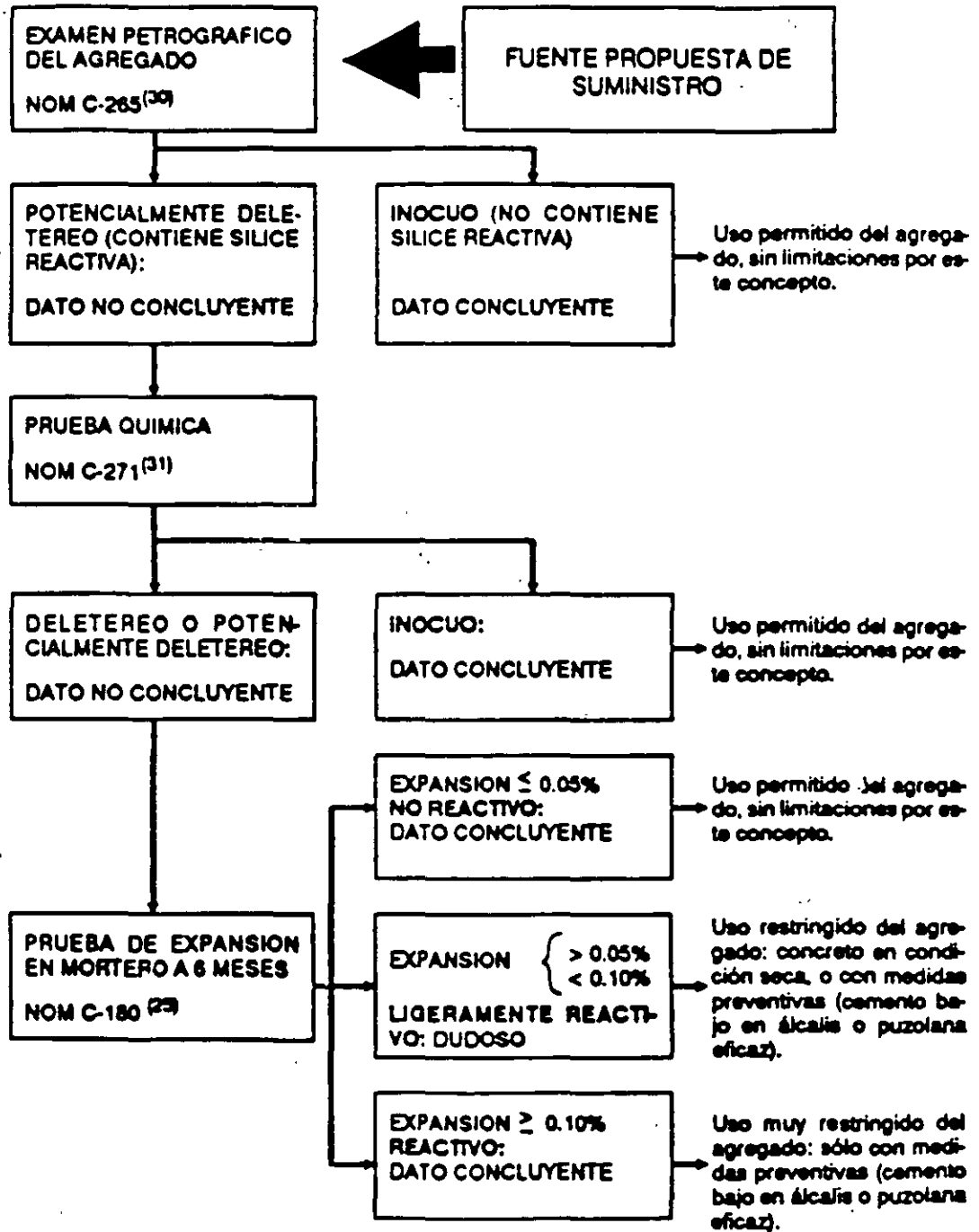
15

FACTORES PARA CALCULAR LOS LIMITES DE LAS GRAFICAS DE CONTROL DE MEDIA Y RANGO.

NUMERO DE OBSERVACIONES EN EL SUBGRUPO (n)	FACTORES PARA GRAFICAS DE MEDIAS	FACTORES PARA GRAFICAS DE RANGOS	
	A ₂		INFERIOR D ₃
2	1.880	0	3.268
3	1.023	0	2.574
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.114
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

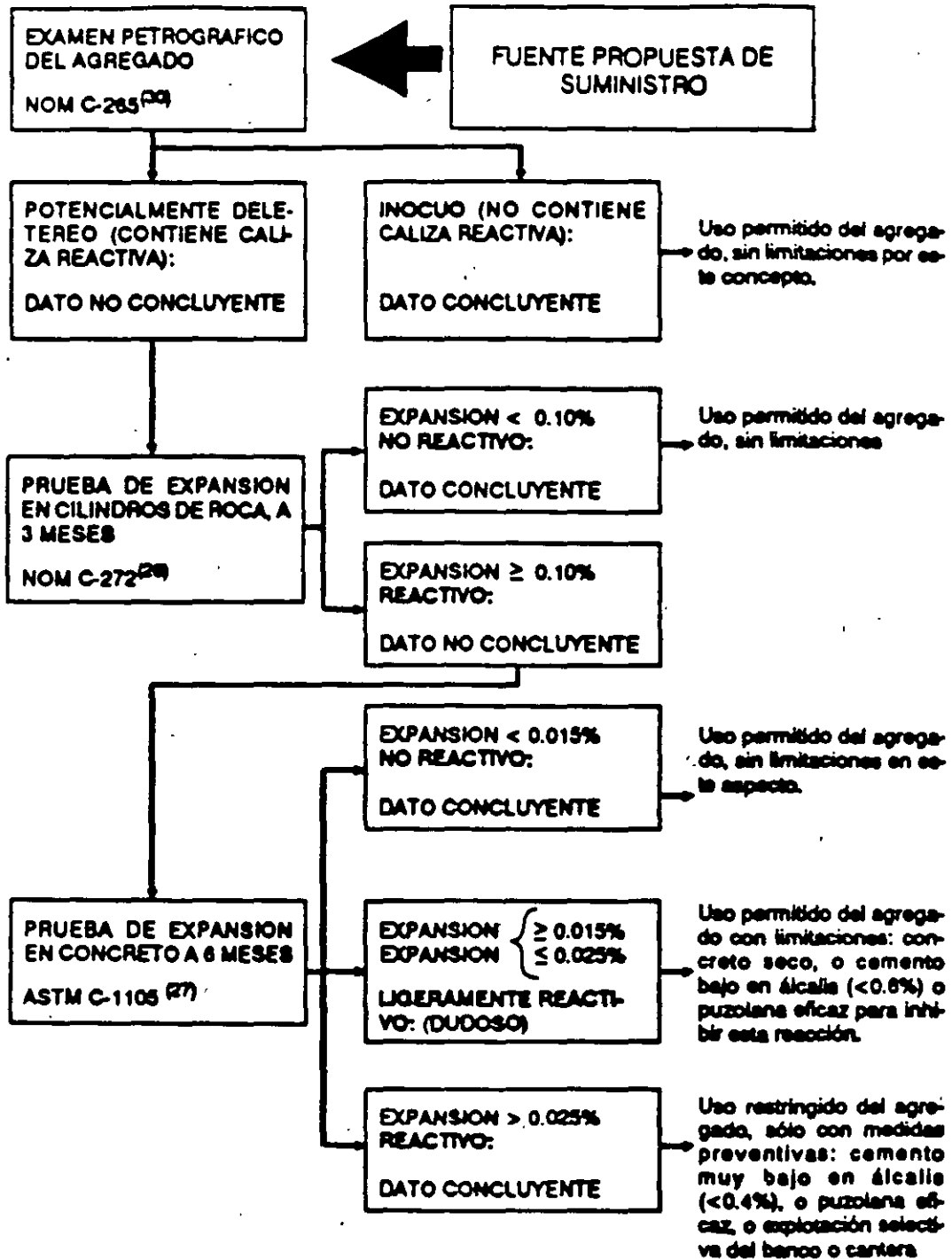
16

En el siguiente cuadro sinóptico se indican las pruebas, criterios de interpretación de resultados, y decisiones que pueden efectuarse sucesivamente, cuando la reacción previsible en el concreto es del tipo álcali-silice.



Cuando la reacción prevista es del tipo álcali-carbonato, se aplican otras pruebas y criterios conforme al cuadro que sigue.

Reacción alcali-carbonato



Como se observa, la completa definición del carácter reactivo de los agregados con los álcalis, puede requerir en algunos casos más de seis meses a partir de la iniciación de las pruebas, lo cual debe tenerse presente cuando se realizan los estudios preliminares para la ejecución de obras en que deben emplearse agregados sin antecedentes de servicio.

REACTIVIDAD ALCALI-SILICE CARBONATO

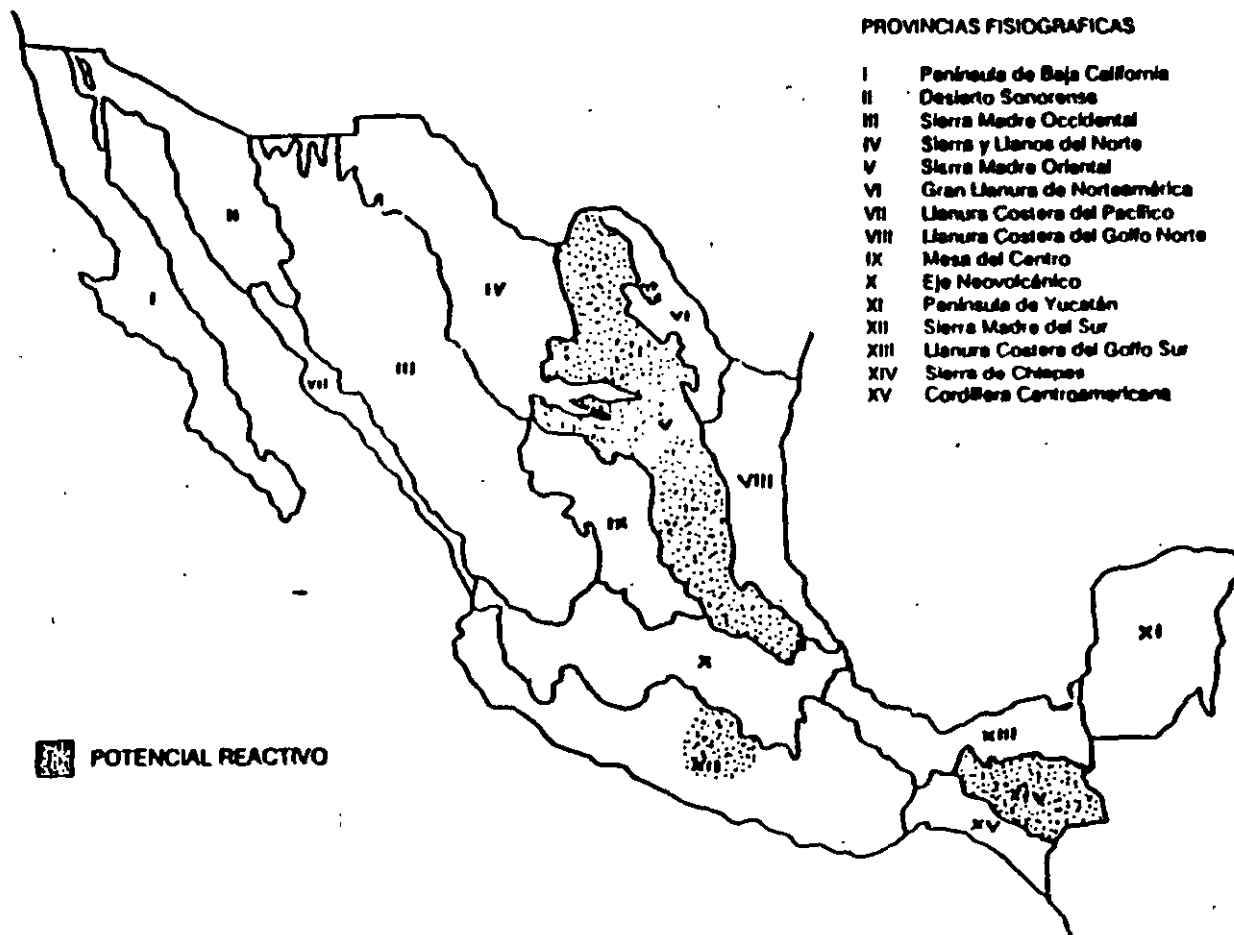


Figura 4 Delimitación de zona con rocas carbonatadas potencialmente reactivas con los álcalis

19
61

REACTIVIDAD ALCALI-SILICE

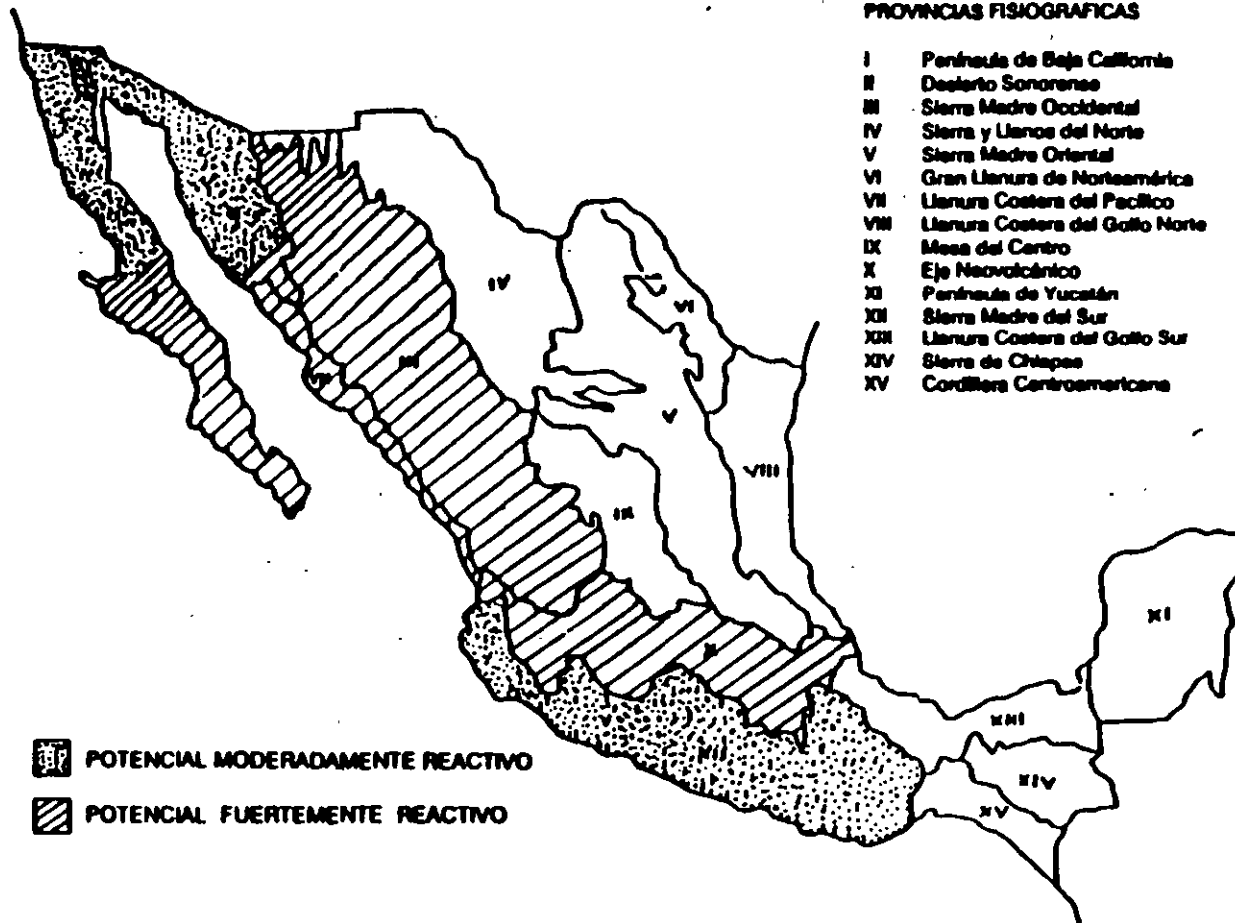
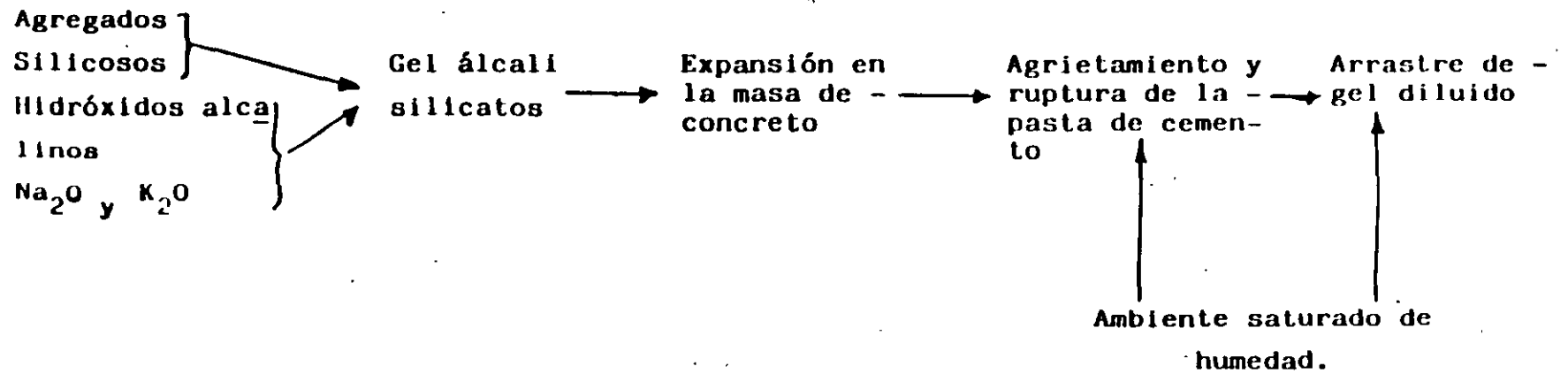


Figura 3 Delimitación de regiones con rocas silíceas potencialmente reactivas con los álcalis

20

REACCION AGREGADO - ALCALI.

Mecanismo de la reacción álcali - agregado.



REACCIONES QUIMICAS DE LOS AGREGADOS

Tipos de reacciones álcali-agregado:

- 1.- Alcali-sílice (frecuente)
- 2.- Alcali-silicato (poco frecuente)
- 3.- Alcali-carbonato (intermedio entre los dos ante
riores)

22

REACCION AGREGADO - ALCALIS

La reacción más común se produce entre los constituyentes activos de sílice del agregado y los alcalis del cemento.

Formas reactivas del sílice:

- Opalo (sílice amorfa)
- Calcedonia (sílice criptocristalina fibrosa)
- Tridimita (sílice cristalina)



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

**Curso
CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES**

**para
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. SCT
25-29 DE AGOSTO DE 1997**

Operaciones de planta

CAPITULO 4

OPERACIONES DE PLANTA

4.1 OBJETIVOS DEL INSPECTOR

Al concluir este capítulo del manual, el inspector deberá:

- Conocer la función de una planta de asfalto.
- Conocer los dos tipos básicos de plantas de asfalto y sus componentes principales.
- Reconocer los procedimientos correctos para manejar, almacenar, y muestrear el agregado.
- Conocer las partidas que deben aparecer en los registros de planta del inspector.
- Conocer la operación de los sistemas de alimentación de agregados fríos.
- Reconocer las características que deben ser verificadas en una inspección visual de la mezcla en caliente.
- Conocer los procedimientos básicos de muestreo y ensayo para verificar las características de la mezcla en caliente.
- Conocer los requisitos de seguridad necesarios para mantener una operación de planta eficiente y segura.

4.2 INTRODUCCION

Una planta de asfalto es un conjunto de equipos mecánicos electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente que debe cumplir con ciertas especificaciones. Una planta de asfalto puede ser pequeña o puede ser grande. Puede ser fija (situada en un lugar permanente) o puede ser portátil (transportada de una obra a otra). En términos generales cada planta puede ser clasificada como (1) planta de dosificación (Figura 4.1), o como (2) planta mezcladora de tambor (Figura 4.2). Las diferencias entre las plantas de dosificación y las plantas mezcladoras de tambor se describen mas adelante.

4.3 RESPONSABILIDADES DEL INSPECTOR DE PLANTA

El inspector de planta es un miembro importante dentro del equipo de personas que comparte la responsabilidad de producir una mezcla de alta calidad. Su función principal consiste en observar la operación de la planta y muestrear los productos finales para revisar la conformidad de la mezcla. El inspector debe saber "cómo" y "porqué" se debe efectuar el trabajo. El debe estar enterado de todo lo que esta sucediendo y deberá notificar cualquier problema al supervisor de la planta. Sin embargo, un inspector nunca deberá asumir la responsabilidad de graduar cualquiera de los controles de la planta, o de fijar cualquier medidor, manómetro o contador.

Es muy importante que el inspector mantenga una actitud de cooperación y ayuda, mostrando a la vez firmeza y justicia en sus decisiones, y siendo siempre fiel a sus responsabilidades.

Catorce partes principales

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Tolva fría | 8. Unidad de pesado |
| 2. Compuerta de alimentación en frío | 9. Tolvas calientes |
| 3. Elevador de material en frío | 10. Caja pesadora |
| 4. Secador | 11. Unidad de mezclado - oamadero |
| 5. Colector de polvo | 12. Deposito de relleno mineral |
| 6. Chumenea de escape | 13. Deposito de cemento asfáltico caliente |
| 7. Elevador de material en caliente | 14. Cuba de pesado de asfalto |

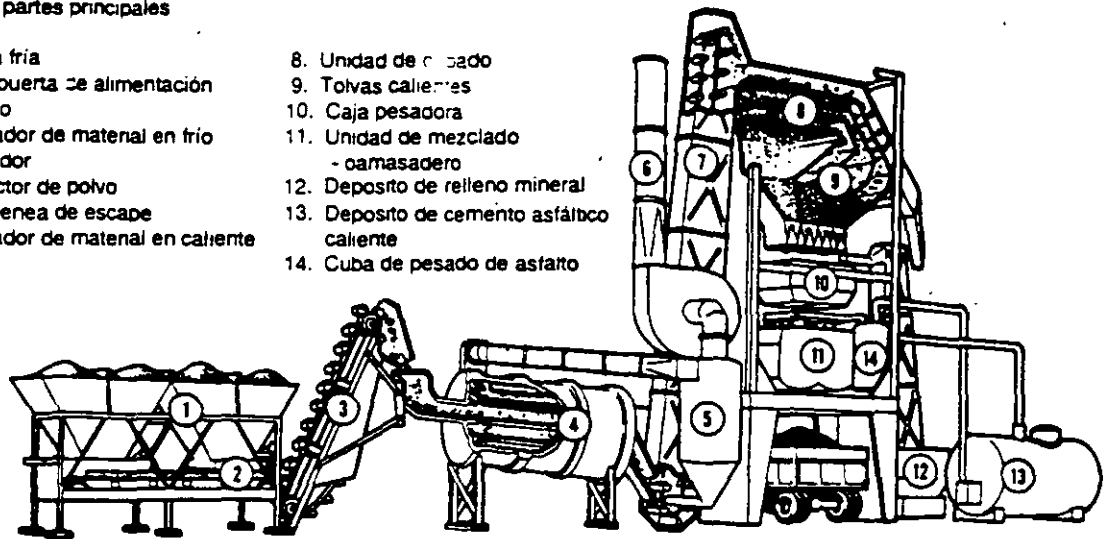


FIGURA 4.1 - Vista en Corte de una Planta de Dosificación.

En general, las obligaciones del inspector incluyen:

- Sacar muestras, ensayar y evaluar los materiales para revisar conformidad con las especificaciones.
- Conocer el procedimiento para calibrar correctamente los medidores de asfalto y los alimentadores de agregado.
- Monitorear las operaciones de planta para garantizar el calentamiento correcto y el secado del agregado, la temperatura correcta del asfalto, la distribución correcta de los materiales, y la producción uniforme de concreto asfáltico conforme con las especificaciones.
- Mantener registros oficiales completos y exactos.
- Mantener un diario personal de la operación de planta.
- Ejercitar procedimientos de seguridad, estando constantemente alerta de condiciones o practicas peligrosas, y notificando dichas condiciones o practicas a las autoridades pertinentes.

El inspector también debe estar enterado de todas las regulaciones y ordenanzas federales, estatales y locales relacionadas con la operación de la planta - tales como regulaciones en la polución del aire y del agua, requerimientos anti-ruido, horas restringidas de operación, etcétera. Cualquier violación de dichas regulaciones deberá ser notificada al contratista.

4.4 PROPOSITO Y DISPOSICION DE LOS EQUIPOS

El propósito es el mismo sin importar el tipo de planta. El propósito es de producir una mezcla en caliente que posea las proporciones deseadas de asfalto y agregado, y que cumpla con todas las especificaciones. Ambos tipos de planta (plantas de dosificación y plantas mezcladoras de tambor) están diseñados para lograr este propósito. La diferencia entre los dos

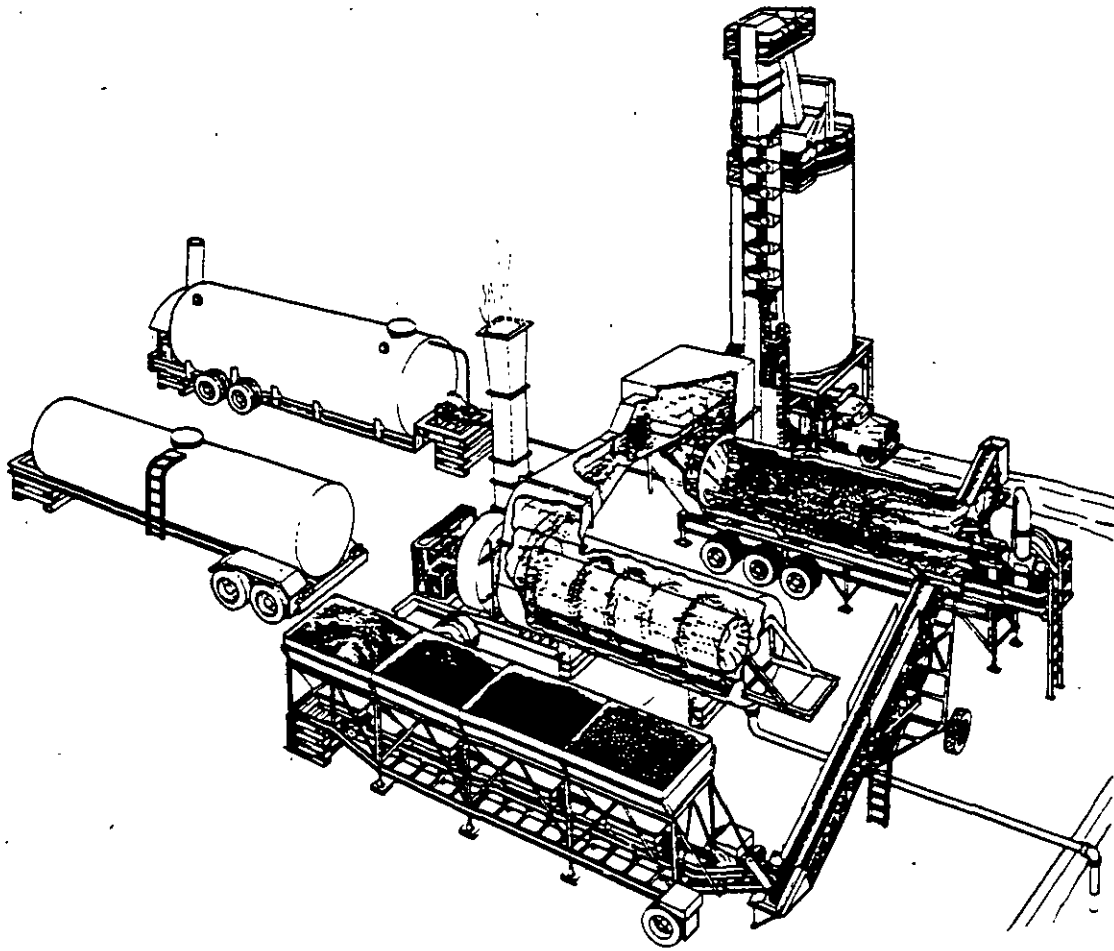


FIGURA 4.2 - Planta Mezcladora de Tambor.

tipos de planta es que las plantas de dosificación secan y calientan el agregado y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que las plantas mezcladoras de tambor secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo. En la Figura 4.3 se ilustran similitudes y diferencias físicas entre ambos tipos de planta.

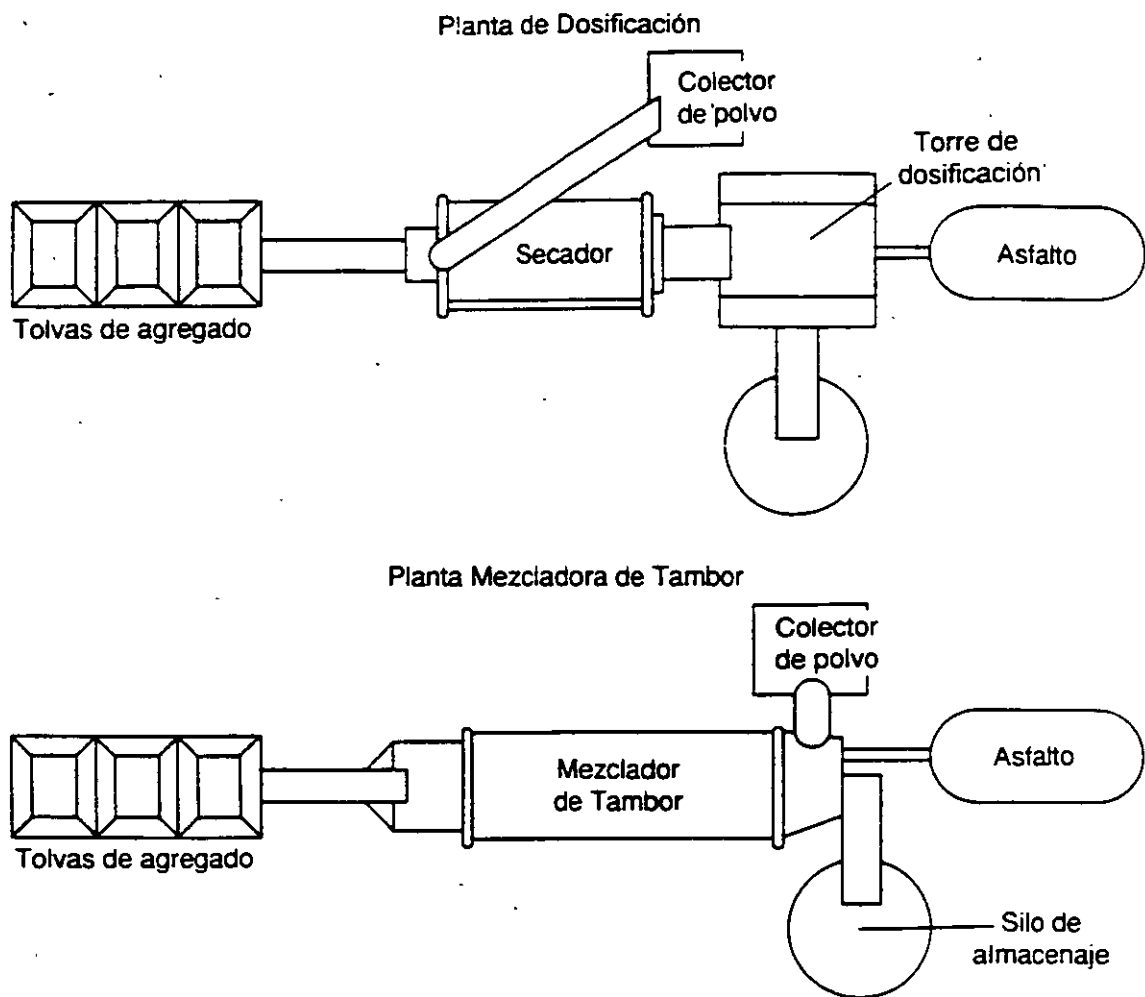


FIGURA 4.3 - Disposición Típica de Equipos en la Planta de Dosificación y en la Planta Mezcladora de Tambor.

4.5 MATERIALES

La calidad de la mezcla en caliente producida es tan buena como la calidad de los materiales usados en la planta. Por lo tanto, una de las obligaciones primordiales del inspector es la de garantizar la disponibilidad de una adecuada reserva de materiales apropiados antes de, y durante, las operaciones de la planta. En las secciones siguientes se examina el manejo y control del asfalto y del agregado. Los fundamentos presentados se aplican a todas las plantas de concreto asfáltico.

4.5.A Almacenamiento y Manejo de Agregados

El inspector tiene la responsabilidad de ver que los agregados sean acopiados y manejados de tal manera que se minimice la degradación y la segregación, y se evite la contaminación. El área de acopio deberá estar limpia y estable para prevenir contaminación. Se deberán tomar las medidas necesarias para prevenir que los diferentes agregados se entremezclen. Dichas medidas

incluyen tener un espacio suficiente que permita la separación de las pilas de agregado, o el uso de muros de contención entre las pilas. Si se usan muros, estos deberán extenderse hasta la altura completa de la pila para prevenir rebalses. También deberán ser lo suficiente fuertes para no ceder bajo los esfuerzos aplicados.

La manera como los agregados deben ser manejados durante el acopio depende de la naturaleza misma del material. Los agregados finamente graduados (tales como arenas y materiales finos) y los de un solo tamaño no requieren el mismo cuidado en su manejo que los agregados gruesos compuestos de varios tamaños de partícula. Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados de un solo tamaño (especialmente los tamaños pequeños) pueden ser manejados y almacenados casi de cualquier manera. Las combinaciones de agregados, sin embargo, requieren de un manejo especial. Por ejemplo, si un material que contiene partículas gruesas y finas se coloca en una pila con forma de cono, es probable que presente segregación debido a que las partículas grandes van a rodar por la pendiente de la reserva (Figura 4.4.B). Esta segregación puede ser minimizada si se construye la pila en capas (Figura 4.4.A).

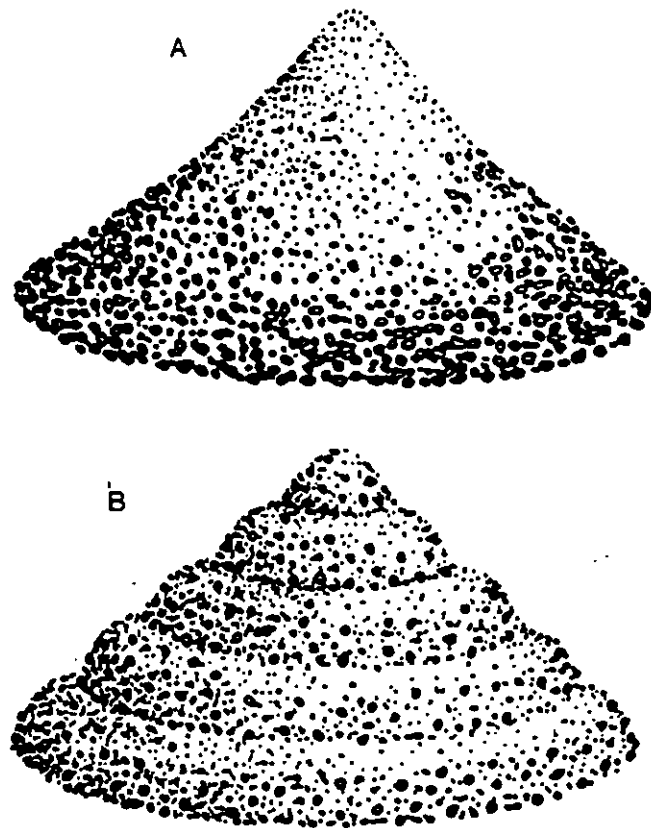


FIGURA 4.4 - Método (A) Incorrecto e (B) Correcto para Apilar Agregado con Partículas Grandes y Pequeñas.

Si los agregados son transportados en camión, se puede construir una pila en capas vaciando las camionadas, una cerca de otra, sobre la superficie total del montón. El tamaño de las camionadas determinará el espesor de cada capa. Cuando el apilamiento se hace con grúa, las cargas deberán depositarse (sin ser arrojadas) una cerca de otra para formar capas de espesor uniforme. Cada capa deberá ser terminada antes de comenzar a apilar la capa siguiente, como lo muestra la Figura 4.5.

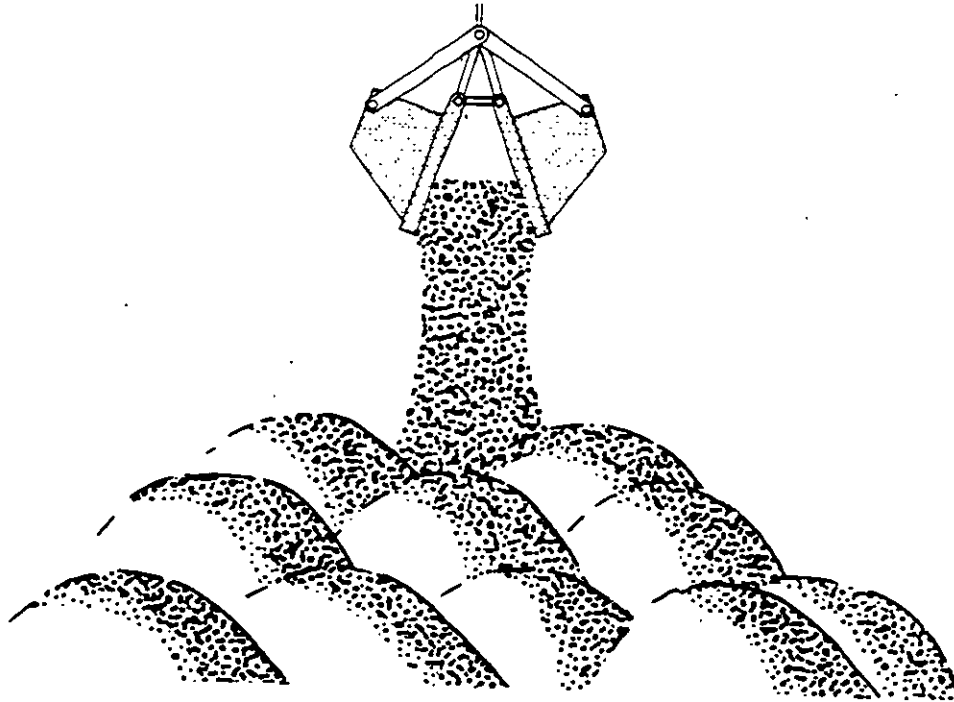


FIGURA 4.5 - Apilamiento con Grúa.

Si se usa una topadora (buldózer) para construir la pila, la topadora deberá que depositar el agregado de tal forma que la pila crezca en capas uniformes. Cada capa no deberá tener un espesor de más de 1.20 metros (4 pies). La manipulación de agregados con topadora deberá ser mínima, debido a que cualquier movimiento del agregado puede causar segregación y degradación.

Si se permite el uso de topadoras en el manejo de pilas de agregado, estas no deberán trabajar continuamente sobre el mismo nivel. Si esto llegara a ocurrir, el material fino, producido por la acción molidora de la banda de rodamiento, encontrará el camino hacia la parte baja de la rampa que está siendo usada por la topadora (Figura 4.6). Por lo tanto, el material tendrá que volver a ser tamizado antes de ser usado en la mezcla. De otra manera, el material deberá ser desechado. Este problema no está únicamente limitado al uso de topadoras y otros vehículos de tracción; también ocurre cuando se usan equipos con llantas de caucho.

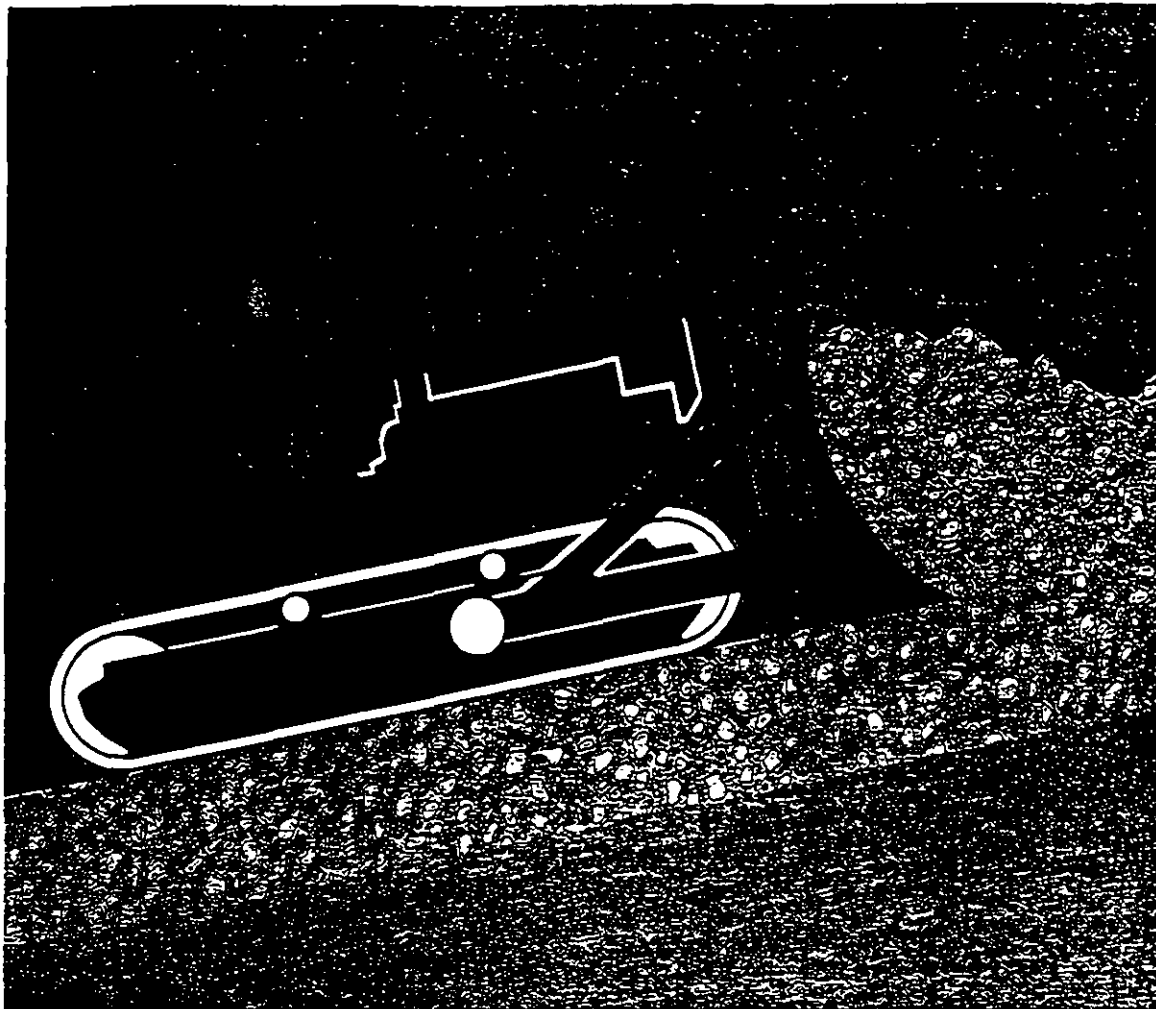


FIGURA 4.6 - Segregación Causada por la Topadora.

Para garantizar que la pila mantenga una graduación uniforme se deben tomar muestras del agregado, y ensayarlas con frecuencia. Cada muestra de la pila debe ser un compuesto de agregados tomados de diferentes niveles de la pila - cerca a la cima, en la mitad, y cerca de la base. Es posible usar un escudo de madera o metal medido verticalmente en la pila, justo por encima del área de muestreo, para prevenir que partículas sueltas de agregado se derrumben sobre la muestra durante la operación de muestreo.

Para obtener muestras, use una pala de punta cuadrada con bordes doblados hacia arriba tal que formen una cuchara. Introduzca horizontalmente la cuchilla de la pala dentro de la pila y remueva una palada de material. Tenga cuidado de no dejar caer ninguna de las partículas. Luego coloque el agregado en un balde. Las paladas siguientes serán colocadas en el mismo balde.

Asegúrese de obtener una palada de agregado, en el área de muestreo, de cada nivel de la pila. Es importante que las áreas de muestreo no estén en línea vertical. Estas deberán estar mas bien escalonadas alrededor, o dentro, de la pila, para garantizar muestras representativas.

4.5.B Muestro del Agregado

Las cantidades usadas para muestreo de agregado están señaladas en la Figura 4.7. La información incluye pesos recomendados de muestras basados en el tamaño máximo de partícula del agregado. Recuérdese que las muestras más representativas son tomadas de la banda de alimentación, y no de la pila o la tolva.

El muestreo estadístico está fuera del alcance de esta discusión. Si llegara a ser necesario, la norma ASTM D 3665, Método Normalizado para Muestreo Aleatorio, describe procedimientos para dicho muestreo (ver Apéndice C).

Tamaño Máximo Nominal de Partículas, (Porcentaje que pasa)		Peso mínimo de muestras de campo*	
mm	Agregado Fino	lb	kg
2.36	No. 8	10	5
4.75	No. 4	10	5
Agregado Grueso			
9.5	3/8 in.	10	5
12.5	1/2 in.	20	10
19.0	3/4 in.	30	15
25.0	1 in.	50	25
37.5	1-1/2 in.	70	30
50.0	2 in.	90	40
63	2-1/2 in.	100	45
75	3 in.	125	60
90	3-1/2 in.	150	65

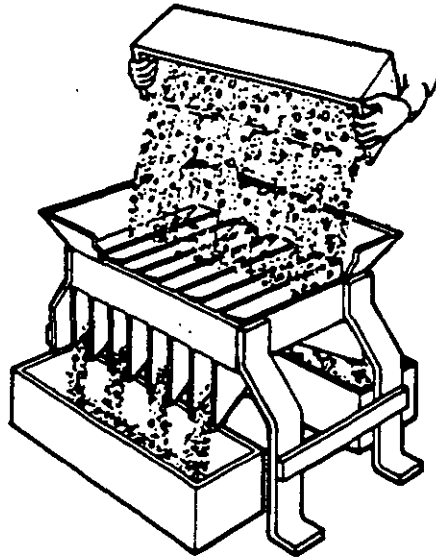
* Las muestras para los ensayos deben obtenerse de la muestra de campo mediante un cuarteo, o mediante cualquier otro medio que garantice una porción representativa.

FIGURA 4.7 - Tamaño de Muestras.

Después de haber seleccionado una muestra de agregado, es a veces necesario reducir el tamaño (volumen) a uno más conveniente para que pueda ser manejada y ensayada. Debido a que este proceso de reducción puede causar segregación, es necesario tener mucho cuidado para poder preservar la integridad de la muestra. La Figura 4.8 ilustra dos ejemplos de métodos de reducción. Generalmente, es preferible usar el partididor mecánico de muestras con agregados gruesos o agregados finos secos. Por otro lado, el cuarteo es el mejor método cuando la muestra de agregado está húmeda. La norma AASHTO T 248 describe ambos métodos en detalle.

4.5.C Almacenamiento y Manejo del Asfalto

Las cantidades de asfalto almacenadas en la planta deben ser suficientes para permitir una operación uniforme en la misma, aún si se tienen en cuenta los cargamentos retrasados y el tiempo de los ensayos de aceptación. La mayoría de las plantas tienen al menos dos tanques de asfalto - un tanque de trabajo y uno de reserva (Figura 4.9). Cuando se requiere más de un grado de asfalto para una obra, es necesario disponer de un tanque para cada grado.

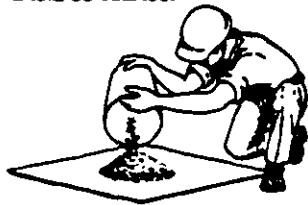


Metodo usando partidor de muestras

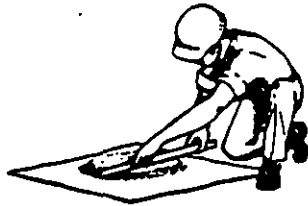
Cuarteo de Muestras

Los tamaños de muestras también pueden reducirse. El método de cuarteo deberá ser usado cuando no se disponga de partidores mecánicos. El cuarteo simplemente requiere de una tela para cuarteo y de un palo o vara - y se hace de la siguiente manera:

1. Vacie el contenido del balde de ensayo sobre una tela de cuarteo.



2. Nivele la muestra sobre la tela, usando la vara.



3. Introduzca una vara por debajo de la tela y levante los extremos para dividir la muestra en dos partes iguales.



4. Repita el paso 3, dividiendo la muestra en cuatro partes.



5. Utilice dos partes diagonales para las pruebas.

Si la muestra no llega a ser lo suficiente pequeña, repita el procedimiento de cuarteo.

Metodo de cuarteo

FIGURA 4.8 - Reducción de Muestras de Agregado.

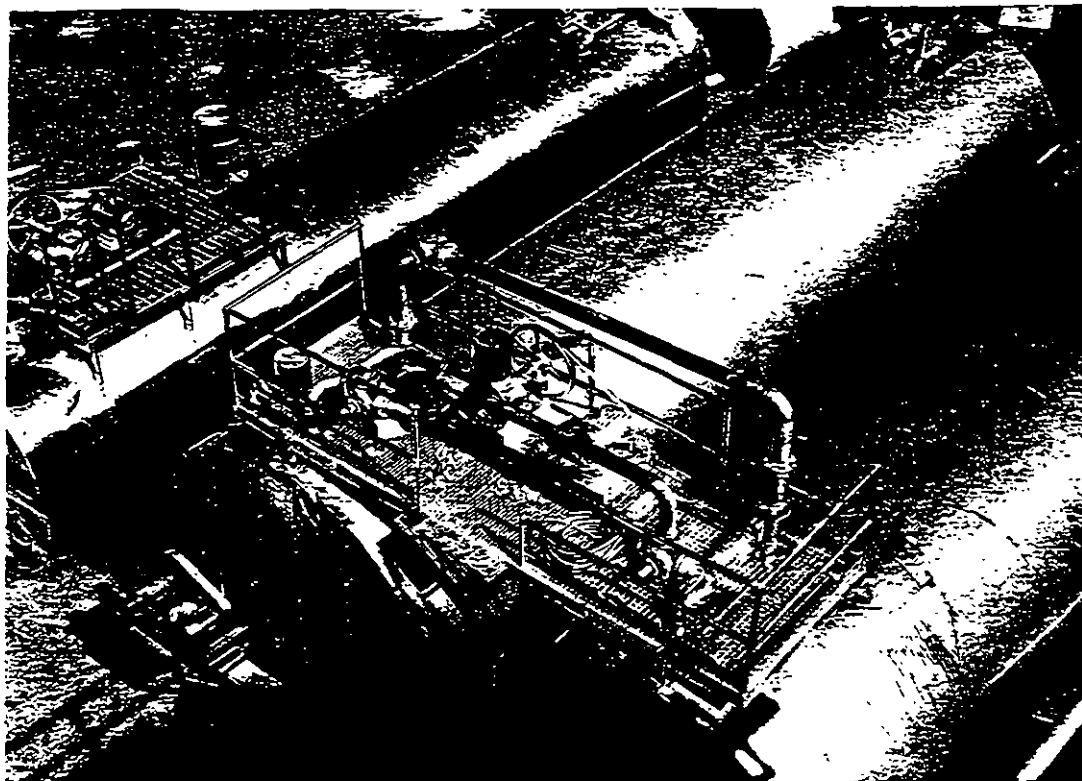


FIGURA 4.9 - Una Serie de Tanques de Almacenamiento de Asfalto.

Los tanques de almacenamiento de asfalto deberán ser calibrados para que la cantidad remanente de material en el tanque pueda ser determinada en cualquier momento. También deberán ser calentados para mantener el asfalto lo suficiente fluido para que pueda moverse por las líneas de carga y descarga. El calentamiento se hace eléctricamente o circulando aceite caliente a través de serpentines en el tanque. Independientemente del método usado, nunca una llama de fuego deberá entrar en contacto directo con el tanque.

Cuando se usa aceite circulante caliente, el nivel de aceite en el depósito de la unidad de calentamiento deberá revisarse periódicamente. Una disminución en el nivel puede indicar escape de aceite hacia el tanque, lo cual puede causar contaminación del asfalto.

Todas las líneas de transferencia, bombas y cubetas pesadoras deben tener calentadores de serpentín o chaquetas para que el asfalto siempre permanezca con suficiente fluidez para ser bombeado. Uno o más termómetros deberán colocarse en el sistema de alimentación de asfalto para garantizar el control de la temperatura del asfalto. La sección 2.3 contiene información adicional sobre la medición de temperaturas.

Las líneas de retorno que descargan en el tanque de almacenamiento deberán estar siempre por debajo del nivel de asfalto para prevenir que el asfalto se oxide durante su circulación (Figura 4.10). Para romper el vacío creado en las líneas cuando se invierte la bomba, y para limpiar las líneas, se deben cortar dos o tres ranuras verticales en la línea de retorno dentro del tanque, por encima de la marca de máximo nivel.

Se puede instalar una válvula o espiga en el sistema de circulación para permitir muestreo de asfalto. Cuando se este muestreando en el sistema de circulación, se deberá tener mucha precaución, puesto que la presión en las líneas puede causar salpicaduras de asfalto caliente.

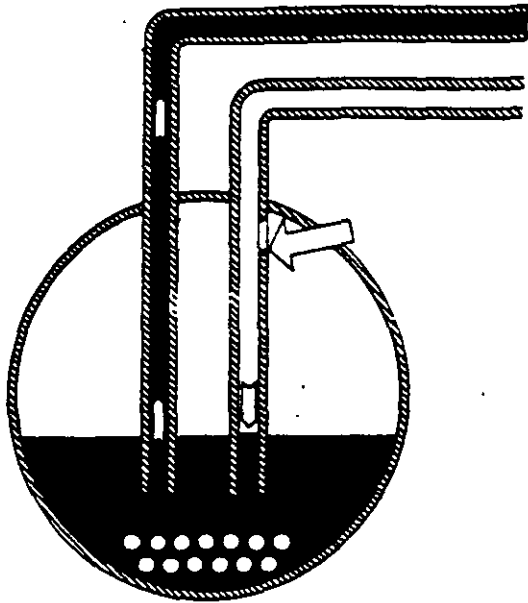


FIGURA 4.10 - Línea de Retorno de Asfalto.

4.5.D Muestreo de Asfalto

Normalmente las muestras de asfalto se toman de una válvula de muestreo en un tanque de camión o de almacenamiento. A continuación se presentan unas reglas importantes que deben seguirse durante el muestreo de asfalto:

- Tome las muestras en las válvulas de muestreo diseñadas para este propósito, para garantizar que las muestras sean representativas de todo el cargamento (Figura 4.11). Las muestras de inmersión tomadas de la parte alta del tanque no son generalmente representativas. La norma AASHTO T 40 describe otros métodos de muestreo, y también algunas especificaciones de agencias gubernamentales.
- Use solamente recipientes nuevos, limpios, y secos.
- Permita que por lo menos un litro de asfalto drene de la válvula antes de tomar la muestra. Esto limpia la válvula y las líneas y ayuda a proporcionar una muestra representativa.
- Selle inmediatamente los recipientes llenos con tapas limpias, secas, y de ajuste apretado. Limpie cualquier material que se haya derramado sobre el recipiente usando un trapo limpio y seco. **NUNCA** use un trapo empapado o sumergido en solvente.
- Marque todos los recipientes claramente. No marque las tapas, porque una vez la tapa sea removida será imposible identificar la muestra en el recipiente. Para marcar use un marcador indeleble. Solamente use rótulos cuando no hay peligro de que se pierdan durante el transporte de las muestras.
- Siga todas las precauciones de seguridad necesarias para manejar y almacenar asfalto caliente. Recuerde que el cemento asfáltico está muy caliente cuando es muestreado. Por esta razón, use ropa de protección (guantes, careta, camisa de manga larga) para evitar quemaduras.

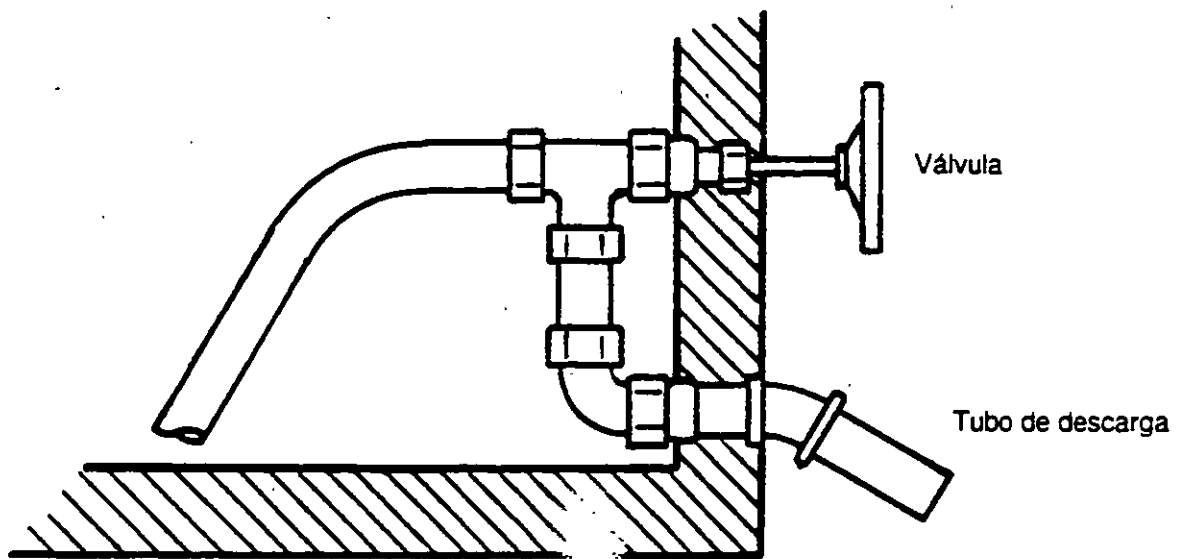


FIGURA 4.11 - Dispositivo Usado en Tanque de Camión o de Almacenamiento para Muestrear Asfalto.

4.5.E Manejo y Alimentación del Relleno Mineral

4.5.E.1 Almacenamiento y Manejo - El relleno mineral está sujeto a aglutinamiento o endurecimiento a causa de la humedad. Por lo tanto, es necesario un almacenaje separado para proteger al relleno de la humedad. En operaciones de planta donde el uso de finos es grande, se usa frecuentemente un sistema de silo para almacenaje de finos para mantener una reserva de varios días (Figura 4.12). Dicho sistema puede tener un dispositivo mecánico, o uno neumático, para alimentar la planta con relleno mineral. En los sistemas neumáticos el relleno mineral es arrastrado por una corriente de aire y es manejado como un fluido, lo cual ofrece un control exacto y evita taponamientos.

El sistema neumático generalmente consiste de una tolva receptora, un transportador de tornillo sin fin, un elevador hermético al polvo, y un silo (Figura 4.12). El elevador carga el silo, de donde el relleno es dosificado a la planta. El silo también puede ser cargado directamente de camiones. El relleno mineral es normalmente introducido a la mezcla en la tolva pesadora de la planta de dosificación. En algunas plantas puede existir un sistema separado de pesaje.

En una planta mezcladora de tambor el relleno mineral es introducido neumáticamente, a través de tubería, por el mismo lugar donde es introducido el asfalto.

En las plantas donde el volumen de asfalto usado no justifica un silo, podrá usarse un sistema alimentador de sacos. Este sistema consiste de un alimentador, un elevador hermético al polvo, una tolva, un transportador de tornillo sin fin o un alimentador de paletas, y un conducto de rebose.

En ambos sistemas, de silo y de sacos, la dosificación final del relleno mineral en la mezcla se logra a través de un alimentador de paletas de velocidad variable, o alimentador de tornillo o banda, de acuerdo al tamaño del material a ser manejado y de la capacidad requerida. En cada caso, el mecanismo de transportador de relleno mineral está entrelazado con los mecanismos de alimentación de agregado para garantizar un proporcionamiento uniforme.

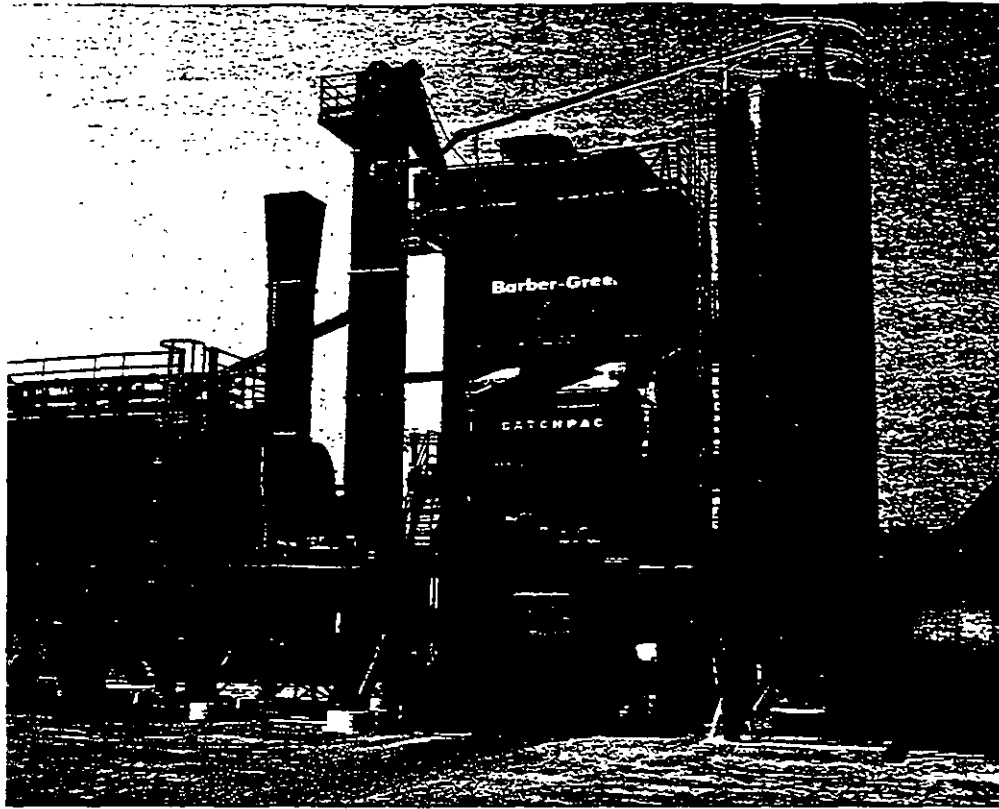


FIGURA 4.12 - Sistema de Silo para Alimentación de Relleno Mineral.

El manejo de relleno mineral también incluye un sistema colector de polvo. Los colectores de polvo están diseñados para atrapar el relleno mineral que se escapa de la mezcla de agregado y luego devolverlo a la planta para ser incorporado en la mezcla en caliente.

Cuando se presenta un exceso de finos en la alimentación del agregado en bruto, puede emplearse un sistema de paso para recibir el relleno recogido por el colector de polvo. La cantidad que se requiere de relleno es luego realimentada en la mezcla y cualquier cantidad en exceso es desviada hacia un depósito de almacenaje para ser evacuada o para otros usos.

4.5.E.2 Control de Alimentación - Cuando el relleno mineral es adicionado a la mezcla su proporción debe ser exacta. En consecuencia, el flujo de relleno mineral hacia la planta debe ser cuidadosamente controlado y revisado con frecuencia.

El porcentaje de relleno mineral que va hacia la mezcla en caliente puede ser calculado midiendo la cantidad de relleno consumida en la planta durante la producción de una cantidad dada de mezcla en caliente.

Cuando el relleno mineral es suministrado y almacenado en masa (el caso de silos), no es generalmente práctico medir la cantidad almacenada. En lugar de ello, se debe revisar con sumo cuidado, y con frecuencia, la calibración de los mecanismos de alimentación y pesaje.

4.5.F Registros de los Materiales

Siempre se deberá mantener a mano suficiente material para prevenir una operación del tipo "pare y siga". Todos los materiales que van a ser usados en la mezcla deberán ser muestreados, ensayados, y evaluados para verificar su conformidad con las especificaciones de calidad de la obra.

4.5.F.1 Agregados - A medida que los agregados son recibidos en la planta, se deberá registrar una descripción de los mismos, anotando la fecha y la cantidad entregada, y si el material ha sido o no ensayado antes de la entrega. Si el material ha sido ensayado, se deberá registrar el número de identificación del ensayo y se deberán tomar las muestras necesarias para verificar los resultados del ensayo. El tamaño y la frecuencia de estas muestras de verificación variará de acuerdo a la política de la agencia que esta estableciendo las especificaciones, y deberá estar estipulada en las especificaciones o en el manual de operación.

Si el material no ha sido ensayado antes de ser entregado, se deberán obtener muestras representativas y efectuar los ensayos requeridos para garantizar conformidad con todas las especificaciones. Como mínimo se deben efectuar ensayos para determinar tamaño y graduación, análisis granulométrico, limpieza (análisis granulométrico por lavado), y equivalente de arena. Frecuentemente se toman muestras para medir absorción, gravedad específica, tenacidad (sanidad), y tendencia al desprendimiento (afinidad con el asfalto). Estas son enviadas al laboratorio central.

Los registros para los materiales que no han sido previamente ensayados deberán incluir:

- Nombre del dueño o vendedor.
- Lugar del origen del suministro.
- Cantidad disponible aproximada.
- Cantidad representada por cada muestra

4.5.F.2 Asfalto - En la mayoría de los casos el asfalto viene de una fuente ya ensayada y es aceptado por certificación. Aun así, es necesario mantener un registro de todas las entregas de asfalto a la planta. La siguiente información deberá ser incluida en estos registros:

- Identificación del proyecto.
- Fecha de entrega.
- Numero del recibo de entrega.
- Numero del ensayo previo.
- Cantidad de asfalto por peso o volumen calculado, basado en una medición directa. Cuando el volumen es calculado, la siguiente información debe ser suministrada:
 - a) Identificación del gráfico de calibración.
 - b) Medición inicial - antes de descargar.
 - c) Medición final - después de la descarga.
 - d) Temperatura del asfalto.
 - e) Factor de corrección de temperatura para reducir a galones equivalentes a una temperatura de 15°C (60°F).
 - f) Galones equivalentes.
 - g) Numero de la muestra de verificación.

4.5.F.3 Otros Materiales - Registros similares deberán ser mantenidos para todo material que va a ser incorporado en la mezcla; tal como aditivos de relleno mineral.

4.6 OPERACIONES SIMILARES : PLANTAS DE DOSIFICACION Y MEZCLADORAS DE TAMBOR

Ciertas operaciones de planta son comunes para la planta de dosificación y la planta mezcladora de tambor. Estas operaciones incluyen:

- Almacenamiento y alimentación de agregado frío.
- Control y colección de polvo.
- Almacenamiento de mezcla.
- Pesaje y manejo.

Cada uno de estos tópicos es discutido mas adelante en diferentes sub-secciones.

También, común a todas las plantas es la importancia de la uniformidad y el balance, tanto en los materiales usados como en las operaciones de planta. La uniformidad garantiza que la mezcla en caliente cumpla consistentemente con las especificaciones, e incluye la uniformidad en los materiales, uniformidad en el proporcionamiento de materiales, y uniformidad continua en la operación de todos los componentes de la planta. Los cambios en las características o proporciones de materiales, y las interrupciones y arranques intermitentes en las operaciones de la planta, hacen que la producción de una mezcla en caliente, conforme con las especificaciones de la obra, sea una labor extremadamente difícil.

El balance abarca la coordinación cuidadosa de todos los elementos de producción. El balance de las cantidades de materiales con la producción de planta, y el balance de la producción de la planta con las operaciones de colocación del pavimento, garantiza un esfuerzo continuo y uniforme de producción y colocación.

La uniformidad y el balance están garantizados cuando hay una preparación cuidadosa. Los materiales deben ser muestreados y ensayados, y los componentes de la planta deben ser cuidadosamente inspeccionados y calibrados, antes de comenzar la producción.

4.6.A Almacenaje y Alimentación en Frío de Agregado

4.6.A.1 Descripción General - El sistema de acopio y alimentación en frío de agregado mueve agregado frío (sin calentar) del almacenaje a la planta.

El alimentador de agregado frío es el primer componente principal de la planta de mezclas asfálticas en caliente. El alimentador en frío puede ser cargado usando cualquiera, o una combinación, de tres métodos diferentes:

- (1) Tolvas abiertas con dos, tres o cuatro compartimientos, usualmente alimentadas por un cucharón de almeja de una grúa o por un cargador de tractor.
- (2) Túnel debajo de apilamientos separados por muros de contención. Los materiales son apilados sobre el túnel mediante banda transportadora, camión, grúa, o cargador de tractor.
- (3) Arcones o tolvas grandes. Estos son usualmente alimentados por camiones, descargadoras de vagón, o vagones de descarga inferior descargando directamente sobre los arcones.

Al cargar las tolvas frías (Figura 4.13) se debe tener mucho cuidado para minimizar la segregación y degradación del agregado. Deberá mantenerse suficiente material en todas las tolvas para proveer un flujo constante y uniforme.

Si el nivel del apilamiento por encima del túnel es mantenido con cucharón de almeja o de arrastre, el operador no deberá recoger material del montón a nivel del suelo. La cuchara deberá

sostenerse a suficiente altura por encima del suelo para prevenir contaminación cuando se este trabajando.

Cuando se usan camiones para cargar la tolva, estos deberán depositar sus cargas directamente encima del alimentador.

Cuando el apilamiento es reabastecido mediante bandas superiores o transportadores elevados, deberá controlarse la caída libre de material usando placas desviadoras o chimeneas perforadas.

Las unidades de alimentación de agregado deberán colocarse debajo de las tolvas de almacenaje o de los apilamientos, o en lugares que garanticen un flujo uniforme de agregados.

Las compuertas, localizadas en la parte baja de las tolvas, alimentan la línea transportadora, que lleva los agregados al secador, con cantidades controladas. Controles de alimentación regulan la cantidad de agregado que sale de cada tolva, proporcionando de este modo un flujo uniforme y continuo de mezcla de agregado, correctamente graduada, hacia la planta.

Existen varios tipos de alimentadores en frío. Entre los más comunes se encuentran: (1) tipo continuo de banda, (2) tipo vibratorio, y (3) tipo mandil. Cada uno esta ilustrado en la Figura 4.14.

Generalmente, los alimentadores continuos de banda se consideran los mejores para agregados finos. Cualquiera de los tres tipos de alimentadores son adecuados para manejar agregados gruesos.

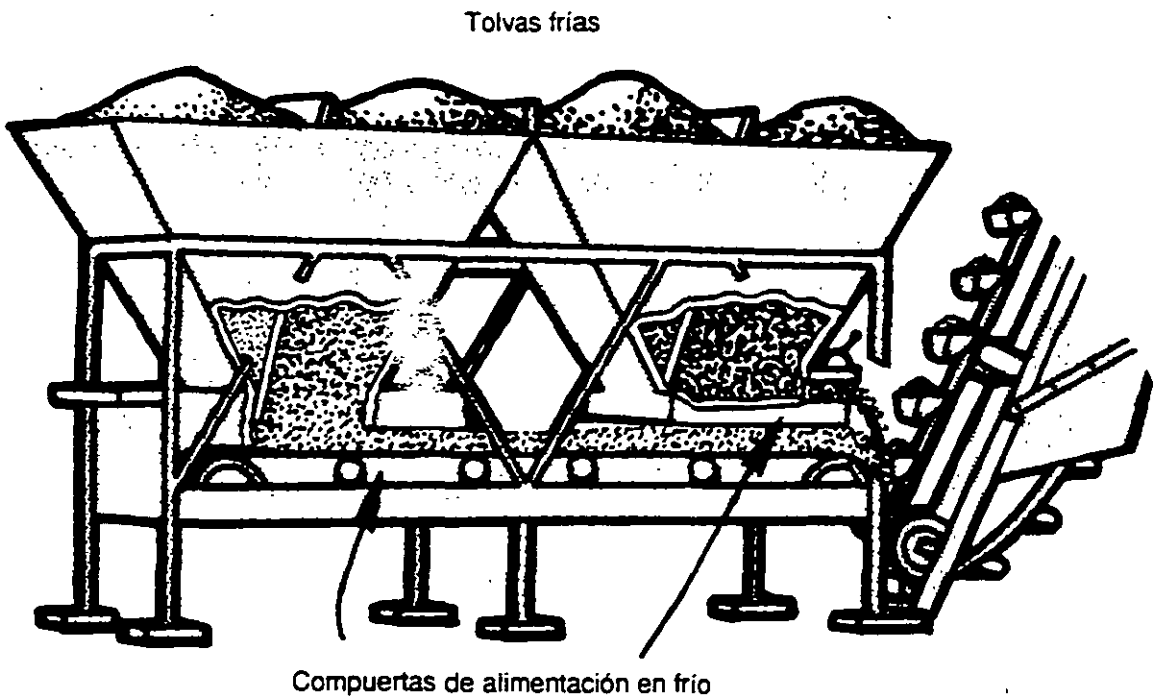


FIGURA 4.13 - Sistema Típico de Tolva para Alimentación en Frío.

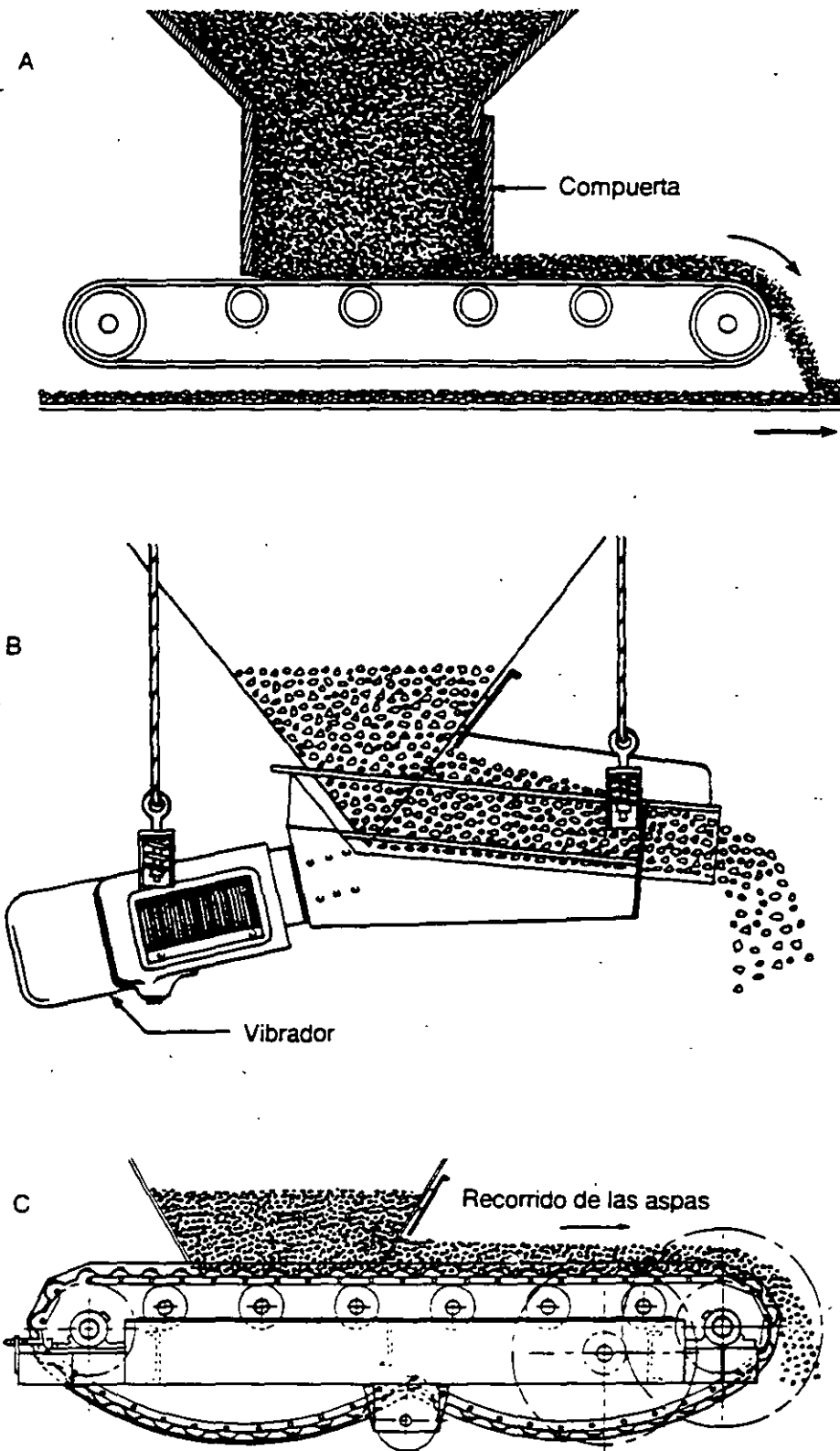


FIGURA 4.14 - Sistemas Típicos de Alimentación en Frío : A. Alimentador Continuo de Banda, B. Alimentador Vibratorio, y C. Alimentador de Espas (Tipo Mandil).

4.6.A.2 Garantizando el Correcto Funcionamiento del Alimentador - El inspector deberá revisar el sistema alimentador antes y durante la producción para asegurarse que este funcionando correctamente. Esto se debe a que es importante, para la producción de mezcla en caliente, tener un flujo uniforme de agregado correctamente graduado. Las condiciones que el inspector puede revisar para ayudar a garantizar un correcto funcionamiento del alimentador incluyen:

- Tamaños correctos de agregados en las pilas y en las tolvas frías.
- Ninguna segregación de agregados.
- Ningún entremezclado de reservas de agregado.
- Compuertas alimentadoras calibradas, aseguradas y ajustadas con exactitud.
- Ninguna obstrucción en las compuertas alimentadoras o en las tolvas frías.
- Ajustes correctos en los controles de velocidad.

4.6.A.3 Calibrando y Ajustando los Alimentadores - Las compuertas alimentadoras de agregado frío deben estar calibradas, ajustadas y aseguradas para garantizar un flujo uniforme de agregado. Mientras que esta calibración es responsabilidad del contratista, el inspector también deberá estar enterado de los métodos y procedimientos usados.

Las compuertas deberán estar calibradas para cada tipo y tamaño de agregado usado. Los fabricantes generalmente suministran calibraciones aproximadas para las aberturas de compuerta de sus equipos, pero la única manera exacta para fijar las compuertas es la de preparar gráficos de calibración basados en los agregados que van a ser usados en la mezcla. El inspector deberá examinar los gráficos de calibración de los alimentadores en frío para estar enterado de los ajustes de cantidades de producción.

Existen dos métodos para calibrar los alimentadores en frío de agregado: (1) aberturas ajustables de compuerta con alimentadores de banda de velocidad fija, y (2) aberturas semi-fijas de compuerta con alimentadores de banda de velocidad variable.

Aberturas Ajustables de Compuerta con Alimentadores de Banda de Velocidad Fija

En este método, la calibración comienza al abrir primero una compuerta un 25 por ciento, o menos, de su máxima abertura, y luego poniendo en marcha el alimentador. Cuando el alimentador esté funcionando aproximadamente a la misma velocidad a la cual operará durante la producción real, se procede a recoger en un recipiente, y a pesar, el agregado que sale de la compuerta después de un determinado intervalo de tiempo. Si la compuerta que esta siendo calibrada es del tipo que descarga directamente sobre el sistema alimentador principal de banda transportadora, entonces deberá determinarse el flujo por minuto de material, para la abertura de compuerta que se esta revisando, usando la siguiente ecuación:

$$q = \frac{WR}{r(1+m)}$$

donde

q = tasa de flujo del agregado seco (kg. por minuto)

W = peso del agregado medido (kg.)

r = longitud de la sección de banda de donde el material fue removido (en metros)

R = velocidad de banda (metros por minuto); y

m = contenido de humedad del agregado

En sistemas alimentadores en frío como los de flujo continuo de banda y flujo de espas, en donde la compuerta descarga el material sobre un transportador pequeño en vez de un transportador grande principal, el flujo de material puede ser calculado usando el número de revoluciones de la banda pequeña. En este cálculo se usa la ecuación anterior con:

- r = el numero de revoluciones de la banda pequeña durante la recolección de agregado (en revoluciones), y
- R = revoluciones de la banda por minuto (revoluciones por minuto)

La operación se repite para tres o mas aberturas diferentes en cada compuerta. Después de que se hayan hecho cálculos múltiples para cada compuerta que va a ser usada durante la producción, se procede a preparar un gráfico de calibración. Sobre el gráfico, se trazan las aberturas de compuerta en la escala horizontal (en centímetros), y las tasas de flujo del agregado en la escala vertical (en kilogramos por minuto).

Una vez se haya construido el gráfico de calibración, se procede a determinar las aberturas exactas de compuerta necesarias para la producción, usando la tasa requerida de flujo de agregado.

Para hacer esto, se usa la siguiente formula:

$$Q = \frac{TP}{6}$$

donde

- Q = tasa de flujo requerida (kg. por minuto)
- T = producción de la planta (toneladas por hora)
- P = porcentaje en peso total de mezcla.

A continuación se presenta un problema de ejemplo para mostrar el método usado para desarrollar un gráfico de calibración (Figura 4.15) y para determinar las aberturas correctas de las compuertas de alimentación en frío. Una vez hayan sido determinadas las aberturas exactas de compuerta, estas se ajustan en la posición correcta.

Problema Ejemplo

El diseño de mezcla de concreto asfáltico para una obra requiere de cuatro tipos de agregado: (1) piedra triturada gruesa (20 por ciento), (2) piedra triturada intermedia (40 por ciento), (3) agregado fino (30 por ciento), y (4) relleno mineral (10 por ciento). Cada uno de estos materiales es cargado en tolvas separadas de alimentación en frío.

La Tolva #1 contiene la piedra triturada gruesa que se requiere para la mezcla. Durante las pruebas de calibración, la compuerta de la Tolva #1 fue ensayada para cuatro aberturas diferentes (5, 10, 15 y 20 centímetros), y muestras de agregado fueron recogidas y pesadas. Debido a que el tipo de sistema utilizado descarga directamente el material sobre un transportador principal, es necesario usar la primera ecuación:

$$q = WR/r(1+m)$$

Ahora, para la abertura de 5 centímetros, los siguientes datos fueron recopilados:

<u>Abertura de compuerta</u>	<u>W</u>	<u>R</u>	<u>r</u>	<u>m</u>
5 cm.	14.3 kg.	75 m/minuto	1.5 m.	0.03 (3%)

Usando la ecuación, $q = \frac{WR}{r(1+m)}$
 $= \frac{(14.3)(75)}{1.5(1+0.03)}$
 $= 694 \text{ kg./minuto}$

Cuando la compuerta se abre 5 centímetros, la Tolva #1 suministra agregado a una tasa de 694 kg./minuto.

A continuación se muestran los resultados y los cálculos de las tasas de flujo para las otras aberturas de compuerta de la Tolva #1, y para las aberturas de compuerta de las otras tolvas.

Tolva #1 Piedra Triturada (gruesa)

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	14.3	75	1.5	3	694
10	31.2	75	1.5	3	1515
15	37.9	75	1.2	3	2300
20	36.2	75	1	3	2636

Tolva #2 Piedra Triturada (intermedia)

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	13	75	1.5	6	613
10	26.9	75	1.5	6	1269
15	32.3	75	1.2	6	1904
20	31.2	75	1	6	2208

Tolva #3 Agregado Fino

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	11.2	75	1.5	3	544
10	21.5	75	1.5	3	1044
15	31.7	75	1.5	3	1539
20	39.2	75	1.2	3	2379

Tolva #4 Relleno

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	8.4	75	1.5	4	404
10	18.9	75	1.5	4	909
15	27.4	75	1.5	4	1317
20	34	75	1.5	4	1635

Teniendo ya el gráfico completo de calibración, se procede a determinar las aberturas correctas de compuerta para cada tolva. Al hacer esta determinación, la cantidad de descarga de cada compuerta debe ser balanceada con las cantidades de descarga de las otras compuertas para garantizar la correcta graduación en la mezcla.

Las aberturas de compuerta dependen de la producción proyectada en la planta, en toneladas por hora. Para el problema del ejemplo considere una tasa de producción en la planta de 250 toneladas por hora. Las aberturas de compuerta necesarias para esta tasa de producción se calculan usando la segunda ecuación:

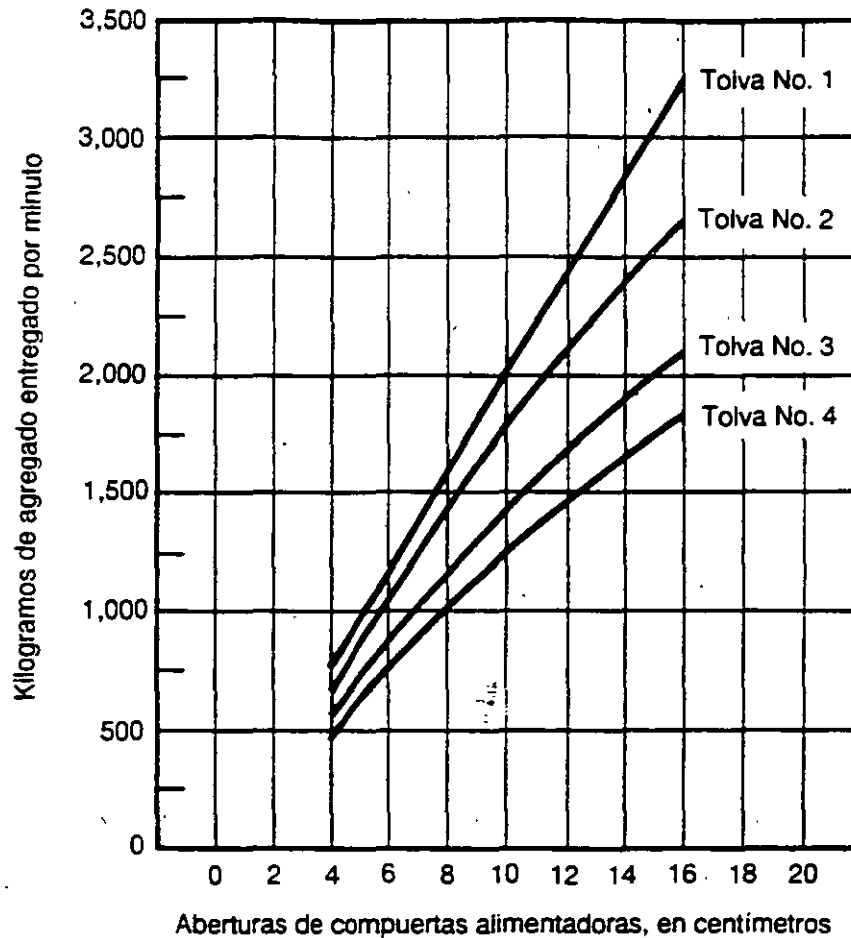


FIGURA 4.15 - Ejemplo de Gráfico de Calibración para Alimentadores de Agregado.

$$Q = \frac{TP}{6}$$

y haciendo después referencia al gráfico de calibración, como se explica a continuación.

En el ejemplo, las proporciones requeridas de agregado para la mezcla de la obra son:

Piedra Triturada Gruesa	20% (Tolva #1)
Piedra Triturada Intermedia	40% (Tolva #2)
Agregado Fino	30% (Tolva #3)
Relleno Mineral	10% (Tolva #4)

La tasa de flujo para cada tolva se calcula de la siguiente manera:

Tolva #1 Piedra Triturada (gruesa)

$$Q = \frac{TP}{6} = \frac{250 \times 20}{6} = 833 \text{ kg/segundo}$$

Haciendo luego referencia al gráfico de calibración (Figura 4.15), encontramos que la abertura de compuerta de la Tolva #1 para una cantidad de flujo de agregado de 833 kg./min. es de 6 centímetros.

Usando el mismo método, encontramos las aberturas de compuerta para las otras tolvas:

Tolva #2	13 cm.
Tolva #3	12 cm.
Tolva #4	5 cm.

Aberturas Semi-Fijas de Compuerta con Alimentadores de Banda de Velocidad Variable

En muchas plantas modernas, las compuertas de alimentación en frío no son ajustadas para cada rango, sino que son controladas por alimentadores de banda y alimentadores vibratorios de velocidad variable (medida en revoluciones por minuto - RPM).

La velocidad de la banda es ajustada de acuerdo a la tasa de producción deseada.

Para efectuar esta calibración todas las tolvas son llenadas con sus respectivos tamaños de agregados. Luego la planta es puesta en marcha y el primer alimentador se ajusta para que funcione a un determinado RPM. Una vez la planta esta operando uniformemente, se procede a recoger y pesar la cantidad de material descargado durante un período determinado de tiempo, por ejemplo 30 minutos. Este procedimiento se repite por lo menos para tres calibraciones (20, 50, y 70 RPM, por ejemplo) en la misma tolva o alimentador. La tasa de producción para el primer alimentador, para cada una de las RPM, es luego calculada y trazada sobre una gráfica similar a la de la Figura 4.16. El procedimiento completo es repetido para cada uno de los alimentadores restantes.

Para determinar el nivel de graduación de las RPM en cada alimentador, para una tasa específica de producción total, se sigue un procedimiento parecido al que se mostró en el ejemplo anterior.

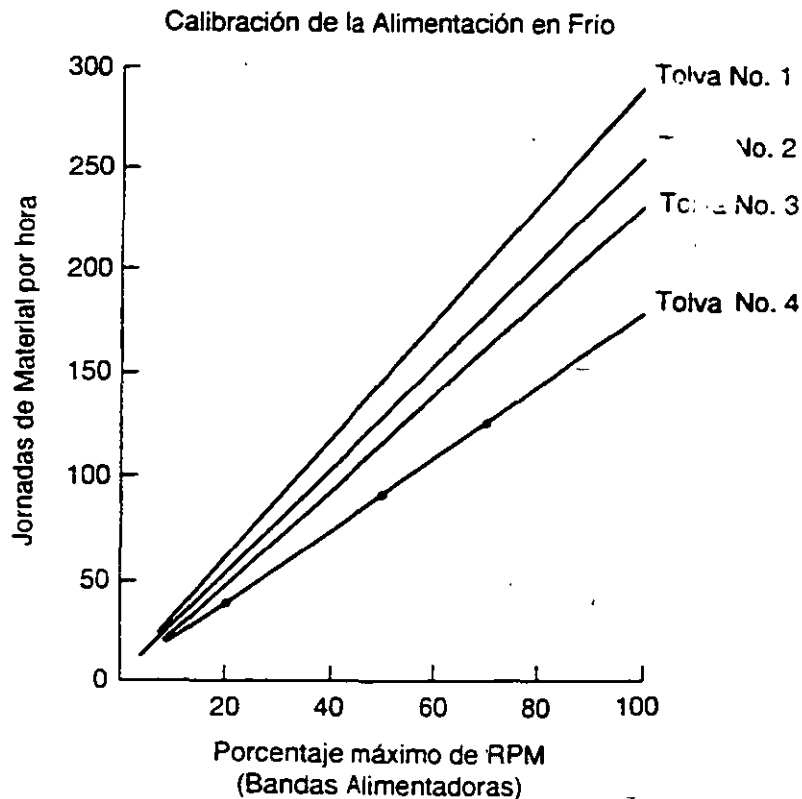


FIGURA 4.16 - Gráfico de Calibración.

La información de calibración, las mediciones de abertura de compuerta, y la velocidad de los alimentadores (RPM) deberán ser registradas por el inspector como parte de su diario. Los datos también deberán permanecer en un archivo en el laboratorio de la planta.

4.6.B Sistemas de Control de Polvo y de Recolección

La imposición de códigos o regulaciones de polución de aire es usualmente ejercida por la autoridad local de control de polución. Debido a que el sistema de control de polvo esta integrado en la operación de la planta, el inspector deberá, por lo menos, conocer los controles y equipos necesarios para cumplir con estas regulaciones.

4.6.B.1 Descripción General - Los fabricantes de plantas de asfalto reconocen el problema de la polución de aire y han desarrollado equipos que restringen el escape de contaminantes en sus plantas. Aun así, durante la operación de una planta de asfalto algunos contaminantes gaseosos y partículas pueden escapar hacia el aire. Estos contaminantes deben ser limitados para cumplir con las regulaciones establecidas para aire limpio. Se requiere que el contratista este familiarizado con las leyes locales y estatales referentes a polución del aire.

Los códigos y regulaciones del control de polución de aire que conciernen a plantas de asfalto, incluyen, normalmente, una combinación de normas para control de emisiones en las chimeneas. La norma del método visual hace uso de un gráfico para clasificar la densidad del humo. El gráfico ilustra los colores y la claridad de varias densidades de humo. La revisión de emisiones se hace al comparar y emparejar el color y densidad de la salida de escape, por encima de la chimenea de la planta, con una de las áreas del gráfico. El método visual no determina exactamente la cantidad de material contaminante liberado porque el humo negro aparece mas denso que el polvo blanco. En consecuencia, los medidores electrónicos de opacidad (usan pilas fotoeléctricas para medir el paso de luz) están reemplazando los gráficos de opacidad debido a que tienen mayor precisión.

Las normas mas definidas están basadas en la cantidad de partículas emitidas por la chimenea. El requerimiento mas común consiste en establecer un limite superior para el peso de partículas siendo emitidas en comparación con el volumen de gas liberado con este peso. Otras normas relacionan la cantidad de partículas emitidas con el peso de material producido.

Un interés mayor en la planta de asfalto, respecto a la polución de aire, se centra alrededor de la unidad de combustión. Los quemadores sucios y taponados, y las mezclas inapropiadas de aire - combustible, generan humo excesivo y productos indeseables de combustión. Es importante, entonces, revisar continuamente, y muy de cerca, la limpieza y el ajuste de los quemadores y del equipo adjunto.

Otra fuente de polución de aire en una planta de asfalto es el polvo del agregado. Las emisiones mas grandes de polvo ocurren en el secador rotatorio de la planta, en donde los colectores de polvo son comúnmente usados para cumplir con los requisitos de anti-polución de aire.

Comúnmente se usan tres tipos de colectores para atrapar el polvo del secador. Estos son los colectores centrífugos de polvo, los depuradores húmedos, y los compartimientos de filtros (filtros de tejido). Cada uno de estos tipos es discutido mas adelante. Es posible que dos o tres de estos colectores tengan que ser usados en secuencia cuando el agregado es muy polvoroso.

Parte del polvo emitido en una planta es polvo oculto - polvo que se escapa de partes de la planta, excluyendo los colectores principales. Un plan programado de mantenimiento es requerido para mantener un nivel mínimo de polvo oculto.

4.6.B.2 Colectores Centrifugos de Polvo - Los colectores centrifugos de polvo (tipo ciclón) operan bajo el principio de la separacion centrifuga. El escape de la parte superior del secador aspira el humo y los materiales finos, y los dirige hacia la centrifuga en donde son movidos en espiral (Figura 4.17). Las partículas grandes golpean la pared exterior y caen al fondo de la centrifuga; el polvo y el humo son descargados a través de la parte superior del colector. Los finos recogidos en el fondo de la centrifuga son levantados por una barrena de retorno de polvo y pueden ser devueltos a la planta o desechados.

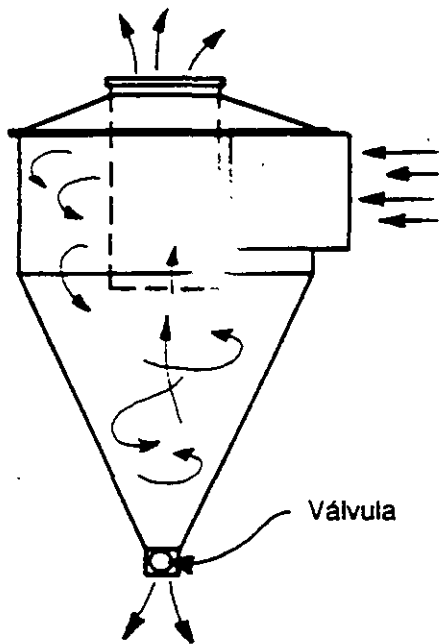
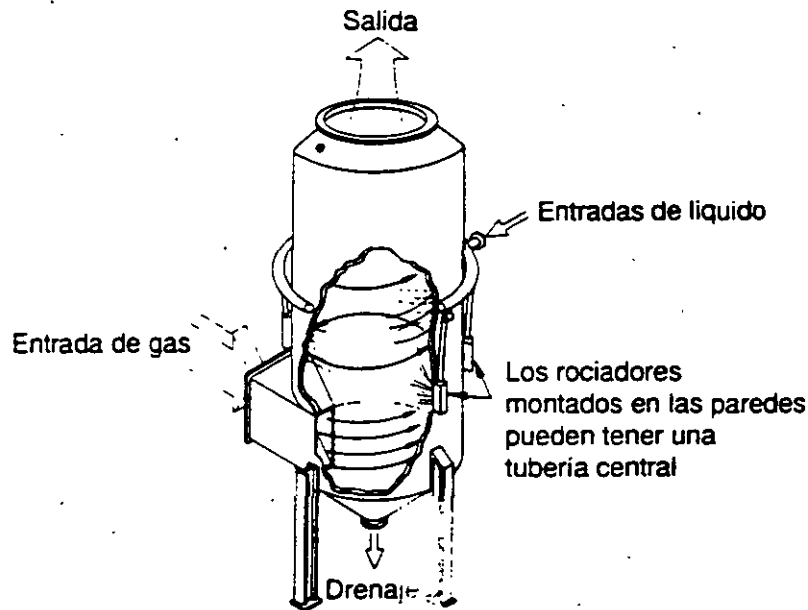


FIGURA 4.17 - Colector Centrifugo de Polvo (Típico).

FIGURA 4.18 - Depurador Húmedo (Típico).



En el pasado, los colectores centrífugos de polvo habían sido el tipo más comúnmente usado, especialmente en áreas rurales de los Estados Unidos. Sin embargo, bajo las leyes actuales (más estrictas) de polución, se usa este tipo de colectores en combinación con otro - ya sea el depurador húmedo o el compartimiento de filtros.

4.6.B.3 Depuradores Húmedos - El propósito de un depurador húmedo (Figura 4.18) es el de atrapar partículas de polvo en gotas de agua y removerlas de los gases del escape. Esto se logra al romper el agua en pequeñas gotas y poniendo estas en contacto directo con los gases cargados de polvo. Como lo ilustra la figura, los gases del secador son introducidos en la cámara a través de una toma de entrada, mientras que el agua es rociada dentro de la cámara mediante boquillas que se encuentran alrededor de la periferia.

Los depuradores húmedos son equipos relativamente eficientes. Sin embargo tienen ciertas desventajas. Primero, el polvo atrapado en las gotas no se puede recuperar. Segundo, el agua de desecho que contiene el polvo debe ser manejada correctamente para prevenir que se convierta en otra fuente de polución. Adicionalmente, los depuradores húmedos necesitan una fuente

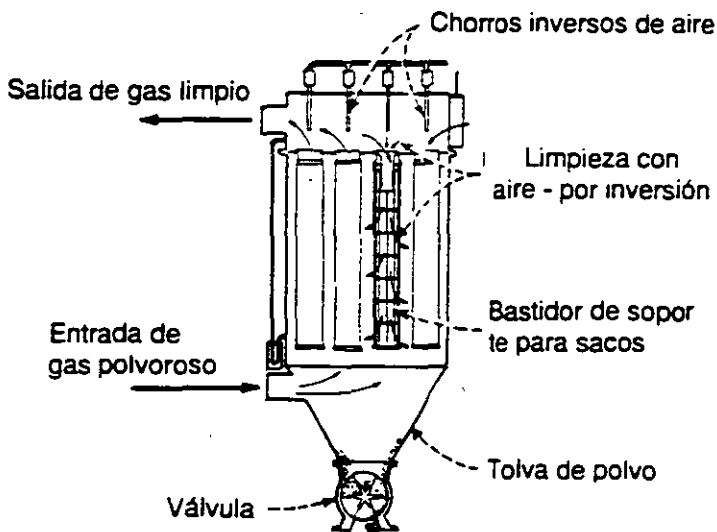
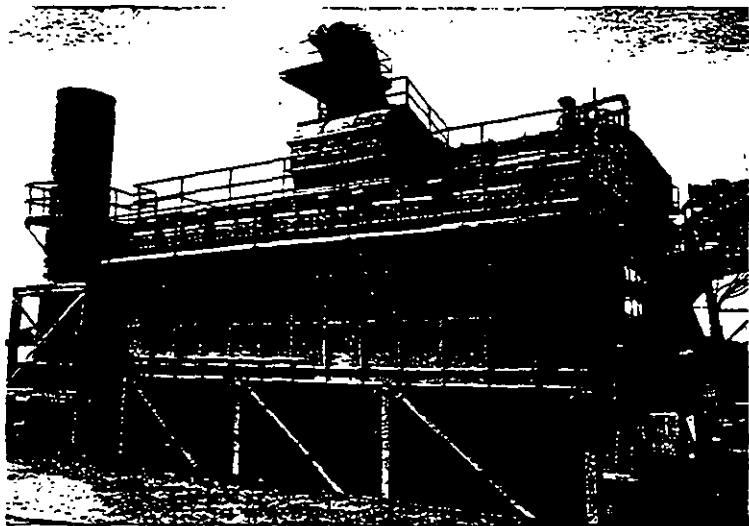


FIGURA 4.19 - Compartimiento de filtros (Típica).



grande de agua, puesto que pueden usar mas de 300 galones por minuto. La mayoría de los depuradores húmedos se usan en combinación con un colector de centrifuga. El ciclón (centrifuga) recoge los materiales mas gruesos y el depurador húmedo remueve los finos.

4.6.B.4 Compartimiento de filtros (Filtros de Tejido) - Un compartimiento de filtros (Figura 4.19) es un lugar grande de metal que contiene cientos de bolsas de tejido sintético, resistente al calor, usualmente tratadas con silicona para aumentar su capacidad de recoger partículas muy finas de polvo. Un compartimiento de filtros trabaja muy parecido a como trabaja una aspiradora de polvo. Un ventilador grande de vacíos crea una succión dentro del compartimiento, la cual atrae aire sucio y lo filtra a través del tejido de las bolsas. Para manejar el inmenso volumen de gases provenientes del escape del secador de agregado, se requiere un numero muy grande de bolsas (una unidad típica puede contener hasta 800).

Un compartimiento de filtros esta dividido en una cámara de gas sucio y una cámara de gas limpio. Las balsos filtrantes se encuentran en la cámara de gas sucio, a donde entra el aire proveniente del secador. El flujo de aire que lleva las partículas de polvo pasa a través del tejido de las bolsas filtrantes, depositando el polvo en la superficie de la bolsa. El aire luego continua hacia la cámara de gas limpio. Durante la operación los tejidos filtrantes atrapan grandes cantidades de polvo. Eventualmente, el polvo se acumula en una "torta de polvo" que debe ser removida antes de que disminuya o pare el flujo de gas a través del filtro. Hay muchas maneras de limpiar las bolsas en un colector, pero los métodos más comunes consisten en doblar las bolsas al reverso, hacer una limpieza al reverso con aire limpio, o ambas cosas. El polvo removido de los filtros cae en un barreno situado en el fondo de la casa y es transferido a un silo de almacenamiento, donde frecuentemente es usado para la mezcla en caliente.

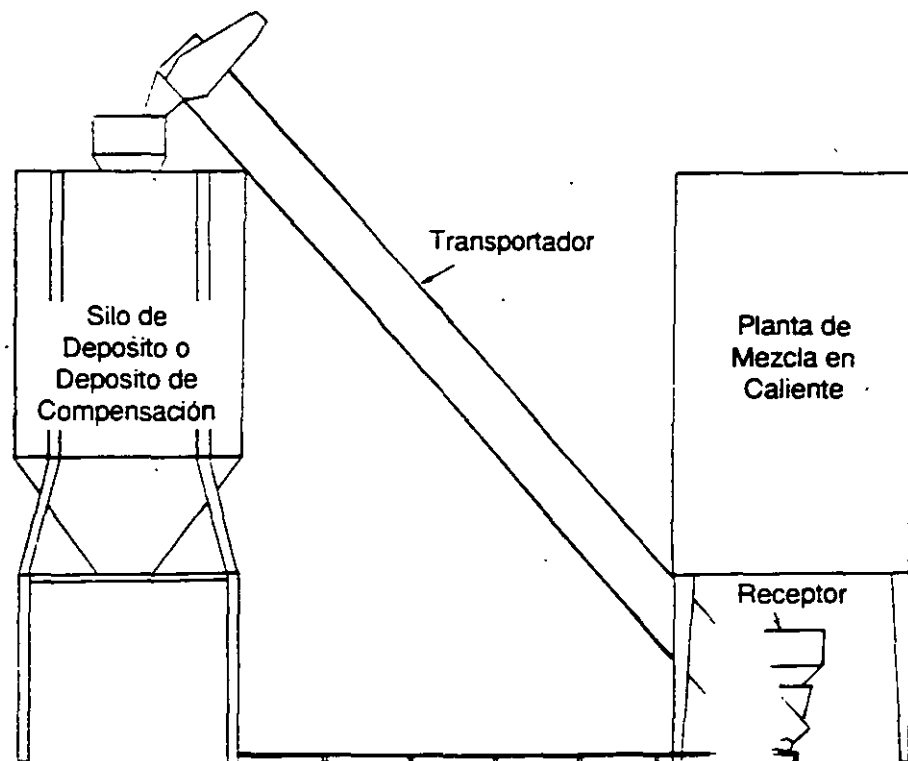


FIGURA 4.20 - Configuración de una Estructura Típica de Almacenamiento.

4.6.C Almacenamiento de Mezcla en Caliente

La mayoría de las plantas están equipadas con silos de almacenaje (depósitos de compensación) para el almacenamiento temporal de mezcla asfáltica en caliente, con el fin de prevenir paros en la planta debido a interrupciones temporales en las operaciones de pavimentación, o debido a la escasez de camiones que transportan material de la planta al lugar de pavimentación. La mezcla en caliente recién elaborada es depositada por medio de un transportador, o elevador de material caliente, en la parte superior del depósito o silo (Figura 4.20), y es descargada en los camiones por la parte baja. Los silos o depósitos aislados (Figura 4.21) pueden almacenar mezcla en caliente hasta por 12 horas sin tener pérdidas grandes de calor o de calidad. Las capacidades fluctúan tanto como varios cientos de toneladas. Las estructuras de almacenamiento no-aisladas son generalmente pequeñas y solamente pueden almacenar mezcla por un período corto de tiempo.

Los silos de almacenaje trabajan bien, siempre y cuando se tomen ciertas precauciones, pero pueden causar segregación de la mezcla si no se usan correctamente. Una buena costumbre consiste en usar una placa deflectora, o un dispositivo similar, en el extremo de descarga del transportador que carga el silo. La placa deflectora ayuda a prevenir segregación de la mezcla a medida que esta cae dentro del depósito. Es también recomendable mantener la tolva uena, al menos en una tercera parte, para evitar segregación a medida que esta se desocupa, y para ayudar a mantener caliente la mezcla.

4.6.D Pesaje y Transporte

La mezcla asfáltica en caliente es transportada en camiones hacia los lugares de pavimentación. Los camiones transportadores varían en tamaño y tipo, pero una uniformidad en el equipo es

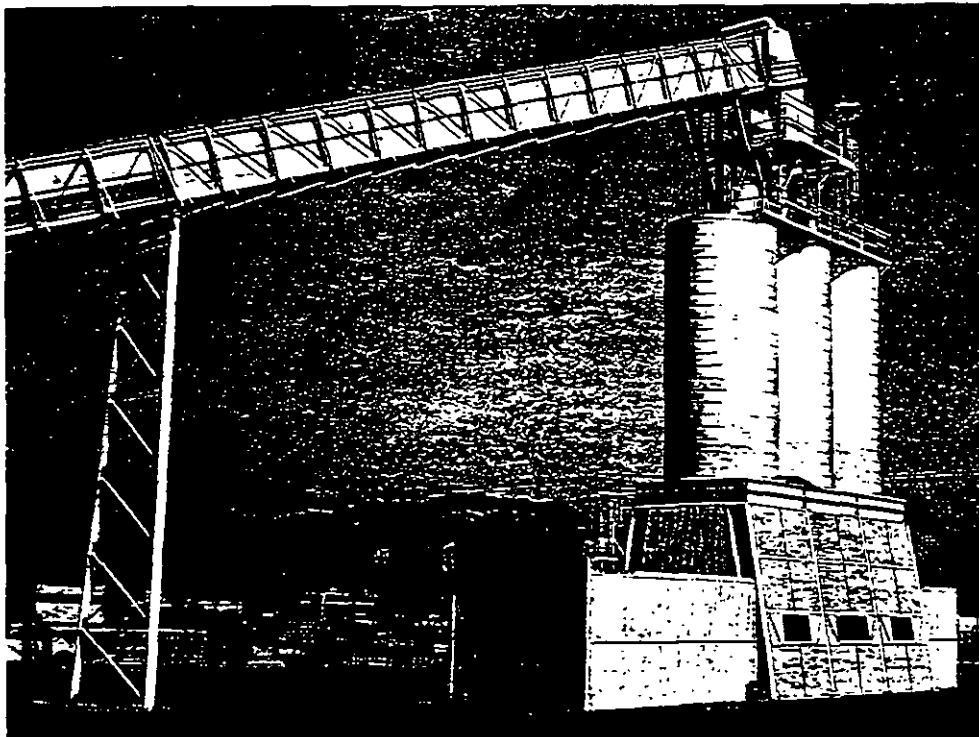


FIGURA 4.21 - Silos Aislados de Almacenaje de Alta Capacidad para Concreto Asfáltico.

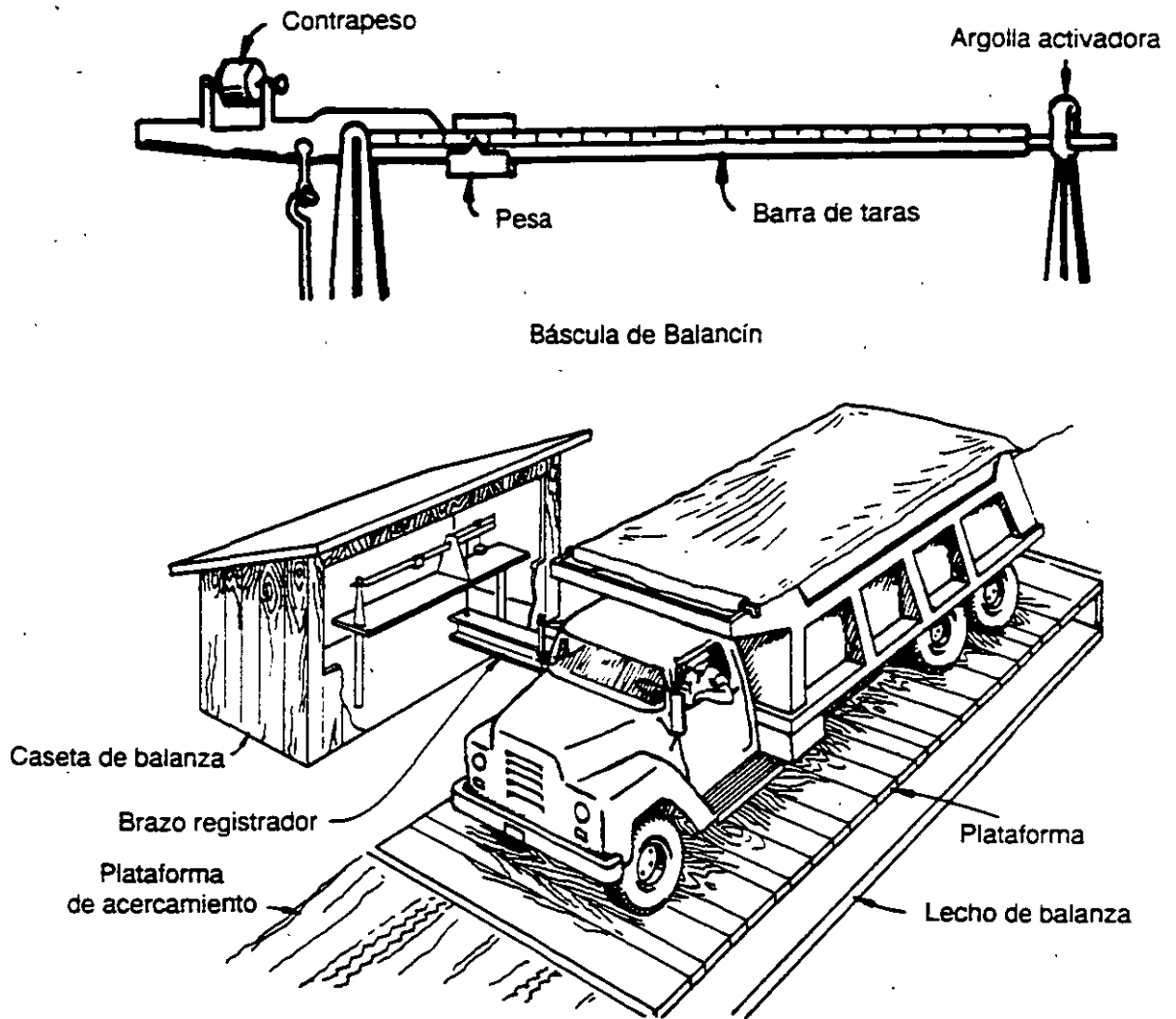


FIGURA 4.22 - Báscula de Camión y Plataforma Típica.

muy conveniente en cualquier operación de pavimentación. Los camiones deberán ser inspeccionados cuidadosamente antes de ser usados. Las cargas de mezcla en caliente de los camiones deben pesarse en la planta para mantener un control exacto del material.

4.6.D.1 Determinando el Peso de Material Entregado - La cantidad de mezcla en caliente entregada en el lugar de pavimentación puede ser determinada usando uno de dos métodos: (1) pesando los camiones cargados en básculas, o (2) usando un sistema automático de registro en la planta (en el caso de plantas totalmente automatizadas). Cuando se usan básculas de camión estas deben ser del tipo que indica directamente el peso total del camión. Deben ser horizontales y tener suficiente tamaño para pesar todos los ejes del camión al mismo tiempo. El tipo de báscula de camión más comúnmente usado es la báscula de balancín (Figura 4.22).

La exactitud de las básculas de camión debe ser revisada periódicamente. Para este propósito, el contratista carga un camión con algún tipo de material, pesa en la báscula el camión cargado, y luego lo pesa en otra serie de básculas certificadas. Las básculas de camión también deben estar balanceadas antes de ser usadas.

Durante un día normal de operaciones, el inspector deberá revisar frecuentemente la báscula para verificar que esté balanceada. La báscula puede descalibrarse cuando los camiones dejan lodo o material extraño sobre la plataforma. Si hay muy poco material extraño sobre la plataforma, la báscula puede ser balanceada de nuevo al fijar el contrapeso. Si la báscula no entra en equilibrio después de fijar el contrapeso, entonces deberá limpiarse la plataforma. Si después de limpiar la plataforma la báscula no entra en equilibrio entonces, las operaciones de planta deberán cesar hasta que la báscula vuelva a trabajar correctamente.

Además de las revisiones periódicas de la báscula y la plataforma, cada camión deberá ser aleatoriamente tarado (pesado cuando esta vacío) y se deberá mantener un registro permanente de su peso neto en la caseta de pesaje.

Los boletos de pesaje impresos electrónicamente son ahora aceptados por varios estados y otras agencias (en los Estados Unidos). Estos boletos usualmente contienen pesos brutos, pesos de tara y pesos netos.

4.7 INSPECCION DE LA MEZCLA EN CALIENTE

Las obligaciones del inspector no terminan con la revisión de los pesos de las cargas de los camiones. También debe hacer inspecciones visuales frecuentes de la mezcla a medida que esta es descargada de la planta al camión, y a medida que sale de la planta hacia el lugar de pavimentación. Muchos problemas graves en la mezcla pueden ser detectados mediante una cuidadosa inspección visual.

El control de la temperatura es siempre importante en todas las fases de producción de mezcla asfáltica en caliente. Una inspección visual puede detectar, con frecuencia, si la temperatura de una carga de mezcla se encuentra o no dentro del margen correcto. El humo azul que se levanta de una camionada de mezcla es, frecuentemente, indicación de un sobrecalentamiento. Si la temperatura de la mezcla esta demasiado baja, la mezcla puede aparecer inactiva a medida que se deposita en el camión y puede mostrar una distribución no uniforme de asfalto. Un pico muy alto en la carga del camión también puede indicar una falta de calentamiento.

Un pico demasiado alto en la carga también puede ser indicación de que el contenido de asfalto en la mezcla es muy bajo. Por otro lado, si la mezcla se asienta (no forma un pico correcto) en el camión, puede ser que tenga demasiado asfalto o demasiada humedad.

Hay muchas causas comunes de la falta de uniformidad en la mezcla. La Figura 4.23 es una referencia práctica con la que el inspector puede identificar problemas en las mezclas y sus posibles causas.

Aunque las inspecciones visuales son importantes, ellas no son suficientes. El inspector también debe tomar mediciones. La medición mas común es la de la temperatura de la mezcla. Normalmente la temperatura de la mezcla de concreto asfáltico es tomada en el camión. El inspector siempre deberá hacer saber al conductor del camión lo que esta haciendo para que el camión permanezca quieto durante las inspecciones de la mezcla.

La mejor manera de determinar la temperatura de la mezcla es con un termómetro de cuadrante y vástago acorazado (Figura 4.24). El vástago deberá ser metido lo suficiente (al menos 150 mm. (6 in.)) dentro de la mezcla, y el material deberá estar en contacto directo con el vástago.

Un medidor térmico infrarrojo, tipo pistola, también puede ser usado. Este es un instrumento que mide el calor de reflexión de la superficie. Debido a que este instrumento solo detecta el calor de superficie, sus lecturas de temperatura pueden no ser precisas para el material que esta en medio de la carga. Para solucionar este problema, el inspector deberá disparar el instrumento hacia la corriente de mezcla a medida que esta sale de la compuerta de descarga del mezclador o del deposito de compensación. Los medidores térmicos infrarrojos suministran lecturas

Tipos de Deficiencias que pueden ser encontradas en la Producción de Mezclas de Planta de Pavimentación														
Agregados demasiado húmedos													Tipos de Deficiencias que pueden ser encontradas en la Producción de Mezclas de Planta de Pavimentación	
Separación inadecuada de plus	A													El contenido de Astallo no concuerda con la fórmula de la mezcla de obra
Computas alimentadoras de agregado mal ajustadas	A	A												La geometría del agregado no concuerda con la fórmula de la mezcla de obra
Secador muy inclinado														Los pesos finos en la mezcla
Ajuste muy pendiente del secador														Debe mantener temperaturas uniformes
Operación incorrecta del secador														Los pesos de los camiones no concuerdan con los pesos de las cargas
Indicador de temperatura fuera de ajuste														Astallo libre en la mezcla del camión
Temperatura muy alta del agregado														Pocho libre en la mezcla del camión
Cribas desgastadas														Agregado grande sin revestir
Operación deficiente de las cribas														Mezcla no uniforme en el camión
Reposados de las tobras sin funcionar														Mezcla grasosa en un lado; dentro del camión
Tobras con escapes														La mezcla se aplana dentro del camión
Segregación de agregados en las tobras														Mezcla quemada
Sobranse en las tobras por sobrecarga en las cribas													Mezcla demasiado pasta o gris	
Balanza del agregado fuera de ajuste													Mezcla con exceso de betún	
Pesado incorrecto													Mezcla no uniforme en el camión	
Alimentación no uniforme de relleno mineral													Mezcla aparece opaca en el camión	
Muy pocos agregados en las tobras calientes														
Secuencia incorrecta de pesaje														
Muy poco astallo														
Demasiado astallo														
Distribución deficiente del astallo hacia los agregados														
Balanza del astallo fuera de ajuste														
Medidor de astallo fuera de ajuste														
Carga demasiado pequeña o demasiado grande														
Tiempo incorrecto de mercado														
Palas mal ajustadas o desgastadas														
Computa deficiente de descarga														
Alimentación no sincronizada de astallo y agregado														
Sacudimiento ocasional de polvo en las tobras														
Operación irregular de la planta														
Muestreo deficiente														

FIGURA 4.23 - Posibles Causas de Deficiencias en Mezclas Asfálticas en Caliente.
A - Válido para Plantas de Dosificación y Plantas Mezcladoras de Tambor; B - Válido para Plantas de Dosificación; C - Válido para Plantas Mezcladoras de Tambor.

generales rápidas, pero deben usarse con extremo cuidado al determinar la conformidad del contrato.

4.8 MUESTREO Y PRUEBAS DE MEZCLA EN CALIENTE

4.8.A Propósito

El muestreo y las pruebas de la mezcla en caliente son las dos funciones más importantes en el control de planta. Los datos que surgen del muestreo y las pruebas determinan si el producto

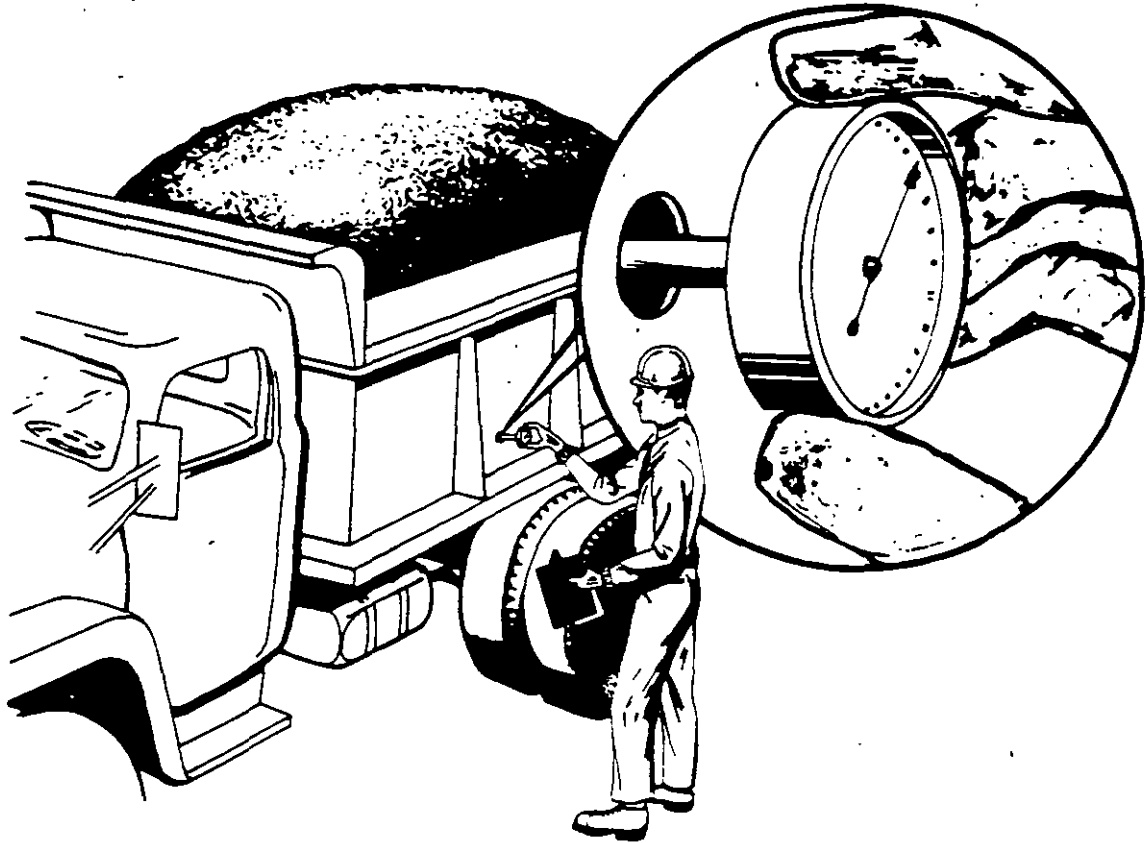


FIGURA 4.24 - Midiendo la Temperatura de la Mezcla en el Camión.

final cumple o no con las especificaciones. Por esta razón, los procedimientos de muestreo y de pruebas deben seguirse al pie de la letra para garantizar que los resultados provean un verdadero cuadro de las características y cualidades de la mezcla.

En muchas ocasiones, el inspector debe muestrear y ensayar material. En otras ocasiones, puede que solo sea responsable por muestrear material. Prescindiendo de sus responsabilidades en un proyecto específico, un inspector competente debe ser capaz de obtener muestras representativas, ejecutar ensayos de campo en laboratorio, e interpretar los resultados de las pruebas. Sin estas habilidades, el inspector será incapaz de determinar exactamente si la mezcla de pavimentación cumple o no con criterios de la obra.

4.8.B Programación

El programa de procedimientos de muestreo y de prueba es normalmente especificado por la agencia contratante. El programa incluye información sobre la frecuencia, el tamaño, y la localización del muestreo, así como las pruebas que deben llevarse a cabo. La Figura 4.25 presenta un programa sugerido de muestreo y de pruebas.

Muestra de	Frecuencia Mínima de Muestreo	Tamaño Mínima de Muestra	Prueba a ser efectuada	Designación del Método de Prueba
Mezcla sin Compactar	2 Diarias	20 lbs. (9.0 kg.)	Extracción Completa	AASHTO T-168 (ASTM D 979) AASHTO T-164 (ASTM D 2172) AASHTO T-30
Mezcla Compactada	2 Diarias	15 lbs. (6.8 kg.)	Densidad Estabilidad	AASHTO T-209 (ASTM D 2041) Requisitos de las Especificaciones de la obra

Notas:

⁽¹⁾ La frecuencia de muestreo será dictada por la agencia contratante y por las condiciones que cobijan.

⁽²⁾ El tamaño de muestra puede estar dictado por la agencia contratante. El tamaño puede variar bajo condiciones especiales.

FIGURA 4.25 - Sugerencias para Programa de Muestreo y Ensayos.

4.8.C Muestreo

La consideración más importante en el muestreo es la de estar seguro que la muestra tomada es representativa de la carga total de mezcla de donde la muestra es extraída. Los procedimientos para tomar muestras, marcar recipientes de muestras y prevenir contaminación de la muestra están descritos en la Sección 4.5, Materiales.

4.8.D Pruebas

Además de ensayar la temperatura de la mezcla en caliente (Sección 4.7, Inspección de la Mezcla en Caliente), existen un número de pruebas usadas para determinar si la mezcla en caliente cumple o no con las especificaciones de la obra. Estas incluyen:

- Prueba de extracción.
- Prueba de análisis granulométrico.
- Análisis de estabilidad y densidad.

4.8.D.1 Prueba de Extracción (AASHTO T 168) - La prueba de extracción mide el contenido de asfalto, y proporciona agregado para el análisis de granulométrico. Es la revisión final de todas las operaciones individuales que han hecho parte de la producción de la mezcla, y puede ser de gran ayuda en la evaluación de la calidad de la mezcla.

Cuando el ensayo muestre variaciones repetidas en las extracciones y graduaciones, se deberá efectuar una inspección cuidadosa de los alimentadores en frío, de la cubierta de la criba, de las paletas, y de la barra rociadora de asfalto. Adicionalmente, los tiempos de mezclado y el proporcionamiento deberán ser revisados.

4.8.D.2 Prueba de Análisis Granulométrico (AASHTO T 11 o T 27) - El análisis granulométrico deberá efectuarse sobre el agregado extraído para revisar la graduación de las especificaciones (diseño de mezcla).

4.8.D.3 Análisis de Estabilidad y Densidad (AASHTO T 209, T 245 o T 246 y T 247) - Las determinaciones de densidad en el pavimento terminado son necesarias para garantizar una correcta compactación de la mezcla. Estos ensayos se efectúan sobre muestras suministradas por el inspector de pavimentación. Comúnmente, las especificaciones requieren que el pavimento se compacte hasta un porcentaje mínimo de la densidad máxima teórica o de la densidad obtenida mediante compactación de laboratorio. Cuando se usa la densidad máxima teórica, el inspector de planta debe obtener, del laboratorio central, las gravedades específicas de los componentes de la mezcla para poder calcular la densidad teórica. Cuando se usa la densidad obtenida mediante compactación de briquetas de laboratorio, las briquetas deben ser compactadas y sus densidades medidas de acuerdo al método designado por la agencia contratante.

Se deben tomar muestras representativas de mezcla en caliente en la planta mezcladora, y ensayarlas para verificar las propiedades de diseño. (Ver Figura 3.19 o Figura 3.31).

4.8.E REGISTROS DE INSPECCIÓN

El inspector debe mantener registros adecuados. Los registros suministran la base sobre la cual se determina la conformidad con las especificaciones y sobre la cual se efectúan los pagos. Estos deben, por lo tanto, ser claros, completos y exactos. Los registros también proveen una historia de la construcción y de los materiales que fueron usados en el proyecto. Como tal, los registros suministran una base para todos los estudios y las evaluaciones futuras del proyecto.

Para ser válidos, los registros y reportes deben ser completados en el momento que se hace un ensayo o se toma una medida, y deben mantenerse al día. Se debe llevar un diario para cada proyecto. La partida inicial del diario deberá registrar información básica: el número del proyecto, la localización de la planta, el tipo y marca de planta, la fuente de los materiales, los nombres del personal clave, y otros datos pertinentes. Cualquier cambio en la información deberá registrarse tan pronto ocurra. Además de fechas y comentarios rutinarios del tiempo, el diario deberá incluir una narrativa describiendo las principales actividades en la planta y en las operaciones del día. Los eventos inusuales deberán anotarse, particularmente aquellos que puedan tener un efecto desfavorable en la mezcla de pavimentación.

La Figura 4.26 muestra un ejemplo de un Reporte Preliminar de Inspección que el inspector puede usar, junto con la lista de revisión (Figura 4.27), cuando esta inspeccionando las condiciones de la planta. Los reportes preliminares usados en una obra específica pueden variar respecto al ejemplo mostrado; sin embargo, las partidas incluidas probablemente serán similares.

La Figura 4.27 presenta una serie de listas de revisión que el inspector puede usar para evaluar la condición y disposición de la planta para el proceso de producción. Note que la lista incluye partidas que deben ser revisadas para todas las plantas, así como partidas relacionadas solo con plantas de dosificación o solo con plantas mezcladoras de tambor. El inspector deberá tener en cuenta estas listas cuando estudie las secciones siguientes del manual referentes a plantas de dosificación y a plantas mezcladoras de tambor.

También se deberá mantener un reporte diario resumiendo las actividades de la planta. En el encabezamiento de este formulario se deberá registrar la misma información que aparece en el diario. El formulario deberá tener un resumen de los resultados de los ensayos ejecutados en el día, y una tabulación de las cantidades de materiales recibidas y usadas. La Figura 4.28 muestra un ejemplo de un formulario utilizado en los reportes diarios.

Deberá haber, además, un registro de los sitios en donde la mezcla asfáltica es colocada en la calzada; con referencia a la vía de tráfico, la capa, y la estación. Esta información se obtiene de los reportes escritos en el lugar de la pavimentación.

REPORTE PRELIMINAR DE INSPECCION - PLANTA DE MEZCLA EN CALIENTE

Proyecto _____ Municipio _____ Estado _____ Fecha _____

Información de la Planta Mezcladora

Tipo de Planta: Dosificación _____ de Tambor _____ Permanente _____ Portátil _____

Marca _____ Modelo o No. de Serie _____

Condición General _____

Acopios	No.	Tamaño de Agr.	Tipo de Alimentador	Comentarios

Fuente Del Agregado _____

Particiones o Muros de los Acopios: Adecuados _____ Ina. _____ os _____

Método para Manejar Acopios hasta los _____

Alimentadores: Almeja _____ Carga _____ Otro _____

Si otro, explique _____

Comentarios (acopios) _____

Secador: Marca _____ No. Modelo _____ Tamaño: Dia. _____

Combustible _____ Tipo de Quemador _____ Capacidad Nominal _____

Comentarios _____

Dispositivo indicador de Calor: _____

Marca _____ Limite _____ Graduado hasta _____ grados

Es ajustable? _____ Tiempo requiendo para un cambio de 10° _____

Localización del tubo _____

Comentarios _____

Colector de Polvo: _____

Marca _____ Tipo _____

Control de retorno _____

Comentarios _____

Tolvas de Almacenamiento y cribas

Tolva	Abertura de Criba	Area de Criba	Tamaño Promedio de Agregado	Condición de los tubos de rebose	Comentarios

Sobrante - Tolva No. 2 _____ No. 3 _____ No. 4 _____

Comentarios _____

Balanzas Agregado	Marca	Tipo	Capacidad	Graduaciones	Fecha de Sello

Asfalto _____

Plataforma _____

Página:

FIGURA 4.26 - Reporte Preliminar de Inspección.

1 Tolva de Prueba _____
 Comentarios _____

1 Amasadero: Marca _____ Capacidad _____ R.P.M. _____
 Condición del amasadero y las paletas _____

1 Dispositivo de Regulación del Amasadero: _____
 Marca _____ Precisión _____
 Tipo de señal _____ Enclavamiento? Si _____ No _____
 Comentarios _____

Termómetro de la línea de asfalto: _____
 Marca _____ Límites _____ Graduaciones _____
 Localización _____

Tanques de asfalto: No. y capacidades _____
 Extremo de la tubería circulante debajo de la superficie del asfalto? Si _____ No _____
 Método de calentamiento _____
 Tanques calibrados? Si _____ No _____ Interrupción automática de la planta _____
 Comentarios _____

1 Sistema de señal de la tolva de almacenamiento:
 Tipo _____ Interrupción Automática? Si _____ No _____
 Comentarios _____

2 Medidor de Fluido para Asfalto:
 Marca _____
 Líneas de asfalto y bomba de vapor? Si _____ No _____
 Comentarios _____

2 Alimentadores automáticos de agregados:
 Mecánico _____ Eléctrico _____ Enclavamiento con la bomba de asfalto? Si _____ No _____
 Contador de revoluciones _____ Lectura _____ Revolución _____
 Comentarios _____

Facilidades de Muestreo: De las tolvas de almacenamiento _____
 Tipo de Dispositivo de Muestreo _____
 De los tanques de asfalto _____
 2 De los alimentadores automáticos _____
 Información adicional y comentarios _____

Inspeccionado por _____ Aprobado por _____
 Técnico de Planta Ingeniero Residente

1 Se aplica solo a plantas de dosificación
 2 Se aplica solo a plantas mezcladoras de tambor

Página 2

FIGURA 4.26 - Reporte Preliminar de Inspección.

Lista de Revisión para Manejo y Almacenamiento de Material

1. Los agregados cumplen con las especificaciones ?
2. Se están produciendo los tamaños correctos ?
3. El almacenamiento de agregado es adecuado ?
4. Se están separando correctamente los acopios ?
5. Los acopios están contruidos correctamente ?
6. Se esta manejando correctamente el agregado de los acopios ?
7. Se esta controlando la segregación ?
8. El relleno mineral esta en una condición seca ?

Lista de Revisión para la Alimentación en Frío

1. La disposición del sistema de alimentación en frío cumple con las especificaciones ?
2. Las tolvas de la alimentación en frío contienen el tamaño correcto de agregados ?
3. Se están cargando correctamente las tolvas de la alimentación en frío
4. Los alimentadores en frío de agregado están trabajando correctamente
5. Los alimentadores en frío de agregado están calibrados ?
6. Las compuertas de los alimentadores en frío están correctamente ajustadas ?
7. Todos los agregados en frío están siendo alimentados continuamente ?

Lista de Revisión para Calentamiento de Asfalto, Circulación y Temperatura de Mezcla

1. El asfalto esta siendo calentado uniformemente a la temperatura especificada ?
2. Se han revisado todas las líneas para verificar si existen escapes ?
3. Se esta manteniendo la temperatura especificada para la mezcla y sus componentes ?

Lista de Revisión para la Planta Mezcladora de Tambor

1. Los alimentadores de agregado están calibrados ?
2. El alimentador de asfalto esta calibrado ?
3. Los alimentadores de agregado y asfalto están unidos ?
4. Todas las partes de la planta están en buena condición y bien ajustadas ?
5. El asfalto se encuentra a la temperatura correcta cuando es introducido al tambor ?

Lista de Revisión para la Planta Dosificadora

1. Las básculas cumplen con las especificaciones ?
2. Las básculas han sido calibradas ?
3. Las básculas han sido revisadas para verificar sus tolerancias ?
4. La cubeta de asfalto tara correctamente ?
5. La caja pesadora cuelga libremente ?
6. Las partes del mezclador están en buena condición y con buen ajuste ?
7. Se esta mezclando el tamaño correcta de carga ?
8. Se esta usando la sucuencia correcta de descarga de las tolvas ?
9. La distribución de asfalto es uniforme a lo largo del amasadero ?
10. Los agregados y el asfalto están a la temperatura correcta cuando se introducen en los recipientes de pesaje ?
11. Hay válvulas o compuertas que presentan escapes ?

FIGURA 4.27 - Listas de Revisión para Plantas.

12. El tiempo de mezclado es adecuado ?
13. Los puntos de las básculas están correctamente ajustados para los pesos de cargas ?
14. Los ejes del mezclador están girando a la velocidad correcta ?
15. La capacidad de las cribas es suficiente para manejar la máxima alimentación proveniente del secador ?
16. Las cribas están limpias ?
17. Las cribas están gastadas o rotas ?
18. La sobrecarga es irregular o excesiva ?
19. Las particiones de las tolvas calientes están lo suficiente fuertes ?
20. Los escapes de sobrecarga tienen un flujo libre ?
21. El equilibrio de las tolvas se mantiene ?
22. El acceso al muestreo es adecuado ?

Lista de Revisión para el Secador y el Colector de Polvo

1. El secador y el colector de polvo cumplen con las especificaciones ?
2. El agregado es secado correctamente ?
3. Los agregados están a la temperatura correcta ?
4. Los componentes del secador están equilibrados ?
5. El secador esta equilibrado con los otros componentes de la planta ?
6. El dispositivo indicador de calor esta correctamente instalado ?
7. El dispositivo indicador de calor ha sido revisado para determinar su precisión ?
8. El colector de polvo esta equilibrado con el secador ?
9. Los finos recogidos por el colector son desechados o son uniformemente alimentados de nuevo en las cantidades correctas ?

Lista de Revisión para Muestreo y Ensayos

1. Se están tomando muestras suficientes ?
2. Las muestras son representativas ?
3. Todos los ensayos se están ejecutando correctamente ?
4. Todos los resultados de los ensayos están disponibles a tiempo para ser utilizados ?

Lista de Revisión para Registros

Los registros están completos y al día ?

Lista de Revisión para Responsabilidades Misceláneas

1. Las cajas de los camiones han sido inspeccionadas ?
2. Las cajas de los camiones han sido drenadas después de haber sido rociadas ?
3. Los camiones cumplen con los requisitos de las especificaciones ?
4. Los camiones están equipados con lonas impermeables ?
5. La mezcla tiene una apariencia uniforme ?
6. La apariencia general de la mezcla es satisfactoria ?
7. La temperatura de la mezcla es uniforme y satisfactoria ?
8. La mezcla cumple con los requisitos de colocación ?
9. Sus asistentes han sido correctamente instruidos ?
10. Se están observando todas las medidas de seguridad ?

4.9 SEGURIDAD

El inspector de la planta de asfalto debe estar siempre consciente de la seguridad, y debe estar alerta sobre cualquier peligro potencial para el personal o para la planta misma. Las consideraciones de seguridad deben ser siempre recalculadas.

El polvo es particularmente peligroso. No es tan solo una amenaza para los pulmones y los ojos, sino que puede contribuir a una mala visibilidad, especialmente cuando los camiones, los cargadores de tractor, o cualquier otra maquinaria esta operando alrededor de los apilamientos (acopios) o tolvas en frío. La visibilidad reducida en el área de trabajo es una gran causa de accidentes.

El ruido puede ser también de doble peligro. El ruido es dañino para el oído y puede distraer la atención de los trabajadores, ocasionando que pierdan la concentración en la maquinaria que estan operando.

Las bandas que operan transportando agregado requieren de constante atención, así como las correas de los motores y las cadenas y ruedas de las transmisiones. Todas las poleas y correas, y los mecanismos de transmisión, deberán estar cubiertos, o protegidos. Nunca se deberá usar ropa suelta en una planta de asfalto, pues esta puede ser atrapada en el equipo.

Un buen cuidado de la planta es esencial para la seguridad de la misma. La planta y el patio deberán mantenerse libres de alambres o líneas sueltas, tubos, mangueras, o cualquier otro obstáculo libre. Las líneas de alto voltaje, las conexiones de campo, y las superficies mojadas del suelo constituyen otros peligros que el inspector debe tener en cuenta. Cualquier conexión suelta, alambres deshilachados, o equipo que no este propiamente conectado a tierra, deberá reportarse inmediatamente.

Los trabajadores de la planta no deberán trabajar en los acopios mientras la planta este operando. Nadie deberá caminar o pararse sobre los acopios, o sobre los arcones que están encima de las aberturas de las compuertas de alimentación. Muchas personas, sin tener advertencia alguna, han sido atrapadas y sepultadas vivas dentro del material.

Las llamas de los quemadores y las altas temperaturas alrededor de los secadores de la planta constituyen peligros obvios. En todas las líneas de combustible se deberán instalar válvulas de control que puedan ser operadas desde distancias seguras. También se deberán instalar dispositivos de seguridad para llamas en todas las líneas de combustible. No deberá permitirse ninguna humareda cerca de los tanques de almacenamiento de asfalto o de combustible. Revise frecuentemente las líneas de aceite de calentamiento y las líneas de vapor para ver si hay fugas, y las líneas de distribución de asfalto para ver si hay perforaciones. Asegúrese de que haya válvulas de seguridad instaladas en todas las líneas de vapor, y que estén trabajando correctamente. Use pantallas, barreras de resguardo, y escudos como protección contra el vapor, el asfalto caliente, las superficies calientes, y otros peligros similares.

Cuando este manejando asfalto caliente, use gafas protectoras químicas y una careta. Los cuellos de las camisas deberán cerrarse completamente y los puños de las mangas deberán abrocharse. Los guantes con mangas que se extienden arriba del brazo deberán usarse un poco sueltos para que se puedan quitar rápidamente en el caso de que lleguen a cubrirse de asfalto. Los pantalones sin doblez deberán extenderse por encima de la parte alta de las botas.

El inspector deberá ejercitar extremo cuidado cuando este subiendo alrededor de la plataforma de la criba, cuando este inspeccionando las cribas y las tolvas calientes, o cuando este tomando muestras calientes de la tolva. Deberá exigir que haya escaleras comunes, o de mano, cubiertas o protegidas, para que provean un acceso seguro a todas las partes de la planta. Todas las escaleras y plataformas deberán tener barandas seguras. El inspector (y todos los trabajadores alrededor de la planta) deberá siempre usar un casco duro.

Los patrones del tránsito de camiones deberán planearse teniendo en cuenta la seguridad y la conveniencia. Los camiones que entren a la planta a recoger una carga de mezcla en caliente no deberán cruzar el camino de los camiones cargados que salen de la planta. Además, los camiones no deberán dar contramarcha.

4.10 RESUMEN

En esta sección se han introducido los conceptos básicos, y la maquinaria fundamental, necesarios en el proporcionamiento y mezclado de asfalto y agregado en la planta mezcladora. También se han identificado dos tipos principales de plantas - de dosificación y mezcladora de tambor - y se han discutido las similitudes entre ellas. A la vez, se han descrito los procedimientos generales para manejo y almacenamiento, junto con los de muestreo, pruebas, y seguridad. Las secciones siguientes describen, en detalle, las operaciones específicas que conciernen a cada planta (de dosificación y mezcladora de tambor).

4.11 OPERACIONES DE LA PLANTA DOSIFICADORA

El propósito de esta sección es describir las funciones específicas de una planta de dosificación. A su vez, la sección desarrollará en el inspector las habilidades necesarias para que pueda distinguir la manera correcta en que la planta debe trabajar con el fin de producir una mezcla que cumpla con las especificaciones de la obra. Específicamente, al completar el estudio de esta sección, el inspector deberá:

- Conocer los componentes principales de una planta de dosificación.
- Entender el propósito y la función de cada componente.
- Reconocer los problemas potenciales que pueden ocurrir durante la operación de la planta y describir las medidas apropiadas para prevenir dichos problemas.
- Entender las responsabilidades específicas de un inspector de planta.

Adicionalmente, el inspector deberá haber hecho un completo análisis de los peligros potenciales en la planta y de la necesidad de estar constantemente alerta sobre prácticas inseguras.

4.12 INTRODUCCION

Las plantas de dosificación obtienen su nombre del hecho de que, durante la operación, producen la mezcla caliente en cargas, produciendo una carga tras otra. El tamaño de la carga variará de acuerdo a la capacidad del amasadero de la planta (la cámara mezcladora donde se combinan el asfalto y el agregado). Una carga típica pesa como 2,722 kg. (6,000 lb.).

Las plantas de dosificación se distinguen de las plantas mezcladoras de tambor, en que no producen la mezcla en caliente en un flujo continuo.

4.13 HISTORIA DE LAS PLANTAS DE DOSIFICACION

Las operaciones fundamentales de una planta de asfalto - secado, cribado, proporcionamiento, y mezclado - fueron combinadas por primera vez, en una planta de asfalto, alrededor de 1870. Las primeras plantas, aunque simples comparadas con las de hoy día, formaron la base para la producción de mezcla en caliente durante el siglo diecinueve.

Hacia los años 1900, las plantas habían mejorado su diseño, e incluían tolvas de agregado, elevadores de material en frío, secadores rotatorios, elevadores de material en caliente, tanques de asfalto, y plataformas de mezclado. Las plataformas de mezclado incluían un cajón para medir agregado, una cubeta para asfalto, y un amasadero montado lo suficiente alto para permitir el paso, por debajo, de vagones tirados por caballos.

Alrededor de 1930, las plantas estaban produciendo de 800 a 1.000 toneladas de mezcla por día (8 horas en un día). En los años treinta y cuarenta la introducción de bandas transportadoras, y el desarrollo de mejores compuertas y alimentadores, resultó en mejores sistemas de alimentación en frío. El uso de secadores más grandes se hizo más común. Los colectores centrífugos de polvo, las básculas sin resortes, los primeros sistemas electrónicos automáticos de pesaje, las cerraduras de tiempo en los ciclos de mezclado, y los pirometros de registro, aparecieron en estos años.

En los cincuenta la tendencia consistió en desarrollar plantas mas grandes y de mayor capacidad. Sin embargo, los controles automáticos para los quemadores, y la automatización de las funciones de proporcionamiento y ciclado, también entraron en uso a principios de esta época.

En los sesenta hubo una proliferación de sistemas automáticos de control, con total automatización de los procesos de proporcionamiento y mezclado, así como de sistemas de control para los quemadores.

Los dos avances más importantes de los setenta fueron el surgimiento de los sistemas computarizados de control de plantas y los adelantos en el control de ruido y polvo; estos últimos provenientes de la promulgación gubernamental de regulaciones de salud y seguridad.

A pesar de todos los cambios y avances incorporados en la planta de dosificación a través de los años, el proceso fundamental - secado, cribado, proporcionamiento y mezclado - sigue siendo el mismo. En las plantas de dosificación de hoy día (Figura 4.29), el diseño básico del equipo que efectúa las operaciones sigue siendo esencialmente el mismo.

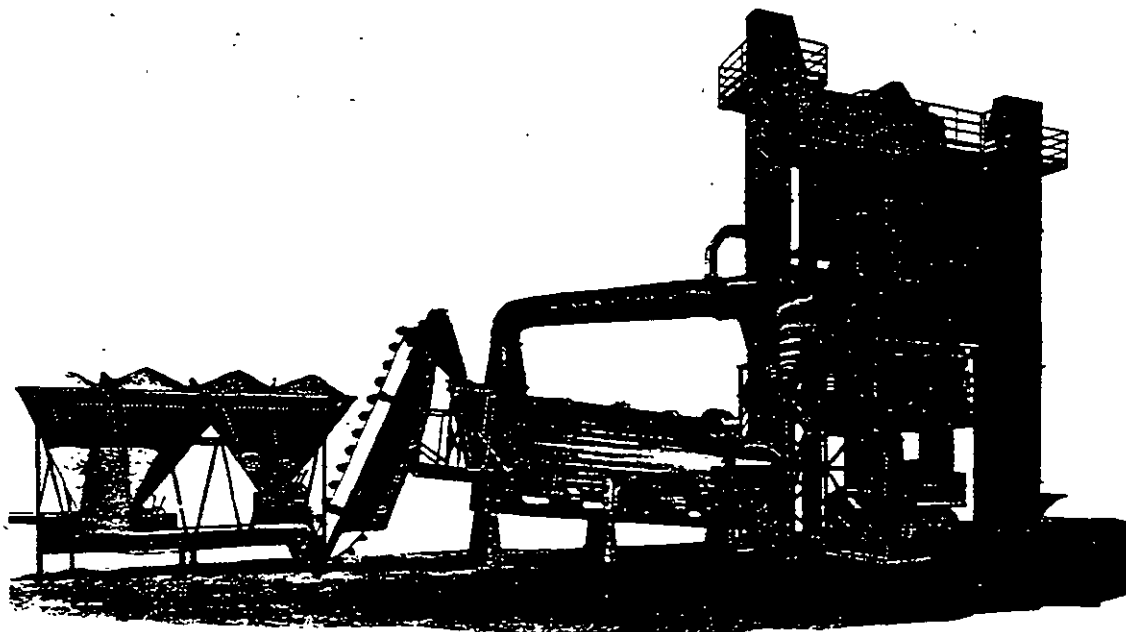


FIGURA 4.29 - Planta de Dosificación (Típica).

4.14 OPERACIONES Y COMPONENTES DE LA PLANTA DE DOSIFICACION

En una planta asfáltica de dosificación, los agregados son combinados, calentados y secados, proporcionados, y mezclados con el cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica en caliente. Una planta puede ser pequeña o grande, dependiendo del tipo y la cantidad de mezcla asfáltica que se este produciendo. También puede ser estacionaria o portátil.

Ciertas operaciones básicas son comunes en todas las plantas de dosificación:

- Almacenamiento y alimentación en frío del agregado.
- Secado y calentamiento del agregado.
- Cribado y almacenamiento del agregado caliente.
- Almacenamiento y calentamiento de asfalto.
- Medición y mezclado de asfalto y agregado.
- Carga de la mezcla final en caliente.

La Figura 4.30 ilustra la secuencia de estas operaciones.

Los agregados son recibidos, en cantidades controladas, del lugar de almacenaje o de los acopios, y luego pasados por un secador en donde son secados y calentados. Después, los agregados pasan por una unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferentes tamaños, y lo deposita en tolvas para su almacenaje en caliente. Luego, los agregados y relleno mineral (cuando este es usado) son pesados, en cantidades controladas, combinados con el asfalto, y mezclados en su totalidad para formar una carga. La mezcla es luego cargada en los camiones y transportada al lugar de pavimentación.

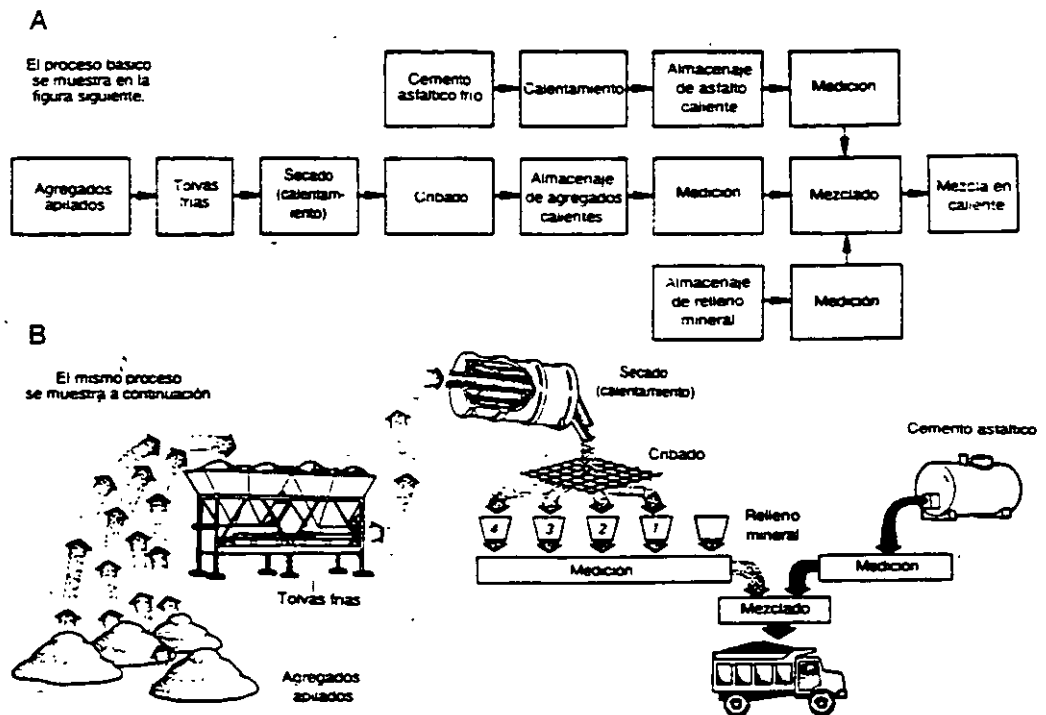


FIGURA 30 - Operaciones Básicas de una Planta de Dosificación en (A) Diagrama de Flujo y (B) Presentación Esquemática.

La Figura 4.31 ilustra los componentes principales de una planta asfáltica típica de dosificación. Cada componente o grupo de componentes esta descrito en detalle en las secciones siguientes; sin embargo, una visión global de los procesos involucrados en las operaciones de la planta ayudará al inspector a entender las funciones y relaciones de las partes.

Catorce partes principales

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Tolva fría | 8. Unidad de cribado |
| 2. Compuerta de alimentación en frío | 9. Tolvas calientes |
| 3. Elevador de material en frío | 10. Caja pesadora |
| 4. Secador | 11. Unidad de mezclado - amasadero |
| 5. Colector de polvo | 12. Deposito de relleno mineral |
| 6. Chimenea de escape | 13. Deposito de cemento asfáltico caliente |
| 7. Elevador de material en caliente | 14. Cubeta pesadora de asfalto |

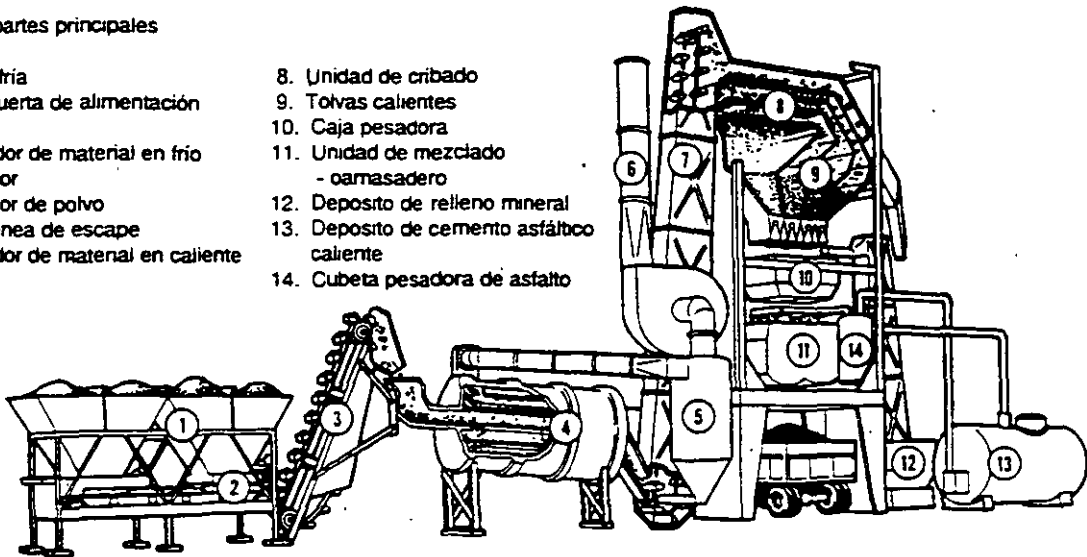


FIGURA 4.31 - Componentes Principales de una Planta de Dosificación (las plantas modernas también incluyen un compartimento defiltros además del colector de polvo mostrado arriba en el numeral 5).

Los agregados fríos (sin calentar) almacenados en las tolvas frías (1) son proporcionados mediante compuertas de alimentación en frío (2) hacia una banda transportadora, o un elevador de cubetas (3), el cual descarga los agregados en el secador (4), en donde son secados y calentados. Los colectores de polvo (5) remueven cantidades indeseables de polvo del escape del secador. Los gases restantes del escape son eliminados a través de la chimenea de escape de la planta (6). Los agregados ya secos y calientes son luego llevados por un elevador de material en caliente (7) hacia la unidad de cribado (8), la cual separa el material en fracciones de diferente tamaño y lo deposita en tolvas calientes separadas (9) para un almacenamiento temporal. Cuando es necesario, los agregados calientes son medidos en cantidades controladas sobre la caja pesadora (10). Luego, los agregados son descargados dentro de la cámara mezcladora o amasadero (11), junto con la cantidad correcta de relleno mineral proveniente de la reserva (12), si es que este último es necesitado. El cemento asfáltico caliente, proveniente del tanque de almacenamiento de cemento asfáltico caliente (13), es bombeado hacia la cubeta pesadora de asfalto (14), la cual pesa el cemento asfáltico antes de ser descargado en la cámara mezcladora o amasadero, en donde es combinado en su totalidad con los agregados y el relleno mineral, si es que este es usado. La mezcla asfáltica en caliente proveniente de la cámara de mezclado es luego descargada en el camión, o almacenada.

4.15 ALIMENTACION EN FRIO DE AGREGADO

El manejo, almacenamiento, y alimentación en frío de agregados, en la planta de dosificación, es parecido al efectuado en los otros tipos de planta. Gran parte de la información común

relacionada con esta área esta incluida en la Sección 4.6. La información específica concerniente a plantas de dosificación esta incluida bajo los tres artículos discutidos a continuación. Estos son:-(1) alimentación uniforme en frío, (2) proporcionamiento de agregados fríos, e (3) inspección de la alimentación en frío.

4.15.A Alimentación Uniforme en Frío

Los agregados finos y gruesos de diferente tamaño son colocados en tolvas frías separadas (Figura 4.32). Las tolvas deberán mantenerse lo suficiente llenas, en todo momento, para asegurar que siempre haya una cantidad suficiente de material tal que se garantice un flujo uniforme a través del alimentador. La alimentación uniforme en frío es necesaria por varias razones. Entre estas están:

- La alimentación errática de material proveniente de las tolvas frías puede causar que algunas de las tolvas calientes se llenen demasiado mientras otras trabajan con muy poco material.
- Las variaciones grandes en la cantidad de un determinado agregado (particularmente de agregado fino), en la alimentación en frío, pueden causar un cambio considerable en la temperatura de los agregados que salen del secador.
- Una alimentación en frío excesiva puede sobrecargar el secador o las cribas.

Todos estos problemas contribuyen a la producción de una mezcla no-uniforme, la cual a su vez será causa de problemas en la carretera. El control de la alimentación en frío es, entonces, la clave de todas las operaciones posteriores.

4.15.B Proporcionamiento de Agregados Fríos

El proporcionamiento exacto de agregados fríos es importante porque, excepto por la pequeña cantidad de degradación que puede ocurrir durante el secado y el cribado, la granulometría de

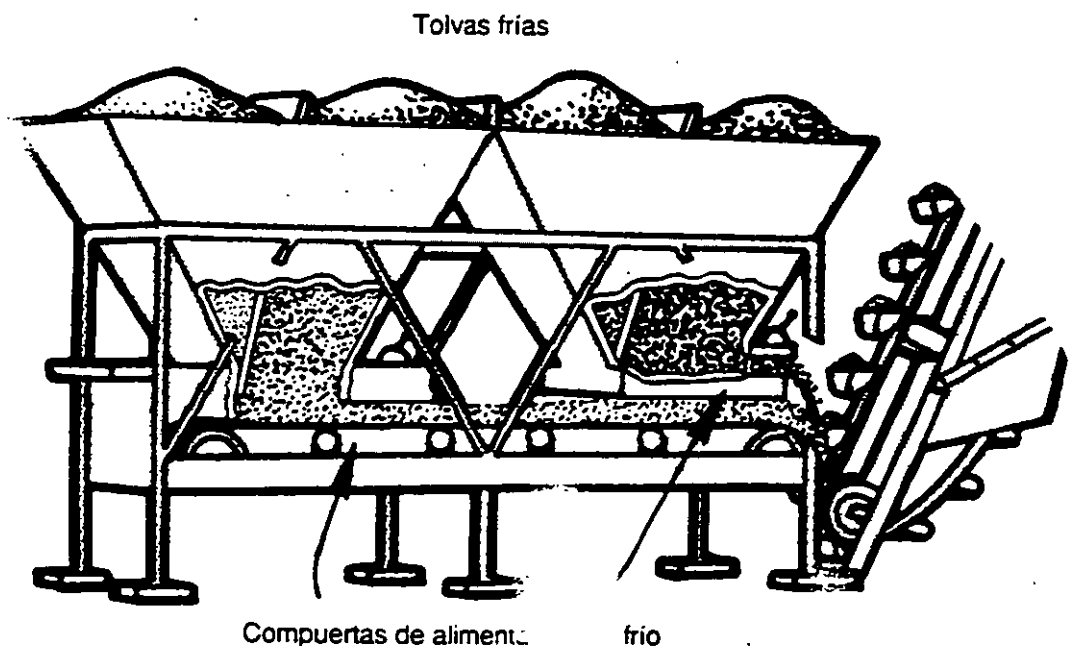


FIGURA 4.32 - Sistema de Alimentación en Frío.

agregado en las tolvas calientes depende de la alimentación en frío. Para garantizar que las tolvas calientes permanezcan en equilibrio, (contengan las proporciones correctas de los diferentes agregados de tamaño variable para producir la granulometría de mezcla deseada), las proporciones de agregado que salen de las tolvas frías deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas.

Si el análisis granulométrico del material de la alimentación en frío exhibe cualquier diferencia grande con respecto a los requerimientos de la fórmula de obra, entonces, para corregir la gradación, se deben ajustar las cantidades que están siendo alimentadas por las diferentes tolvas frías. Esto no requiere volver a calibrar las aberturas de las compuertas sino simplemente ajustar las aberturas de acuerdo a los gráficos de calibración.

4.15.C Inspección de la Alimentación en Frío

El inspector deberá observar los procedimientos de calibración de compuertas. Durante la producción, el inspector deberá revisar periódicamente los indicadores de abertura de compuerta, para estar seguro que las aberturas permanezcan correctamente ajustadas.

El inspector deberá observar frecuentemente el sistema de alimentación para poder detectar cualquier variación en la cantidad de agregados que están siendo alimentados. Una alimentación lenta puede ser causada por raíces o floculos de tierra que están obstruyendo las compuertas, impidiendo que el material salga libremente a través de la abertura de la compuerta. Una alimentación lenta también puede ser el resultado de humedad excesiva en el agregado u otro factor que impida el flujo uniforme de material hacia el secador. Si hay una o mas compuertas causando problemas, el inspector deberá informar al contratista.

4.16 SECADO Y CALENTAMIENTO DEL AGREGADO

Después de salir de las tolvas frías, los agregados son descargados en el secador. El secador realiza dos funciones: (1) remueve la humedad de los agregados y (2) eleva la temperatura del agregado al nivel deseado.

De importancia para el inspector son: (1) la operación básica de secado, (2) el control de temperatura, (3) la calibración de los indicadores de temperatura, y (4) las revisiones de humedad. Cada una es discutida a continuación bajo un encabezado diferente.

4.16.A Operación de Secado

El secador convencional de la planta de dosificación es un cilindro rotatorio que tiene un diámetro entre 1.5 y 3 metros (5 a 10 pies), y una longitud entre 6 y 12 metros (20 a 40 pies). El secador incluye un quemador de aceite o gas con un ventilador que proporciona el aire principal de combustión, y un ventilador eductor para crear tiraje a través del secador (Figura 4.33). El tambor también está equipado con canales longitudinales, llamados aspas, que levantan el agregado y lo dejan caer a través de la llama del quemador y los gases calientes (Figura 4.34). La inclinación del secador, su velocidad de rotación, diámetro, longitud y la configuración y el número de aspas determinan la cantidad de tiempo que el agregado ira a permanecer en el secador.

Para una operación eficiente de secado, el aire necesario para la combustión debe estar en equilibrio con la cantidad de combustible que está siendo suministrada al quemador. El ventilador eductor crea el tiraje de aire que transporta el calor a través del secador y remueve la humedad. Una falta de balance entre estos tres elementos puede causar problemas graves. Por ejemplo, respecto al aceite combustible, una deficiencia de aire o un exceso de flujo de aceite puede resultar en una combustión incompleta del combustible. Este aceite sin quemar deja un

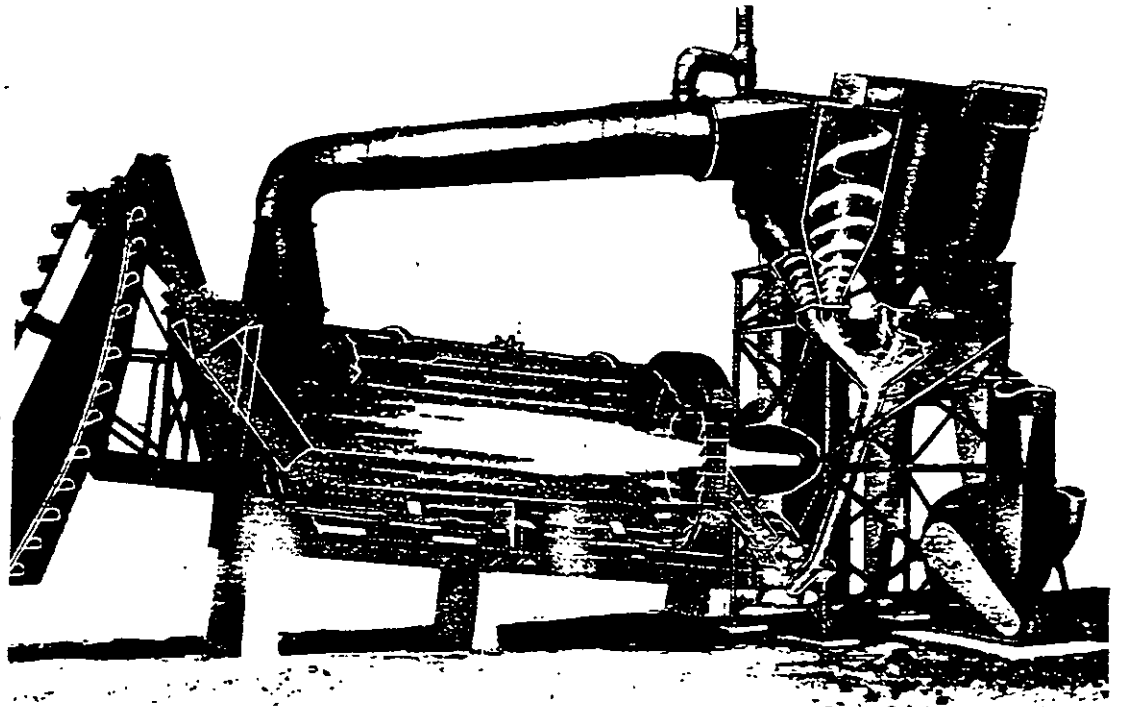


FIGURA 4.33 - Secador Típico.

revestimiento aceitoso sobre las partículas de agregado, el cual puede afectar desfavorablemente la mezcla final.

Una manera rápida de revisar si puede haber revestimiento del agregado, es la de colocar, dentro de un balde con agua, una palada del agregado que esta siendo descargado por el secador. Cualquier capa aceitosa flotara hacia la superficie. Una película delgada de aceite no es de importancia; sin embargo, una película pesada sobre la superficie del agua requiere atención inmediata.

Una falta de equilibrio entre el aire de tiraje y las velocidades del ventilador puede causar una contrapresión dentro del tambor. Esto crea un "resoplido-reverso" de descarga en el extremo del tambor donde esta el quemador, indicando que la velocidad del aire de tiraje es insuficiente para acomodar la presión de aire creada por el ventilador del quemador. En este caso, se debe reducir la resistencia al aire de tiraje o la presión de aire del ventilador.

Generalmente, los secadores están diseñados para tener máxima eficiencia cuando el agregado que están calentando y secando tiene un contenido dado (típicamente 5 por ciento) de humedad. Si el contenido de humedad del agregado es mas alto que el contenido para el cual el secador fue diseñado, se debe reducir la cantidad de agregados que están siendo alimentados al secador. Esta reducción conuera a una disminución en la capacidad horaria del secador.

Los secadores con quemadores de gas natural o petróleo liquido raramente presentan problemas de combustión. Sin embargo, todavía pueden ocurrir las faltas de equilibrio en la presión de gas, de aire de combustión y de tiraje.

El secado es la operación mas costosa en la producción de la mezcla, debido al consumo de combustible. Es también uno de los cuellos de botella mas comunes en la operación de la planta. La tasa de producción de toda la planta depende de la eficiencia del secador. El concreto asfáltico no puede ser producido mas rápido de lo que el agregado puede ser secado y calentado.

4.16.B Control de Temperatura

Es esencial una temperatura correcta del agregado. La temperatura del agregado, y no del asfalto, controla la temperatura de la mezcla. La capa de asfalto puesta sobre cada partícula de agregado, durante el mezclado, adquiere la temperatura de ese agregado casi instantáneamente. Los agregados que son calentados excesivamente pueden endurecer el asfalto durante el mezclado. Los agregados que no son calentados lo suficiente son difíciles de revestir en su totalidad con asfalto, y la mezcla resultante es difícil de colocar en el proceso de pavimentación.

Un dispositivo para medir temperatura, llamado pirometro, es usado para monitorear la temperatura del agregado a medida que el material sale del secador. Existen dos tipos de pirometros: (1) pirometro indicador y (2) pirometro de registro (Figura 4.35). La cabeza registradora del pirometro de registro esta localizada, generalmente, en el cuarto de control de la planta. El pirometro indicador puede estar localizado en el conducto o canal de descarga del secador (Figura 4.36).

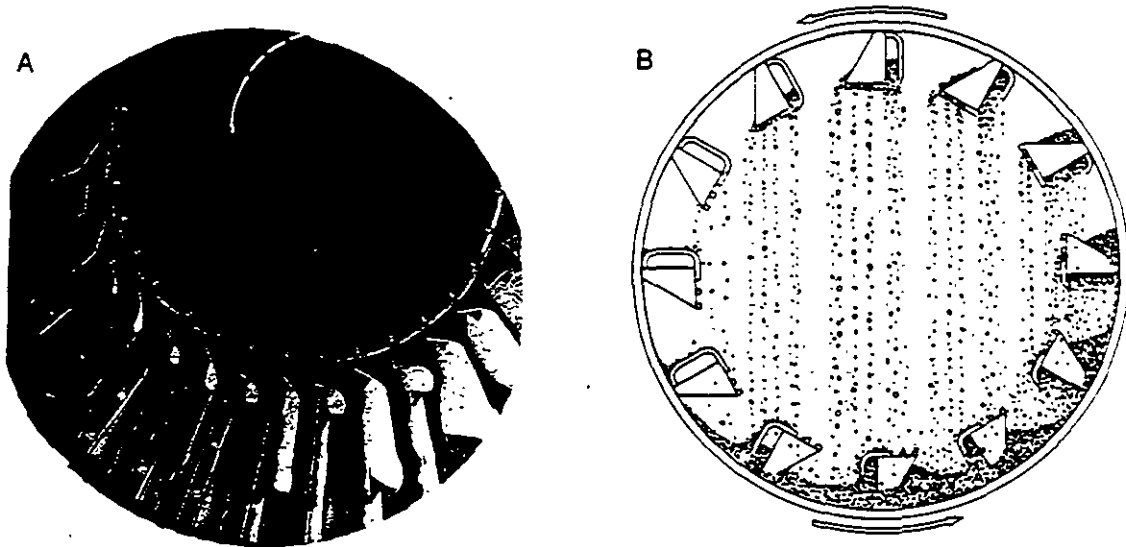


FIGURA 4.34 - Aspas: (A) Diseño Típico y (B) Funcionamiento.

Un dispositivo bueno para medir temperatura ayuda al inspector de la planta a proveer.

- Registros exactos de temperatura, y
- Cualquier indicación de fluctuaciones de temperatura que sugieran una falta de control y uniformidad en las operaciones de secado y calentamiento.

4.16.C Calibración

Ambos tipos de dispositivos eléctricos para medir temperatura (pirometros) (Figura 4.35) son similares en su operación. En ambos tipos, el elemento sensor, el cual consiste en una termocupla encerrada, se proyecta hacia la corriente principal de agregado dentro del conducto de descarga del secador.

Los pirometros son instrumentos sensibles que miden la pequeña corriente inducida por el calor del agregado que esta pasando sobre el elemento sensor. La cabeza (elemento indicador) del dispositivo debe estar completamente protegida del calor y de las vibraciones de la planta.

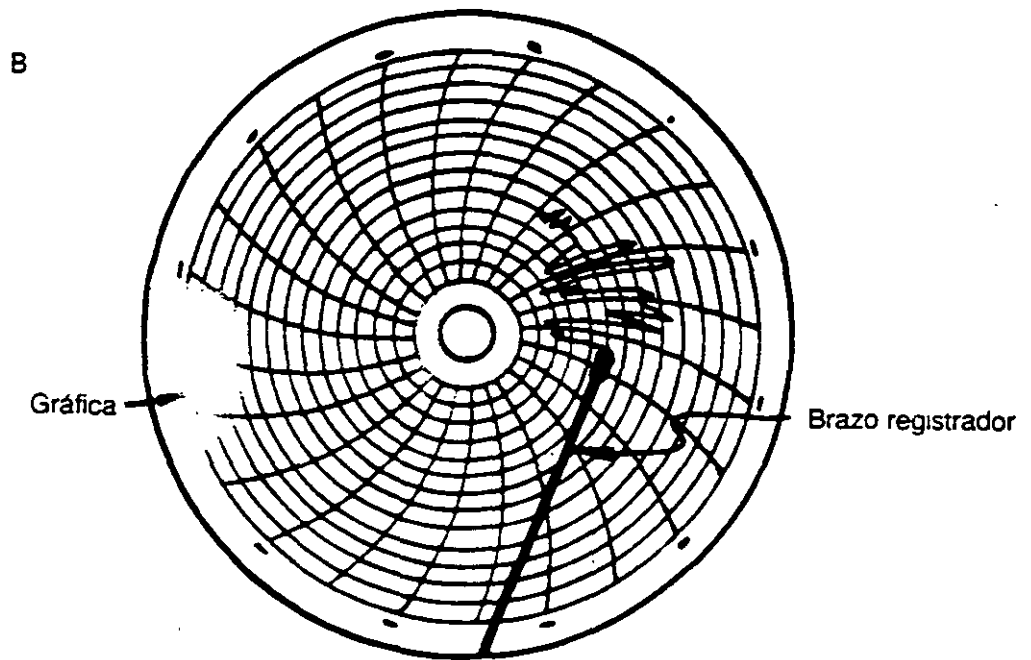
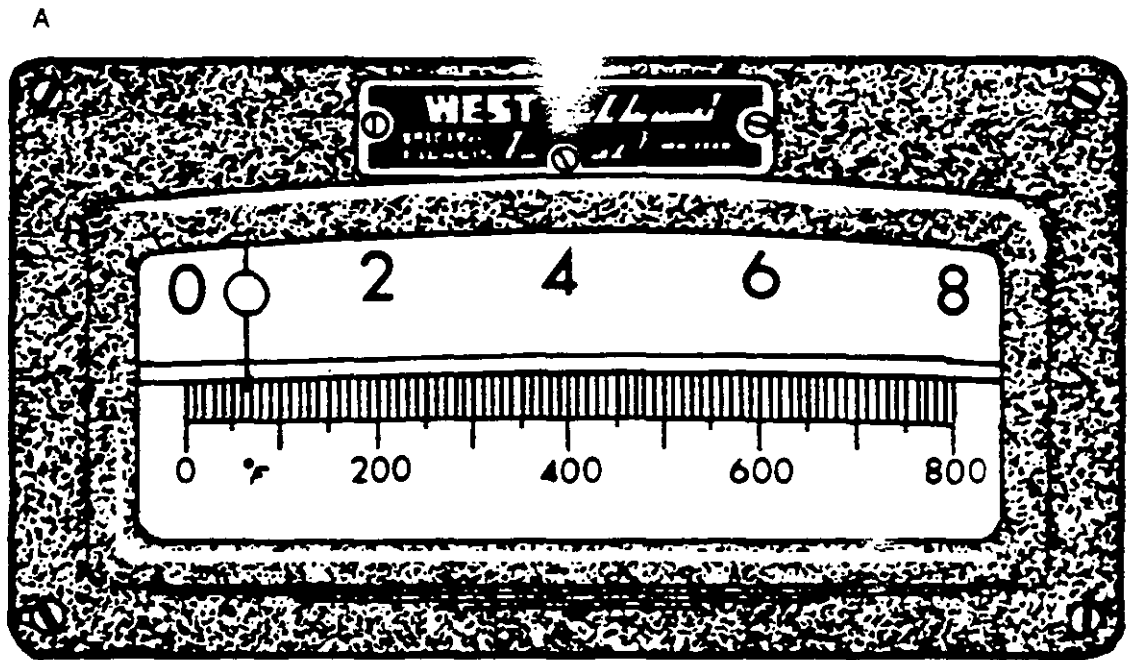


FIGURA 4.35 · Tipos de Pirómetros: (A) Pirómetro Indicador, y (B) Pirómetro de Registro.

Usualmente está localizada lejos del secador y esta conectada a sus elementos sensores por medio de alambres. Cualquier cambio en la longitud de los alambres, tamaño, empalmes o uniones, afecta la calibración del dispositivo, haciendo que este deba ser calibrado de nuevamente.

La diferencia principal entre los pirometros indicadores y los de registro es que los indicadores suministran una lectura de cuadrante o digital, mientras que los de registro anotan las temperaturas del agregado sobre un papel en forma gráfica, proporcionando así un registro permanente.

La mejor manera de revisar la precisión de un pirometro es la de introducir el elemento sensor en un baño de aceite o asfalto caliente, al lado de un termómetro calibrado. Teniendo cuidado con el punto de inflamación del baño empleado, se procede muy despacio a calentar el baño por encima de la temperatura esperada en el agregado seco, y luego se comparan las lecturas de los dos instrumentos.

Otra manera de revisar el dispositivo consiste en tomar varias paladas de agregado caliente del conducto de descarga del secador. Estas se vacían sobre el suelo, en forma de pila. La pila mantiene caliente la última palada de agregado mientras se toma la temperatura. La medida del pirometro puede ser comparada con la medida obtenida mediante la inserción total del vástago de un termómetro en el agregado de la pala. Varias lecturas del termómetro serán necesarias para obtener datos precisos de temperatura.

4.16.D Revisión de Humedad

Las revisiones rápidas de humedad, en el agregado caliente, se pueden efectuar al mismo tiempo que se están haciendo las revisiones de temperatura del pirometro indicador. Estas revisiones rápidas de humedad son útiles para determinar si es o no necesario efectuar pruebas mas precisas de humedad en el laboratorio.

Para hacer una revisión rápida de humedad, se debe construir una pila de agregado caliente proveniente de la descarga del secador. Luego, el inspector deberá estudiar la pila de agregado de acuerdo a lo siguiente:

- (1) Observe el agregado para ver si hay vapores que escapan o manchas húmedas. Estos son signos de un secado incompleto o de un agregado poroso que esta librando humedad interna que puede ser dañina. Este tipo de revisión visual se vuelve más preciso a medida que el inspector se familiariza con el agregado que esta siendo usado.
- (2) Tome una espátula seca, brillante, y limpia como un espejo, o cualquier otro articulo reflector que se encuentre a una temperatura ambiente normal o mas fría, y pásela despacio sobre el agregado a una altura constante. Observe la cantidad de humedad que se condensa sobre la superficie de reflexión. Con práctica, el inspector podrá ser capaz de detectar excesos de humedad.

4.17 CRIBADO Y ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO CALIENTE

Después de que los agregados han sido calentados y secados, estos son transportados por un elevador de material en caliente (un elevador cerrado de cubetas) hacia la unidad de clasificación. En la unidad de clasificación, el agregado caliente pasa sobre una serie de cribas que lo separan en fracciones de varios tamaños y luego depositan las fracciones en las tolvas "calientes" (Figura 4.37).

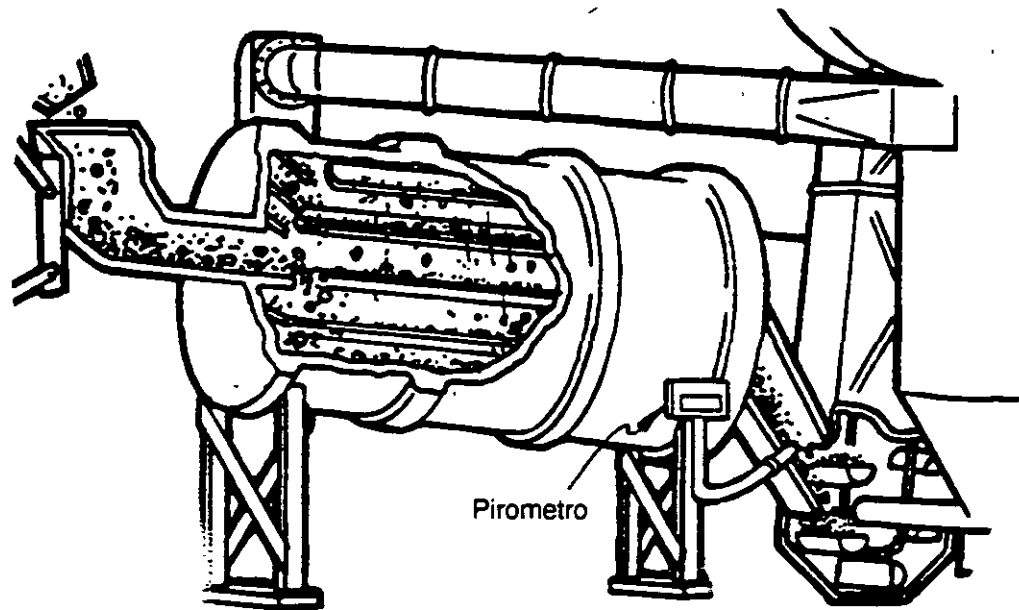


FIGURA 4.36 - Pirometro Localizado en el Conducto de Descarga del Secador.

4.17.A Cribas Calientes

La unidad de cribado incluye un conjunto de varias cribas vibratorias de diferente tamaño (Figura 4.38). La primera criba en la serie es una criba preliminar de malla ancha la cual rechaza y extrae los agregados que exceden el tamaño máximo. Esta es seguida por una o dos cribas de tamaño intermedio, disminuyendo en tamaño de arriba hacia abajo. En la parte baja del grupo se encuentra una criba de arena.

Las cribas sirven para separar el agregado en tamaños específicos. Para efectuar esta función correctamente, el área total de cribado debe ser lo suficiente grande para manejar la cantidad total de carga entregada. De nuevo, las cribas deben estar limpias y en buena condición. La capacidad de las cribas debe estar en equilibrio con la capacidad del secador y la capacidad de la cámara de mezclado. Cuando un exceso de material es suministrado a las cribas, o las aberturas de las cribas se encuentran taponadas, muchas partículas que deberían pasar a través, ruedan sobre las cribas y caen dentro de la tolva designada para un tamaño mayor de partícula. Igualmente, cuando las cribas están desgastadas o rotas, resultando en aberturas mas grandes o en hoyos, habrá material demasiado grande que irá a parar en tolvas designadas para agregado con tamaños menores de partícula. Se denomina "sobrante" cuando el agregado fino cae en la tolva designada para recibir fracciones del tamaño siguiente (mas grande).

Un exceso de sobrante puede hacer aumentar la cantidad de agregado fino en la mezcla total, aumentando a la vez el área superficial a ser cubierta por el asfalto. Si la cantidad de sobrante es desconocida, o si fluctúa, particularmente en la criba No. 2, esto puede afectar seriamente el diseño de la mezcla tanto en la gradación como en el contenido de asfalto. El exceso de sobrante puede ser detectado por medio de un análisis granulométrico del contenido individual de las tolvas calientes, y debe ser corregido inmediatamente ya sea limpiando las cribas o reduciendo la cantidad de material que viene de la alimentación en frío. En ambas formas. Cierta cantidad de sobrante es permitida en un cribado normal y esta cantidad es generalmente especificada.

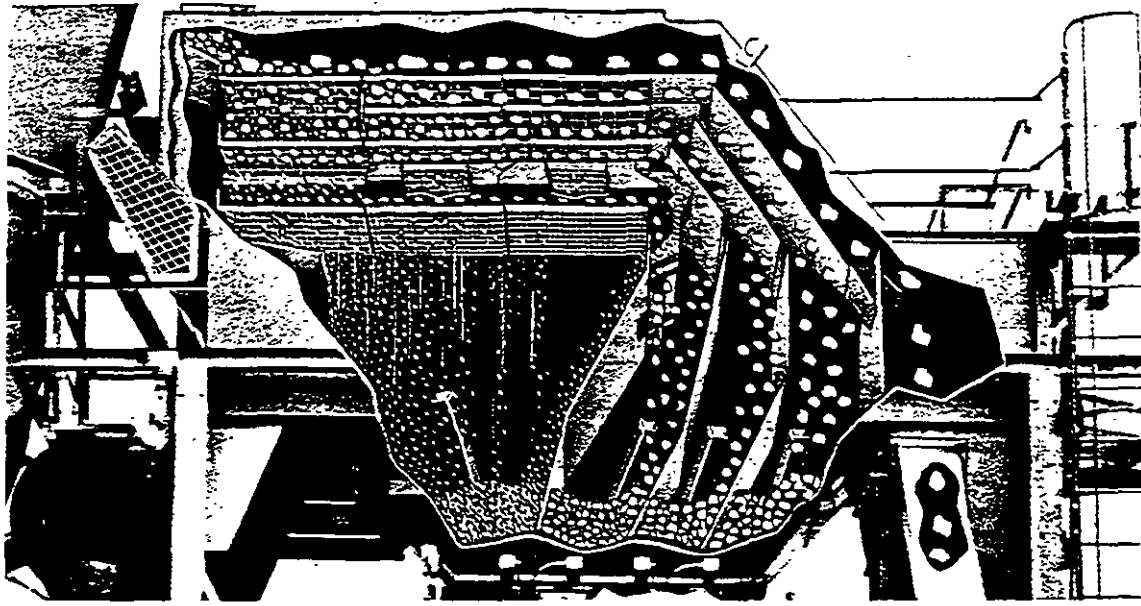


FIGURA 4.37 - Vista en Corte Mostrando Detalles del Flujo de Material a Través de las Cribas y las Tolvas Calientes.

La tolva No. 2 (agregado fino intermedio) es la tolva crítica del sobrante. Esta es la tolva que recibirá el agregado mas fino de sobrante y la que más afectará la demanda de asfalto en la mezcla. Típicamente, el sobrante en la tolva No. 2 no deberá exceder 10 por ciento. La cantidad de sobrante se puede verificar al probar una muestra de material de la tolva No. 2 a través del tamiz de 2.36 mm (No. 8).

Para prevenir un sobrante excesivo, se recomienda efectuar inspecciones visuales diarias de las cribas para ver si están limpias y en buena condición. Esto se debe hacer, preferiblemente, antes de comenzar las operaciones del día.

4.17.B Tolvas Calientes

Las tolvas calientes son usadas temporalmente para almacenar el agregado caliente y ya cribado en los diferentes tamaños requeridos. Cada tolva es un compartimiento individual o una sección de un compartimiento largo dividido en partes. El tamaño adecuado de una tolva caliente deberá ser lo suficiente grande para acomodar el material necesario de cada tamaño cuando el mezclador esta operando en su capacidad total. Las divisiones deberán ser herméticas, libres de hoyos y lo suficiente altas para prevenir entremezclado de los agregados.

Las tolvas calientes tienen, usualmente, indicadores que advierten cuando la cantidad de agregados cae por debajo de cierto nivel. Estos indicadores pueden ser electrónicos o mecánicos. Hay un tipo electrónico de indicador (tipo diafragma) que es montado sobre un costado de la tolva (Figura 4.39). La presión de los agregados en la tolva activa este indicador. Cuando el nivel de agregado baja por debajo del indicador, un contacto eléctrico enciende una luz de advertencia.

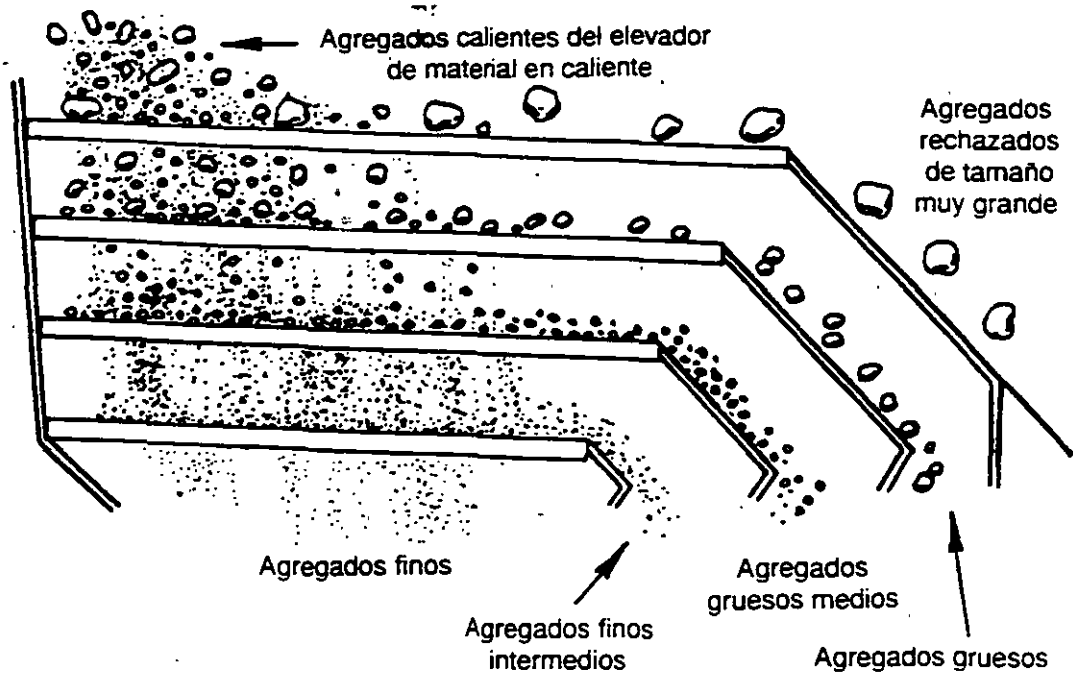


FIGURA 4.38 - Unidad de Cribado.

Cada tolva deberá estar equipada con un tubo de rebose para prevenir que se acumulen cantidades excesivas de agregado y terminen pasándose a otras tolvas. Los tubos de rebose deberán ajustarse para detener acumulaciones excesivas en las tolvas. Cuando una tolva presenta una acumulación excesiva, la criba por encima de ella termina cubriendo el exceso, lo cual resulta en un sobrante pesado y en un posible daño a la criba. Los tubos de rebose deberán revisarse periódicamente para confirmar que mantengan un flujo libre de material.

Algunas veces el agregado muy fino se adhiere a los rincones de la tolva de agregado fino. Cuando esta acumulación paulatina se derrumba, puede generar una cantidad excesiva de finos en la mezcla. Esta precipitación súbita de material fino ocurre, generalmente, cuando el nivel de agregado en la tolva baja demasiado. La solución es mantener un nivel correcto de agregado en la tolva. También, unas placas recortadas, soldadas en los rincones de la tolva, ayudan a minimizar la acumulación paulatina de finos.

Otros problemas en la producción de una buena mezcla incluyen: escasez de material en una tolva (y exceso en otra), compuerta desgastada en la base de la tolva (permitiendo escape de agregado hacia la tolva de pesaje), y transpiración de las paredes de la tolva (causada por la condensación de humedad).

No deberá permitirse que las tolvas calientes trabajen vacías. Una escasez o un exceso en la tolva puede corregirse si se ajusta la alimentación en frío. Por ejemplo, si la tolva de material grueso se está sobrecargando mientras que las otras permanecen en un nivel adecuado, entonces se deberá disminuir la alimentación en frío de la tolva que contiene el agregado grueso.

No es buena práctica hacer dos ajustes al mismo tiempo. Por ejemplo, si la alimentación total de agregado es deficiente y también una tolva está trabajando un poco sobrecargada, entonces es mejor ajustar primero la alimentación total, y después ajustar la alimentación de material que está causando que la tolva individual se esté sobrecargando.

Si la compuerta en la base de una tolva esta desgastada y esta dejando escapar material, entonces debe ser reparada o reemplazada inmediatamente. Un escape de material de una tolva caliente puede afectar desfavorablemente la granulometría de la mezcla final.

La transpiración ocurre cuando el vapor húmedo en el agregado y en el aire se condensan en las paredes de la tolva. Usualmente ocurre al comienzo de las operaciones diarias o cuando el agregado grueso no es secado completamente. La transpiración puede causar la acumulación de polvo, la cual resulta en cargas instantáneas excesivas de finos en la mezcla. El relleno mineral y el polvo del compartimiento de filtros deberán almacenarse separadamente en un silo a prueba de humedad, y deberán ser directamente alimentados hacia el interior de la tolva de pesaje.

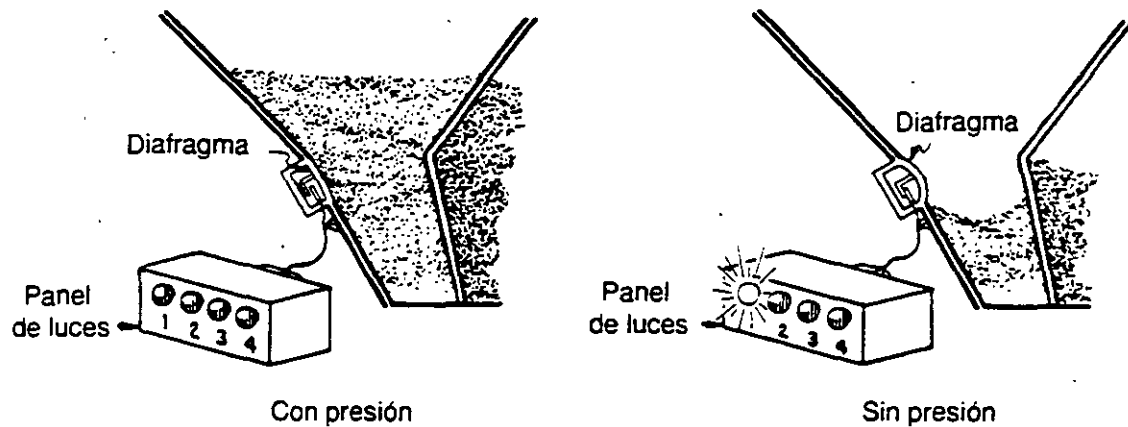


FIGURA 4.39 - Vista en Corte de un Indicador Tipo Diafragma.

4.17.C Muestreo en la Tolva Caliente

Las plantas asfálticas modernas de mezcla en caliente están equipadas con dispositivos para muestrear agregado caliente en las tolvas. Estos dispositivos desvían el flujo de agregados del alimentador, o de la compuerta debajo de la tolva, hacia los recipientes de muestreo. Es esencial que estos dispositivos de muestreo estén instalados para poder tomar muestras representativas del material que se encuentra en las tolvas.

Al observar el flujo de material sobre las cribas de la planta vemos que las partículas finas caen en un lado de la tolva y las partículas gruesas en otro (Figura 4.40). Cuando el material se extrae de la tolva al abrir una compuerta en la base, la corriente consiste predominantemente de material fino en un extremo y material grueso en el otro. Por lo tanto, la posición del dispositivo de muestreo, en la corriente de material, determina si la muestra estará compuesta de una porción fina, una porción gruesa, o una representación precisa del material de la tolva (Figura 4.41). Esta condición es bastante crítica en la tolva No. 1 (finos), puesto que el material de esta tolva es un factor determinante en la cantidad de asfalto requerida en la mezcla.

También puede ocurrir estratificación vertical en la tolva de material fino. Esta puede ser causada por variaciones en la clasificación de los acopios o por una alimentación variable del agregado frío. Cuando esta forma de segregación existe, no pueden tomarse muestras representativas, aún si el aparato de muestreo es usado correctamente.

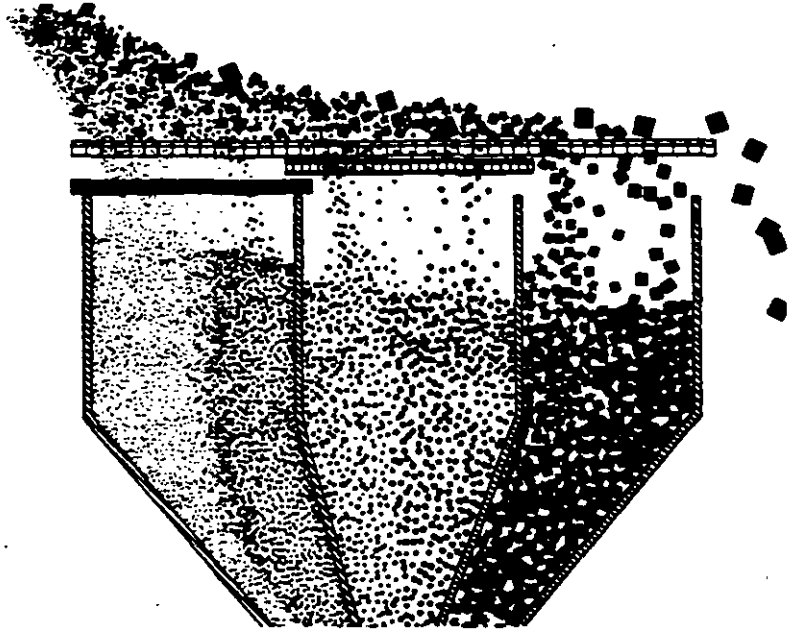


FIGURA 4.40 - Segregación de Agregado en la Tolva Caliente (observe la segregación dentro de cada tolva).

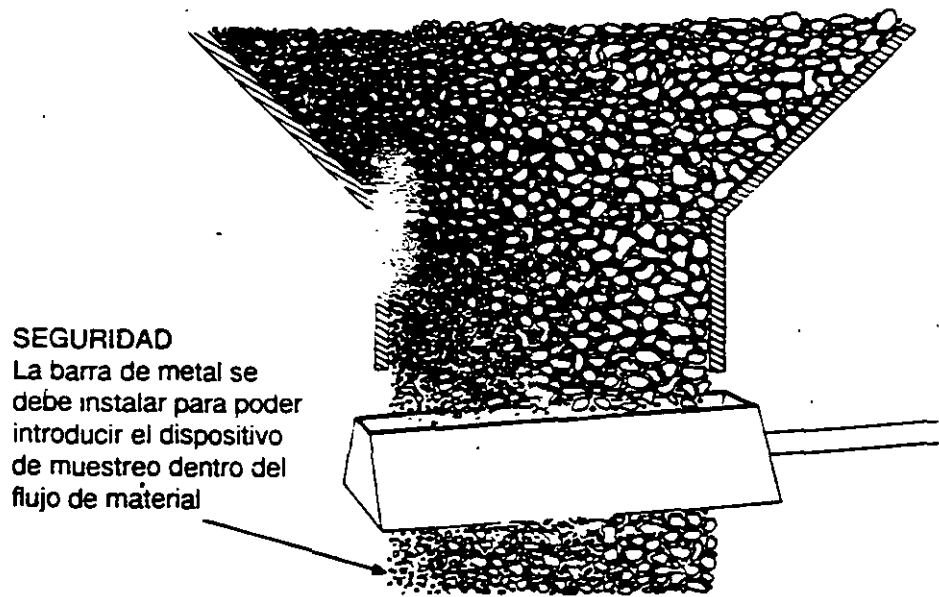


FIGURA 4.41 - Uso Correcto del Dispositivo de Muestreo.

4.17.D Calibración

Normalmente es responsabilidad del contratista el calibrar la planta asfáltica; sin embargo, el inspector deberá observar y estar enterado de los procedimientos usados para obtener una combinación de agregados que cumpla con la fórmula de la mezcla de obra.

Para producir la combinación deseada de agregado, se debe analizar el contenido de cada tolva. Para analizar las tolvas calientes, se debe comenzar por poner en marcha la planta, el sistema de alimentación en frío, el secador y las cribas. Cuando la planta alcance su nivel de operación, tal que el material en las tolvas sea representativo de las proporciones establecidas en las compuertas frías, se debe proceder a tomar una muestra de cada tolva. Las muestras de agregado son luego tamizadas. Una vez se determinan las granulometrías del material de cada tolva, se puede calcular el porcentaje exacto de material que debe ser extraído de cada tolva para cumplir con el diseño de mezcla establecido. Este cálculo se efectúa usando el método de tanteos. Para entender el procedimiento, estúdiense el siguiente ejemplo.

Problema Ejemplo

El examen del contenido de la tolva comienza con el análisis del diseño de mezcla del concreto asfáltico que está siendo producido. En este caso, el diseño de mezcla determina la granulometría de agregado mostrada en la Figura 4.42. La figura muestra valores de una granulometría de referencia (fórmula de la mezcla de obra) y los márgenes aceptables (márgenes de especificación).

<u>Tamiz</u>	<u>Porcentaje que pasa</u> <u>Fórmula de la mezcla de obra</u>	<u>Margen de Especificaciones</u>
25.0 mm (1 inch)	100.0	100
19.0 mm (3/4 inch)	97.0	90 - 100
9.5 mm (3/8 inch)	68.0	56 - 80
4.75 mm (No. 4)	48.0	35 - 65
2.36 mm (No. 8)	37.0	23 - 49
0.30 mm (No. 50)	12.0	5 - 19
0.075 mm (No. 200)	5.0	2 - 8

FIGURA 4.42 - Ejemplo de una Granulometría de Obra.

La fórmula de la mezcla de obra es el punto de comienzo para determinar la calibración correcta de los alimentadores de las tolvas calientes. Es necesario determinar qué porcentaje de cada tamaño de agregado, en la tolva caliente, debe ser incorporado en la mezcla para cumplir con las especificaciones del diseño.

Primero se determina la granulometría del material de cada una de las tolvas calientes (Figura 4.43). La granulometría combinada es luego determinada por el método de tanteos.

Primera Aproximación por Tanteo

Las proporciones de agregado son estimadas para el primer tanteo. El material que pasa por los tamices de 2.36 mm (No. 8) y 0.075 mm (No. 200) es usado como punto de partida. La fórmula de la mezcla de obra requiere que 37.0 por ciento del material pase por el tamiz de 2.36 mm (No. 8). La Tolva No. 1, de agregado fino, contiene 99.2 por ciento de material que pasa el tamiz 2.36 mm (No. 8). Por lo tanto, una aproximación de la contribución de la Tolva No. 1 a la granulometría final es 37 por ciento multiplicado por 99.2 por ciento, lo cual equivale a 36.7

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Granulometrías de Tolvas Calientes				Porcentaje que pasa			
Tolva #1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva #2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva #3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva #4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral MF	100	100	100	100	100	96.2	76.2

FIGURA 4.43 - Resultados de un Ejemplo de Análisis Granulométrico de Tolvas Calientes.

por ciento. Redondeando este valor, el estimado usado para el material de la Tolva No. 1 será de 40 por ciento, sujeto a corrección para acomodar el relleno mineral.

De las cuatro tolvas, la Tolva No. 1 es la que contiene la mayoría de material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200), siendo en este caso 3.2 por ciento. Si se usa 40 por ciento de la Tolva No. 1, entonces 40 por ciento multiplicado por 3.2 por ciento es igual a 1.3 por ciento de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200), y el cual va a ser suministrado por esta tolva. Puesto que la fórmula de la mezcla de obra requiere un total de 5.0 por ciento de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200), entonces la tolva de relleno mineral debe proveer el 3.7 por ciento restante. La tolva de relleno mineral contiene 76.2 por ciento de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200). Multiplicando 76.2 por ciento por 4.8 por ciento, o redondeando, por 5 por ciento, resulta en 3.2 por ciento. En consecuencia, la tolva de llenante mineral proveerá el 5 por ciento del agregado total.

Sin embargo, si se usa 40 por ciento de material de la Tolva No. 1 y 5 por ciento de material de la tolva de relleno mineral, esto resultara en demasiado relleno en la mezcla final. Para evitar que esto suceda, se resta 5 por ciento del total de material a ser extraído de la Tolva No. 1, reduciendo así la contribución de la Tolva No. 1 a 35 por ciento.

Hasta este punto el total de material suministrado por la Tolva No. 1 y la tolva de relleno mineral constituye un 40 por ciento de la granulometría total. Esto deja un 60 por ciento de material que deberá provenir de las otras tres tolvas. La forma más fácil de dividir este porcentaje es en partes iguales para las tres tolvas. En consecuencia, las Tolvas No. 2, No. 3, y No. 4 contribuirán, cada una, con 20 por ciento del agregado total, en esta primera aproximación por tanteo.

En la Figura 4.44 el porcentaje estimado para cada tolva es multiplicado por la gradación de agregado contenida en esa tolva.

Segunda Aproximación por Tanteo

Los totales combinados de la Figura 4.44 son luego comparados con la fórmula de la mezcla de obra. El porcentaje total combinado para el material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200) es adecuado, de modo que no es necesario hacer cambios en la cantidad de relleno mineral. El material que pasa el tamiz 2.36 mm (No. 8) excede lo requerido por la fórmula de la mezcla de obra, y también hay demasiado material que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4). En consecuencia, el porcentaje de la Tolva No. 1 deberá ser reducido. Puesto que hay suficiente material pasando los tamices que están por encima del tamiz de 4.75 mm (No. 4), los porcentajes de material de la Tolva No. 2 y la Tolva No. 3 deberán aumentarse a la vez que se disminuye el porcentaje de la Tolva No. 4. Unos ajustes de 5 por ciento parecen ser adecuados para la segunda aproximación por tanteo. De modo que la tolva de relleno mineral se mantiene en 5 por ciento, la Tolva No. 1

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Margen de Especificaciones	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
Formula de la mezcla de obra	100	97	68	48	37	12	5
Granulometrías de Tolvas Calientes		Porcentaje que pasa					
Tolva No. 1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva No. 2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva No. 3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva No. 4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral MF	100	100	100	100	100	96.2	76.2
Aproximación No. 1	Trate 35% B1, 20% B2, 20% B3, 20% B4 and 5% MF						
B1 × 0.35	35	35	35	35.0	34.7	8.8	1.1
B2 × 0.20	20	20	19.7	10.2	1.7	0.1	0.1
B3 × 0.20	20	19.7	2.3	0.9	0.4	0.1	0
B4 × 0.20	20	12.0	1.2	0.2	0.1	0	0
MF × 0.05	5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8	3.8
Total	100	91.7	63.2	51.3	41.9	13.8	5.0

FIGURA 4.44 - Resultados de la Primera Aproximación por Tanteo.

se reduce a 30 por ciento, las Tolvas No. 2 y No. 3 son aumentadas hasta 25 por ciento cada una, y la Tolva No. 4 se reduce a 15 por ciento. En la Figura 4.45, el porcentaje estimado para cada tolva en la segunda aproximación es multiplicado por la granulometría de agregado de cada tolva.

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Margen de Especificaciones	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
Formula de la mezcla de obra	100	97	68	48	37	12	5
Granulometrías de Tolvas Calientes		Porcentaje que pasa					
Tolva No. 1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva No. 2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva No. 3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva No. 4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral	100	100	100	100	100	96.2	76.2
Aproximación No. 2	Trate 30% B1, 25% B2, 25% B3, 15% B4 and 5% MF						
B1 × 0.30	30	30.0	30.0	30.0	29.8	7.5	1.0
B2 × 0.25	25	25.0	23.4	12.8	2.2	0.1	0.1
B3 × 0.25	25	24.6	3.0	1.1	0.5	0.1	0.1
B4 × 0.15	15	9.0	0.9	0.2	0.1	0	0
MF × 0.05	5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8	3.8
Total	100	93.6	62.3	49.1	37.6	12.5	5.0

FIGURA 4.45 - Resultados de la Segunda Aproximación por Tanteo.

Después de que los cálculos para todas las tolvas han sido efectuados las combinaciones totales han sido sumadas, se procede a comparar los resultados de la segunda aproximación por tanteo con la formula de la mezcla de obra.

Tercera Aproximación por Tanteo

Los porcentajes de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200), el 0.30 mm (No. 50) y el 2.36 mm (No. 8) son satisfactorios, de modo que la tolva de relleno mineral y la Tolva No. 1 no necesitan mas ajustes. Sin embargo, no hay suficiente material que pasa el tamiz 19.0 mm (3/4 pulgada) o que pasa el 9.5 mm (3/8 pulgada), mientras que el porcentaje que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4) es un poco alto. Para la tercera aproximación por tanteo el porcentaje de las Tolvas No. 2 y No. 3 es aumentado para conseguir mas material grueso, mientras que el porcentaje de la Tolva No. 4 es disminuido de nuevo. De modo que el porcentaje de las Tolvas No. 2 y No. 3 se aumenta a 28 por ciento y el porcentaje de la Tolva No. 4 se reduce a 9 por ciento, como tercera aproximación. En la Figura - el porcentaje estimado para cada tolva en esta tercera aproximación es multiplicado por la granulometría de agregado contenida en cada tolva.

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Margen de Especificaciones	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
Formula de la mezcla de obra	100	97	68	48	37	12	5
Gradaciones de Tolvas Calientes			Porcentaje que pasa				
Tolva No. 1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva No. 2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva No. 3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva No. 4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral	100	100	100	100	100	96.2	76.2
Aproximación No. 3		Trate 3'		28% B2, 28% B3, 9% B4 and 5% MF			
B1 x 0.30	30	30	30	30	29.8	7.5	1.0
B2 x 0.28	28	28	27.6	14.3	2.4	0.1	0.1
B3 x 0.28	28	27	3.3	1.2	0.6	0.1	0.1
B4 x 0.09	9	5	0.5	0.1	0	0	0
MF x 0.05	5	5	5.0	5.0	5.0	4.8	3.8
Total	100	96.0	66.4	50.6	37.8	12.5	5.0

FIGURA 4.46 - Resultados de la Tercera Aproximación por Tanteo.

La tercera granulometría combinada esta lo suficiente cerca a la formula de la mezcla de obra, y dentro de las tolerancias permitidas para la obra (margen de especificación). Los porcentajes de cada tolva se convierten, entonces, en la base para calibrar el sistema de alimentación del agregado caliente.

Una vez que se han determinado las proporciones de material que se requieren en cada tolva, se procede a efectuar los cálculos para determinar el peso de cemento asfáltico, y el peso de los agregados necesarios para producir una determinada carga de mezcla en caliente. El primer paso consiste en seleccionar el tamaño de la carga de producción. El tamaño de la carga depende de la capacidad de la cámara mezcladora de la planta (amasadero). Para este ejemplo, suponga que la cámara mezcladora tiene una capacidad de 2,722 kg. (6,000 lb.). A la máxima tasa de

producción cada carga de mezcla en caliente producida pesará alrededor de 2.722 kg. (6.000 lb).

La información conocida se puede resumir como sigue, suponiendo un contenido de asfalto, en la mezcla final, de 6 por ciento:

Peso de la Carga	2.722 kg. (6.000 lb)
Porcentaje de Cemento Asfáltico	6 por ciento
Tolva No. 1 (porcentaje del agregado total)	30 por ciento
Tolva No. 2 (porcentaje del agregado total)	28 por ciento
Tolva No. 3 (porcentaje del agregado total)	28 por ciento
Tolva No. 4 (porcentaje del agregado total)	9 por ciento
Relleno Mineral (porcentaje del agregado total)	5 por ciento

A partir de esta información, se puede calcular el peso de cemento asfáltico en cada carga al multiplicar el peso de la carga por el porcentaje de asfalto en cada carga:

$$2,722 \text{ kg.} \times .06 \text{ (6 por ciento)} = 163 \text{ kg.}$$

$$(6,000 \text{ lb.} \times .06 \text{ (6 por ciento)}) = 360 \text{ lb.}$$

El peso total de agregados en cada carga se determina restando el peso de cemento asfáltico del peso total de la carga:

$$2,722 \text{ kg.} - 163 \text{ kg.} = 2,559 \text{ kg.}$$

$$(6,000 \text{ lb.} - 360 \text{ lb.}) = 5,640 \text{ lb.}$$

El peso total de todos los agregados necesarios para una carga de mezcla en caliente permite calcular de los pesos (cantidades) de agregado que deben ser extraídos de cada una de las tolvas:

Tolva	Porcentaje de Proporción		Peso Total de Agregado		Peso Requerido
No. 1	30 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	768 kg. (1,692 lb.)
No. 2	28 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	717 kg. (1,579 lb.)
No. 3	28 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	717 kg. (1,579 lb.)
No. 4	9 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	230 kg. (508 lb.)
Relleno	5 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	128 kg. (282 lb.)

Los pesos de la carga son generalmente redondeados a los 5 kilogramos (o libras) mas cercanos; por lo tanto, los pesos a ser extraídos son:

Tolva No. 1	770 kg	1,690 lbs.
Tolva No. 2	715 kg	1,580 lbs.
Tolva No. 3	715 kg	1,580 lbs.
Tolva No. 4	230 kg	510 lbs.
Relleno	130 kg	280 lbs.
Total	2,560 kg	5,640 lbs.

4.18 EXTRAYENDO MATERIAL DE LAS TOLVAS CALIENTES

Los agregados son extraídos de las tolvas calientes para ser depositados en la tolva de pesaje. La tolva de pesaje esta suspendida de las vigas de la báscula, y pesa, en forma acumulativa, las cantidades de agregado.

El orden en que las tolvas vacían sus proporciones de agregados en la tolva de pesaje esta determinado por el contratista o el productor. Usualmente, los agregados gruesos son extraídos primero, los agregados intermedios a continuación, y por último los agregados finos. Esta secuencia esta diseñada para colocar las fracciones finas en la parte superior de la tolva de pesaje, donde no puedan escapar hacia afuera a través de la compuerta en la parte inferior de la balanza. Este sistema también permite el uso mas eficiente del volumen disponible en la tolva de pesaje.

Después de determinar la secuencia de extracción, los pesos a ser extraídos son marcados en el cuadrante de la báscula. Debido a que la báscula indica los pesos en forma acumulativa, el cuadrante debe estar marcado en conformidad con este sistema. La Fig. 4.47 ilustra como son usadas las graduaciones acumulativas de la báscula (mostradas en el cuadrante) para controlar la proporción de agregados extraídos de cada tolva.

Esta es la manera como los agregados y el relleno mineral son pesados en una planta de dosificación:

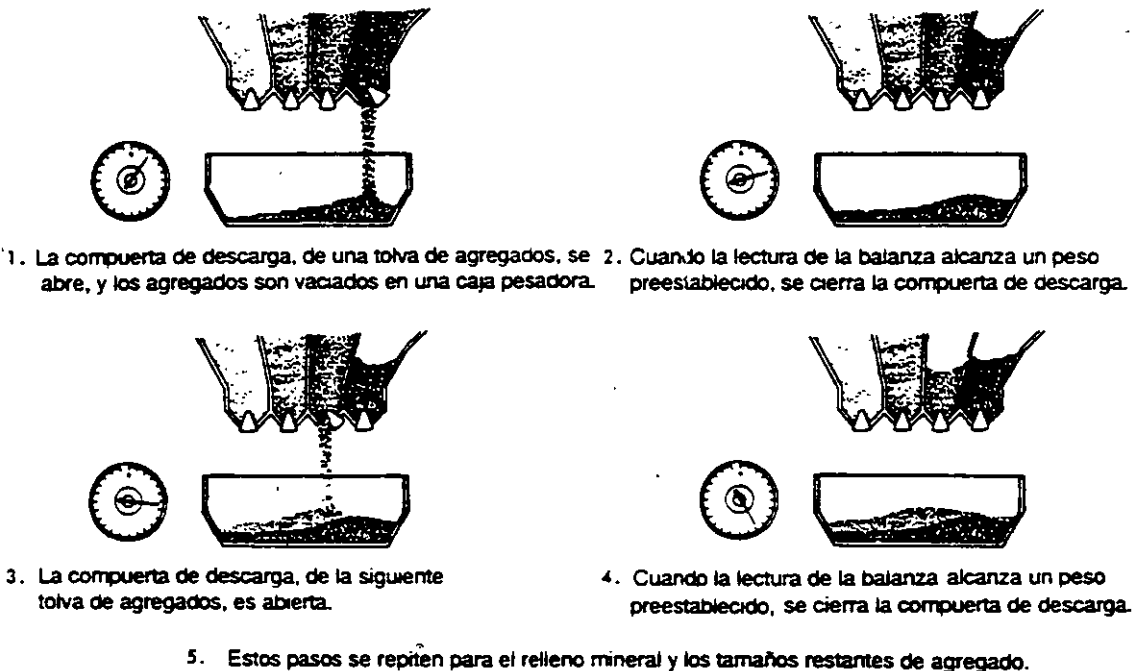
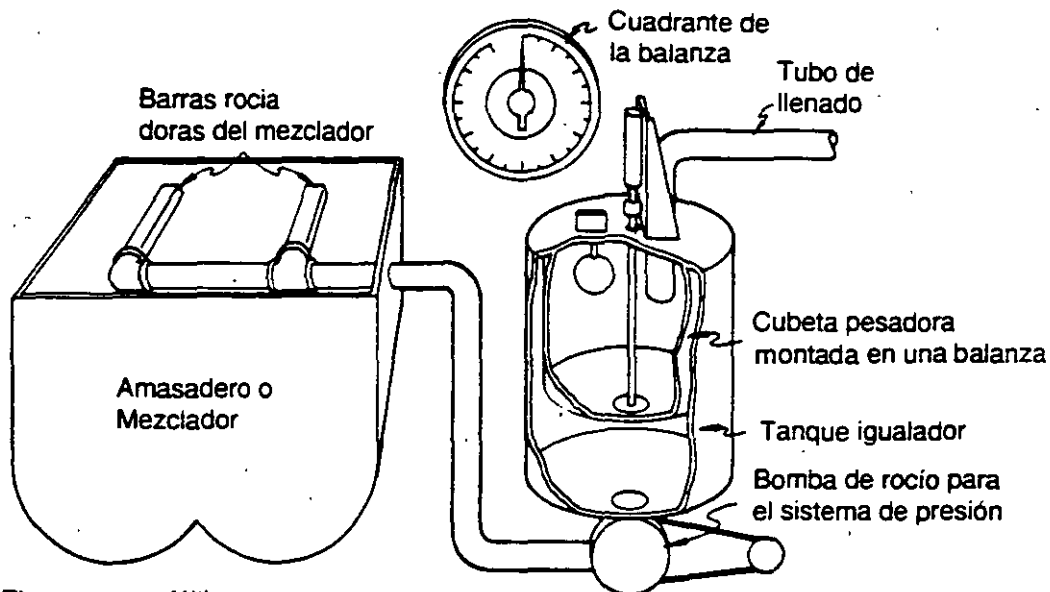


FIGURA 4.47 - Uso de los Tamaños Acumulativos en la Báscula para Controlar las Cantidades de Material Extraído de las Tolvas Calientes.

4.19 INCORPORANDO EL ASFALTO

Después de pasar por la tolva de pesaje los agregados son depositados en la cámara mezcladora de la planta (amasadero), en donde son combinados con la correcta proporción de asfalto. En un sistema típico de una planta, el asfalto es pesado por separado en una cubeta pesadora antes

de ser incorporado al mezclador. Cuando el peso de asfalto en la cubeta alcanza cierto nivel, previamente determinado, una válvula en la línea de descarga se cierra para prevenir cualquier exceso de asfalto. El asfalto es luego bombeado a través de barras rociadoras hacia el mezclador (Figura 4.48). Las cubetas de asfalto deberán ser revisadas para verificar su precisión. Lo ideal es que esto se efectúe como primera cosa del día. Durante la mañana, el asfalto nuevo afloja parte del asfalto viejo que se acumuló el día anterior en los lados y el fondo de la cubeta. La pérdida de este asfalto acumulado cambia el taraje de la cubeta.



El cemento asfáltico se pesa por separado en cubetas pesadoras montadas sobre una balanza.

FIGURA 4.48 - Sistema Típico para Medición y Descarga de Asfalto .

Cualquier funcionamiento inapropiado del sistema de distribución de asfalto resulta en una proporción no-uniforme de asfalto en la mezcla. La inspección visual y los ensayos de la mezcla final usualmente revelan cualquier problema funcional en el sistema. Generalmente no ocurren problemas en el sistema de distribución de asfalto.

4.20 TEMPERATURA DE LAS MEZCLAS

Tanto el asfalto como el agregado deben ser calentados antes de ser combinados en el mezclador - el asfalto, para darle suficiente fluidez para que sea bombeado, y el agregado, para que este lo suficiente seco y caliente tal que pueda producir una mezcla final a la temperatura deseada.

El asfalto es un material termoplástico que pierde viscosidad con el aumento de la temperatura. La relación entre temperatura y viscosidad, sin embargo, puede no ser la misma para diferentes fuentes de asfalto, o diferentes tipos y grados de asfalto. (Ver Capítulo 2, Materiales).

La temperatura del agregado controla la temperatura de la mezcla. Normalmente hay una especificación para temperatura de mezclado, basada en factores relacionados con las condiciones de colocación y compactación de la mezcla. Otra temperatura importante es la que se requiere para secar muy bien el agregado, tal que pueda obtenerse una mezcla favorable.

El mezclado deberá ser efectuado a la temperatura mas baja posible que a la vez permita un revestimiento completo de las partículas de agregado y una mezcla con una trabajabilidad satisfactoria. La Figura 4.49 provee una guía para márgenes típicos de temperaturas de mezclado.

Tipo y Grado de Asfalto	Temperaturas de la mezcla en el mezclador	
	Mezclas densamente graduadas	
Cementos Asfálticos	°F	°C
AC-2.5	235-280	115-140
AC-5	250-295	120-145
AC-10	250-315	120-155
AC-20	265-330	130-165
AC-40	270-340	130-170
AR-1000	225-275	105-135
AR-2000	275-325	135-165
AR-4000	275-325	135-165
AR-8000	275-325	135-165
AR-16000	300-350	150-175
200-300 pen.	235-305	115-150
120-150 pen.	245-310	120-155
85-100 pen.	250-325	120-165
60-70 pen.	265-335	130-170
40-50 pen.	270-350	130-175

FIGURA 4.49 - Temperaturas Típicas de Mezclado para Mezcla Asfáltica en Caliente (Temperatura de la Mezcla Inmediatamente Después de ser Descargada del Mezclador).

4.21 BASCULAS DE LA PLANTA

Las básculas son usadas para pesar tanto el asfalto como los agregados. Los medidores de la báscula para asfalto están generalmente graduados en intervalos de 2 libras, mientras que los medidores de las básculas de agregado están graduados, usualmente, en intervalos de 5 libras. Los medidores de las básculas deberán estar localizados donde el operador pueda verlos claramente. Una posible disposición de las básculas esta mostrada en la Figura 4.50, en donde estas se encuentran cerca de la caja pesadora. Los medidores también pueden estar localizados en la estación central (Figura 4.56).

Los medidores pueden ser de dos tipos: (1) medidor sin resorte y (2) medidor de viga. Ambos tipos tienen, esencialmente, las mismas partes básicas - palancas, soportes, e indicadores. En todas las básculas se debe revisar, frecuentemente, el sistema de palancas, los soportes de cuñas, y las cuñas, para confirmar que estén limpios y para estar seguros de que las partes móviles no esten tocando otras partes de la báscula. Cualquier roce (contacto) o traba en el sistema de la báscula ocasionará que el medidor de la misma registre lectura erróneas. La aguja del medidor deberá oscilar libremente y deberá registrar un valor de cero cuando no hay carga. Una de las causas más comunes del mal funcionamiento de una báscula es la acumulación de polvo asfáltico, y la corrosión y falta de filo en los soportes de cuñas del sistema de palancas. Las partículas de

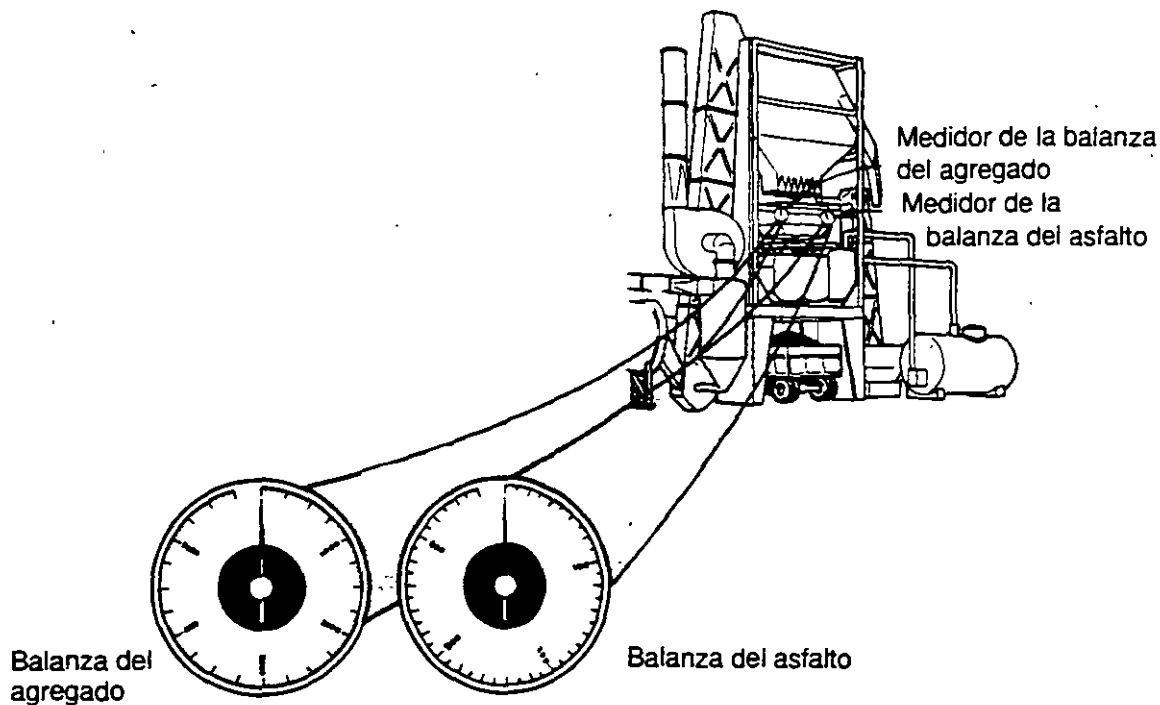


FIGURA 4.50 - Disposición Típica de las Básculas de la Planta.

agregado también pueden ocasionar problemas al alojarse en los soportes de la báscula, causando obstrucción en el movimiento libre de las palancas.

Las básculas de tolva de pesaje para agregado, y las de la cubeta para asfalto, deberán revisarse antes de comenzar la producción, usando para ello pesos normalizados. En algunos estados de los Estados Unidos se requiere que las básculas sean revisadas periódicamente por una agencia oficial. Esto no libra al contratista de su responsabilidad de mantener la precisión en las básculas.

El inspector puede solicitar una verificación con pesos normalizados si llega a sospechar que las básculas se han desajustado durante la producción.

Cuando la planta es instalada por primera vez, se deben llenar las tolvas hasta su capacidad total, y se debe esperar 24 horas o más, con la planta parada, para ensayar las básculas. Este período de espera permite que la planta se ajuste.

Las básculas de agregado se deberán ensayar periódicamente una vez que la planta entra en operación. Esto se efectúa en tres pasos: (1) revisar el balance cuando están vacías, (2) pesar una carga completa, y (3) añadir pesos para verificar que las lecturas del cuadrante aumentan. La báscula de asfalto también se debe ensayar periódicamente de la misma manera.

En ciertas ocasiones, el asfalto es incorporado al mezclador usando un dispositivo dosificador de fluidos en vez de la cubeta pesadora. Estos dispositivos dosificadores son simplemente mecanismos de desplazamiento de volumen, los cuales deben ser revisados periódicamente para verificar su precisión. Cuando se usan estos dispositivos debe establecerse una correlación entre las lecturas del contador y el peso del material, debido a que las lecturas están dadas en términos de volumen desplazado, mientras que el cemento asfáltico usado en la mezcla se calcula con base en su peso. Una manera simple de establecer esta correlación es la siguiente:

- Tome una lectura del contador antes de llenar un recipiente ya tarado.
- Bombee cierta cantidad de asfalto en el recipiente.
- Tome una segunda lectura del contador.
- Obtenga el peso de asfalto del recipiente.
- Divida el peso de asfalto por la diferencia de lecturas (segunda menos primera) del contador. El resultado indica el peso que corresponde a cada división del contador.

Tanto la viscosidad como el peso unitario del asfalto cambian con cambios en la temperatura. Cuando se aumenta la temperatura, la viscosidad disminuye. El peso unitario disminuye a una tasa de 1 por ciento por cada 14 a 16°C (25 a 30°F) de aumento en la temperatura. Algunos contadores de asfalto tienen dispositivos compensadores de temperatura que corrigen el flujo de asfalto cuando ocurren cambios en la temperatura. Cuando se use un contador que no posea este dispositivo, es necesario ajustar la descarga tan pronto ocurra un cambio en la temperatura del asfalto.

4.22 OPERACION DEL AMASADERO (MEZCLADOR)

La cámara en donde el asfalto y el agregado son mezclados es llamada el amasadero o mezclador. En la mayoría de las plantas modernas se usa un mezclador de doble eje. Este consiste de una cámara mezcladora con revestimiento, la cual tiene dos ejes horizontales en donde están montadas varias espigas de paleta, cada cual con dos paletas. Las paletas pueden ser ajustadas y reemplazadas fácilmente.

En general, las paletas deben ser ajustadas de tal manera que no hayan "áreas muertas" dentro del mezclador. Una área muerta es un lugar donde se puede acumular material fuera del alcance de las paletas y no ser mezclado completamente. Las áreas muertas pueden evitarse si se asegura que el espacio libre entre las puntas de las paletas y el revestimiento de la cámara sea menor que la mitad del tamaño máximo del agregado. Las paletas que están demasiado desgastadas o rotas deberán ser ajustadas de nuevo o reemplazadas, antes de poner en marcha la planta.

Un mezclador demasiado lleno puede ocasionar un mezclado no-uniforme (Figura 4.51). Para obtener una eficiencia máxima de operación, las puntas de las paletas deberán ser escasamente visibles en la superficie del material, durante el mezclado. Si el nivel de material es muy alto, el material de la parte superior tiende a "flotar" por encima de las paletas y, por consiguiente, no llega a ser mezclado en su totalidad. Por otro lado, si un mezclador contiene poco material (Figura 4.52), entonces las puntas de las paletas rastrillan el material sin mezclarlo debidamente.

Cualquiera de estos dos problemas puede ser evitado si se siguen las recomendaciones del fabricante para los volúmenes de cargas en el amasadero. Normalmente el volumen fijado por el fabricante esta basado en un porcentaje de la capacidad de la "zona viva" del mezclador. Esta zona viva (Figura 4.53) es el volumen neto, en metros cúbicos (o pies cúbicos), debajo de la línea que se extiende a través del arco superior formado por el radio interior de las espigas de paleta, sin incluir el volumen de los ejes, del revestimiento, de las espigas, y de las paletas.

La Figura 4.54 ilustra el ciclo de mezclado durante el cual el asfalto, los agregados, y el relleno mineral son combinados para formar, dentro del amasadero, una mezcla asfáltica en caliente. El período de tiempo desde que se abre la compuerta de la tolva de pesaje (Paso 1 en la figura) hasta que se abre la compuerta de descarga del amasadero (Paso 4) se conoce como el tiempo de mezclado de la carga. El tiempo de mezclado de la carga debe ser lo suficiente largo para producir una mezcla homogénea de partículas de agregado igualmente distribuidas y uniformemente revestidas. Cuando este tiempo de mezclado es demasiado largo, la exposición

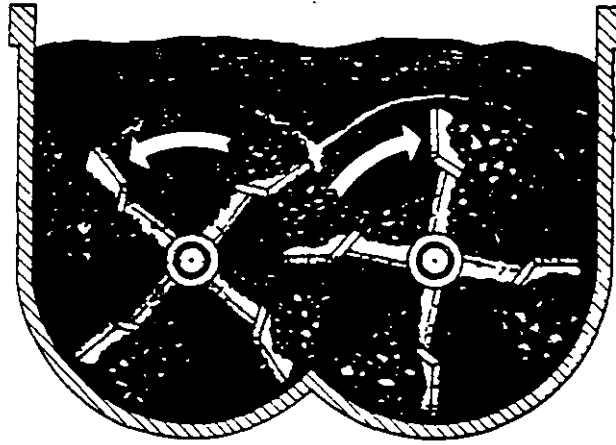


FIGURA 4.51 - Mezclador Demasiado Lleno.

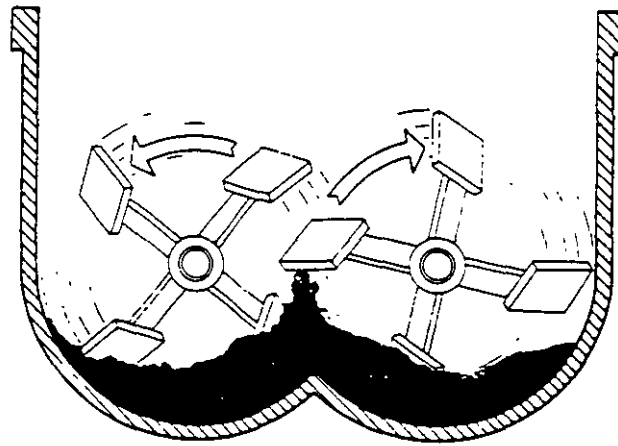


FIGURA 4.52 - Mezclador Muy Vacío.

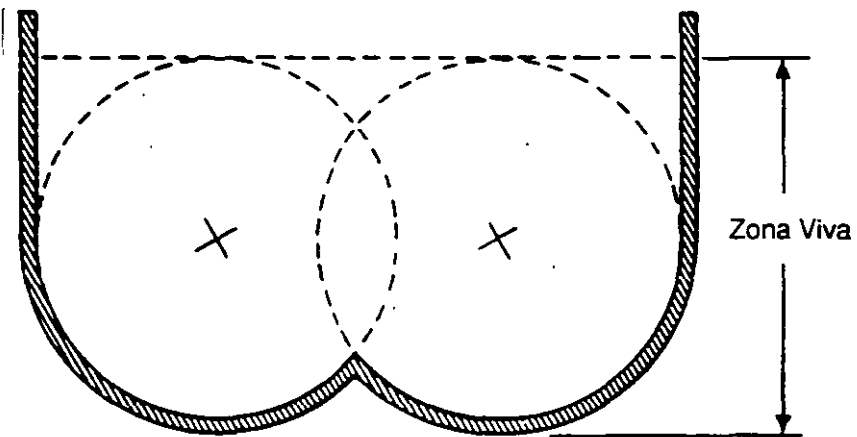


FIGURA 4.53 - "Zona Viva" del Mezclador

prolongada de la película delgada de asfalto a la alta temperatura del agregado, en presencia de aire, afecta desfavorablemente el asfalto y reduce la durabilidad de la mezcla. La mayoría de las especificaciones de la obra requieren el uso de algún tipo de dispositivo para medir tiempo, con el fin de monitorear el tiempo de mezclado de la carga.

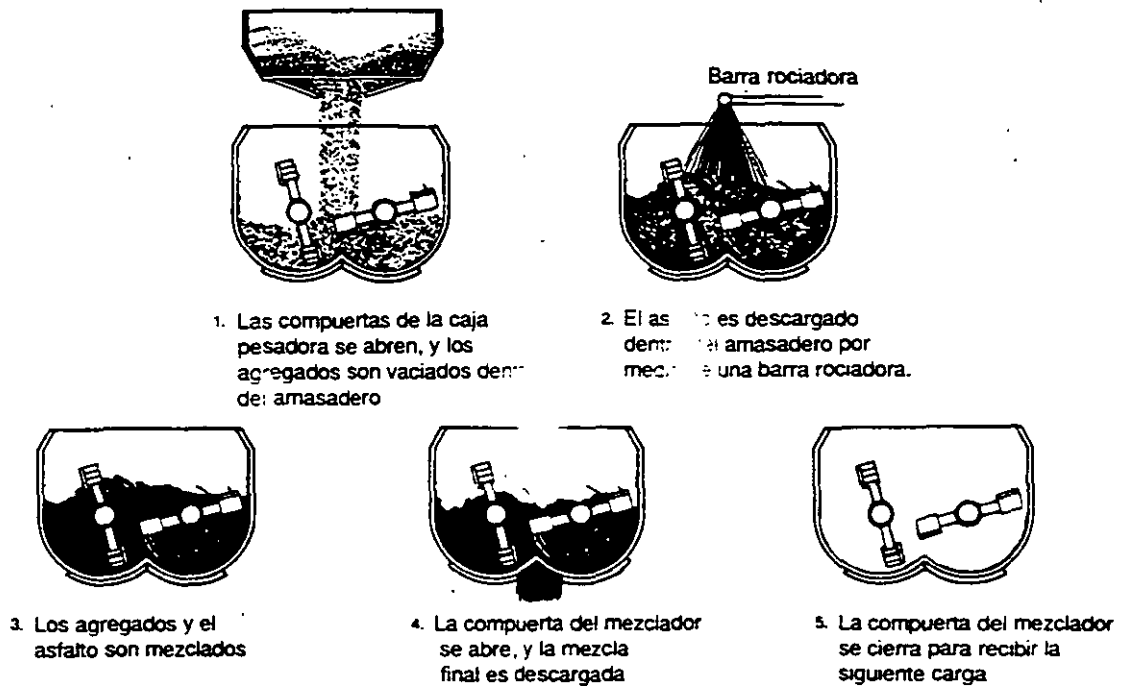


FIGURA 4.54 - Pasos en un Ciclo Típico de una Planta de Dosificación.

El tiempo de mezclado, en cada tipo de planta, puede ser ajustado para cada mezcla dentro de los límites de las especificaciones siguiendo el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 195, Determinando el Grado de Revestimiento de Partícula para Mezclas Bitumen-Agregado, o en la norma ASTM D 2489, Grado de Revestimiento de Partícula para Mezclas Bitumen-Agregado.

En las normas mencionadas anteriormente solo se usan partículas grandes debido a que son las últimas que llegan a ser revestidas en el proceso de mezclado. Los porcentajes típicos mínimos que se requieren para conformidad con las especificaciones son: 90 por ciento de partículas completamente cubiertas para mezclas de base, y 95 por ciento de partículas completamente cubiertas para mezclas superficiales. El tiempo mínimo que se necesita en el amasadero para producir una carga que cumpla con los requerimientos mínimos de revestimiento es conocido como el tiempo mínimo de mezclado.

A continuación se describe el procedimiento para determinar el tiempo de mezclado. Para comenzar la determinación del tiempo de mezclado se sugiere que la planta comience operaciones con un ciclo de mezclado de 30 segundos.

- (1) Se toman tres muestras de la mezcla en caliente inmediatamente después de que esta es descargada del amasadero. Estas muestras deben provenir de tres cargas alternas de camión.
- (2) Las muestras son inmediatamente tamizadas, mientras están calientes, a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada) y el de 4.75 mm (No. 4). Estos tamices solo se aplican a

materiales con tamaños máximos de 9.5 mm (3/8 pulgada). Cada muestra debe ser lo suficiente grande para producir de 200 a 500 partículas gruesas sobre el tamiz. El tamiz no debe ser sobrecargado. Si es necesario, la muestra puede ser tamizada en dos o tres operaciones. El sacudimiento del tamiz debe ser mínimo.

- (3) Las partículas de la muestra son luego colocadas sobre una superficie limpia, en una capa de una sola partícula de espesor. Se procede inmediatamente a contarlas.
- (4) Cada partícula es luego examinada contra la luz directa del sol. La partícula se clasifica como "parcialmente revestida" si tan solo tiene una pequeña parte sin cubrir. Las partículas que están totalmente cubiertas se clasifican como "totalmente revestidas".
- (5) El porcentaje de partículas revestidas, para una muestra, se calcula usando la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje revestido} = \frac{\text{Numero de partículas totalmente revestidas} \times 100}{\text{Numero total de partículas}}$$

- (6) Si el promedio de las tres muestras es mayor que el especificado se puede usar un tiempo menor de mezclado. En este caso se repiten los pasos 1,2,3,4 y 5 hasta que se obtenga el menor tiempo posible de mezclado que produzca el porcentaje especificado. Si el promedio es menor que el especificado, el tiempo de mezclado se debe aumentar en intervalos de 5 segundos hasta que se obtenga la condición deseada.

4.23 AUTOMATIZACION DE LA PLANTA DE DOSIFICACION

Las plantas modernas de dosificación están clasificadas en tres categorías, dependiendo del grado de automatización: (1) manual, (2) semiautomática, y (3) automática. En la operación manual de una planta, cada fase de la dosificación es ejecutada manipulando una palanca, un interruptor, o un botón. Aún en las plantas manuales se han reemplazado las palancas de mano, de las plantas primitivas, por cilindros neumáticos o hidráulicos accionados con interruptores eléctricos. También, todas las plantas, sin importar su clasificación, utilizan fuerza motriz en la operación de los dispositivos de pesaje, mezclado y descarga. Las compuertas de las tolvas, los alimentadores de finos, las válvulas de suministro y rociado de asfalto, la compuerta de descarga de la tolva de pesaje, y la compuerta de descarga del mezclador son operadas por equipos mecánicos.

La planta semiautomática es una en donde varias de las fases de dosificación son ejecutadas automáticamente. La mayoría de las plantas semiautomáticas están diseñadas para que las operaciones de la compuerta de descarga de la tolva de pesaje, de la cubeta pesadora de asfalto, del mezclado húmedo, y de la compuerta de descarga del mezclador, sean efectuadas automáticamente. Los interruptores de control aseguran que todas las funciones ocurran en la secuencia correcta.

La planta automática es casi completamente autosuficiente. Una vez se ajustan las proporciones de la mezcla y los contadores de tiempo, y la planta se pone en marcha, la maquinaria de la planta repite los ciclos de pesado y mezclado hasta que el operador pare la maquinaria o hasta que se presente una escasez de material o hasta que cualquier evento fuera de lo común cause que los controles de la planta paren de trabajar.

Los controles principales de una planta de dosificación totalmente automática incluyen:

- Control automático de los ciclos.
- Control automático de proporcionamiento.
- Control automático del secador.
- Un tablero de control.
- Regulador de formula.
- Controles de tolerancia.
- Entrecierres de dosificación.
- Unidad de registro.

La Figura 4.55 proporciona una lista de los diferentes controles automáticos.

Elemento de la Planta	Control Automático	Función
Alimentador en Frio de Agregado	Operadores de la compuerta de la Tolva	Variar la abertura de la compuerta para controlar la cantidad de material medido
	Transmisión de la Correa Alimentadora	Variar la velocidad de la correa para controlar la cantidad de material medido en cada compartimiento
Sistema de Asfalto	Calentador del Tanque	Mantiene la temperatura correcta del asfalto
	Bomba	Controla el tiempo y la tasa de alimentación
	Cubeta	Pesa, dentro de tolerancias, la cantidad de asfalto necesaria en la carga; entrega asfalto al amasadero
Sistema de relleno mineral	Elevador, Tornillo	Cesa la alimentación cuando se entrega el peso correcto
Secador	Quemador	Ajusta la tasa de calentamiento para calentar los agregados a la temperatura correcta
Colector de Polvo	Controlador de Motor	Activa la unidad cuando la planta se pone en marcha
Tolvas Calientes	Indicador	Muestra el nivel de material
Tolva pesadora	Balanzas	Pesa, dentro de tolerancias, la cantidad de cada agregado que se necesita en la carga; cesa el pesaje si hay muy poco de algún material.
Amasadero	Operador de Compuerta	Descarga la carga completa dentro del mezclador y cierra la compuerta
	Ciclado	Repte las cargas para producir una carga total
	Mezclador	Regula el tiempo de ciclado de la mezcla húmeda
	Operador de la Compuerta del Mezclador	Descarga la carga terminada dentro del transportador y cierra la compuerta.

FIGURA 4.55 - Controles Automáticos para Planta de Dosificación .

El control automático de cada ciclo supe agregados y asfalto de acuerdo a una formula de carga previamente establecida. La apertura y el cerrado de la tolva de pesaje, la compuerta de descarga, la válvula de asfalto, y la compuerta de descarga del amasadero, se efectúan automáticamente, sin ningún control manual. El sistema incluye dispositivos medidores de tiempo, previamente ajustados, para controlar el periodo deseado del ciclo de mezclado húmedo. También incluye equipo automático para determinar si las cantidades extraídas están dentro de los limites de las especificaciones. El ajuste de estos dispositivos debe ser revisado por lo menos una vez por semana para verificar su exactitud.

El control automático de proporcionamiento y el control automático de ciclado trabajan juntos a través de dispositivos de control, previamente ajustados. El inspector debe familiarizarse con la planta en la que se encuentre trabajando, y debe saber como revisar el funcionamiento del sistema de control.

El control automático del secador regula automáticamente la temperatura de los agregados descargados por el secador, dentro de un margen de temperatura previamente ajustado.

El tablero de control de dosificación contiene todos los interruptores y circuitos para una dosificación automática, incluyendo los controles para fijar de antemano el peso de la carga, controles de enclavamiento, controles de tolerancia, e interruptores limitadores. La consola del tablero esta generalmente localizada en un cuarto separado (Figura 4.56), con aire acondicionado, para aislar los efectos del calor, el polvo, y la vibración, los cuales pueden causar problemas de funcionamiento en el sistema.

La unidad de registro está conectada a los circuitos de las básculas. La unidad provee, automáticamente, un registro de los pesos de materiales incorporados en cada carga de mezcla. El registro puede estar en forma de gráfico continuo en donde una línea continua representa pesos de material; o puede estar en forma de cinta continua con números impresos que representan pesos de dosificación.



FIGURA 4.56 - Pasos en un Ciclo Típico de una Planta de Dosificación.

4.24 NORMAS PARA INSPECCION DE PLANTAS

Ciertas funciones y componentes básicos de una planta deben ser inspeccionados regularmente para garantizar que la planta sea capaz de producir una mezcla en caliente conforme con especificaciones, sin importar si el sistema es manual, semiautomático o totalmente automático. A continuación se presenta una lista de partidas que el inspector deberá revisar en todo tipo de plantas de dosificación.

Partidas para la Inspección de la Planta de Dosificación

1. Observe el proporcionamiento exacto de la alimentación en frío de agregados.
 - Para garantizar la combinación correcta de materiales que cumpla con la fórmula predeterminada de la mezcla de obra.
 - Para garantizar el balance correcto de material en las tolvas calientes.
2. Las básculas ajustan en cero correctamente y miden con precisión.
 - Los sistemas de palancas de las básculas están limpios.
 - En las básculas, todas las barras de palancas, los soportes de cuñas, etcétera, deberán estar protegidos donde sea posible.
3. La cubeta de asfalto esta correctamente tarada.
4. La caja pesadora de agregado esta colgando libremente.
5. Condición y funcionamiento del mezclador.
 - Las partes del mezclador están en buena condición y están ajustadas.
 - La cantidad correcta de carga esta siendo mezclada.
6. Tiempo suficiente de mezclado.
7. Distribución uniforme de asfalto y agregado en el amasadero.
8. Escapes de válvulas y compuertas que necesitan ser reparados.
9. Temperatura correcta del agregado y el asfalto cuando estos materiales son introducidos a los receptáculos pesadores.
10. Cribas desgastadas o dañadas.
11. Contenido de humedad del agregado después de que sale del secador.
12. Todos los requerimientos correctos de seguridad están en orden.

Las siguientes partidas deberán añadirse a la lista del inspector en las plantas donde se usa un panel automático de control:

Partidas para la Inspección del Panel Automático de Control

1. Los datos de entrada o de la fórmula están correctos.
2. La secuencia de extracción de las tolvas esta correcta.
3. El interruptor automático esta en la posición "ON".
4. Los medidores de tiempo del mezclado están correctamente ajustados.
5. Todos los interruptores de control están en la posición correcta.

El inspector deberá revisar, regularmente, las siguientes partidas, si la planta utiliza un dispositivo automático de registro:

Partidas para la Inspección del Registrador Automático

1. Los listados concuerdan precisamente con las cantidades de entrada de material y con las lecturas de báscula.
2. Los listados del agregado están referenciados correctamente a las tolvas correspondientes.
3. El teclado del registrador esta cubierto.
4. Las lecturas de los listados permanecen continuas.

4.25 OPERACIONES DE LA PLANTA MEZCLADORA DE TAMBOR

El propósito de esta sección es describir las funciones específicas de una planta mezcladora de tambor, y desarrollar en el inspector las habilidades necesarias para garantizar que la planta trabaje de una manera tal que produzca una mezcla que cumpla con las especificaciones de la obra. Específicamente, al completar el estudio de esta sección, el inspector deberá ser capaz de:

- Conocer los componentes principales de una planta mezcladora de tambor.
- Explicar el propósito de cada componente.
- Describir como trabaja cada componente.
- Esbozar el proceso a medida que los materiales pasan a través de la planta de tambor.
- Reconocer los problemas potenciales que pueden ocurrir durante la operación de la planta y describir las medidas apropiadas para prevenir dichos problemas.
- Dictar las medidas necesarias que se deben tomar para corregir cualquier deficiencia que se detecte en la mezcla.

Adicionalmente, el inspector deberá tener una buena consciencia de los peligros potenciales asociados con plantas mezcladoras de tambor, y de la necesidad de estar constantemente alerta sobre prácticas inseguras.

4.26 INTRODUCCION

El mezclado de tambor es un proceso relativamente simple para producir mezcla asfáltica en caliente. El tambor mezclador (Figura 4.57), de donde la planta obtiene su nombre, es muy parecido en apariencia al tambor secador de una planta de dosificación. La diferencia entre ambos tipos de plantas es que en las plantas mezcladoras de tambor el agregado es secado y calentado dentro del tambor, junto con el cemento asfáltico. En una planta mezcladora de tambor no hay cribas de graduación, tolvas calientes, tolvas de pesaje o amasaderos. La graduación del agregado es controlada en el alimentador en frío.

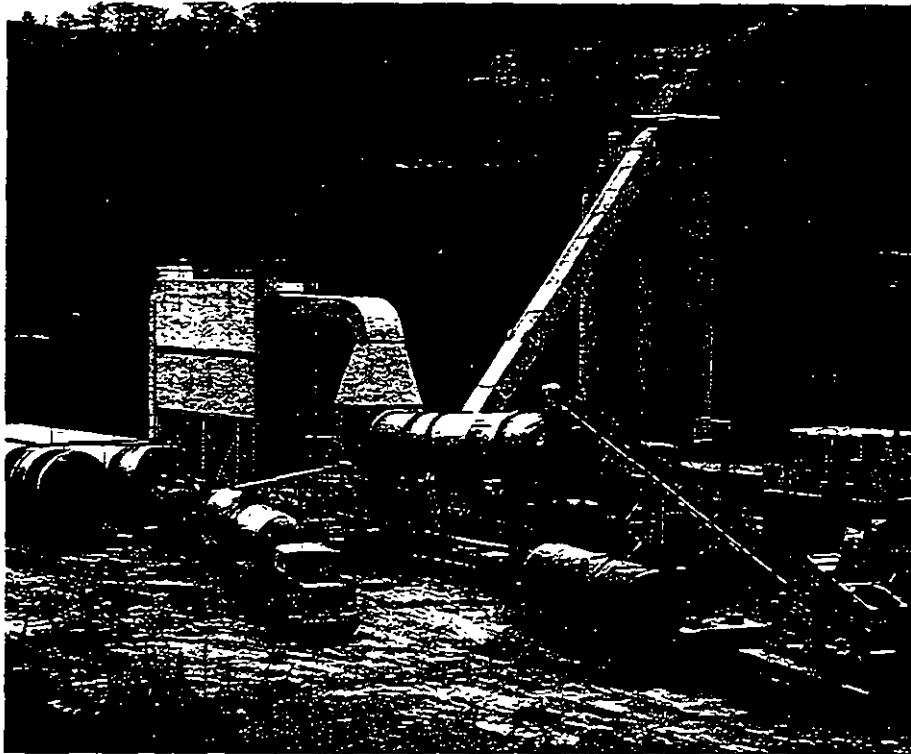


FIGURA 4.57 - Planta Mezcladora de Tambor.

La rotación del tambor provee la acción mezcladora que combina totalmente el cemento asfáltico con los agregados. Una vez que la mezcla es descargada del tambor, esta es transportada a un depósito de compensación de donde es, posteriormente, cargada en camiones.

4.27 HISTORIA DE LAS PLANTAS MEZCLADORAS DE TAMBOR

El mezclado de tambor de materiales de concreto asfáltico fue introducido, originalmente, alrededor de 1910. Mas de cien plantas pequeñas mezcladoras de tambor fueron operadas hasta mediados de los años treinta, siendo entonces reemplazadas por plantas mezcladoras continuas y plantas de dosificación de mayor capacidad. El proceso de mezclado de tambor fue resucitado en forma mas avanzada a finales de los años sesenta.

En años recientes, las planta mezcladoras de tambor, también llamadas mezcladores de tambor y tambores secadores, han llegado a ser ampliamente usadas en la industria de mezclas asfálticas en caliente. Después de ser introducidas en gran escala a principios de los años setenta, las plantas mezcladoras de tambor rápidamente adquirieron popularidad entre los contratistas debido a su portabilidad, eficiencia y economía. Los mezcladores de tambor también tienen la habilidad de producir grandes cantidades de mezcla de alta calidad a temperaturas relativamente bajas.

Varios procesos de mezclado en tambor han sido desarrollados tanto en Estados Unidos como en Europa. Común a cada proceso es el calentamiento, secado y revestimiento del agregado con cemento asfáltico, dentro del tambor secador.

4.28 OPERACIONES Y COMPONENTES DE LA PLANTA MEZCLADORA DE TAMBOR

Los componentes principales de una planta mezcladora de tambor (Figura 4.58) son:

- Tolvas de agregado de alimentación en frío.
- Sistema de transporte y pesado de agregado.
- Mezclador de tambor.
- Sistema colector de polvo.
- Transportador de mezcla en caliente.
- Silo de compensación para mezcla.
- Cabina de control.
- Tanque de almacenamiento de asfalto.

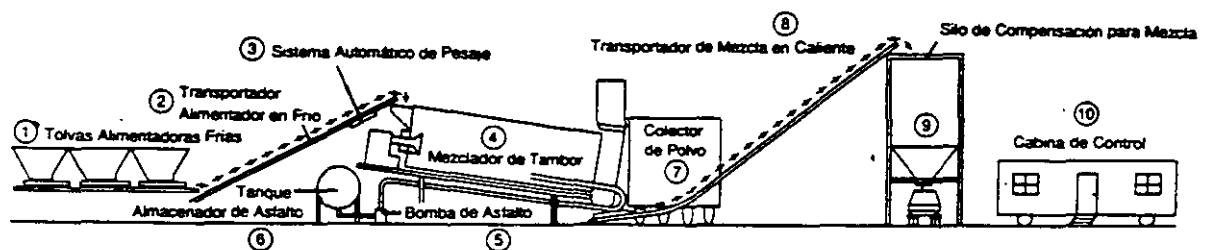


FIGURA 4.58 - Planta Mezcladora de Tambor.

A continuación, y haciendo referencia a la Figura 4.58, se presenta una descripción breve y general de la secuencia de los procesos involucrados en la operación de una planta típica mezcladora de tambor. Las graduaciones controladas de agregado son depositadas en las tolvas de alimentación en frío (1) de donde proporciones exactas son alimentadas a un transportador de alimentación en frío (2). Un sistema automático de pesaje (3) monitorea la cantidad de agregado que entra al mezclador de tambor (4). El sistema de pesaje esta entrelazado con los controles de la bomba de asfalto (5), la cual extrae asfalto del tanque de almacenamiento (6) y lo envía al tambor. La acción rotatoria del tambor combina totalmente el asfalto y el agregado. Un sistema colector de polvo (7) atrapa el exceso de polvo que escapa del tambor. Después de salir del tambor, la mezcla en caliente es transportada por un transportador de mezcla en caliente (8) hacia el silo de compensación (9) de donde es cargada en los camiones y luego transportada al sitio de pavimentación. Todas las operaciones de la planta son monitoreadas y controladas con instrumentos que se encuentran en la cabina de control (10).

El proceso de mezclado es esencialmente el mismo en todas las plantas mezcladoras de tambor. Sin embargo, los métodos usados para alimentar el material al secador pueden variar.

La producción de una mezcla en caliente que cumpla con las especificaciones de la obra se logra, mas fácilmente, cuando las diversas partes y funciones de la planta están balanceadas; o sea, cuando están correctamente coordinadas para trabajar juntas como una sola unidad. Una operación uniforme (sin interrupciones) de planta es también esencial para la producción de una mezcla asfáltica en caliente de alta calidad. El proporcionamiento exacto de los materiales depende, en su totalidad, del flujo uniforme de esos materiales. Las interrupciones y puestas en marcha de la planta afectan desfavorablemente la calidad de la mezcla.

El siguiente equipo de control es requerido en todas las plantas, para garantizar el balance y la uniformidad que se necesita para producir una mezcla en caliente de concreto asfáltico que cumpla con todas las especificaciones:

- Controles separados de alimentación en frío para cada tamaño de agregado.
- Controles de enclavamiento para la alimentación en frío del agregado, la entrega de asfalto y la entrega de aditivos al tambor.
- Controles automáticos para el quemador.
- Colector principal de polvo que pueda re-alimentar material al sistema o que pueda desechar el polvo.
- Sensores para medir la temperatura de la mezcla caliente en la descarga del tambor.
- Controles de compuertas en el depósito de compensación.
- Compensador de humedad.

Los controles y los dispositivos de monitoreo están usualmente localizados en la cabina de control, en donde hay una buena visibilidad de toda la operación de la planta.

4.29 ALIMENTACION Y ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO

En una planta mezcladora de tambor, la graduación y la uniformidad de la mezcla dependen completamente del sistema de alimentación en frío. Se debe ejercitar un cuidado apropiado en la producción, y en el almacenamiento, del agregado. El contratista deberá proveer la mejor manera de recibir y manejar los agregados, de tal forma que no haya peligro de contaminación ni entremezclado de material. Esto significa, entre otras cosas, proveer superficies limpias en donde puedan colocarse los materiales.

Los apilamientos deben estar correctamente graduados, por lo cual se recomienda dividirlos en fracciones de diferentes tamaños. Existen diferentes prácticas con respecto a los tamaños de

agregados que son separados en diferentes apilamientos. Sin embargo, para mezclas bien-graduadas con tamaño máximo de 12.5 mm a 25 mm (1/2 a 1 pulgada), se deben construir al menos dos acopios.

Para mezclas con tamaño máximo mayor a 25 mm (1 pulgada) puede ser deseable dividir el agregado en tres acopios. Sin esta separación puede ser difícil mantener un control correcto sobre la granulometría.

La segregación puede prevenirse si se construyen los acopios en capas de hasta 1.2 metros (4 pies) de espesor, y si se remueve el agregado de las partes superiores del acopio para minimizar los derrumbes de las pendientes.

Los acopios segregados ocasionan problemas en la graduación de la mezcla si no se corrige la segregación antes de que el material entre a la sección mezcladora de la planta. Es la decisión del operador de la planta optar establecer y mantener acopios no-segregados, o por construir acopios de la manera mas económica y después corregir deficiencias en la uniformidad antes de que el agregado sea alimentado a la sección mezcladora de la planta. Todos los esfuerzos deberán estar dirigidos a producir, en la sección mezcladora, la combinación correcta de agregados uniformemente graduados, sin importar la forma como se maneje el material.

El agregado debe ser proporcionado antes de entrar al tambor mezclador, debido a que la planta mezcladora de tambor no contiene una unidad cribadora como la que existe en la planta de dosificación. La manera más eficiente de lograr esto es mediante el uso de un sistema de alimentación en frío de tolvas múltiples equipado con bandas alimentadoras de alta precisión. Debajo de cada tolva hay una banda alimentadora que recibe la proporción correcta de cada agregado. Controles de alta precisión (Figura 4.59) son usados para alimentar las proporciones exactas sobre la banda.

La planta deberá estar equipada con medios para obtener muestras representativas de agregado de cada alimentador individual, y del alimentador total. El inspector, o el técnico, tendrá que efectuar un análisis granulométrico del agregado seco obtenido en estas muestras.

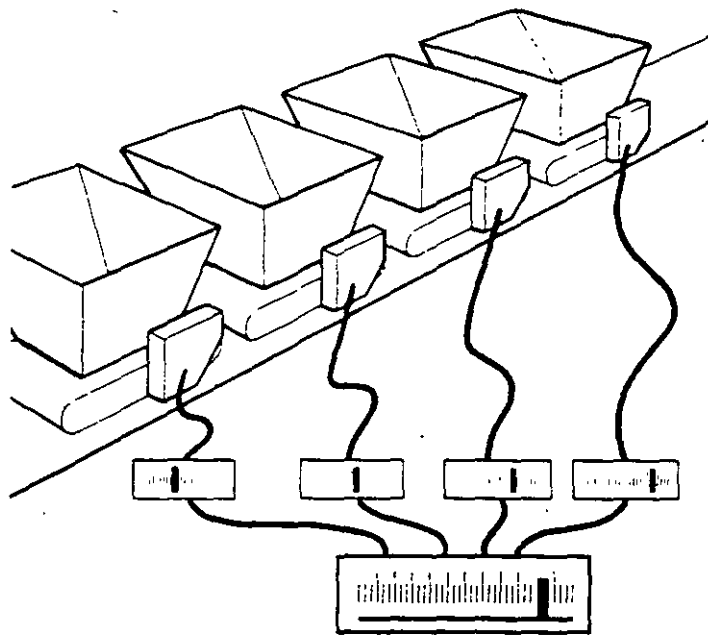
El control de la alimentación en frío consiste de lo siguiente:

1. Análisis granulométrico del agregado de cada tolva.
2. Calibración de los alimentadores - abertura de compuerta y velocidad de banda.
3. Establecer proporciones de las tolvas.
4. Fijar las aberturas de las compuertas y las velocidades de las bandas.

Una vez calibradas, las aberturas de las compuertas deberán revisarse frecuentemente para garantizar que estén correctamente ajustadas. Todos los ajustes deberán considerarse como temporales puesto que el agregado frío usado en la mezcla puede variar en granulometría y en contenido de humedad, y esto puede requerir de ajustes posteriores en las compuertas para poder mantener un flujo uniforme.

Para poder calibrar el sistema medidor de agregados y poder trazar gráficos de la capacidad del alimentador en frío es necesario usar un dispositivo, o método, de muestreo. El dispositivo deberá permitir que el flujo de agregado sea desviado hacia un recipiente colector para poder hacer revisiones precisas de peso sobre muestras cronometradas de agregado (Figura 4.60). Dichos dispositivos son usualmente instalados en el extremo de la banda transportadora, justo antes de la entrada al mezclador de tambor.

Las plantas mezcladoras de tambor requieren de un sistema continuo de pesaje en las bandas transportadoras de alimentación en frío. Los sistemas de pesaje de banda, también conocidos como puentes-báscula (Figura 4.61), son dispositivos continuos de pesaje usados para este propósito. La combinación de agregados que pasa sobre la banda transportadora es continuamente



Control Maestro de la Alimentación en Frío

FIGURA 4.59 - Control Maestro de Alimentación en Frío.

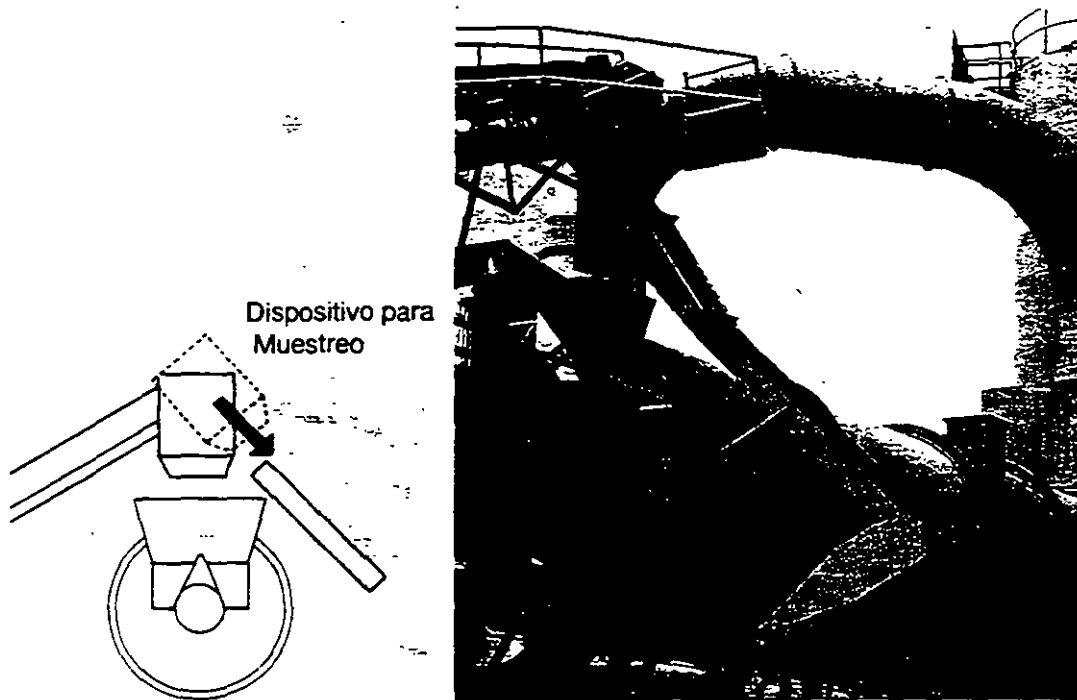


FIGURA 4.60 - Dispositivo Típico de Muestreo.

pesada, y una lectura (en la cabina de control) indica el peso del material que esta sobre la báscula, en un instante dado. Ningún material deberá ser desviado de la banda transportadora después de que pase por el sistema de pesaje de banda.

La Figura 4.61 muestra una de las guías del sistema de pesaje de banda (designada la guía pesadora), la cual aparece montada sobre un portador pivotado de báscula. A medida que la banda cargada pasa sobre esta guía, el peso es registrado en toneladas por hora, y una lectura es mostrada en la consola de control que se encuentra en la cabina de control. Esta lectura es normalmente corregida para dar cuenta de la humedad en el agregado (puesto que los datos del agregado seco son usados para establecer el porcentaje requerido de asfalto), siendo una lectura importante en el monitoreo de las operaciones de la planta.

El sistema de pesaje de banda esta usualmente localizado, a mitad de camino, entre la cabeza y el cabo de la polea de la banda transportadora de alimentación en frío. Esta ubicación tiende a disminuir las variaciones en la lectura que pueden ser ocasionadas por impactos en la distribución de cargas, por retroceso del agregado, o por cambios en la tensión de la banda. Se pueden proveer medios para desviar los agregados hacia los camiones, los cargadores de tractor, u otros recipientes, en el caso de tener que revisar la precisión del sistema de pesaje de banda. El sistema deberá tener una precisión de ± 0.5 por ciento.

En las plantas mezcladoras de tambor el agregado es pesado antes de ser secado. Es importante obtener una medida precisa del contenido de humedad del agregado, debido a que el agregado sin secar puede tener una cantidad apreciable de humedad, la cual puede llegar a afectar su peso. A partir de la medida de humedad se pueden hacer ajustes en el sistema (automático) medidor de asfalto, para garantizar que la cantidad de asfalto descargada en el tambor sea la adecuada para la cantidad usada de agregado (sin humedad).

El inspector deberá monitorear el contenido de humedad del agregado frío antes de comenzar las operaciones del día, y luego, alrededor del mediodía. El contratista deberá ajustar el equipo de control de humedad de acuerdo a las observaciones del inspector. El contenido de humedad deberá ser revisado con mas frecuencia si se sospechan variaciones durante el día. El contenido de humedad puede ser determinado manualmente o electrónicamente. Deberá haber provisiones para corregir y convertir electrónicamente las lecturas de peso de agregado húmedo en lecturas de peso de agregado seco.

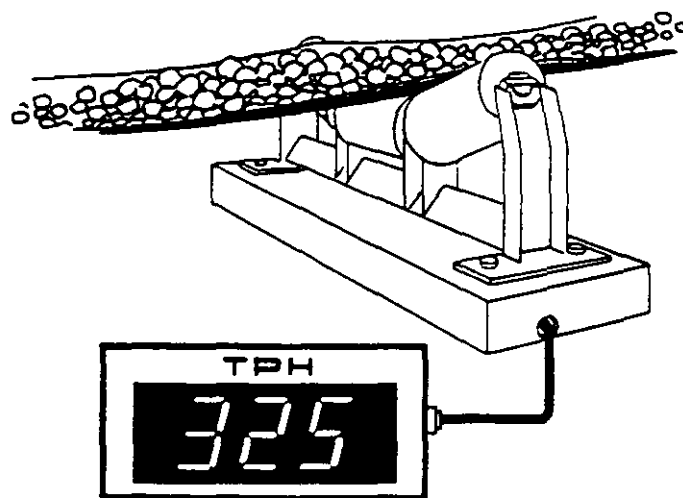


FIGURA 4.61 - Pesador Directo de Banda.

4.30 MEDICION DE ASFALTO

Generalmente, el mezclador de tambor esta equipado con un dispositivo (Figura 4.62) para añadir asfalto.

El sistema medidor de distribución de asfalto es un sistema mecánico continuo de proporcionamiento, enclavado con el sistema de pesaje de agregado para garantizar el contenido exacto de asfalto en la mezcla. El peso de agregado que va en el mezclador, tal como es medido por el sistema de pesaje de banda, es la base para determinar la cantidad de asfalto que debe ser descargada en el tambor.

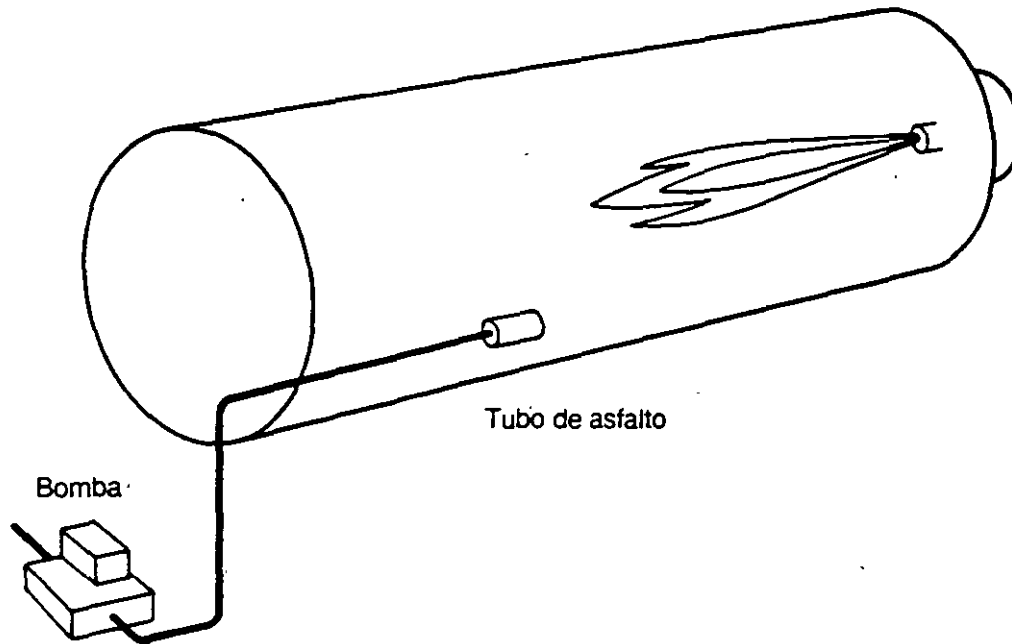


FIGURA 4.62 - Entrada de Asfalto.

La proporción de asfalto se obtiene al establecer la cantidad de descarga (en galones por minuto) necesaria para que concuerde con la cantidad de descarga de agregado (en toneladas de agregado seco por hora). La cantidad de descarga de asfalto es aumentada o disminuida proporcionalmente, de acuerdo a la medida corregida de peso seco del agregado que esta pasando sobre la báscula de banda. La cantidad de descarga de asfalto es indicada por un contador que se encuentra sobre el panel de control.

Típicamente, las cantidades de descarga de agregado y de cemento asfáltico son registradas en gráficas circulares de registro continuo, localizadas en la cabina de control. Las gráficas proveen un registro permanente, y un monitoreo, del proporcionamiento de cemento asfáltico y agregado.

4.31 OPERACION DEL MEZCLADO POR TAMBOR

4.31.A Descripción General

El corazón de la planta mezcladora de tambor es el mezclador en si. El mezclador es similar en su diseño y construcción al secador rotatorio de una planta de dosificación, excepto que un mezclador de tambor no solamente seca el agregado sino que también lo combina con el asfalto para formar la mezcla en caliente.

El mezclador de tambor puede ser dividido en dos zonas o secciones: (1) una zona primaria o de radiación, y (2) una zona secundaria o de convección y revestimiento (Figura 4.63).

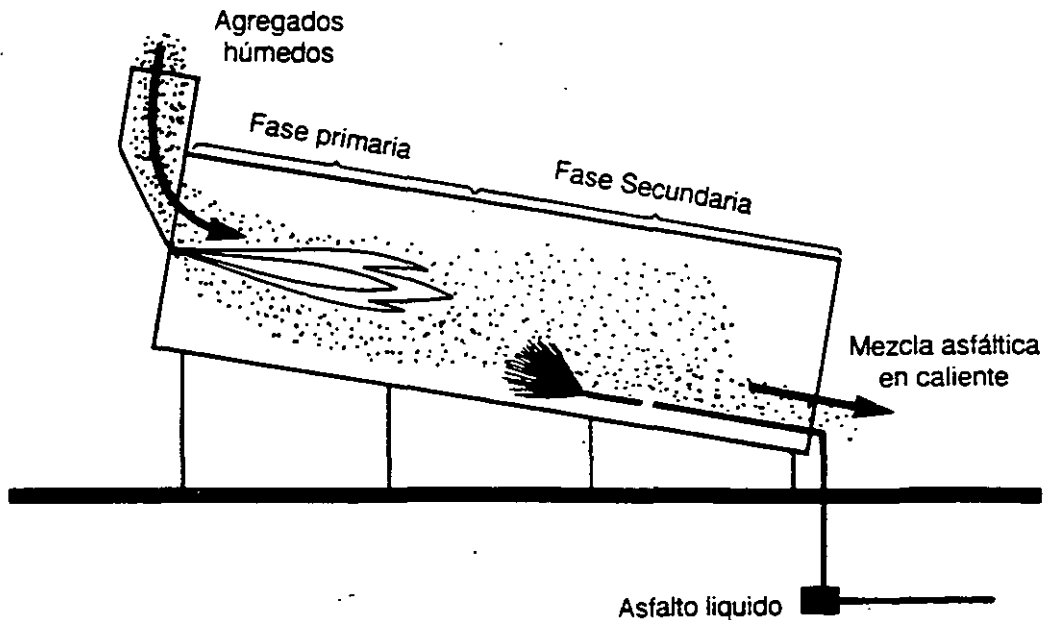


FIGURA 4.63 - Zonas en un Mezclador de Tambor.

Los agregados entran en la zona primaria, en donde son calentados y secados por medio del quemador. Después pasan a la zona secundaria en donde el asfalto es añadido y mezclado completamente con el agregado. En esta zona también hay un secado continuo por convección. La mezcla de asfalto caliente, junto con la humedad proveniente del agregado, produce una masa espumosa que atrapa el material fino (polvo) y ayuda en el revestimiento de las partículas gruesas.

Es importante, dentro del tambor, que el agregado no solo gire con la acción rotatoria del tambor, sino que también se extienda lo suficiente para que el secado y calentamiento de todas las partículas sea eficiente y rápido. Los tambores están equipados con aspas para dirigir el flujo de agregado y esparcirlo en forma de cortina a través de la sección transversal.

Unas aspas de espiral, localizadas en el extremo de carga (quemador) del tambor, dirigen el agregado húmedo hacia el interior para lograr una distribución uniforme de material. Luego unas aspas ahusadas levantan los agregados y los dejan caer en una cortina pareja a través de la llama del quemador. Las aspas siguientes dirigen el agregado a través del tambor, y continuamente lo dejan caer en forma de cortina a través de la sección transversal del tambor.

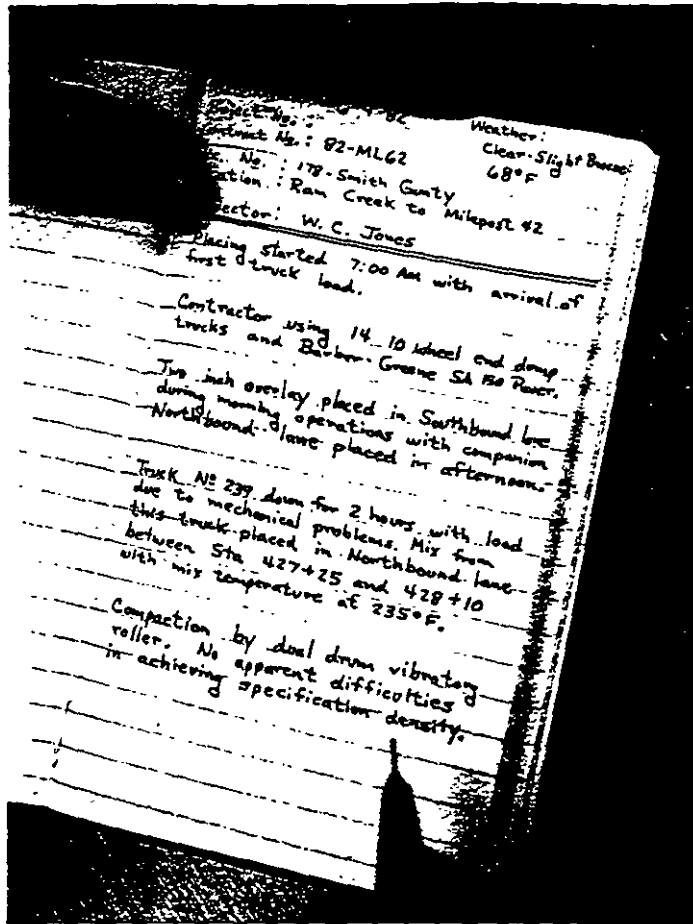


Figura 5.1 - Hoja Típica del Diario del Inspector.

5.3 PREPARACION PARA LA PAVIMENTACION

5.3.A. Preparación e Inspección Superficial

La mezcla asfáltica en caliente puede colocarse sobre una variedad de superficies, incluyendo:

- Subrasante (suelo).
- Capa granular de base (agregado).
- Pavimento asfáltico existente.
- Pavimento existente de concreto de cemento Portland.

Ciertos procedimientos de inspección y control son comunes en la preparación de todas estas superficies. Otros conciernen tan solo a uno o dos tipos de superficie. A continuación se describen, para cada tipo de superficie, los detalles de inspección y preparación que deben ser revisados y llevados a cabo.

5.3.A.1 Subrasante - La subrasante (suelo) debajo del pavimento es la fundación del pavimento. La subrasante debe cumplir con ciertas especificaciones, sin importar el tipo de pavimento que se vaya a colocar. Debe ser lo suficiente resistente para soportar el pavimento y el tránsito

esperado. También debe estar propiamente graduada para garantizar un buen drenaje y una superficie suave y debe tener un coronamiento correcto. Además, debe estar completa y uniformemente compactada a la densidad requerida.

Durante la inspección de la subrasante, el inspector deberá buscar áreas de suelo blando pues estas áreas son demasiado débiles para soportar correctamente el equipo de pavimentación. Dichas áreas deberán ser corregidas antes de la pavimentación. Además, se deberán hacer revisiones periódicas del perfil transversal y del perfil longitudinal de la subrasante. Si estos no están dentro de los límites de tolerancia, entonces se deberán corregir, ya sea removiendo material, o añadiendo y compactando material igual al que está en el lugar.

Si se va a colocar un pavimento FULL-DEPTH (termino patentado por el Instituto del Asfalto y definido en el glosario), se deben tomar ciertas precauciones. Un pavimento FULL-DEPTH es aquel en donde el asfalto es usado, como ligante del agregado, en todas las capas que están por encima de la subrasante. La mezcla en caliente es colocada directamente sobre la subrasante.

La superficie de la subrasante debe ser firme, dura y resistente, para que un pavimento FULL-DEPTH pueda ser colocado correctamente. Además, la superficie debe estar libre de partículas sueltas y de acumulaciones de polvo. Las partículas sueltas se podrán remover con escobas de mano cuando las áreas que ocupan son pequeñas. En áreas mas grandes, se recomienda usar barredoras mecánicas.

5.3.A.2 Capa de Base - Una capa de base puede ser una capa de material granular (agregado) colocada y compactada sobre la subrasante, o puede ser, en el caso de un pavimento FULL-DEPTH, una capa de concreto asfáltico. En cualquier caso, la base debe tener una resistencia uniforme, y debe estar dentro de los límites de tolerancia especificados para su rasante. Además, la superficie debe estar libre de desechos y de acumulaciones de polvo.

5.3.A.3 Pavimento Asfáltico - Una capa de concreto asfáltico colocada sobre un pavimento existente se denomina refuerzo de mezcla en caliente. Un refuerzo está diseñado para rehabilitar y reforzar un pavimento viejo, extendiendo a la vez su vida útil y corrigiendo irregularidades superficiales.

El pavimento existente debe prepararse correctamente para asegurar un buen refuerzo. Se deben reparar los baches y las secciones inestables. También se deben limpiar las pequeñas depresiones, y se deben rellenar adecuadamente con material. Las depresiones mas profundas deben excavar y reemplazarse con material nuevo. Si la capa de base debajo de un pavimento viejo, o la subrasante, se encuentra en mal estado, entonces se debe reparar. Las juntas desniveladas se deben emparejar, y las grietas se deben sellar.

Las partes altas en el pavimento se pueden reparar usando una alisadora en caliente. Esta maquina calienta el asfalto viejo y luego lo cepilla hasta un espesor previamente determinado. Las fresadoras en frío también hacen el mismo trabajo sin tener que calentar el asfalto viejo (Figura 5.2).

Cuando la superficie esta deformada, se requiere la construcción de capas nivelantes para establecer de nuevo la rasante y también una correcta sección transversal. Es importante que se efectúe una corrección previa de la superficie del pavimento en el caso que se vayan a colocar capas superficiales delgadas. Además, puede ser necesario efectuar alisamientos en áreas en donde se deba enrasar la superficie con una elevación existente, o en áreas donde se requiera un mantenimiento con un espacio libre mínimo (e.g. áreas debajo de puentes).

CAPITULO 5

OPERACIONES DE COLOCACION

5.1 OBJETIVOS DEL INSPECTOR

Al concluir este capítulo del manual, el inspector deberá:

- Conocer todos los procedimientos necesarios para colocar una mezcla asfáltica en caliente.
- Estar familiarizado con los fundamentos del asfaltador y de la enrasadora.
- Conocer los fundamentos y las funciones del control automático de la enrasadora.
- Conocer como planear y controlar una operación de pavimentación de un ancho y un espesor definidos.
- Conocer como calzar y/o construir juntas transversales y longitudinales.
- Conocer las posibles deficiencias que puede haber en la colocación y en las características de la mezcla, y conocer como pueden ser corregidas.

5.2 INTRODUCCION

5.2.A Antecedentes

Los esfuerzos y las habilidades del inspector resultan ser mas evidentes en la colocación de la mezcla asfáltica en la calzada, que en cualquier otro aspecto de la construcción de pavimentos asfálticos. El conocimiento del inspector, y su control sobre la operación de pavimentación, pueden significar la diferencia entre un pavimento durable (de rodamiento suave) y uno áspero, poco firme y de deficiente transitabilidad.

El inspector tiene dos responsabilidades mayores durante la operación de pavimentación:

- Asegurar que las especificaciones del contrato sean cumplidas, y
- Darle al contratista la oportunidad de cumplir especificaciones de la manera mas económica posible.

Al cumplir con la primera responsabilidad, el inspector le esta garantizando al público un pavimento que va a tener buen rendimiento por un largo periodo de tiempo. El cumplimiento de la segunda responsabilidad garantiza la cooperación del contratista, la cual es esencial para la construcción de un pavimento de buena calidad.

Para satisfacer estas responsabilidades el inspector debe tener una relación cordial, y de cooperación, con el contratista. También debe conocer completamente las especificaciones de la obra. Además, debe estar familiarizado con el equipo necesario para efectuar las operaciones de pavimentación, y con el uso correcto de este equipo.

Debido a que la comunicación es indispensable para lograr operaciones exitosas de pavimentación, es importante concertar una reunión de construcción antes de comenzar el trabajo. Esta reunión permite que el ingeniero de obra, el jefe de pavimentación, el contratista, el inspector, y otros directamente involucrados con la operación, discutan asuntos como los siguientes:

- Quién esta autorizado para recibir ordenes del ingeniero y quién esta autorizado para entregar dichas ordenes al contratista.
- Revisiones del programa de pavimentación o de las especificaciones.
- Uso de equipos nuevos o uso de métodos nuevos de ensayo.
- Capacidad de producción de la planta y del asfaltador.
- Control de tránsito.
- Mantenimiento de registros.
- Requerimientos especiales de equipo o de personal.
- Construcción de un tramo de prueba.

La reunión de construcción es el lugar en donde las preguntas deben ser contestadas, los problemas deben ser resueltos, y los canales de comunicación y mando deben ser establecidos. Es el momento de establecer relaciones con todo el personal de la obra para que puedan evitarse, mas adelante, las confusiones y las fricciones.

5.2.B Responsabilidades del Inspector

El inspector de pavimentación deberá estar completamente familiarizado con las especificaciones de la obra y deberá observar que estas se cumplan durante la operación de pavimentación.

El inspector deberá asegurar que cada carga de mezcla sea satisfactoria, que los datos de la boleta del camión estén registrados con precisión, y que el asfaltador este siendo operado correctamente. Si aparecen deficiencias en la carpeta durante la colocación, el inspector deberá estar seguro de que estas se rectifiquen antes de que la mezcla se enfríe.

El inspector deberá prestar atención a los detalles como el espesor correcto de la capa, el perfil transversal apropiado, la construcción y el apareamiento correcto de las juntas, y la textura y uniformidad superficial.

El inspector deberá monitorear la temperatura de la mezcla en caliente para asegurar que la temperatura correcta se mantenga durante la operación de pavimentación.

El inspector deberá mantener un diario o registro como referencia futura, y deberá registrar cualquier cosa inusual o cualquier evento que pueda ser usado mas adelante.

El inspector deberá saber apreciar su responsabilidad. Cuando sea necesario, deberá ser prudente en el trato con el contratista y en sus solicitudes de acciones remediales.

El inspector deberá mantener registros precisos y detallados. Además de la información incluida en los boletos de carga, el inspector deberá registrar cualquier evento o cambio inusual en los métodos de construcción, en el equipo, o en la apariencia o manejo de la mezcla, junto con la estación (localización) de la vía donde se presentó el cambio.

El diario del inspector se usa para su conveniencia durante la construcción, pero también debe formar parte de los registros permanentes de la obra, una vez esta termine. La Figura 5.1 muestra una hoja típica del diario del inspector.

Además de la información citada anteriormente, el inspector deberá incluir los resúmenes de los reportes de los ensayos de densidad efectuados con muestras de pavimento, para cada tipo de mezcla usada. El inspector deberá anotar cualquier retraso ocurrido, y su causa, así como los nombres de todas aquellas personas que visiten la obra.

La temperatura de mezcla es monitoreada continuamente mediante un dispositivo sensor localizado en el extremo de descarga del mezclador. Los registradores de temperatura y otros indicadores se encuentran en la cabina de control, junto con los controles del quemador.

Deberá haber un medio apropiado para inspeccionar y muestrear la mezcla en la descarga del tambor.

4.31.B Control y Operación del Quemador

El propósito del quemador que esta dentro del mezclador de tambor es proveer el calor necesario para calentar y secar los agregados usados en la mezcla final. Los quemadores proporcionan este calor al quemar combustible - aceite, gas, o ambos.

Una vez el aceite combustible es quemado, se procede a utilizar tirajes de aire de baja presión para atomizar el combustible. Los quemadores que usan gas natural, y gas licuado de petróleo, pueden ser unidades de baja o alta presión. En cualquier caso, el alimentador de combustible y el ventilador de aire deben estar balanceados para garantizar que las proporciones correctas de aire y combustible sean incorporadas en el quemador, y así poder lograr una combustión eficiente. Una falta de balance puede ocasionar una combustión incompleta del combustible, la cual, especialmente en el caso de combustible de petróleo o combustible diesel, puede dejar un revestimiento aceitoso sobre las partículas de agregado.

Estas faltas de balance entre la alimentación de combustible y el flujo de aire pueden ser corregidas disminuyendo la tasa de alimentación de combustible, o aumentando la cantidad de aire del ventilador.

4.32 SILO DE COMPENSACION Y BASCULAS DE PESAJE

En la operación de una mezcladora de tambor, la cual produce un flujo continuo de mezcla en caliente, es necesario tener un silo de compensación para almacenar temporalmente el material y para controlar el cargamento de los camiones. Un sistema de pesaje puede estar conectado a la tolva de retención del silo para monitorear la cantidad de material que es cargada en cada camión. Las mediciones de peso son normalmente registradas por un panel de control de pesaje, localizado en la cabina de control.

4.33 RESUMEN DE MEZCLADORES DE TAMBOR

Los componentes principales de una planta mezcladora de tambor han sido discutidos, junto con la necesidad de un control estrecho de la granulometría del agregado en las tolvas frías, y del agregado y del asfalto que entran en el mezclador de tambor. También se discutieron las funciones principales del mezclador de tambor, en el cual se combinan los materiales para formar una mezcla asfáltica en caliente.

Es necesario seguir los procedimientos de inspección de plantas mezcladoras de tambor, para garantizar que los materiales sean correctamente proporcionados y mezclados a la temperatura deseada. Estos procedimientos incluyen la inspección del equipo de proporcionamiento, el muestreo y los ensayos de la granulometría del agregado, la determinación del contenido de humedad del agregado, y el control de la temperatura de la mezcla. Deberán analizarse, frecuentemente, muestras de la mezcla en caliente para determinar si el concreto asfáltico producido cumple o no con las especificaciones de la obra.

rasante, de elevación conocida, mientras mira a través del nivel de mano, el cual debe estar al lado del poste graduado.

Este método es muy útil cuando se está usando una motoniveladora para hacer nivelaciones precisas de la base ya preparada, o cuando se está colocando una capa de enrase de concreto asfáltico con una motoniveladora.

Las correcciones de elevación y rasante se efectúan mediante el corte o relleno de secciones de subrasante. Dichas correcciones pueden ser hechas a mano cuando las secciones son pequeñas, o usando motoniveladoras cuando las secciones son grandes.

En los casos donde las superficies irregulares de la carretera requieran una nivelación importante, es recomendable usar una cuerda tensa que sirva de línea de referencia para la terminadora. Para este propósito se pueden usar varios tipos de alambre y cuerda. Para sostener la cuerda se pueden usar bloques, como también estacas de rasante con guías ajustables.

La línea de cuerda es estirada y anclada en intervalos de 90 a 150 metros (300 a 500 pies) y soportada en intervalos de 8 metros (25 pies). Si hay un cambio brusco en la rasante, es necesario acortar la distancia entre los anclajes de la línea. Si la línea se deja instalada de un día para otro, deberá revisarse en la mañana siguiente, pues la humedad puede alterar la tensión de la cuerda. También es necesario colocar la línea en una área que no se vea afectada por el tránsito. En las curvas deberá acortarse la distancia entre los anclajes, y los soportes deberán colocarse con espaciamientos menores, para mantener el alineamiento de la curva.

5.3.D Riegos de Imprimación y Riegos de Liga

Los riegos de imprimación y los riegos de liga son aplicaciones de asfalto líquido sobre material de base o sobre otras capas inferiores del pavimento.

5.3.D.1 Riegos de Imprimación - Un riego de imprimación es una aplicación de asfalto diluido de curado medio, o de asfalto emulsificado, sobre una capa de base de material sin tratar. Cuando se usa un asfalto diluido (diluido con solvente) de curado medio, este debe ser aplicado en suficiente cantidad para que penetre dentro del material de base. Cuando se usa un asfalto emulsificado, este debe ser mezclado con el material de base usando una motoniveladora, un mezclador rotatorio, o cualquier otro tipo de equipo.

Un riego de imprimación sirve tres propósitos:

- Ayuda a prevenir la posibilidad de que se desarrolle un plano de deslizamiento entre la capa de base y la capa superficial.
- Evita que el material de base se desplace bajo las cargas de tránsito, durante la construcción, antes de que la primera capa sea colocada.
- Protege la capa de base de la intemperie.

Las cantidades de aplicación para riegos de imprimación varían con el tipo de asfalto utilizado. Para un asfalto diluido de curado medio, MC-30, 70 o 250, la cantidad de aplicación varía entre 0.9 y 2.3 litros por metro cuadrado (0.2 y 0.5 galones/ yd²); cuando se usa un asfalto emulsificado SS-1, SS-1h, CSS-1, o CSS-1h, varían entre 0.5 y 1.4 litros por metro cuadrado por cada 25 mm de profundidad (0.1 y 0.3 galones/ yd²/in). Los valores exactos de aplicación son determinados por el ingeniero.

En ocasiones, se aplica demasiado asfalto diluido a la capa de base. En estos casos, no todo el asfalto es absorbido por el material de base, aún después de un periodo normal de curado (24 horas). Este exceso de asfalto deberá secarse con arena limpia, para evitar que el riego de

imprimación presente exudación a través del concreto asfáltico, o que produzca un plano de deslizamiento. El proceso de secamiento consiste en rociar arena limpia sobre la superficie que ha sido imprimada, y luego apisonar la superficie con una compactadora de neumáticos. Sin embargo, el exceso de arena deberá removerse de la superficie antes de colocar la mezcla asfáltica sobre la base. Cualquier exceso de arena evitará que se obtenga una buena liga entre la capa de base y las capas asfálticas. El riego de imprimación debe inspeccionarse antes de la pavimentación, para asegurar que se encuentra en buena condición.

5.3.D.2 Riegos de Liga - Los riegos de liga son aplicaciones de asfalto (usualmente emulsiones) rociadas sobre la superficie de un pavimento existente, antes de colocar una capa de refuerzo. El propósito de un riego de liga es mejorar la ligazón entre las capas viejas y nuevas de pavimento. Los riegos de liga también son usadas en lugares donde la mezcla en caliente entra en contacto con la cara vertical de las aceras, las cunetas, y las estructuras y juntas de pavimento frío.

Los riegos de liga no deberán aplicarse en periodos de clima frío o húmedo. Los mejores resultados se obtienen si la superficie de la carretera esta seca, si tiene una temperatura superficial por encima de 27°C (80°F), y si no hay ninguna señal de lluvia. Normalmente, los riegos de liga se aplican el mismo día en que se va a colocar la capa de refuerzo.

La superficie de un riego de liga aparece resbaladiza antes de romperse la emulsión (el agua en el asfalto emulsionado empieza a evaporarse y el asfalto comienza a ligarse con la superficie vieja del pavimento). Debido a esto, es necesario mantener el tránsito fuera del riego de liga para que no se presente una condición peligrosa. Además, se deberá advertir al tránsito de la posibilidad de salpicaduras de emulsión si se llega a transitar sobre el riego. La capa de refuerzo se debe colocar solamente cuando el riego de liga este curado hasta el punto donde se sienta pegajoso.

La cantidad de aplicación para riegos de liga es normalmente de 0.25 a 0.70 litros por metro cuadrado de emulsión diluida tipo SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h (0.05 a 0.15 galones/yd²). Si la aplicación es muy poca, no habrá ligazón donde se necesita. Si la aplicación es muy alta, puede haber un desprendimiento entre la capa vieja y la capa nueva. Además, demasiada emulsión puede causar exudación hacia la capa de refuerzo y pérdida de estabilidad de la mezcla. La cantidad exacta de aplicación deberá ser determinada por el ingeniero de la obra.

Aunque se pueden usar otro tipo de asfaltos en riegos de liga, la emulsión diluida (una parte de agua por una parte de asfalto emulsificado) proporciona los mejores resultados por las siguientes razones:

- El asfalto emulsificado diluido fluye fácilmente del distribuidor, lo cual permite una aplicación mas uniforme del riego de liga.
- La emulsión se diluye para que el distribuidor funcione, con el volumen suficiente, a una velocidad normal.

Cuando se aplican los riegos de imprimación, o los riegos de liga, se debe tener suficiente cuidado para evitar rociar asfalto sobre las aceras, las cunetas, las cubiertas de puentes, las defensas laterales del camino, o sobre los automóviles que están pasando.

5.3.D.3 El Distribuidor de Asfalto - Los riegos de liga y de imprimación son generalmente aplicados por medio de un distribuidor de asfalto. Tal y como se muestra en la Figura 5.7, el distribuidor de asfalto es un tanque de asfalto montado sobre un camión o sobre un remolque, adaptado con bombas, barras rociadoras y controles apropiados para regular la cantidad de asfalto que sale por las boquillas de la barra rociadora. Un distribuidor incluye, normalmente,

Sellamiento Inferior o Subsellado o Inyección de Pavimentos

El subsellado es un método usado para estabilizar losas móviles, y para llenar los vacíos que pueden existir debajo de estas. Generalmente, la operación de subsellado consiste en lo siguiente:

- Perforar hoyos en las losas inestables o en aquellas que presenten depresiones.
- Rellenar los vacíos, debajo de las losas, con cemento asfáltico del tipo especificado para sellamientos inferiores. El asfalto es calentado y bombeado, bajo presión, debajo de la placa.
- Taponar los hoyos en las losas con tapones de madera hasta que el asfalto, que ha sido bombeado, se enfríe y se solidifique.
- Rellenar los hoyos con mezcla asfáltica.

Desintegración y Asentamiento

La desintegración y asentamiento de losas consiste exactamente en lo que su nombre indica: desintegrar, en partes, una losa inestable, y luego asentar firmemente las partes sobre la subrasante. El método de desintegración y asentamiento no puede usarse en los casos donde la placa de PCC tenga una capa de refuerzo de mezcla asfáltica, o en los casos donde tenga armadura.

Generalmente, el procedimiento de desintegración y asentamiento consiste en lo siguiente:

- Excavar una zanja paralela al borde de la losa y más profunda que el espesor de la misma. Esta zanja provee un canal de drenaje para la humedad atrapada debajo de la losa.
- Desintegrar la losa en partes con un martillo de caída libre.
- Asentar las partes sobre la subrasante usando una aplanadora de un peso determinado.
- Cubrir las partes asentadas con una capa de mezcla en caliente.

El inspector debe llevar registros exactos del número de litros (galones) de asfalto usados en la operación de desintegración y asentamiento, así como del número de horas de operación de las aplanadoras y los martillos de caída libre. Estos registros son importantes para determinar qué cantidad se debe pagar al contratista por el trabajo efectuado.

5.3.B Ajuste de Accesorios Fijos de la Calzada

Antes de colocar una capa de refuerzo, es necesario elevar las cámaras correspondientes a los registros de inspección, los colectores o sumideros, y las líneas de servicio, con el fin que queden niveladas con la superficie de la capa de refuerzo. En el caso de los registros de inspección, se utilizan collares tipo anillo para elevar el nivel. En otros casos, es a veces necesario remover la cámara para poder lavar la estructura con capas de ladrillo o concreto. Es importante que el material de relleno cumpla con las especificaciones de la obra cuando se requiera algún tipo de excavación para cambiar el nivel de una cámara.

Las cámaras deben ser marcadas con banderas o vallas después de que han sido elevadas, y antes de colocar la capa de refuerzo, para evitar que presenten un peligro para el tránsito.

5.3.C Control Vertical y Horizontal de la Rasante

Es necesario, en la construcción de un pavimento nuevo, establecer un control vertical y horizontal de la rasante para asegurar que el pavimento terminado concuerde con los planos de localización y perfil del proyecto. Normalmente, un equipo de agrimensura establece la línea de centro del pavimento propuesto, y luego coloca estacas de alineación y rasante sobre la subrasante (Figura 5.6). Estas estacas deben ser paralelas a la línea de centro, y estar a una distancia fija a ambos lados de la vía. En las secciones rectas de calzada, las estacas son colocadas,

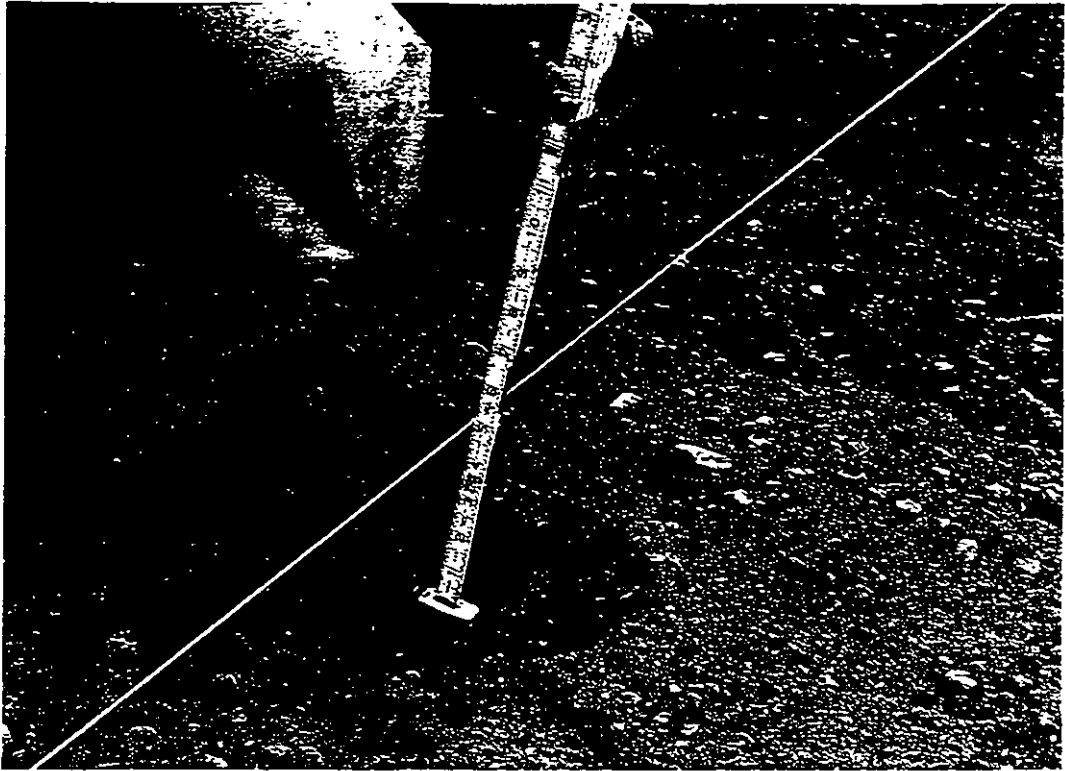


Figura 5.6 - Estacas de Rasante y de Línea.

usualmente, en intervalos de 30 metros (100 pies); en las secciones curvas se deben colocar en intervalos menores.

Aunque es la responsabilidad del contratista colocar estacas y cuerdas para mantener la terminadora y la esparcidora correctamente alineadas, es trabajo del inspector de pavimentación revisar la precisión del alineamiento y de la rasante.

La rasante transversal puede revisarse colocando estacas (llamadas estacas de control), de longitud conocida, a cada lado del pavimento propuesto, y extendiendo una cuerda entre estas. La cuerda revela rápidamente cualquier variación en la rasante.

Otro método que puede usarse como alternativa consiste en fabricar tres postes de madera o metal que pueden ser usados para establecer una línea visual de rasante. Los postes pueden hacerse telescópicos si se usa un tubo de diámetro interno de 9.5 mm (3/16 pulgada) dentro del cual se coloca una varilla metálica con diámetro de 6.3 mm (1/4 pulgada). Luego se puede colocar un tornillo de sujeción en el tubo para poder ajustar la altura de la varilla interna. La altura total de cada poste deberá ser de aproximadamente 1.1 metros (3.5 pies). La visual a través de la parte superior de los postes identificará rápidamente cualquier irregularidad en la rasante, después de que han sido ajustados a la misma altura y haber sido colocados en línea sobre la rasante.

Si los postes van a ser usados para establecer elevación, así como para revisar la línea de rasante, entonces al menos uno de ellos deberá tener marcas graduadas en unidades de centímetros (pulgadas o décimas de pie). El inspector puede medir la elevación aproximada de la rasante, así como cualquier desviación, si utiliza el poste graduado junto con los otros dos, y un nivel de mano. Para hacer esto, deberá colocar uno de los postes sobre un punto establecido de la

Las capas de enrase son remiendos de mezcla asfáltica usados para nivelar las huellas y depresiones de un pavimento viejo, antes de la operación de acabado. La colocación de cuñas de enrase hace parte de la operación de capas de enrase.

Las capas de enrase se deben colocar en dos capas si su espesor varia entre 75 y 150 mm (3 a 6 pulgadas). Las capas de mas de 150 mm (6 pulgadas) deberán colocarse en capas compactadas de no mas de 75 mm (3 pulgadas). Al colocar capas múltiples, la capa de menor longitud se deberá colocar primero. La(s) otra(s) capa(s) deberá(n) extenderse sobre la capa mas corta. La Figura 5.3 ilustra la manera correcta e incorrecta de hacer capas de enrase. Si se usa el método incorrecto (ver Figura 5.3) habrá una tendencia a crear desniveles en las juntas, debido a la dificultad de suarizar el perfil en el extremo inicial y final de una capa. Un desnivel en una junta puede reflejarse a través del pavimento, hasta llegar a su superficie.

Cuando las depresiones requieran de capas múltiples, deberán efectuarse suficientes nivelaciones para trazar correctamente los perfiles y las secciones transversales. Posteriormente, y a partir de estos diagramas, se deberán determinar las rasantes de las correcciones propuestas y los limites lineales de las diferentes capas, con el fin de que el inspector y el contratista puedan conocer las estaciones donde deben comenzar y terminar las pasadas del esparcidor o la motoniveladora (Figura 5.4). La Figura 5.5 ilustra la manera correcta de colocar capas de enrase para corregir una corona excesiva.



Figura 5.2 - Fresadora (Alisadora) de Asfalto Frio.

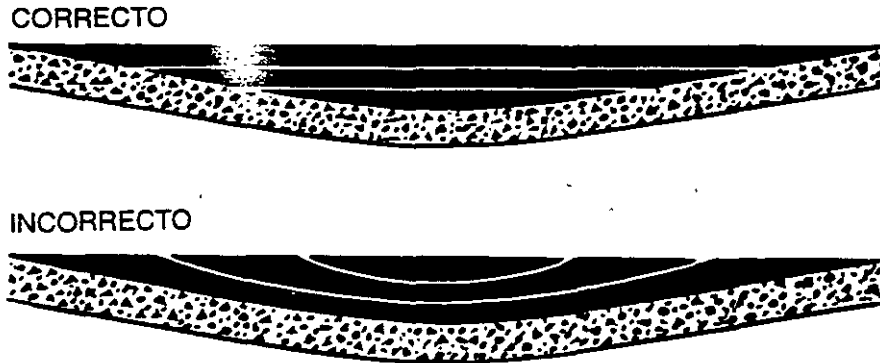


Figura 5.3 - Una Colocación Correcta de Capas de Enrase Garantiza un Pavimento Liso.

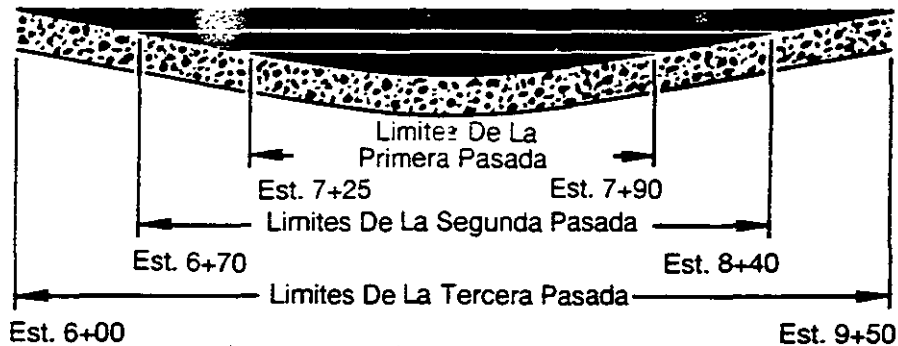


Figura 5.4 - Los Límites de las Capas Múltiples de Enrase Deberán Determinarse Usando Nivelación.



Figura 5.5 - Colocación Correcta de Capas o cuñas de Enrase para Arreglar una Corona Excesiva.

5.3.A.4 Pavimento de Concreto de Cemento Portland (PCC) - Las capas de refuerzo colocadas sobre pavimentos de concreto de cemento Portland requieren de una preparación especial. Primero, se deben identificar las juntas desiguales y las losas móviles (secciones de pavimento). Luego se deben estabilizar las losas usando un sellado inferior o el método de desintegración y asentamiento. Las especificaciones del contrato usualmente dictan el método a ser usado.

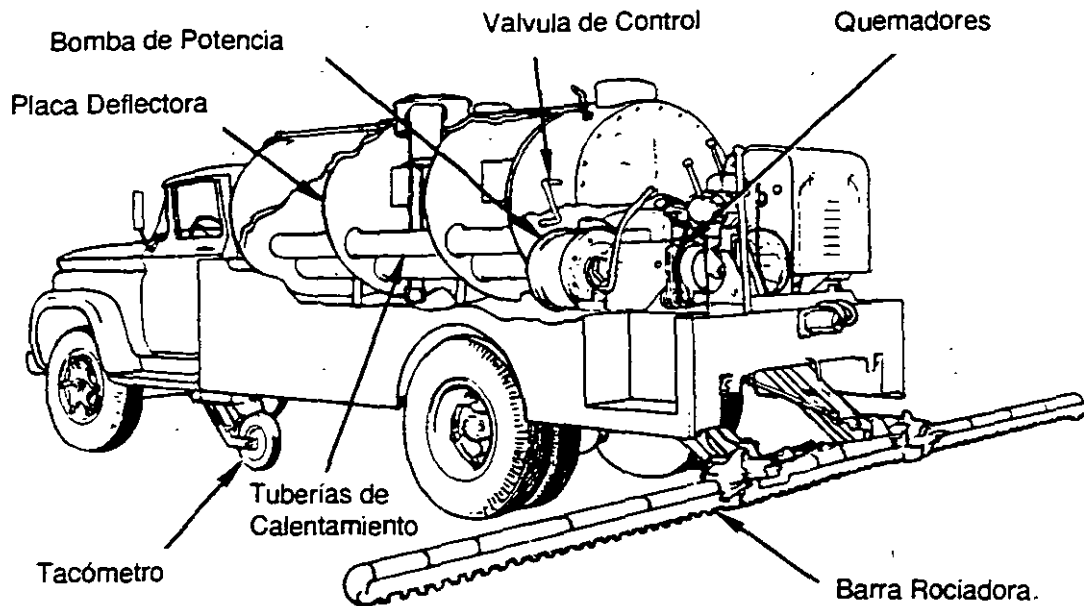


Figura 5.7 - Un Distribuidor Típico de Asfalto.

un sistema de calentamiento con base en quemadores de combustible o gas, para mantener el asfalto a la temperatura correcta de aplicación, y un accesorio manual de rociado para aplicar asfalto en las áreas que las barras no puedan alcanzar. Generalmente, el sistema de calentamiento no se usa con emulsiones. Un sistema de circulación por bombeo mantiene el asfalto en movimiento, cuando el distribuidor no está operando, para evitar que este se solidifique y, en consecuencia, bloquee la barra rociadora y las boquillas.

Un asfalto diluido de curado medio, el cual se aplica usualmente a temperaturas elevadas, no deberá ponerse en un distribuidor que haya tenido previamente una emulsión, a menos de que se confirme que no hay rastros de agua en el sistema.

Ajuste de la Barra Rociadora

La barra rociadora del distribuidor, normalmente, deberá ajustarse de tal manera que los ejes verticales de las boquillas queden perpendiculares a la vía. Las boquillas también deberán ajustarse en un ángulo de 15 a 30 grados con el eje horizontal de la barra (Figura 5.8), para prevenir que los abanicos de rociado de cada boquilla interfieran uno con el otro. Cada boquilla deberá ajustarse con el mismo ángulo.

Otro ajuste importante de la barra rociadora para lograr un riego uniforme de imprimación o de liga, es el ajuste de la altura de la barra. Como lo muestra la Figura 5.9, los abanicos de rociado, de las boquillas, se superponen a diferentes grados, dependiendo de la distancia entre la barra rociadora y la superficie a ser cubierta. La barra deberá ajustarse lo suficiente, por encima de la vía, para que la superficie reciba un cubrimiento doble. Esta altura variará de acuerdo a el espaciamiento de las boquillas de la barra.

En algunos distribuidores los resortes traseros del camión se elevan a medida que el asfalto es rociado (la carga se aligera). Esto eleva a la vez el distribuidor y, por consiguiente, la barra rociadora. En estos casos se usan, generalmente, dispositivos mecánicos que corrigen automáticamente la altura de la barra a medida que ocurre el cambio.

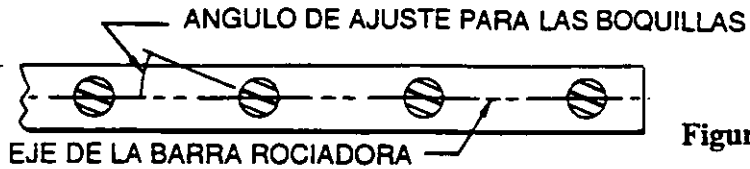


Figura 5.8 - Ángulo Correcto de las Boquillas.

NOTA

En algunas ocasiones, algunos operadores ajustan las boquillas en un ángulo diferente (60 a 90 grados con respecto a la barra rociadora) para obtener un buen borde. Esta práctica **NO** es permitida puesto que produce un filo grueso en el borde y se roba el rocío. Se debe traslapar con la boquilla adjunta. Una boquilla en el extremo de la barra, o una boquilla especial para extremos (con el mismo ángulo para todas las boquillas), proporcionará un cubrimiento más uniforme, y producirá un mejor borde.



Figura 5.9 - Altura y Cubrimiento de la Barra Rociadora.

La importancia de una aplicación uniforme de asfalto (para riegos de imprimación y de liga) es esencial. El cubrimiento transversal no deberá variar en más de 15 por ciento. El cubrimiento longitudinal no deberá variar en más de 10 por ciento. El distribuidor debe estar calibrado antes de ser usado para asegurar una aplicación correcta. Las variaciones en el cubrimiento del rociado deberán ser revisadas periódicamente para determinar si el distribuidor está operando dentro de los límites establecidos (10 y 15%). La norma ASTM D 2995 presenta un procedimiento para revisar, en el campo, las variaciones en el cubrimiento del rociado.

Controles del Distribuidor

Hay tres dispositivos de control comunes a la mayoría de los distribuidores. Estos son: un sistema de válvulas que controla el flujo de asfalto, un tacómetro de bomba, o manómetro, el cual registra la producción de la bomba, y un bitómetro con hodómetro que indica la velocidad, en número de metros (pies) por minuto, y la distancia total recorrida por el distribuidor. Los tres controles son necesarios y esenciales para medir la cantidad de asfalto que ha sido aplicado a la superficie de la carretera.

El bitómetro debe ser revisado con frecuencia para verificar que está registrando correctamente la velocidad del distribuidor durante las operaciones de rociado. Una gran causa de errores en el bitómetro es la acumulación de asfalto en la rueda del bitómetro. Por lo tanto, la rueda deberá mantenerse limpia a todo momento.

La prueba del bitómetro se efectúa en un tramo recto y nivelado de carretera. Se marca sobre el tramo una distancia de 150 a 300 metros (500 o 1000 pies). Luego, el distribuidor es manejado a una velocidad constante sobre la distancia marcada, y el tiempo de recorrido es medido con un cronómetro. Este tiempo es usado para calcular la velocidad del distribuidor en metros (pies) por minuto. Esta velocidad es luego comparada con la lectura registrada en el bitómetro durante la prueba. El procedimiento total se repite usando diferentes velocidades. Las diferencias entre la velocidad calculada y la velocidad registrada por el bitómetro constituyen los factores de corrección para las operaciones de rociado.

Midiendo la Cantidad de Asfalto

El asfalto usado en riegos de imprimación o de liga es pagado, usualmente, por litro (galón). Esto significa que debe medirse el contenido del distribuidor antes y después de la operación de rociado. La diferencia entre la primera y la segunda lectura indica la cantidad de material aplicado a la carretera. Algunos distribuidores tienen contadores de flujo que indican la cantidad de asfalto bombeado. Estos contadores deben colocarse en cero antes de que comience la operación de rociado, y deben leerse inmediatamente después de que la operación termine.

Todos los distribuidores están equipados con varas medidoras, proporcionadas por el fabricante. Estas varas medidoras están marcadas en incrementos de 95 o 190 litros (25 o 50 galones).

Es importante tomar la temperatura del asfalto cuando se está midiendo su cantidad en el distribuidor. Es necesario obtener una temperatura precisa para poder garantizar que el asfalto se encuentra a la temperatura especificada para operaciones de rociado. Además, la lectura de temperatura es necesaria para efectuar las correcciones de temperatura-volumen (ver Capítulo 2, Materiales).

Calculo del Cubrimiento de la Carga

Es importante saber que longitud de carretera puede ser cubierta por el asfalto que esta en el distribuidor. La "longitud de cubrimiento" de la carga de un distribuidor se calcula de la siguiente manera:

$$L = T/WR \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} L = \text{longitud de cubrimiento (metros)} \\ T = \text{total de litros en el distribuidor} \\ W = \text{ancho rociado de carretera (metros)} \\ R = \text{cantidad de aplicación (litros/m}^2\text{)} \end{array}$$

Temperaturas Sugeridas de Rociado

La Figura 5.10 es una tabla de temperaturas para rociado, para varios tipos y grados de asfalto comúnmente usados en riegos de imprimación y de liga.

Tipo y Grado de Asfalto	Margen de Temperaturas	
	°F	°C
SS-1	70-160	(20-70)
SS-1h		
CSS-1	70-160	(20-70)
CSS-1h		
MC-30*	85 +	(30 +)
MC-70*	120 +	(50 +)
MC-250*	165 +	(75 +)

* Las temperaturas de aplicación pueden estar, en algunos casos, por encima de los puntos de inflamación de algunos materiales. Se debe tener mucho cuidado para prevenir una explosión.

La temperatura máxima (asfalto diluido) deberá estar por debajo del punto de inflamación gaseoso.

Figura 5.10 - Limites de Temperatura de Rociado para Riegos de Imprimación y de Liga.

5.3.E Distribución de Mezcla con Motoniveladora

Las motoniveladoras son usadas a veces para esparcir mezclas asfálticas de planta sobre capas de base y capas de enrase. La ventaja principal que ofrece la amplia base de ruedas de la motoniveladora, durante el proceso de distribución de la capa, es la eliminación de los ahuellamientos, ondulaciones, e irregularidades excesivas en la subrasante o en el pavimento viejo. Otra ventaja obtenida al colocar una capa con motoniveladora es que se logra una superficie áspera, sobre la cual se colocará la siguiente capa. Algunas veces es de gran ayuda instalar una placa terminal en la cuchilla de la motoniveladora. Esta placa permite que una carga de material pueda ser arrastrada a lo largo del ancho de la cuchilla para evitar demasiada segregación o desperdicio.

Cuando el operador coloca una capa de enrase, y si sabe manejar correctamente los controles de la motoniveladora, debe dejar mas material en las ondulaciones y menos en los abultamientos existentes. Seguidamente, la compactadora que viene detrás densifica este material, formando un plano liso y firme sobre el cual se colocará la siguiente capa(s).

5.4 EQUIPO DE PAVIMENTACION

Las operaciones de pavimentación incluyen el transporte de la mezcla asfáltica en caliente al lugar de la obra, la colocación de la mezcla sobre la carretera, y la compactación de la mezcla hasta la densidad de referencia. Esta sección abarca el transporte y la colocación de la mezcla en caliente. La compactación se discute en el Capítulo 6.

El inspector tiene responsabilidades específicas relacionadas con el transporte y la colocación de la mezcla. Estas responsabilidades comienzan con una familiarización con el equipo usado.

5.4.A Pavimentadora (Asfaltador).

Las pavimentadoras son máquinas automotrices (Figura 5.11) diseñadas para colocar mezcla asfáltica con un espesor determinado, y para proporcionar una compactación inicial de la carpeta.

Las dos partes principales de una pavimentadora son la unidad de potencia o del tractor, y la unidad de enrase (Figura 5.12).

5.4.A.1 Unidad de Potencia - La unidad del tractor provee la fuerza motriz para mover las ruedas u orugas, y también para la maquinaria de la pavimentadora. La unidad del tractor comprende la tolva receptora, el transportador alimentador, compuertas de control de flujo, barrenas de distribución (o tornillos de distribución), planta generadora (motor), transmisiones, controles dobles, y el asiento del operador.

Cuando esta en marcha, el motor de la unidad del tractor propulsa la pavimentadora, arrastra la unidad del enrasador (niveladora), y proporciona potencia a los otros componentes a través de las transmisiones. La mezcla en caliente es depositada en la tolva receptora, de donde es llevada por el transportador alimentador, a través de las compuertas de control de flujo, hacia las barrenas de distribución (o tornillos de distribución). Las barrenas luego distribuyen uniformemente la mezcla a lo largo de todo el ancho del asfaltador para obtener una colocación

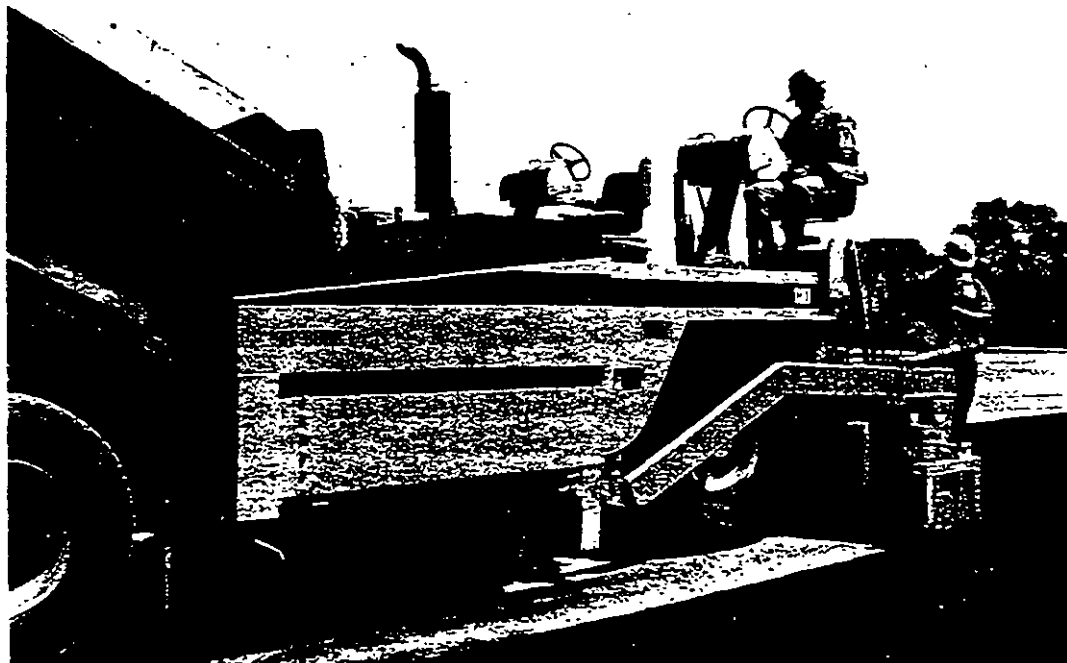


Figura 5.11 - Pavimentadora Tipica.

pareja y uniforme. El operador controla estas operaciones por medio de controles dobles que se encuentran a mano, cerca de la silla.

Antes de comenzar la pavimentación se deben revisar ciertos detalles, para asegurar una correcta operación del asfaltador.

- *Ruedas u Orugas*

Si la pavimentadora esta equipada con ruedas neumáticas, se debe revisar la condición y presión de estas. Es muy importante que la presión sea la misma en las ruedas de ambos lados del asfaltador. Si el asfaltador se mueve sobre orugas, estas se deben revisar para asegurar que estén ajustadas sin holgura, y también se deben revisar las ruedas dentadas para ver si presentan demasiado desgaste. Las orugas sueltas y las presiones desiguales, o la falta de presión en los neumáticos de las ruedas, pueden causar movimientos indeseados en el asfaltador. Estos movimientos serán transmitidos a la unidad de enrase, produciendo así una superficie irregular de pavimento. No deberá haber acumulación de material en las ruedas o en las orugas.

- *Regulador*

El regulador del motor también debe revisarse para asegurar que no hay cambios periódicos en las RPM del motor. Si el regulador no esta funcionando correctamente, puede haber una falta de potencia cuando el motor se este recargando. Esta falta de potencia puede ocasionar fallas temporales en las barras vibradoras o apisonadoras de la unidad del enrasador, produciendo así una sección de pavimento de menor densidad, o una sección que contiene menos material que el área adyacente. Después de la compactacion, esta área aparece como una ondulación transversal en el pavimento. Una falta de potencia también puede afectar la operación pareja y consistente de los controles electrónicos del enrasador.

- *Tolva, Compuertas de Flujo y Barrenas*

La tolva, las tablillas del transportador alimentador, las compuertas de flujo, y las barrenas deberán revisarse para ver si presentan un desgaste excesivo y para estar seguros que están operando correctamente. El contratista deberá efectuar cualquier ajuste necesario para asegurar que los componentes trabajen de acuerdo a su diseño, y para que sean capaces de conducir un flujo pareja de mezcla desde la tolva hasta la vía. Esto incluye el ajuste de los controles automáticos de alimentación.

La velocidad del transportador y la abertura de las compuertas de control, en la parte trasera de la tolva, deberán ser ajustadas por el contratista, tal que solamente se use la cantidad necesaria de material para que las barrenas operen alrededor del 85 por ciento del tiempo. Esto permitirá que se mantenga una cantidad uniforme de mezcla en frente del enrasador. Si se requiere mezcla adicional para obtener un incremento en el espesor de la capa, se deberán ajustar las compuertas de control de flujo. Las barrenas deberán mantenerse tres cuartos llenas durante las operaciones de pavimentación.

5.4.A.2 Unidad del Enrasador - La unidad del enrasador tiene dos funciones principales: nivelar la mezcla de una manera que cumpla con las especificaciones de espesor y acabado, y proporcionar la compactación inicial de la mezcla.

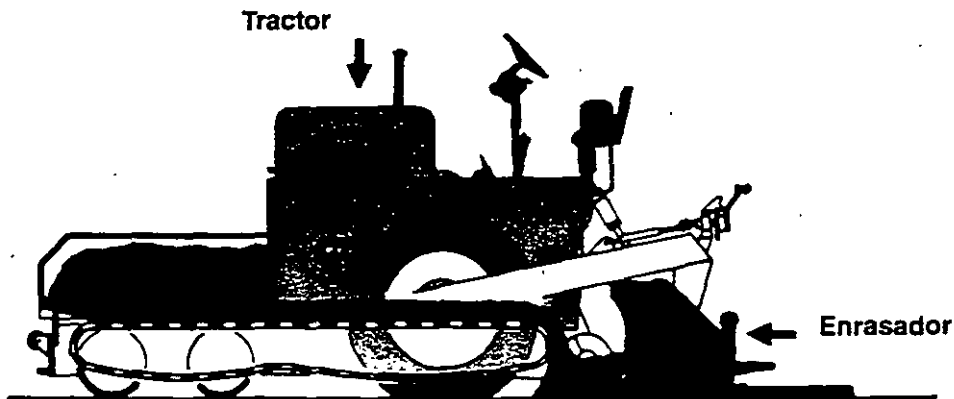


Figura 5.12 - Unidades de Potencia y Enrasador de una Pavimentadora.

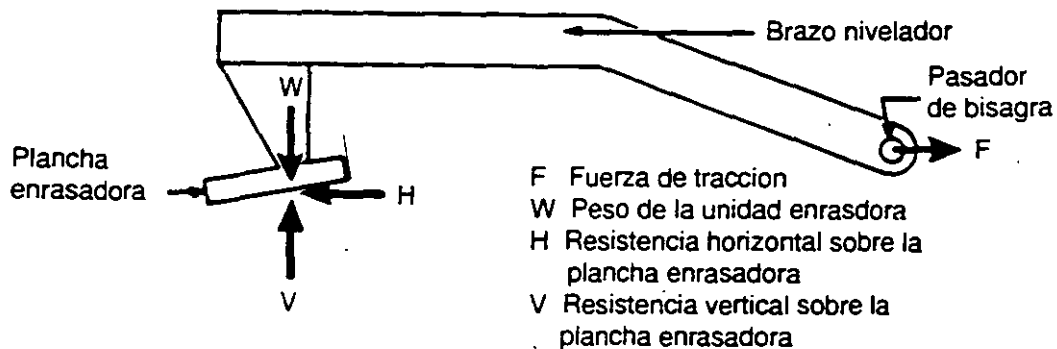


Figura 5.13 - Fuerzas Actuantes sobre el Enrasador.

Una unidad típica del enrasador está compuesta de lo siguiente: brazos emparejadores de arrastre, placa emparejadora, unidad de calentamiento, barras apisonadoras y/o accesorios vibratorios, y controles.

En la operación, el enrasador es arrastrado por detrás de la unidad del tractor. Los brazos emparejadores de arrastre están pivotados, lo cual le proporciona al enrasador un movimiento flotante mientras viaja sobre la carretera. A medida que la unidad del tractor arrastra el enrasador hacia la mezcla, este busca el nivel que hace que el trayecto del enrasador sea paralelo a la dirección de arrastre. En este nivel, todas las fuerzas que actúan sobre el enrasador están balanceadas mientras la pavimentadora se mueve sobre la carretera. Luego, la placa emparejadora "plancha" la superficie de la mezcla, dejando un espesor de carpeta que cumple con las especificaciones de la obra. El espesor de la carpeta y la forma del coronamiento están regulados por medio de controles del enrasador. Por último, las barras apisonadoras, o los accesorios vibratorios, compactan ligeramente la mezcla, como preparación para la compactación.

El enrasador actúa automáticamente para mantener el espesor de la carpeta, y tiende a balancear todas las fuerzas que actúan sobre él. Estas fuerzas incluyen (Figura 5.13):

- Tracción delantera del tractor (F)
- La fuerza del material de las barrenas que está moviéndose contra la placa emparejadora (H)
- La fuerza hacia abajo causada por el peso del enrasador (W); y
- La fuerza hacia arriba, de levantamiento, causada por los materiales que se acumulan debajo de la placa emparejadora (V).

El espesor correcto de carpeta se logra al balancear estas fuerzas, unas con otras.
Por ejemplo:

- Para mantener un movimiento del escantillon hacia adelante, la fuerza F debe ser mayor que la fuerza H.
- Para aumentar el espesor de la carpeta, incline la placa emparejadora para que se acumule más material debajo de la placa. El enrasador se elevará hasta que la superficie terminada forme un plano paralelo a la dirección de arrastre. La fuerza V disminuirá en este punto, y será balanceada por la fuerza W.
- Para reducir el espesor de la carpeta, incline la placa emparejadora para que se acumule menos material debajo de la placa.

La cantidad y condición del material que sale de las barrenas puede cambiar el equilibrio de estas fuerzas. Un flujo excesivo de material aumentará la fuerza H. Una mezcla fría y dura aumentará la fuerza H, y hasta cierto punto la fuerza V. Una mezcla excesivamente caliente y fluida disminuirá las fuerzas H y V. Las interrupciones y puestas en marcha del asfaltador también causan cambios en el equilibrio de las fuerzas. La clave para controlar la acción del enrasador es mantener uniformidad en las fuerzas actuantes.

El secreto para conseguir una buena operación de la pavimentadora es, entonces, balance y uniformidad - balance de las fuerzas y uniformidad para mantener esas fuerzas. Cuando se consiguen el balance y la uniformidad, la trayectoria del enrasador sigue la pavimentadora en un plano paralelo al punto de pivotaje. Cuando la pavimentadora se levanta, al pasar por una irregularidad, el punto de pivotaje del enrasador se eleva. El mismo enrasador también comienza a elevarse, pero debido a que reacciona más lentamente a los cambios de elevación, entonces se eleva muy poco, y por consiguiente, mantiene el plano de la superficie de la carpeta, lo cual hace que la irregularidad sea menos quebrada. Este no es el caso cuando hay irregularidades muy extensas (i.e. más extensas que varias veces el tamaño de la pavimentadora). Las irregularidades extensas de rasante deberán corregirse antes de colocar las capas superficiales.

Los enrasadores que contienen barras apisonadoras o mecanismos vibratorios están diseñados para nivelar y compactar ligeramente la mezcla, a medida que esta es colocada. Existen dos propósitos que conciernen a esta acción emparejadora. La acción logra un nivelamiento máximo de la superficie de la carpeta, y garantiza una deformación mínima de la carpeta bajo compactaciones posteriores. Varios sistemas de compactación del enrasador se presentan a continuación, por separado, debido a que trabajan en forma diferente.

Tipo Barra Apisonadora

Los compactadores del enrasador de tipo barra apisonadora, compactan la mezcla, cortan el exceso de espesor, y meten el material debajo de la placa emparejadora para su nivelación. La barra apisonadora tiene dos caras, como se muestra en la Figura 5.14: una cara biselada en el

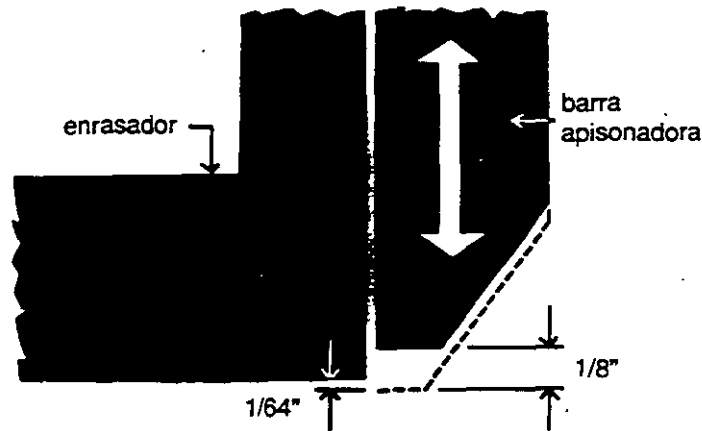


Figura 5.14 - Barra Apisonadora (1 pulgada = 25 mm).

frente, la cual compacta el material a medida que el enrasador es arrastrado hacia adelante, y una cara horizontal que imparte algo de compactación, pero que principalmente corta el exceso de material para que el enrasador pueda moverse suavemente sobre la carpeta que esta siendo colocada.

El ajuste que limita el margen del recorrido descendiente de la barra apisonadora es el ajuste que mas afecta la apariencia de la carpeta terminada. En la parte baja del recorrido, la cara horizontal deberá extenderse 0.4 mm (1/64 de pulgada) - alrededor del espesor de una uña - por debajo del nivel de la placa emparejadora. Si la barra se extiende demasiado, habrá mezcla que terminará acumulada en la cara del enrasador, lo cual tiende a raspar la superficie de la capa que esta siendo colocada. Adicionalmente, la barra apisonadora levantará ligeramente el enrasador en cada recorrido, causando, con frecuencia, una ondulación en la superficie de la carpeta.

Si el ajuste de la cara horizontal es demasiado alto (debido a un mal ajuste o debido al desgaste de la parte baja de la cara), la barra no cortará el exceso de mezcla de la superficie de la carpeta. En consecuencia, la placa emparejadora comenzará a cortar el material, lo cual resulta en una picadura de la superficie, debido a que el borde de entrada de la placa emparejadora arrastra los agregados grandes hacia adelante. Por lo tanto, siempre se deberán revisar las barras apisonadoras antes de poner en marcha el asfaltador, y si es necesario, se deberán ajustar y reemplazar cuando las caras estén demasiado delgadas.

Tipo Vibratorio

El funcionamiento de las emparejadoras vibratorias es similar al de las emparejadoras apisonadoras, excepto que la fuerza de compactación es generada por unos vibradores eléctricos, que no son mas que unos ejes rotatorios con pesos excéntricos o motores hidráulicos (Figura 5.15). En algunos asfaltadores se puede ajustar la frecuencia (número de vibraciones por minuto) y la amplitud (margen del movimiento) de los vibradores. En otros, la frecuencia permanece constante y solo se puede ajustar la amplitud.

La frecuencia y la amplitud se deben ajustar de acuerdo al tipo de asfaltador, el espesor de la carpeta, la velocidad de la pavimentadora, y las características de la mezcla que esta siendo colocada. La frecuencia y la amplitud no requieren de ajustes, después de haber sido fijadas, a menos que haya un cambio en el espesor de la carpeta o en las características de la mezcla.

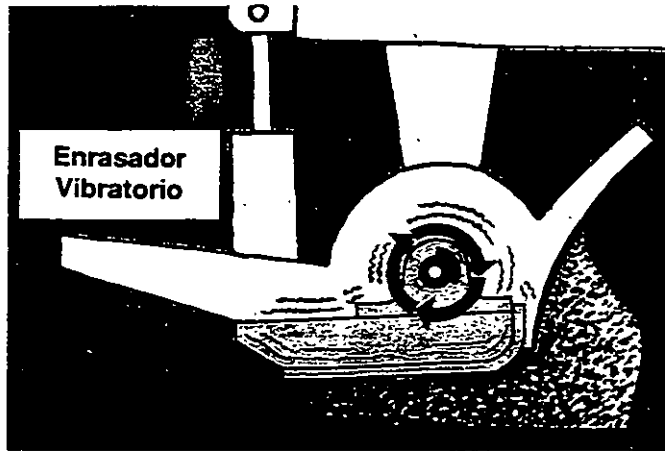


Figura 5.15 - Enrasador de Tipo Vibratorio.

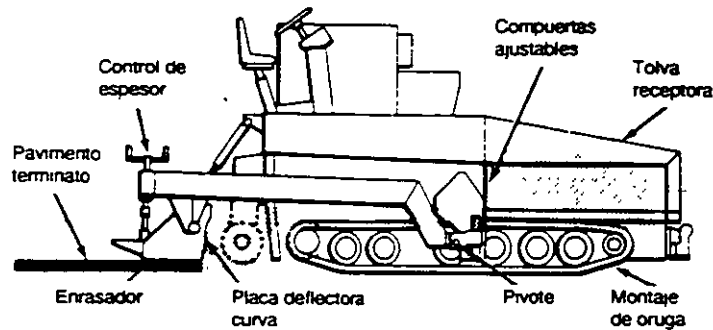
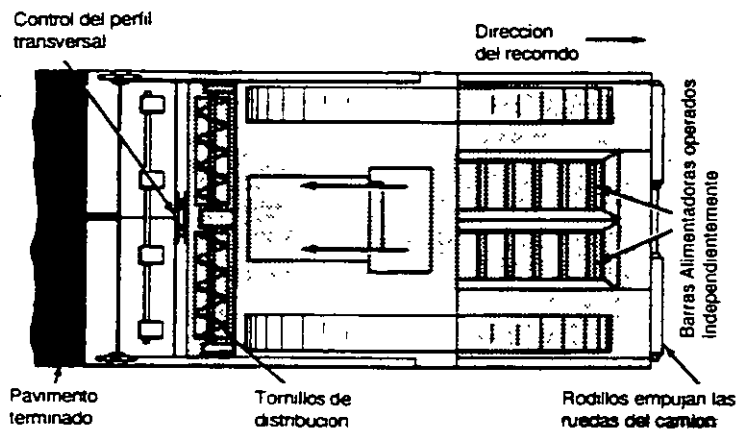


Figura 5.16 - Control de Espesor de Carpeta y Control del Perfil Transversal

Algunos emparejadores vibratorios requieren de una unidad de pre-nivelación. Esta unidad es una cuchilla redondeada que controla la cantidad de mezcla que pasa por debajo del enrasador.

5.4.A.3 Controles del Enrasador - Dos tipos de control son esenciales en la operación de un enrasador. Estos son el control del espesor de la carpeta, y el control del perfil transversal de la carpeta (para un drenaje correcto). Ambas funciones están reguladas por unidades de control que hacen parte (Figura 5.16) de la pavimentadora.

Es importante entender que los ajustes de los controles toman tiempo en hacer efecto, cuando la pavimentadora esta en marcha. Por ejemplo, cuando se ajusta un tornillo de control de espesor, para cambiar el espesor de la carpeta, es bastante probable que la pavimentadora se mueva algunos metros (pies) antes de que se complete el cambio y la carpeta empiece a tener el nuevo espesor. Por esta razón, es necesario que el operador del enrasador conozca el retraso efectivo correspondiente a los ajustes hechos en la unidad.

Es importante, después de ajustar los controles de espesor, dejar que la pavimentadora recorra una distancia suficiente para que se complete la corrección, antes de hacer cualquier otro ajuste. Un ajuste excesivo de los controles de espesor es una de las causas principales de una falta de uniformidad en el pavimento.

La condición de la unidad del enrasador es importante si se quiere obtener una carpeta de alta calidad. Los puntos de desgaste deberán revisarse para estar seguros de que las articulaciones del sistema de control están ajustadas.

La plancha enrasadora deberá revisarse regularmente para ver si presenta señales de desgaste, tales como picaduras y alabeos. El contratista deberá ajustar correctamente la placa antes de comenzar cualquier trabajo de pendiente transversal. Los bordes de entrada y salida del enrasador tienen un ajuste de pendiente transversal. El borde de entrada deberá tener siempre un poco más de pendiente que el borde de salida, para poder proporcionar un flujo parejo de material debajo del enrasador. Si hay demasiada pendiente de entrada, se produce una textura abierta a lo largo de los bordes de la carpeta. Por otro lado, si hay muy poca pendiente de entrada, se produce una textura abierta en el centro de la carpeta. Los ajustes de pendiente pueden hacerse independientemente o simultáneamente durante la operación de pavimentación.

5.4.A.4 Controles Automáticos del Enrasador - Los controles del enrasador deben ser ajustados por el operador a medida que progresa la pavimentación. Los controles automáticos, sin embargo, están diseñados para ajustarse automáticamente en la colocación de una carpeta con espesor, rasante, y forma deseada (Figura 5.17).

- *Tipos y Principios de Operación*

Los controles automáticos del enrasador pueden usarse de varias maneras, aunque todas las operaciones automáticas requieren de un sistema de referencia. Esta referencia puede ser la base sobre la cual la mezcla en caliente esta siendo colocada, la vía de tráfico contigua, o una línea de cuerda. Si, por ejemplo, se usa una línea de cuerda como referencia, el control automático seguirá exactamente la altura de la cuerda para colocar la carpeta conforme a esta altura. Obviamente, la instalación de la línea de cuerda (como de cualquier otro sistema de referencia) debe ser precisa.

Los controles automáticos del enrasador también pueden guiarse por medio de sistemas móviles de referencia. Un esquí, instalado en el brazo de control, registra los cambios en el contorno de la base, y ajusta automáticamente el enrasador para compensar estos cambios.

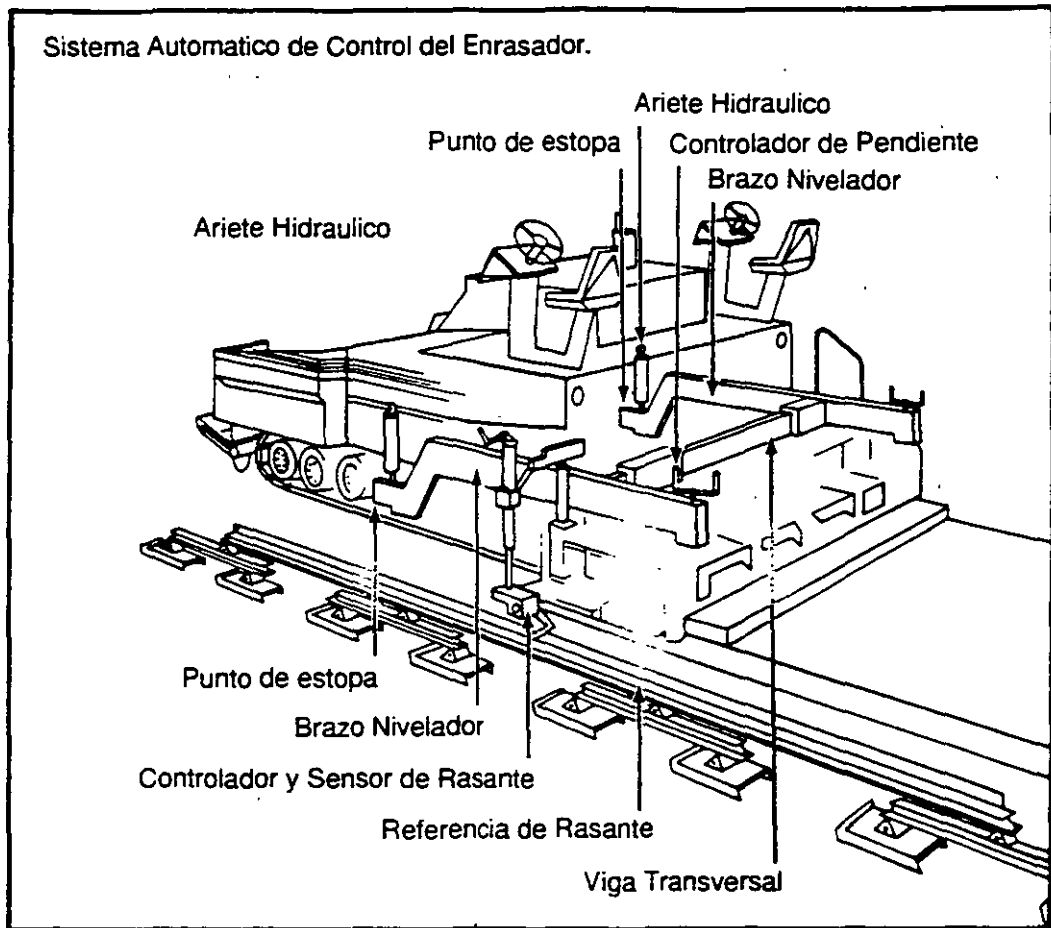


Figura 5.17 - Sistema Automático de Referencia para el Enrasador.

La línea de cuerda, o cualquier otro sistema de referencia, permite que el control automático ajuste la altura del enrasador como sea necesario, y así poder mantener una rasante longitudinal correcta en el pavimento. Para mantener una rasante transversal correcta, los controles automáticos utilizan un sistema instalado sobre una viga que se encuentra entre dos brazos de arrastre.

Un péndulo, dentro de la caja del control de pendiente, oscila de lado a lado a medida que ocurren cambios en la rasante transversal de la carretera, activando así los ajustes necesarios en el mecanismo de control de pendiente.

Los sistemas automáticos de control presentan ciertas ventajas sobre los sistemas manuales. Entre estas se encuentran las siguientes:

- Los controles automáticos pueden compensar los cambios en la rasante y la pendiente más rápido que un operador.
- Los controles automáticos ayudan a aislar el enrasador de los movimientos verticales erráticos de la unidad del tractor.
- Los controles automáticos ajustan los puntos de remolque para permitir que el enrasador siga una trayectoria paralela a la rasante y la pendiente del sistema de referencia. Esta trayectoria puede ser diferente a la trayectoria de la unidad del tractor.

- **Selección de un Sistema de Referencia**

La selección de un sistema de referencia, ya sea estacionario o móvil, depende de cuatro factores. Estos son: la condición de la superficie sobre la cual la carpeta será colocada, el grado de precisión requerido por la rasante y la pendiente del pavimento terminado, el espesor de la carpeta, y la cantidad de material disponible para la obra. Si la superficie sobre la cual se va a colocar la carpeta tiene buena rasante longitudinal a lo largo de la línea central, pero la rasante transversal no es adecuada, puede usarse un sistema móvil de referencia, a lo largo de la línea central, para proporcionar el espesor deseado de carpeta (en la línea central). En este caso, también puede usarse un control transversal de pendiente para establecer la rasante exterior.

Si la rasante longitudinal es errática, deberá instalarse una línea de cuerda para asegurar una rasante correcta.

Si la superficie existente tiene buen perfil longitudinal y transversal, los controles automáticos del escantillon pueden ser innecesarios. La habilidad auto-niveladora del enrasador puede ser suficiente en estos casos. Sin embargo, si se llegan a usar los controles automáticos, es recomendado usar un sistema móvil de referencia.

5.4.A.5 Calentadores del Enrasador - El enrasador esta equipado con calentadores usados para calentar la placa emparejadora al comienzo de cada operación de pavimentación. Los calentadores no son usados para calentar la mezcla durante la operación. Si la placa emparejadora no está, inicialmente, caliente, la mezcla se romperá y su textura aparecerá abierta y gruesa, como si la mezcla estuviera demasiado fría. En algunos casos, cuando hay prisa por descargar la primera camionada de mezcla, el operador del enrasador permitirá que esta primera mezcla caliente la placa emparejadora. Esta práctica siempre resulta en una sección inaceptable de pavimento; aquel colocado mientras la placa se calienta.

5.4.A.6 Accesorios del Enrasador - Tres tipos comunes de accesorios del enrasador son: las extensiones del enrasador, las zapatas de corte, y las placas de pendiente.

Las extensiones del enrasador son accesorios que ensanchan el enrasador, permitiendo que la pavimentadora coloque una carpeta mas ancha que lo normal. Estas extensiones hacen posible la colocación de carpetas de un ancho de hasta 7.3 metros (24 pies), en una sola pasada.

Las zapatas de corte sirven la función opuesta. Estas son placas de metal encajadas dentro del enrasador para reducir el ancho de la carpeta colocada.

Las placas de pendiente son placas de metal usadas para darle una pendiente de 45° a los bordes de la carpeta.

5.4.A.7 Enganche de Camión - El propósito del enganche de camión, en frente de la tolva de la pavimentadora, es mantener el camión que se encuentra descargando mezcla en caliente en la tolva, en contacto con la pavimentadora. Si el camión y la pavimentadora se separan durante la operación de descarga, la mezcla termina fuera de la tolva, y entonces deberá recogerse antes de que la pavimentadora pase sobre ella.

Existen dos tipos de enganches de camión comúnmente usados:

- Uno de ellos utiliza una extensión que pasa por debajo del camión y se engancha en el eje trasero.
- El otro sistema utiliza unos rodillos retráctiles que se fijan en la barra de empuje del camión y agarran el lado exterior de las ruedas traseras del camión. Estos giran con las ruedas mientras el camión descarga el material en la tolva.

5.4.A.8 Rodillos Pivotados de Empuje para Camión - El rodillo pivotado de empuje es un dispositivo instalado en el frente del asfaltador que se ajusta cuando el alineamiento entre el camión y el asfaltador es desigual. El dispositivo reduce la fuerza desigual ejercida sobre el asfaltador debido al desalineamiento del camión, minimizando así cualquier interferencia en el manejo de ambos vehículos.

5.4.B Camiones de Transporte

La mezcla en caliente es llevada al lugar de la obra mediante camiones. El inspector debe estar seguro de que la mezcla entregada cumpla con las especificaciones de la obra y que además sea entregada en una manera segura.

5.4.B.1 Información General - Varios tipos de camiones son usados para transportar la mezcla en caliente al lugar de la obra. Los dos tipos más comunes son: camiones de vaciado por extremo y camiones de descarga por (Figura 5.18). Los detalles de cada tipo de camión se presentan más adelante. A continuación se presenta una información general concerniente a todos los tipos de camiones usados para transportar mezcla en caliente.

5.4.B.2 Condición de los Camiones de Transporte - Los camiones deben tener cajas de metal, y estos deben estar limpios, lisos y sin hoyos. Todos los camiones deben cumplir con los criterios mínimos de seguridad. Cada camión debe estar numerado correctamente para una identificación fácil, y debe estar equipado con una lona impermeable.

Antes de cargar el camión, deberá limpiarse cualquier material extraño, así como el asfalto endurecido en la caja. Después, la caja deberá revestirse ligeramente con un lubricante para ayudar a prevenir que la mezcla fresca se pegue de las superficies. Luego se debe drenar cualquier exceso de lubricante. Antes de cargar el camión, este debe ser pesado para establecer su peso de taraje (peso sin carga). Este peso de taraje es luego restado del peso total (camión cargado) para determinar el peso de carga o de mezcla.

El número de camiones requeridos en una obra depende de muchos factores: la producción de mezcla en la planta, la longitud del recorrido, el tipo de tránsito encontrado en el recorrido, y el tiempo necesario para descargar la mezcla.

Eje sencillo-Descarga por extremo
6-8 tons

Eje Tandem - Descarga por extremo
13-15 tons

Semi alto
20-22 tons

Semi de fondo
20-22 tons

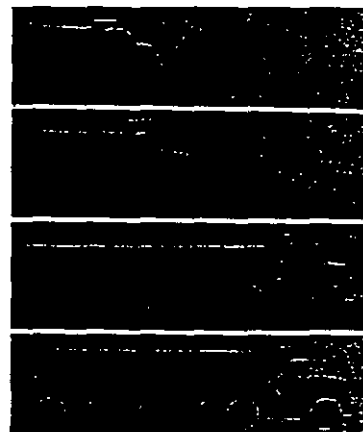


Figura 5.18 - Tipos de Camiones Transportadores de Mezcla.

5.4.B.3 Tipos de Camiones de Transporte - Todo tipo de camión usado para transportar mezcla en caliente debe tener ciertas características físicas para poder transportar y descargar correctamente. A continuación se listan varias normas para los dos tipos mas comunes de camión.

Camiones de Vaciado por Extremo

Como primera medida, se debe inspeccionar el camión de vaciado por extremo para asegurar que la parte posterior de la caja sobresalga lo suficiente, por encima de las ruedas traseras, para que pueda descargar la mezcla dentro de la tolva de la pavimentadora. Si esto no es así, entonces se debe instalar un mandil con placas laterales para extender la caja y prevenir derramamientos de mezcla en frente de la pavimentadora.

La caja debe tener un tamaño tal que se ajuste dentro de la tolva sin que ejerza presión sobre la pavimentadora. El sistema hidráulico del elevador de la caja deberá inspeccionarse frecuentemente para prevenir posibles escapes de liquido hidráulico. Estos escapes de liquido pueden caer sobre la superficie de la carretera y, en consecuencia, prevenir una buena ligazón entre la carretera y la carpeta nueva. Además, si se derrama demasiado liquido, entonces la mezcla se volverá inestable en esa área. Debido a todo esto, se debe evitar el uso de camiones con escapes.

Las lonas impermeables se deben usar para cubrir la carga en tiempos de frío, o cuando el trayecto sea bastante largo, para evitar que la mezcla se enfríe demasiado. Una mezcla fría forma terrones y costra sobre la superficie. Si se usa una lona, esta debe estar muy bien asegurada y amarrada a la parte superior de la caja para prevenir que el aire frío se cuele hacia la carga.

En la entrega, el conductor del camión debe retroceder derechamente contra la pavimentadora, y debe parar varios centímetros antes (por lo menos diez) de que las ruedas hagan contacto con la barra de rodillos. Si el conductor retrocede demasiado contra la pavimentadora, puede terminar forzando el enrasador dentro de la carpeta, creando así un abultamiento en el pavimento que permanece aún después de que la carpeta ha sido colocada.

La caja del camión debe elevarse lentamente. Cuando la mezcla es descargada rápidamente ocurre segregación, debido a que los agregados gruesos ruedan por los lados de la carga.

Camiones de Descarga Inferior

Los camiones de descarga inferior pueden ser usados cuando una motoniveladora esta distribuyendo la mezcla, o cuando se usa un dispositivo recogedor para alimentar la tolva.

Existen dos métodos comunes para descargar camiones de descarga inferior. Uno de los métodos involucra el uso de una caja distribuidora diseñada para operar debajo de las compuertas del camión. En este caso, la cantidad de material colocada en el montón esta limitada por el ancho de la abertura de la caja de distribución. La desventaja de este método es que la caja distribuidora puede reducir la cantidad de material a un valor menor que el requerido.

El segundo método consiste en usar cadenas para controlar la abertura de la compuerta de descarga. Este es el procedimiento mas comúnmente usado. También existen dispositivos automáticos para controlar la abertura de la compuerta, pero su uso es limitado debido al costo adicional.

Las variaciones en el tamaño del volumen depositado por el camión, y las irregularidades en la superficie sobre la cual se va a colocar el material, causarán variaciones, a su vez, en la cantidad de material alimentado en la tolva. Estas variaciones también causan, con frecuencia, variaciones en la superficie terminada. Por lo tanto, es esencial que el volumen depositado sea lo mas uniforme posible. Si el volumen no tiene el tamaño adecuado, se le puede añadir

material para evitar que el asfaltador este "hambriento". Si el montón contiene demasiada mezcla, se puede dejar mas espacio con el montón del camión siguiente para compensar el exceso. También se debe controlar la longitud del montón, especialmente en tiempo frío. En tiempo frío, el material amontonado se enfría por debajo de las temperaturas de distribución y compactación, especialmente si ocurren retrasos debido al mal funcionamiento del asfaltador. Para prevenir un enfriamiento excesivo de la mezcla en tiempo frío, el límite longitudinal del montón no deberá ser mayor que el tamaño de una camionada medido por delante del dispositivo recogedor.

Si el cargador y la pavimentadora están acoplados directamente, cualquier vibración del dispositivo recogedor puede ser transmitida a la pavimentadora, y causar, en consecuencia, ondulaciones y asperezas en la superficie de la carpeta. Estas vibraciones generalmente son el resultado de desgastes y defectos en las partes, o de monturas o ajustes incorrectos.

5.5 ENTREGA DE MEZCLA EN CALIENTE

5.5.A Boletín de Carga

Los boletines de carga (Figura 5.19) proveen los registros esenciales para el control de calidad de las operaciones de la obra, así como para el control de la cantidad de mezcla entregada. Aunque varias agencias usan diferentes sistemas, ciertos detalles de los boletines de carga permanecen generalmente iguales de una obra a la otra. Los boletines de carga - numerados consecutivamente - son generalmente expedidos en la planta. En ellos se encuentra el número del proyecto, el origen de la carga, la hora en que el camión fue cargado, la temperatura y peso de la carga, el número del camión, el tipo de mezcla, y el lugar donde la mezcla fue colocada. También aparecerá el peso de la mezcla y su temperatura, tal como se registraron en la carretera.

En estos boletines hay aspectos de cierta importancia para el inspector. Primero, la numeración consecutiva de los tickets mostrará si un camión llegó o no, al lugar de la obra, en un orden diferente al que fue cargado en la planta. Esto puede ocurrir debido a una avería del camión, problemas de tráfico, o cualquier otra razón; pero dará al inspector una idea de que tanto tiempo el camión ha estado cargado. Si este periodo de tiempo es mas largo que lo normal, entonces se debe revisar muy bien la mezcla para ver si se encuentra a la temperatura correcta y para ver si no se han formado terrones debido a un posible enfriamiento. Si se detectan problemas serios de temperatura, la carga deberá ser rechazada. Es importante que el inspector recoja todos los boletines de carga de cada camión, a medida que el camión esta descargando. De esta manera, el se puede asegurar de que ninguna de las cargas del proyecto ha sido desviada.

5.5.B Inspección Visual de la Mezcla

Los procedimientos de inspección de mezclas deberán discutirse a fondo durante la reunión sostenida antes de la construcción. Aunque la mezcla es inspeccionada en la planta, existen ocasiones en que el inspector de planta puede pasar por alto, inadvertidamente, una carga defectuosa que puede ser el resultado de una falla en la planta. Algunas de estas deficiencias pueden ser notadas por el inspector de colocación antes de que la mezcla sea descargada. Estas deficiencias se hacen aparentes cuando se revisa la temperatura o cuando se eleva la caja del camión. Algunas indicaciones de deficiencias en la mezcla en caliente, que pueden requerir una inspección mas rigurosa, y posiblemente una rectificación, son:

- **Humo Azul**

El humo azul que asciende de la mezcla del camión, o tolva distribuidora, puede ser indicación de una carga sobrecalentada. En este caso, la temperatura deberá revisarse inmediatamente.

falta de asfalto en la mezcla puede detectarse por su apariencia magra, parda, y opaca en la superficie, y por una compactación inaceptable. Por otro lado, el exceso de finos en una mezcla puede dar la misma apariencia que una mezcla con muy poco asfalto. El exceso de finos puede ser detectado al inspeccionar la textura de la mezcla y observar si la mezcla se desliza bajo el compactador.

- *Vapor Ascendente*

El exceso de humedad aparece, frecuentemente, como vapor ascendente en la mezcla, cuando esta se descarga en la tolva del asfaltador. La mezcla en caliente puede estar burbujeando y reventando como si estuviera hirviendo. Una humedad excesiva también puede causar que la mezcla aparezca y actúe como si tuviera demasiado asfalto.

- *Segregación*

La segregación de agregados puede ocurrir durante la pavimentación debido a un manejo inadecuado de la mezcla. En otros casos, la segregación puede ocurrir antes de que la mezcla llegue a la pavimentadora. En cualquier caso, esta se debe corregir inmediatamente, en el origen de la causa.

- *Contaminación*

Las mezclas se pueden contaminar con sustancias extrañas, incluyendo gasolina, kerosene, aceite, trapos, papel, basura y mugre. La contaminación se puede corregir si no es muy extensa; sin embargo, una carga que ha sido contaminada en su totalidad debe ser rechazada.

- *Exudación*

Aunque es recomendable usar sustancias que no tengan una base de petróleo para rociar las cajas de los camiones, todavía hay agencias que permiten el uso de combustible diesel para este propósito. El exceso de diesel que se acumula en la caja del camión puede ser absorbido por la mezcla. En el pavimento, el diesel diluye el asfalto y causa que este se filtre (exuda) hacia la superficie, resultando en lo que se conoce como una "mancha grasienta". Además, en la mezcla, el exceso de diesel puede disolver y debilitar el asfalto. Una mezcla en caliente contaminada con diesel deberá ser removida y reemplazada.

5.5.C Calculando la Producción del Asfaltador

El peso de la carga se usa para verificar la producción del asfaltador (longitud de sección de pavimento por camionada de mezcla). Para empezar es necesario saber cuánto pesa la mezcla después de compactada. Una vez se obtenga esta información, se puede proceder a determinar si la producción actual está cerca a la esperada, usando las medidas de la carpeta colocada y unos cálculos simples. Estúdiese el siguiente problema ejemplo.

Problema Ejemplo

Un camión entrega 15 toneladas (33,070 libras) de mezcla en caliente al asfaltador. El asfaltador está colocando una carpeta de 3.75 metros de ancho por 4 centímetros de espesor (compactado). La mezcla tiene una densidad in-situ de 2.3 ton/m³. ¿Qué sección de pavimento (cuántos metros lineales) puede colocar el asfaltador con las 15 toneladas ?

Solución

- (1) Un metro cubico de mezcla pesa 2.3 toneladas. Un metro cuadrado de carpeta de 1 centímetro de espesor contiene 23 kilogramos (0.023 toneladas) de mezcla:

$$\begin{aligned} 2.3/100 &= 0.023 \text{ ton/m}^2 \text{ por centímetro} \\ &= 23 \text{ kg/m}^2 \text{ por centímetro} \end{aligned}$$

- (2) Debido a que la carpeta esta siendo colocada con un ancho de 3.75 metros y 4 centímetros de espesor, el peso de mezcla por metro lineal de pavimentación es:

$$3.75 \times 1 \times 4 \times 23 = 345 \text{ kg.}$$

- (3) La cantidad de metros lineales que el asfaltador puede colocar con las 15 toneladas, se determina dividiendo el peso de la carga (15,000 kg) por el peso de mezcla por metro lineal (345 kg/m)

$$15,000/345 = 43.5 \text{ metros lineales}$$

Respuesta

El asfaltador deberá ser capaz de pavimentar 43.5 metros de pavimento con la carga entregada por el camión. Efectuando un cálculo mas, encontramos que una tonelada de mezcla pavimentara 2.9 metros.

Esta información puede ser usada para comparar el peso total acumulado, en los boletos de carga, con la cantidad de metros colocados de pavimento. También puede usarse para determinar la cantidad de mezcla en caliente necesaria para pavimentar una sección dada de carretera. Al finalizar el día, la información puede usarse para calcular cuanta mezcla más se necesita para terminar una longitud dada de carretera y, por lo tanto, saber en que momento la planta debe detener la producción.

5.6 PROCEDIMIENTOS DE COLOCACION

5.6.A Coordinando la Planta y el Asfaltador

La uniformidad en las operaciones es esencial en la pavimentación de mezclas asfálticas en caliente. Las operaciones uniformes y continuas del asfaltador producen un pavimento de alta calidad.

No hay ninguna ventaja en operar el asfaltador a una velocidad que requiera que la mezcla deba ser suministrada mas rápido de lo que la planta puede producirla. El tratar de pavimentar demasiado rápido puede ocasionar que la pavimentadora tenga que parar frecuentemente, para esperar que los camiones traigan mas mezcla. Si la parada es demasiado larga (mas que unos minutos en un día frío), la uniformidad del pavimento va a ser afectada desfavorablemente cuando la pavimentadora empiece a operar de nuevo utilizando la mezcla que se ha enfriado.

Por consiguiente, es esencial que la producción de la planta este coordinada con las operaciones de pavimentación. El asfaltador debe cargarse continuamente con suficiente mezcla y, al mismo tiempo, los camiones no deben esperar mucho tiempo para descargar sus camionadas en la tolva del asfaltador.

5.6.B Ajuste del Enrasador Durante la Pavimentación

Si la carpeta que está siendo colocada es uniforme y tiene una textura aceptable, y su espesor es correcto, entonces no es necesario hacer ajustes en el enrasador. Cuando estos ajustes son requeridos, deberán efectuarse en incrementos pequeños, y deberá permitirse cierto tiempo entre cada ajuste para que el enrasador reaccione completa y secuencialmente a cada uno de los ajustes.

Es igualmente importante que los controles de espesor del enrasador no sean ajustados excesivamente en cantidad o en frecuencia. Cada ajuste de los controles de espesor resulta en un cambio de elevación de la superficie de la carpeta. Los cambios excesivos de elevación superficial en el borde de la primera carpeta son extremadamente difíciles de igualar en el carril paralelo, cuando se está construyendo la junta longitudinal.

5.6.C Ancho de la Distribución

Las capas sucesivas de mezcla no deberán ser construidas directamente una sobre otra, sino que deben desplazarse, no menos de 150 mm (6 in.), en lados alternos de la línea central de la carretera. Por ejemplo, en un pavimento de 7.4 metros (24 pies), la primera capa (carril) tiene 3.85 metros (12.5 pies) de ancho y el carril siguiente tiene 3.55 metros (11.5 pies) de ancho. Este método previene que se forme una costura vertical continua a través del pavimento terminado a lo largo de la junta longitudinal. En las carreteras angostas (6 metros (20 pies) de ancho o menos), la capa que requiere de una zapata de corte deberá colocarse primero, y la del otro lado deberá colocarse con la extensión total del enrasador. En la capa final (de arriba), se debe usar una zapata de corte en ambas pasadas para que la junta quede localizada en la línea de centro de la vía.

El alineamiento de la carpeta depende de la precisión de la guía usada por el operador, y de la atención del operador. Esta atención es vital en la construcción de una junta longitudinal aceptable.

En una carretera ancha donde se están colocando carriles múltiples es mejor, generalmente, colocar primero el carril cercano al coronamiento, y después aparear, al lado, el carril contiguo.

5.6.D Obra de Mano

Hay áreas, en muchas obras, donde la pavimentación con enrasador no es práctica o es imposible. En estos casos, puede ser permitido distribuir la mezcla a mano. La distribución y la colocación a mano deberán efectuarse con mucho cuidado, y uniformemente, para que no vaya a haber segregación. Cuando se descarga la mezcla en pilas, esta debe ser colocada lo suficiente adelante de los paleadores, para que ellos no necesiten mover la pila completa. Además, deberá proporcionarse suficiente espacio para que los obreros se paren en la base y no en el material mezclado. Si la mezcla asfáltica es arrojada con palas, es casi seguro que habrá segregación de las porciones gruesas y finas de la mezcla. Una mezcla colocada a mano tendrá una apariencia superficial diferente a la que puede tener la misma mezcla colocada con máquina.

El material de las palas deberá depositarse en pequeños montones y deberá distribuirse con rastrillos. En el proceso de distribución, el material deberá desatarse completamente y distribuirse uniformemente. Cualquier material que se haya acumulado en terrones, y no puede desbaratarse fácilmente, deberá desecharse. La superficie deberá revisarse con reglas rectas y plantillas después de que el material ha sido colocado, y antes de ser compactado. Cualquier irregularidad debe ser corregida.

Capa ligante insuficiente o no-uniforme	Capa ligante, o de imprimacion, inadecuadamente curada	Mezcla muy gruesa	Exceso de finos en la mezcla	Insuficiente astillado	Exceso de astillado	Mezcla inadecuadamente proporcionada	Cargas no-satisfactorias	Exceso de humedad en la mezcla	Mezcla demasiado caliente o quemada	Mezcla demasiado fria	Operación mala de rociado	Rociador en mala condicion	Demasiada humedad en la subrasante	Demasiada capa ligante o de imprimacion	Demasiado rastroleo manual	Mano de obra descuidada o sin experiencia	Demasiada segregacion en la colocacion	Operacion muy rapida de la maquina terminadora	
					X	X	X							X					Exudacion
				X				X	X										Apariencia parda y muerta
					X	X	X							X			X		Puntos rcos o grasos
		X	X			X	X			X	X	X		X	X	X	X		Mala textura superficial
X	X	X				X	X			X	X	X		X	X	X	X		Superficie aspera desigual
		X	X			X	X			X	X	X		X	X	X			Desmoronamiento o carcomido
		X								X	X	X		X	X	X			Juntas desiguales
			X		X	X				X						X			Marcas de la cilindadora
X	X	X		X	X	X	X				X	X		X					Ondulaciones o Desplazamiento
			X	X		X							X						Agnetamiento (muchas gnetas finas)
													X						Agnetamiento (gnetas largas y grandes)
		X				X				X	X	X							Rocas fracturadas por la cilindadora
		X	X		X			X	X	X	X						X	X	Abatimiento de la superficie durante la colocacion
X	X	X		X	X		X		X			X	X						Deslizamiento de la superficie sobre la base

Tipos de imperfecciones del pavimento que pueden ocurrir al colocar mezclas de planta

Figura 5.20 - Problemas Típicos de la Carpeta y sus Posibles Causas.

5.7 INSPECCION DE LA CARPETA

El inspector debe ser capaz de identificar deficiencias en el pavimento terminado y conocer las posibles causas de esas deficiencias. La Figura 5.20 es una tabla de problemas comunes del pavimento y sus posibles causas. Al referirse a la figura, tenga en cuenta que una deficiencia dada puede tener varias causas posibles. En algunos casos, el muestreo y las pruebas son el único medio confiable para analizar un problema del pavimento.

Las siguientes sub-secciones tratan, en detalle, varias de las partidas importantes en una lista de inspección de pavimentos.

5.7.A Temperatura de la Mezcla

La temperatura de la mezcla es revisada, usualmente, en el camión; sin embargo, debe ser revisada, con frecuencia, detrás del asfaltador. Es muy importante hacer esto en las primeras horas del día porque el aire, y la superficie sobre la cual se está colocando el material, están todavía fríos. La temperatura también deberá revisarse cuando la mezcla aparezca fría o cuando la primera compactadora se este quedando atrás.

La temperatura de la carpeta se toma al introducir el vástago de un termómetro hasta la mitad de su espesor. La mezcla debe ser apisonada, con el pie, contra el vástago del termómetro.

5.7.B Apariencia de la Superficie del Pavimento

5.7.B.1 Textura Superficial - La textura de la carpeta deberá ser uniformemente densa, tanto en el sentido transversal como en el sentido longitudinal.

Si se observa una textura abierta, o un desgarre de la mezcla, al comenzar la operación del día, puede deberse a un calentamiento insuficiente del enrasador. Si aparece un desgarre de la mezcla debajo de las extensiones del enrasador, deberá revisarse el alineamiento de la extensión y las barras apisonadoras y los vibradores.

Cuando una inspección de la carpeta revele una segregación de la mezcla, deberá determinarse la causa y deberán efectuarse, inmediatamente, las correcciones necesarias.

- **Desgarre o Rasgado**

El desgarre ocurre con frecuencia en una mezcla que está demasiado fría, y que aparece abierta y gruesa. El desgarre y el rasgado también ocurren debido a un ajuste inadecuado de un asfaltador equipada con barra apisonadora en la unidad del enrasador.

- **Irregularidades en la Textura**

Una mezcla que contenga demasiada humedad no podrá colocarse correctamente y tendrá la apariencia de una mezcla fría o de una mezcla con demasiado asfalto. Además de presentar un posible desgarre, este tipo de mezcla presentará burbujeo y ampollamiento.

5.7.B.2 Lisura en la Superficie - La lisura del pavimento se ve afectada desfavorablemente por la falta de uniformidad en las operaciones de pavimentación, las gradaciones incorrectas de agregado, las variaciones de velocidad de la pavimentadora, la operación incorrecta de los camiones, y las prácticas deficientes de construcción de juntas.

- **Falta de Uniformidad**

La interrupción del asfaltador puede causar asperezas en el pavimento. Cada vez que se detiene la pavimentadora, existe la posibilidad de que el enrasador deje una marca en la superficie de la carpeta. Si el enrasador se asienta dentro de la mezcla, el sensor automático actúa como si la pavimentadora estuviera pasando por una depresión. Por consiguiente, el enrasador comienza a colocar una carpeta gruesa cuando la pavimentadora reanuda la marcha. Esto continúa hasta que el sensor se da cuenta del espesor excesivo y entonces disminuye la pendiente del enrasador. Esto crea una depresión hasta que el enrasador se vuelve a nivelar, lo cual ocurre aproximadamente a 9 metros (30 pies) de donde el enrasador se detuvo.

Los pavimentos ásperos también son el resultado de cambios en la cantidad de material depositado en frente del enrasador. El enrasador bajará de nivel si no hay suficiente material en frente; y viceversa.

- *Granulometría Incorrecta de Agregado*

Un exceso de agregado grueso puede resultar en una mezcla áspera, la cual produce una superficie desigual de textura áspera. El exceso de finos en la mezcla puede causar una estabilidad baja, permitiendo que se formen ondulaciones en la superficie.

5.7.C Pendiente de la calzada.

Si el centro de la carpeta presenta una textura abierta, o rasgada, detrás del asfaltador, se deberá colocar mas pendiente de avance en el borde delantero del enrasador. Esto forza más mezcla hacia la parte central del enrasador, lo cual cierra la textura. Si el desgarramiento de la mezcla ocurre en el borde exterior, puede ser que haya demasiada pendiente en el borde de avance, forzando demasiado material hacia el centro y muy poco hacia los bordes. En este caso, se debe reducir ligeramente la pendiente de centro para poder distribuir más material hacia los bordes y así poder producir una carpeta uniforme.

5.7.D Geometría de la Vía

La geometría de una vía se refiere al tamaño y forma física del pavimento terminado, incluyendo la rasante longitudinal, la rasante transversal, el alineamiento, la pendiente, y el espesor. La revisión de la geometría del pavimento comienza por conocer la sección típica de los planos del pavimento. Todas las mediciones deben ser comparadas con los planos para determinar si el tamaño y la forma del pavimento son, o no, aceptables.

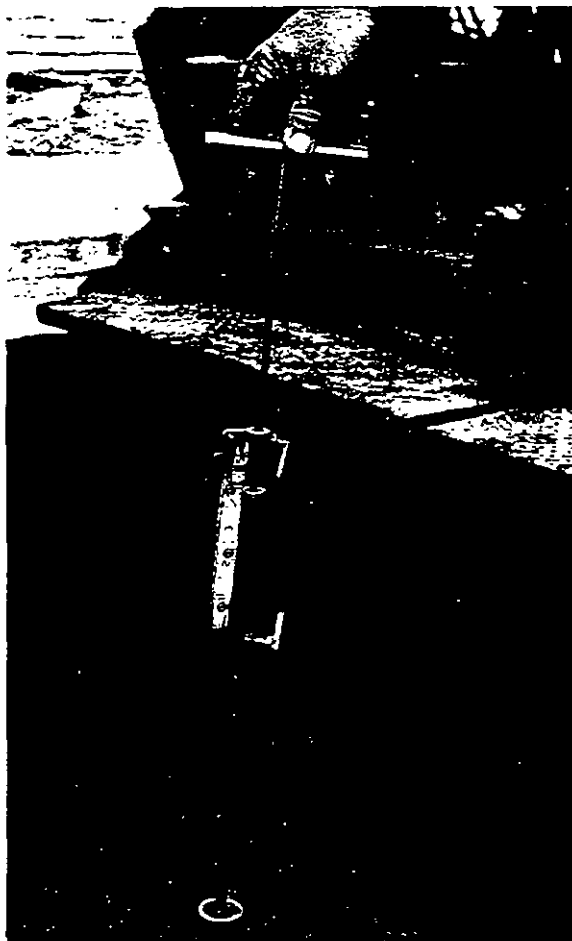


Figura 5.21 - Revisando el Espesor de la Carpeta con un Medidor de Profundidad.

• La rasante longitudinal, la rasante transversal, y el alineamiento, pueden revisarse usando líneas de cuerda, reglas rectas, y cinta para medir, así como niveles topográficos; utilizando marcadores de rasante y elevación como puntos de referencia.

El espesor del pavimento se debe medir antes y después de la compactación para poder determinar la diferencia en espesor debido a la compactación. Antes de la compactación se puede revisar el espesor usando un medidor de profundidad (Figura 5.21), o extendiendo una regla recta sobre el borde de la carpeta y midiendo la distancia entre la regla y la base.

Después de la compactación, se puede repetir la medición de espesor usando la regla recta. También se pueden extraer núcleos de la mezcla compactada de pavimento para efectuar pruebas y hacer mediciones (Figura 5.22). Generalmente, es más fácil medir el espesor de la carpeta usando este último método (Figura 5.23).

5.7.E Juntas

Las juntas de pavimento son costuras entre carpetas adyacentes. Existen dos tipos de juntas de pavimento: juntas transversales y juntas longitudinales.

5.7.E.1 Juntas Transversales - Una junta transversal ocurre en cualquier sitio donde el asfaltador cesa de operar y luego reanuda la marcha después de cierto tiempo. Una junta transversal mal construida aparece como un abultamiento pronunciado en el pavimento. En consecuencia, el inspector debe estar siempre atento en la construcción de la junta transversal, para asegurar que se haga correctamente. Los errores de construcción en las juntas transversales solamente pueden corregirse mientras la mezcla todavía está caliente y manejable. No se pueden dejar pasar horas sin hacer algo, debido a que si la mezcla se enfría, se debe cortar y reemplazar la junta para hacer cualquier corrección.

Las juntas transversales son construidas en dos pasos: (1) cuando se está terminando el primer carril o ancho de pavimento al concluir el trabajo, y (2) cuando se están reanudando las operaciones de pavimentación después de cierto tiempo.

• Terminando un Carril

La carpeta de pavimento debe ser cortada verticalmente, cuando terminan las operaciones de pavimentación al final del día, para que otra capa completa pueda ser colocada, en ángulo recto, contra la carpeta. Este requisito puede cumplirse usando el siguiente procedimiento:

- (1) La pavimentadora se pone en el engranaje de baja velocidad cuando está colocando la última carga del día, y a medida que se acerca al lugar de la junta propuesta.
- (2) La pavimentadora se detiene cuando la cantidad de material en la cámara del enrasador disminuye por debajo del nivel normal de operación, a medida que la tolva es vaciada.
- (3) El enrasador es elevado y luego la pavimentadora es retirada.
- (4) La mezcla asfáltica en caliente es luego paleada fuera del extremo de la carpeta para dejar un borde vertical limpio.
- (5) Un tablón, o papel grueso de envolver, se coloca a lo largo del borde como se muestra en la Figura 5.24.
- (6) El material que fue paleado, en el paso (4), se vuelve a colocar para formar un ahusamiento o chaflán protector.

Figura 5.22 - Extracción de Núcleos de Muestra del Pavimento Terminado.

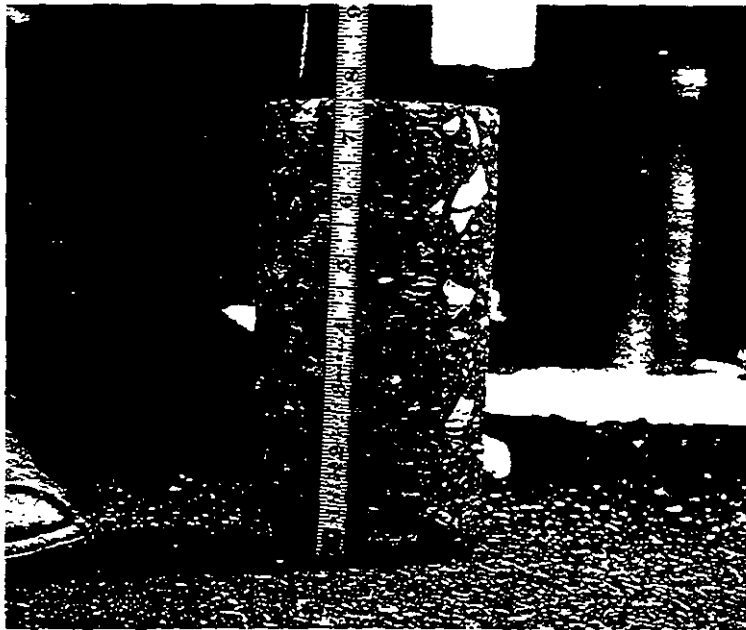
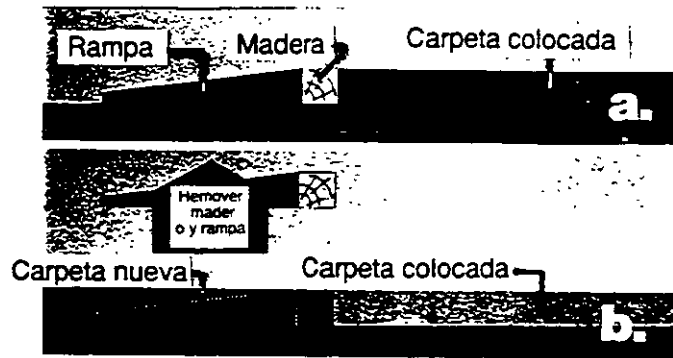


Figura 5.23 - Midiendo el Espesor de la Carpeta en el Núcleo.

Juntas transversales con entablado de contencion



Juntas transversales con papel

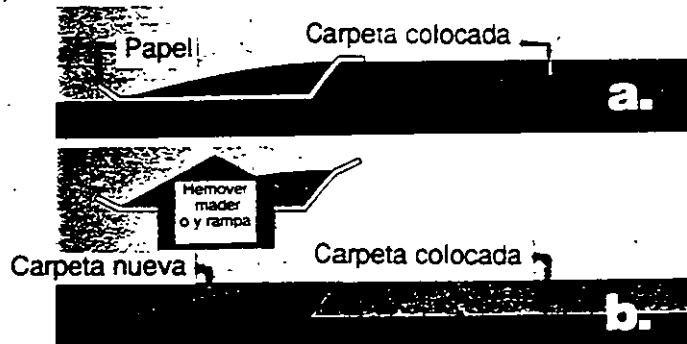


Figura 5.24 - Papel Grueso de Envolver (A) o Tablón (B) para formar Junta Transversal.

• *Reanudación de las Operaciones de Pavimentación*

El procedimiento siguiente debe ser usado para formar una junta transversal adecuada cuando la pavimentación se vaya a reanudar:

- (1) El material que forma parte del ahusamiento es removido junto con el tablón o papel.
- (2) Una regla recta es usada para revisar la rasante longitudinal de la carpeta. Es posible que los últimos metros de carpeta muestren un adelgazamiento debido a que el asfaltador estaba escaso de material en estos últimos metros. Si este es el caso, se debe cortar un borde transversal nuevo justo detrás de donde comienza a adelgazarse la carpeta.
- (3) Se aplica material de liga a la cara vertical del borde de la carpeta.
- (4) Se retrocede la pavimentadora hasta el borde de la carpeta y se deja descansar el enrasador sobre la misma.
- (5) El enrasador es calentado mientras descansa sobre la carpeta. Esto también proporciona algo de calor al material del borde de la carpeta.
- (6) El enrasador caliente se eleva y luego se colocan planchas de relleno debajo de sus extremos. Estas planchas deben ser tan gruesas como la diferencia entre la carpeta sin compactar y la carpeta compactada.

- (7) El camión con la primera carga de mezcla es retrocede cuidadosamente hasta la tolva. Es importante, durante la descarga de la mezcla, que el camión no golpee la pavimentadora, haciendo que este se mueva.
- (8) La pavimentadora comienza hacia adelante en marcha lenta.
- (9) Una vez la pavimentadora se ha movido lo suficiente, se procede a limpiar el exceso de mezcla caliente de la superficie de la carpeta, y se revisa el emparejamiento de la junta usando una regla recta.
- (10) Si la junta es adecuada, se rodilla transversalmente un ancho de 150 mm de mezcla, y luego se revisa la lisura de la junta. Si la lisura es satisfactoria, se procede a compactar transversalmente en incrementos de un ancho de 150 a 300 mm, hasta que el ancho completo de la compactadora se encuentre sobre la mezcla nueva. Si la regla recta revela una desigualdad en la junta, se deberá escarificar la superficie de la carpeta nueva mientras está todavía caliente y manejable. Es preferible efectuar esta escarificación usando un rastrillo de púas. Luego, el material sobrante puede ser removido, o puede añadirse material adicional si es el caso, para después compactar la junta. Durante la compactación se deberán colocar tirantes a lo largo de los extremos de la carpeta para prevenir que el rodillo aplanador dañe los bordes longitudinales.

5.7.E.2 Juntas Longitudinales - Las juntas longitudinales ocurren dondequiera que se coloquen carpetas, una al lado de otra. Existen dos tipos de juntas longitudinales: juntas calientes y juntas frías.

- **Juntas Calientes**

Las juntas calientes son formadas por dos pavimentadora trabajando en escalón. El enrasador de la pavimentadora de atrás esta ajustado para traslapar, de 25 a 50 mm, la carpeta de la pavimentadora delantera.

Las ventajas de una junta caliente consisten en que las dos carpetas terminan, automáticamente, con el mismo espesor; que la densidad a ambos lados de la junta es uniforme (los dos lados son compactados al mismo tiempo); y que las carpetas calientes forman una ligazón fuerte. La desventaja es que el tránsito no puede pasar por ninguno de los dos carriles por un tiempo determinado.

- **Juntas Frías**

En una junta fría, los carriles son colocados y compactados individualmente, uno después del otro. Se deben tener ciertas precauciones para garantizar una junta de buena calidad.

Si es necesario, se deberá barrer la base sobre la cual se va a colocar el carril compañero. Se debe aplicar material de liga al borde que va ser unido.

El enrasador de la pavimentadora deberá estar ajustado para superponer, de 25 a 50 mm, la primera carpeta. La elevación del enrasador sobre la superficie de la primera carpeta deberá ser igual a la cantidad de asentamiento (compactación) esperada en la colocación de la carpeta nueva.

El agregado grueso en el material que traslapa la junta fría deberá ser cuidadosamente removido y desechado. Esto deja solamente la porción fina de la mezcla, la cual será comprimida, enérgicamente, cuando la junta sea compactada.

5.8 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO DE COLOCACION

Durante la construcción de una mezcla asfáltica en caliente, el inspector tiene la responsabilidad de ver que los planos y especificaciones del contrato se cumplan, y que el contratista tenga la oportunidad de efectuar su trabajo de la manera más económica posible. Todas las operaciones de pavimentación deberán ser precedidas por una reunión de construcción durante la cual se pueden discutir los detalles de la obra, y se pueden responder las dudas y las preguntas.

La mezcla en caliente se puede colocar sobre una subrasante, una base granular, un pavimento asfáltico o un pavimento de concreto de cemento Portland (PCC). En cualquier caso, la superficie deberá estar correctamente nivelada y libre de polvo y desechos sobrantes, antes de que comience la pavimentación. Los pavimentos de concreto asfáltico y concreto de cemento Portland deberán ser reparados antes de colocar una capa de refuerzo de mezcla en caliente. Antes de pavimentar, el inspector deberá revisar la rasante y el alineamiento de la superficie a ser revestida, para asegurar que todo concuerde con los planos y perfiles de la obra.

Los riegos de imprimación y los riegos de liga son aplicados por un distribuidor calibrado de asfalto, a una cantidad de flujo determinada por la cantidad de asfalto proveniente del tanque, y por la velocidad del distribuidor. En todas las operaciones de colocación de riegos de imprimación y de liga se deberán mantener temperaturas correctas de rociado.

La máquina de pavimentación esta conformada por dos unidades principales: la unidad del tractor y la unidad del enrasador. La unidad del tractor incluye una planta motriz y todos los sistemas de control para darle potencia a los sistemas del asfaltador. La unidad del enrasador coloca la carpeta de mezcla en caliente, y posee controles para regular su espesor.

El inspector deberá estar familiarizado con los diferentes tipos de enrasadores y de controles, y deberá estar consciente de la importancia de la uniformidad y el balance de todas las operaciones de pavimentación.

Durante la entrega de mezcla en caliente, el inspector debe recoger y revisar los boletos de carga, y debe mantener registros detallados de todas las entregas. Adicionalmente, el inspector deberá revisar la producción del asfaltador mediante cálculos basados en los pesos de las cargas que aparecen en los boletos.

El inspector deberá revisar la temperatura y la calidad de cada carga entregada en la obra, y deberá mantener registros de estos datos. Además, deberá inspeccionar la carpeta detrás de la pavimentadora, revisando detalles como la textura y lisura superficial, la geometría, la consistencia, y las juntas transversales y longitudinales.

CAPITULO 6

COMPACTACION

6.1 OBJETIVOS DEL INSPECTOR

Al concluir este capítulo del manual, el inspector deberá:

- Conocer los fundamentos del proceso de compactación.
- Estar familiarizado con el equipo normal de compactación.
- Distinguir las razones por las cuales las operaciones de compactación deben ser ajustadas para compensar las variaciones en las propiedades de la mezcla y en las condiciones ambientales.
- Conocer como se debe garantizar que un pavimento terminado cumpla con los requisitos de textura, rasante, y densidad.

6.2 INTRODUCCION

6.2.A Antecedentes

La compactación es un proceso que consiste en comprimir un volumen dado, de mezcla asfáltica en caliente, en uno más pequeño. Esto se consigue al comprimir las partículas de agregado, revestidas de asfalto, eliminando así la mayoría de los vacíos (espacios) en la mezcla y aumentando la densidad (proporción de peso a volumen) de la misma. Se considera que la compactación ha sido exitosa cuando la carpeta terminada tiene contenidos óptimos de vacíos y de densidad.

La necesidad de compactar un pavimento hasta lograr su densidad óptima puede entenderse mejor si se advierten los efectos del agua, el aire, y el tránsito en una mezcla subcompactada. Los vacíos en una mezcla subcompactada tienden a estar interconectados y permiten la penetración de aire y agua a través del pavimento. El aire y el agua contienen oxígeno, el cual oxida el ligante asfáltico en la mezcla, causando que esta se vuelva frágil. En consecuencia, el pavimento no podrá resistir las deformaciones repetidas causadas por el tránsito, lo cual conducirá a su falla. Por otro lado, la presencia interna de agua, a temperaturas bajo cero, puede causar una falla prematura en el pavimento como resultado de la expansión del agua congelada.

Un pavimento que no ha sido compactado correctamente durante la construcción presentará huellas o surcos a causa de la canalización del tránsito. Además, si no se dejan suficientes vacíos en la mezcla compactada, entonces el pavimento presentará afloramiento, y tenderá a volverse inestable debido a la reducción del contenido de vacíos causada por el tránsito y por la expansión térmica del asfalto. El contenido óptimo de vacíos, en un pavimento recién construido, es de 8 por ciento o menos para mezclas densamente gradadas. En este nivel, los vacíos no están, generalmente, interconectados. La Figura 6.1 es una representación gráfica del efecto de los vacíos sobre la durabilidad del pavimento. Cuando el contenido de vacíos es demasiado alto, el pavimento tiende a presentar desmoronamiento y desintegración. Cuando el contenido de vacíos es demasiado bajo, hay peligro que el pavimento presente afloramiento y se vuelva inestable.

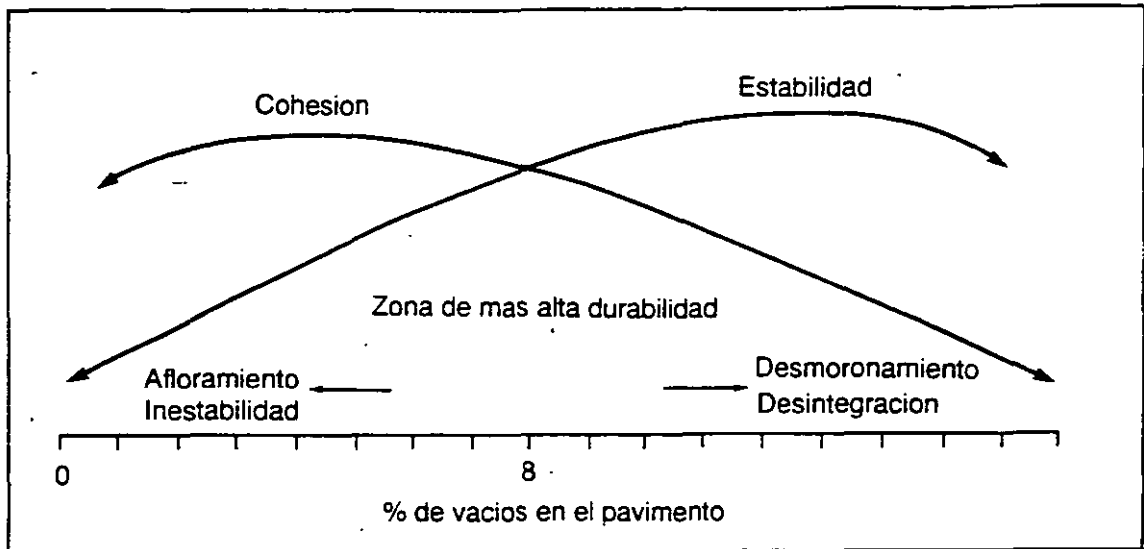


Figura 6.1 - Durabilidad del Pavimento versus Contenido de Vacíos.

La compactación logra dos objetivos importantes, al comprimir las partículas de agregado. Estos son: la resistencia y la estabilidad de la mezcla. Adicionalmente, la compactación cierra los espacios a través de los cuales el agua y el aire pueden penetrar y causar un envejecimiento rápido, daños por congelación-deshielo, y desprendimiento.

6.2.B Descripción General

La compactación se efectúa usando cualquiera de los diferentes tipos de compactadores o aplanadores - vehículos que con su peso, o con fuerzas dinámicas, compactan la carpeta de pavimento, al transitar sobre ella en un patrón específico.

La compactación está dirigida a producir una carpeta con una densidad específica (densidad de referencia). La densidad del pavimento se mide usando uno de los métodos descritos en la Sección 6.6.

Aunque el proceso de compactación parece ser simple y claro, es en realidad un procedimiento que requiere de la habilidad y conocimientos del operador y del inspector. Ambos deben tener un entendimiento completo de la mecánica de la compactación y de los factores que afectan los esfuerzos de compactación.

6.2.C Responsabilidades del Inspector

La compactación es la etapa final de las operaciones de pavimentación de mezclas asfálticas en caliente. Es la etapa en la cual se desarrolla la resistencia total de la mezcla y en donde se establecen la lisura y textura de la carpeta. En consecuencia, durante el proceso de compactación, el inspector debe estar alerta.

El inspector, además de mantener registros precisos y detallados, y de observar la seguridad de la operación, debe asegurar que la compactación se efectúe correctamente y que el pavimento terminado cumpla con todas las especificaciones. Para lograr esto, el inspector debe conocer

todo el procedimiento de compactación y conocer el equipo utilizado. El inspector debe tomar muestras de la carpeta compactada, o lecturas con instrumentos especiales, para determinar la densidad, la tolerancia, y la lisura de la mezcla.

6.3. FUNDAMENTOS DE LA COMPACTACION

6.3.A Mecánica de la Compactación

La mecánica de la compactación involucra tres tipos de fuerzas actuantes durante el proceso compactación. Estas son: las fuerzas de compresión de los rodillos, las fuerzas en la mezcla que resisten las fuerzas de los rodillos, y las fuerzas de soporte proporcionadas por la superficie que se encuentra debajo de la carpeta. La compactación y la densidad pueden obtenerse solamente cuando la mezcla logra ser confinada adecuadamente.

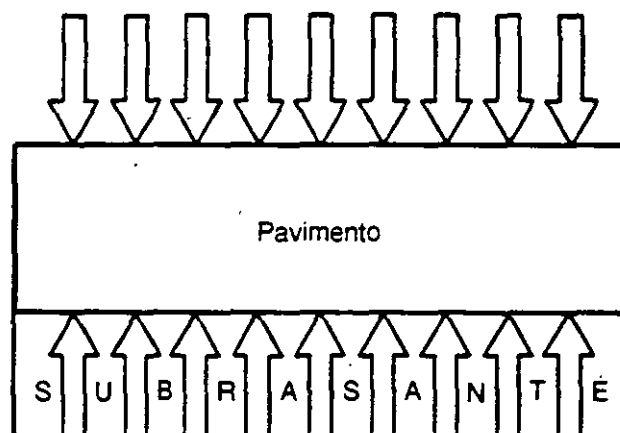


Figura 6.2 - Fuerzas Activas Durante la Compactación.

Para que ocurra la compactación, la fuerza de compresión del rodillo, asociada con las fuerzas opuestas proporcionadas por la superficie debajo de la carpeta, debe vencer las fuerzas resistentes de la carpeta. La Figura 6.2 ilustra este concepto.

La fuerza de compresión de los rodillos proviene del peso de los rodillos, o de una combinación de peso y energía dinámica de los rodillos.

Las fuerzas de soporte de la capa inferior provienen de la estabilidad y firmeza de la misma. Igualmente, las fuerzas resistentes de la mezcla provienen de la fricción entre partículas de agregado, y de la viscosidad del asfalto. Estas fuerzas resistentes aumentan a medida que la densidad aumenta mientras la mezcla se enfría. Cuando la densidad y la temperatura de la mezcla alcanzan el punto en donde las fuerzas resistentes de la mezcla igualan la fuerza compresiva de los rodillos y las fuerzas resistentes de la capa inferior, se logra un equilibrio y se completa el proceso de compactación.

6.3.B Factores que Afectan la Compactación

Los factores que afectan la compactación pueden dividirse en tres clases:

- Propiedades de la mezcla.
- Condiciones ambientales.
- Espesor de la capa.

→ **6.3.B.1 Propiedades de la Mezcla** - Ciertas propiedades del asfalto y el agregado tienen un efecto pronunciado sobre la trabajabilidad de la mezcla, a diferentes temperaturas. Estas propiedades, así como la temperatura de la mezcla en la compactación, deben tenerse en cuenta cuando se selecciona un procedimiento de compactación.

• Agregado

La granulometría, la textura superficial, y la angulosidad del agregado, son las principales características que afectan la trabajabilidad de la mezcla. A medida que aumenta el tamaño máximo de agregado, o el porcentaje de agregados gruesos en la mezcla, la trabajabilidad disminuye, y por consiguiente se requiere un mayor esfuerzo de compactación para obtener la densidad de referencia. Igualmente, una textura superficial áspera en el agregado, en vez de una textura lisa y vidriosa, resulta en una mezcla más estable y requiere de un mayor esfuerzo de compactación. Las mezclas producidas con grava son, frecuentemente, más trabajables que las producidas con piedra de cantera.

Las arenas naturales son añadidas a las mezclas, con frecuencia, para buscar economía. Una mezcla con demasiada arena, especialmente en los tamaños medianos (alrededor del tamiz de 0.60 mm (No. 30)), puede resultar en una mezcla con alta trabajabilidad pero poca estabilidad. Estas mezclas son fácilmente sobreesforzadas por los rodillos, como también por el exceso de pasadas del rodillo. Frecuentemente, estas mezclas son susceptibles a desgarrarse y deformarse bajo el tránsito, aún después de varias semanas de haber sido compactadas.

El contenido de finos o relleno mineral en la mezcla también afectará el proceso de compactación. La combinación de relleno mineral y asfalto proporciona la fuerza ligante en los pavimentos de mezcla en caliente; por consiguiente, la mezcla debe tener suficientes finos para que se combinen con el asfalto y puedan producir la cohesión necesaria cuando la mezcla se enfríe. La adición de relleno mineral ayudará a compensar las propiedades desfavorables de las mezclas que contienen demasiada arena. Por otro lado, si la mezcla contiene demasiados finos, se volverá "gomosa" y será muy difícil de compactar.

• Asfalto

A temperatura ambiente el asfalto es virtualmente sólido, mientras que a temperaturas entre 120 y 150°C (250 a 300°F) es completamente fluido. Para que una mezcla pueda ser compactada correctamente, el asfalto debe tener suficiente fluidez para permitir que las partículas de agregado se muevan unas respecto a otras. En efecto, el asfalto trabaja como un lubricante durante la compactación. A medida que la mezcla se enfría, el asfalto pierde su fluidez (se vuelve más viscoso). Es así como a temperaturas por debajo de 85°C (185°F), el asfalto, en combinación con los finos de la mezcla, comienza a ligar firmemente las partículas de agregado. En consecuencia, la compactación de la mezcla se hace extremadamente difícil cuando se ha enfriado por debajo de 85°C.

La viscosidad del asfalto está determinada por el grado de asfalto usado, y por la temperatura a la cual se produce la mezcla. Un asfalto de alta viscosidad puede requerir una temperatura ligeramente mayor de compactación y/o un mayor esfuerzo de compactación, siempre y cuando todos los demás factores permanezcan constantes.

debajo de la mezcla afectan la velocidad de enfriamiento. Las temperaturas ambientales frías, la humedad alta, los vientos fuertes, y las superficies frías acortan el tiempo durante el cual se debe efectuar la compactación. Además, estos factores pueden hacer más difícil la compactación.

6.3.B.3 Espesor de Capa - En general, es más fácil lograr la densidad de referencia con capas gruesas de concreto asfáltico que con capas delgadas. Esto se debe a que entre más gruesa sea la carpeta, más tiempo demora en enfriarse, y por lo tanto, hay más tiempo para lograr una compactación adecuada. Este hecho puede usarse ventajosamente para colocar capas de mezclas con alta estabilidad que sean difíciles de compactar, o cuando es necesario pavimentar bajo condiciones ambientales que causen enfriamiento rápidos en capas delgadas.

Por otro lado, un aumento en el espesor de la capa permite que las temperaturas de la mezcla sean más bajas debido a la disminución en la velocidad de enfriamiento.

6.4. COMPACTADORES

Normalmente se requieren compactadoras automotrices para la compactación de mezclas de concreto asfáltico. No se deben usar compactadoras tipo remolque, pero se pueden usar compactadoras de mano o placas vibratorias en las áreas que sean inaccesibles a las compactadoras grandes. Las compactadoras automotrices típicas abarcan los tres tipos siguientes:

- Tándem de ruedas de acero.
- Ruedas neumáticas.
- Vibratoria.

Todo tipo de compactadora debe ser inspeccionada antes de ser usada en la obra para verificar que se encuentre en buena condición mecánica. Cuando sea de importancia, se deben revisar los siguientes detalles:

- Peso total de la compactadora.
- Peso por unidad de ancho (para compactadora de ruedas de acero).
- Esfuerzo promedio de contacto (compactadoras neumáticas).

A continuación se presentan detalles referentes al uso y la inspección de cada uno de los diferentes tipos de compactadoras.

6.4.A Compactadoras Tándem de Ruedas de Acero

6.4.A.1 Descripción - Las compactadoras tándem de ruedas de acero tienen ruedas o rodillos de acero, generalmente montados sobre dos ejes tándem, como se muestra en la Figura 6.5. Típicamente, estas compactadoras varían en peso desde 3 hasta 14 toneladas, y a veces más. En casi todas se pueden añadir balastos a las ruedas con el fin de aumentar el peso. Para la construcción de calles, carreteras y pavimentos de tráfico denso se requiere como mínimo un peso bruto de 10 toneladas. Este tipo de compactadoras puede usarse para la primera pasada, la compactación intermedia, y la compactación final (últimas pasadas). Para estas últimas pasadas se requiere un peso bruto mínimo de 8 a 10 toneladas.

El rodillo compactador (rodillo impulsor) de las compactadoras tándem de ruedas de acero debe impartir, como mínimo, 4500 kilogramos por metro lineal de ancho (250 libras por pulgada lineal) cuando es usado en la primera pasada, o en la compactación intermedia.



Figura 6.5 - Compactadora Tándem de Ruedas de Acero.

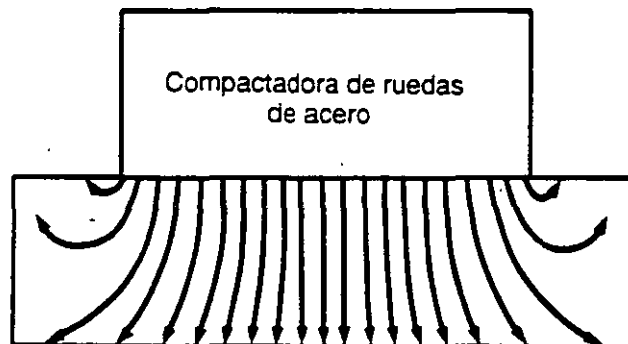


Figura 6.6 - Fuerza Ejercida sobre la Carpeta por los Rodillos de Acero.

Los bordes de las ruedas de acero deberán revisarse, usando una regla recta de metal, para ver si presentan desgaste. No se deberá usar la compactadora si los rodillos están picados o presentan surcos. Las raederas (mantienen limpios los rodillos) y las almohadillas húmedas (mantienen húmedos los rodillos para que no recojan asfalto durante la compactación) deberán reemplazarse si presentan un desgaste excesivo.

6.4.A.2 Principios de Operación - La Figura 6.6 ilustra la fuerza ejercida por una compactadora de acero sobre una mezcla de concreto asfáltico cuando la superficie debajo de la mezcla esta firme. Las flechas indican la dirección de las líneas de fuerza a través de la carpeta.

La trabajabilidad también está afectada por la cantidad de asfalto en la mezcla. A medida que aumenta el contenido de asfalto, el espesor de la película de asfalto sobre las partículas de agregado también aumenta. Este aumento de espesor de película aumenta, a su vez, el efecto lubricante del asfalto a las temperaturas de compactación, y hasta cierto punto hace que la compactación sea más fácil de efectuar.

- *Temperatura de Mezclado*

La temperatura a la cual una mezcla asfáltica es producida afecta la facilidad de la compactación y el tiempo que le toma a la mezcla para enfriarse hasta 85°C - la temperatura mínima a la cual todavía puede haber densificación. Hasta cierto nivel, entre más caliente esté la mezcla, más fluido será el asfalto y menos resistente será la mezcla bajo la compactación. El límite superior para la temperatura de la mezcla es de aproximadamente 163°C (325°F). Las temperaturas más altas pueden dañar el asfalto. La mejor temperatura para empezar a compactar la mezcla, dentro del margen de temperaturas de 163 a 85°C (325 a 185°F), es la máxima temperatura a la cual la mezcla puede resistir el rodillo sin desplazarse horizontalmente.

En el momento de colocación, la temperatura de la mezcla es uniforme a través del espesor de la carpeta. Sin embargo, las superficies superior e inferior se enfrían más rápido que el interior debido a que están en contacto con el ambiente y la subrasante, las cuales se encuentran a una temperatura menor.

El cuarteado por calor es un fenómeno común que ocurre durante la compactación de mezclas de concreto asfáltico, particularmente cuando la mezcla se coloca en capas delgadas. La Figura 6.3 muestra una vista lateral del cuarteado por calor en la compactación de una mezcla. El cuarteado por calor ocurre más frecuentemente cuando la rueda de dirección de la compactadora está en frente, en la dirección de la trayectoria, durante la primera pasada. Las flechas horizontales, mostradas en la figura, entre la superficie de la mezcla y la línea punteada, representan el empuje horizontal de la rueda de dirección. La curva a la derecha de la figura representa el perfil de temperatura en una capa de aproximadamente 50 mm (2 pulgadas) de espesor. La temperatura en la superficie es de 121°C (250°F). La temperatura en el punto medio es de 143°C (290°F), mientras que la temperatura en la parte inferior de la capa está entre 121 y 127°C (250 y 260°F).

La ilustración muestra la razón más común por la que se produce el cuarteo por calor. La rueda de dirección se ha hundido cierta profundidad dentro de la mezcla y está ejerciendo un empuje horizontal que debe ser resistido por la misma mezcla. Puesto que la mezcla está más caliente en el punto medio, entonces la viscosidad del asfalto es menor en este punto que en la superficie. La mezcla tiende, entonces, a moverse horizontalmente a cierta profundidad (marcada con línea punteada en la figura), debido a la fuerza horizontal de la rueda. Esto significa que la mezcla en la superficie también se debe desplazar, pero esta responde con un cuarteado puesto que está más firme, debido a que se encuentra a una temperatura menor. Este mecanismo resulta en lo que se conoce como grietas de pelo, las cuales se extienden hasta el nivel en donde está ocurriendo el movimiento horizontal de la mezcla (generalmente de 9.5 a 12.5 mm (3/8 a 1/2 pulgada) de profundidad). Estas grietas están representadas en la figura por las líneas verticales mostradas detrás del tambor del rodillo.

La Figura 6.4 muestra una vista de planta de las grietas de pelo. Estas tienen, por lo general, un largo de 75 a 100 mm (3 a 4 pulgadas), y están aisladas unas de otras. Si estuvieran conectadas y extendidas formarían una media luna como la que se muestra en la figura. Las grietas en forma de media luna, en la mezcla, son típicas de un movimiento de deslizamiento. Esto es exactamente lo que sucede debajo de un rodillo de compactación cuando se presenta un cuarteo por calor. En este caso el plano de deslizamiento está representado por la línea punteada de la Figura 6.3. Como en cualquier tipo de falla por deslizamiento, la media luna se abre en la

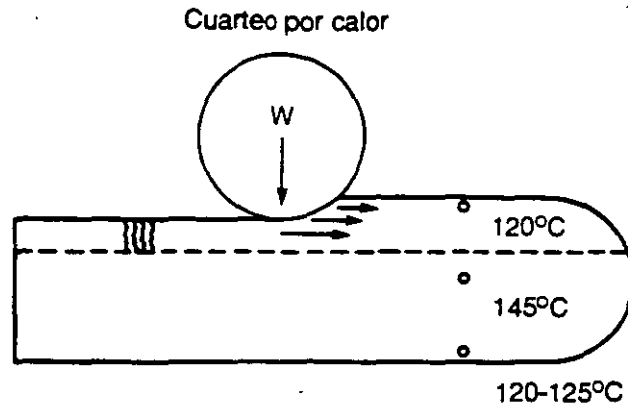


Figura 6.3 - Cuarteo por Calor (Vista Lateral).



Figura 6.4 - Cuarteo por Calor (Vista de Planta).

dirección de las fuerzas que causan el deslizamiento. En el caso del cuarteo por calor, el patrón de grietas de pelo se abre, usualmente, en la dirección de la compactación, cuando la rueda de dirección se encuentra por delante.

El patrón de grietas mostrado para el cuarteo por calor también puede ocurrir cuando el plano de deslizamiento se encuentra a una profundidad mayor, como es el caso de la superficie sobre la cual se coloca la carpeta. En este caso, las grietas tienen la misma forma. Sin embargo, estas son más largas, se abren más (6 a 25 mm), y se extienden a través de la mezcla hasta el nivel del movimiento horizontal.

Es muy raro el caso cuando ocurre cuarteo por calor debajo de la rueda impulsora de un rodillo de acero. Casi siempre ocurre debajo de la rueda de dirección. Los rodillos de ruedas de acero no deberán tener balastos en la rueda de dirección. Cuanto más peso tenga la rueda pequeña, más se hundirá dentro de la mezcla, resultando en un aumento de la fuerza horizontal que está siendo transmitida durante la compactación. Este aumento de fuerza horizontal ocasionará, muy probablemente, cuarteo por calor, u otro tipo de falla por deslizamiento.

6.3.B.2 Efectos Ambientales - Como se explicó anteriormente, la velocidad a la cual se enfría la mezcla afecta la duración de tiempo durante el cual se puede, y se debe, lograr la densidad deseada. La temperatura ambiental, la humedad, el viento, y la temperatura de la superficie

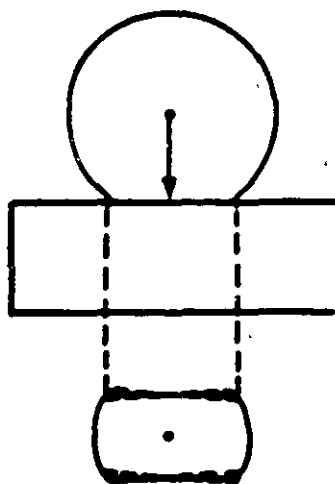


Figura 6.11 - Acción de una Rueda Durante los Procedimientos de Amasamiento.

6.4.B.3 Durabilidad del Pavimento en Relación a la Compactación con Ruedas Neumáticas - La habilidad de las compactadoras de ruedas neumáticas de proporcionar una superficie mas apretada y resistente al tránsito, que las compactadoras de tambor de acero, fue descubierta años atrás cuando fueron empleadas por primera vez en la compactación intermedia de pavimentos de concreto asfáltico. Sin embargo, no deben ser usadas, normalmente, en la primera pasada de compactación de las capas superficiales.

Los ensayos posteriores indicaron que las compactadoras neumáticas pueden ser usadas para conseguir la misma compactación que se logra con las compactadoras de acero.

En la construcción de sobrecapas de concreto asfáltico, la primera capa (de nivelación) es colocada, con frecuencia, sobre una superficie irregular que ha sido deformada por el tránsito. La habilidad de la compactadora neumática de aplicar una presión uniforme sobre el ancho total hace que sea deseable en la compactación de las rodadas (huellas) del tránsito. La acción de puente de las compactadoras de tambor de acero previene, generalmente, que sean igualmente efectivas en situaciones similares.

6.4.C Compactadoras Vibratorias

6.4.C.1 Descripción - Las compactadoras vibratorias proporcionan la fuerza compactadora mediante una combinación del peso y la vibración de sus rodillos de acero, comúnmente llamados tambores. Las compactadoras usadas para concreto asfáltico son automotrices y varían en peso desde 7 hasta 17 toneladas. Existen dos modelos básicos: las unidades de tambor sencillo (Figura 6.12) y las unidades de tambor doble (tándem) (Figura 6.13).

La propulsión de los modelos de tambor sencillo es proporcionada por ruedas de acero o ruedas neumáticas. La propulsión de los modelos de tambor doble es proporcionada, usualmente, por ambos tambores, aunque existe al menos una clase de compactadora que posee dos ruedas impulsoras de acero situadas entre los dos tambores vibratorios. Los tambores de las compactadoras vibratorias varían en diámetro desde 0.9 hasta 1.5 m (3 a 5 pies), y en ancho desde 1.2 hasta 2.4 m (4 a 8 pies). Sus pesos estáticos, en términos del ancho del tambor, están generalmente entre 29 y 32 kilogramos por centímetro (160 a 180 lb por pulgada) de ancho.

El motor que proporciona la potencia para la propulsión también suministra potencia a la unidad vibratoria. Las vibraciones son generadas por la rotación de un peso excéntrico dentro

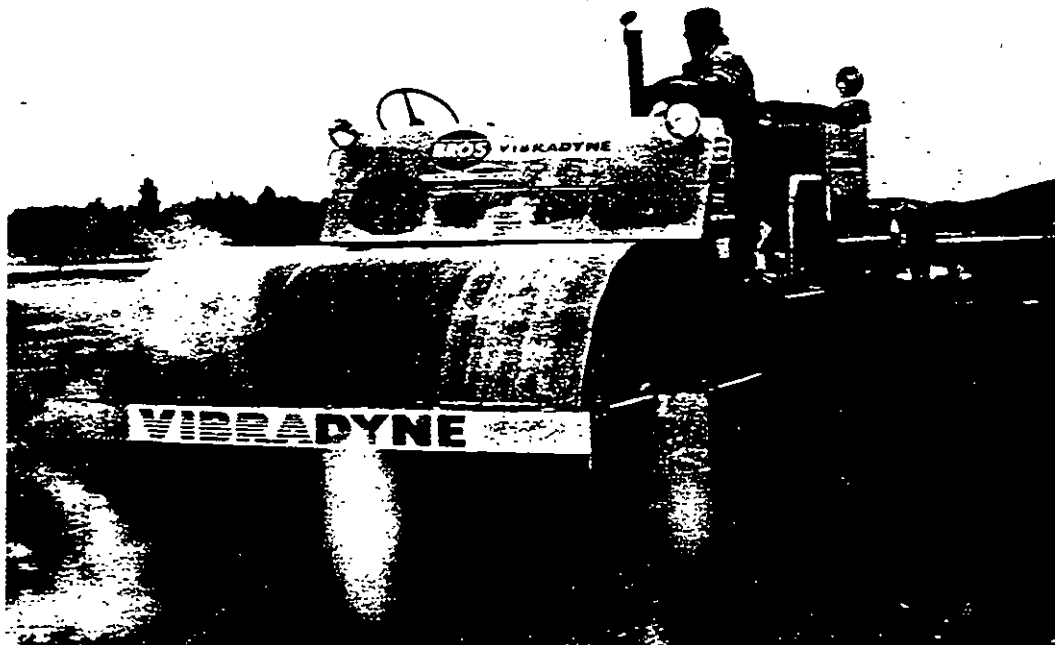


Figura 6.12 - Compactadora Vibratoria de Tambor Sencillo.

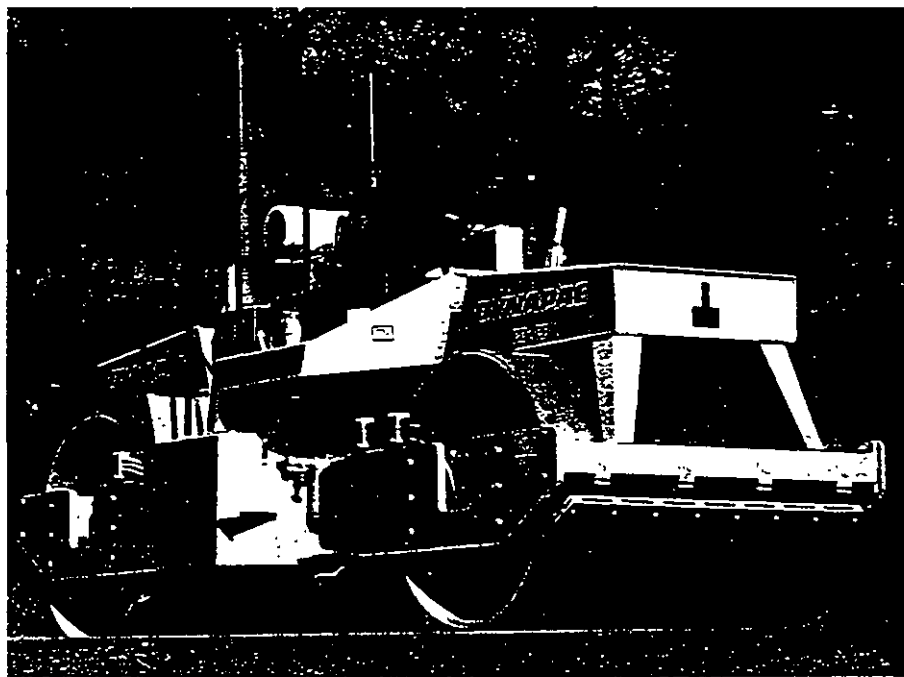


Figura 6.13 - Compactadora Vibratoria de Tambor Doble.

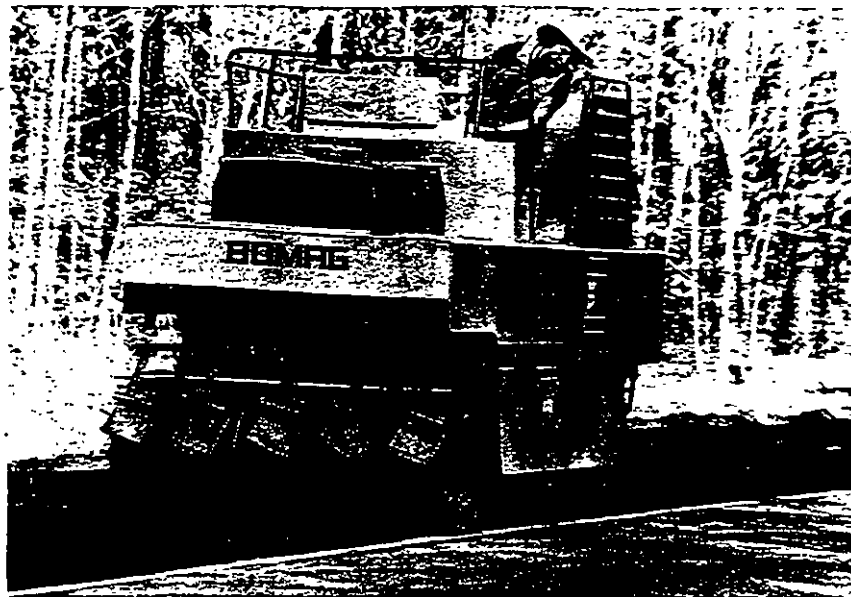


Figura 6.9 - Compactadora Típica de Ruedas Neumáticas.

La Figura 6.10 ilustra las fuerzas ejercidas por la rueda neumática de la compactadora cuando esta es usada para la primera compactación y la compactación intermedia. Las flechas indican las líneas típicas de fuerza dentro de la carpeta.

Cuando se usan compactadoras de ruedas neumáticas, la mezcla que esta siendo compactada debe estar adecuadamente confinada, como en el caso de las compactadoras de ruedas de acero, para poder obtener una correcta densificación. Además, es muy importante tener una resistencia uniforme en la capa inferior, cuando se usan ruedas neumáticas, debido a que las ruedas individuales pueden ejercer fuerzas grandes sobre pequeñas áreas de poca resistencia - áreas que los tambores anchos de acero rígido tienden a salvar con puente.

Durante la primera pasada, la compactadora de ruedas neumáticas produce muy poco movimiento horizontal de la mezcla en la dirección del recorrido. Esto se debe al hecho de que cada rueda se aplanan ligeramente a medida que pasa sobre la mezcla, lo cual permite que casi toda la fuerza de compactación sea aplicada sobre la carpeta en el sentido vertical. El movimiento horizontal de la mezcla en la dirección del recorrido solo ocurre si el diámetro de la rueda es demasiado pequeño, tal que permita que la rueda se hunda dentro de la carpeta. Los hundimientos excesivos indican que la compactadora usada no es adecuada para la primera pasada. Así como en el caso de las compactadoras de ruedas de acero, las ruedas impulsoras de la compactadora neumática deberán ir por delante, en dirección hacia el asfaltador.

Existe un movimiento horizontal de la mezcla debajo de una rueda neumática pero este tiende a ocurrir en ángulos rectos a la dirección del recorrido. Este movimiento puede ocasionar abultamientos pequeños en la mezcla que esta inmediatamente contigua a la rueda. Estos abultamientos son, generalmente, de poca importancia, y serán eventualmente compactados por las pasadas subsiguientes. De todas maneras, deberá haber suficientes pasadas para eliminar dichos abultamientos, así como también cualquier marca de las ruedas (huellas) que se encuentre sobre la superficie de la carpeta. Por otro lado, el agua no se utiliza en las compactadoras neumáticas debido a que es necesario dejar que las ruedas se calienten lo suficiente para evitar que la mezcla se pegue a ellas durante la primera pasada de compactación y durante la compactación intermedia. De todos modos, la mezcla se pegará a las ruedas durante el periodo

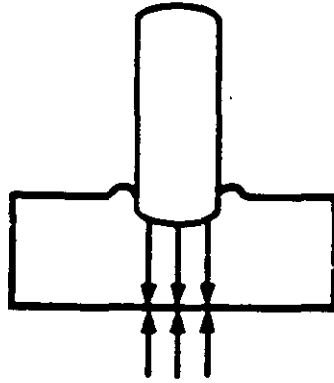


Figura 6.10 - Fuerzas Ejercidas Durante la Compactación por una Compactadora Neumática.

de calentamiento, pero esto cesará una vez estas se calienten. Los faldones que se colocan alrededor de las ruedas acortan el periodo de calentamiento y ayudan a mantener calientes las ruedas durante mas tiempo, especialmente en las épocas de frío o de viento. Los requerimientos deseados, en las compactadoras de ruedas neumáticas, para la primera compactación y la compactación intermedia son:

- Un peso de rueda de 1350 a 1600 kg. (3000 a 3500 lb.).
- Un diámetro mínimo de rueda de 510 mm. (20 pulgadas).
- Una presión de rueda de 480 a 520 kPa (70 a 75 psi) cuando la rueda esta fría, y de 620 kPa (90 psi) cuando esta caliente.

Estas presiones de rueda se aplican a casi todos los tipos de mezclas pero pueden ser reducidas, si es necesario, para las mezclas con estabilidades bajas.

La acción amasadora de una compactadora de ruedas neumáticas también puede emplearse para mejorar o fortalecer una superficie asfáltica después que han sido completadas las operaciones de pavimentación. Este amasamiento puede ser efectuado aun después de dos semanas de que el pavimento ha sido colocado, siempre y cuando el tiempo este cálido y la temperatura de la superficie del pavimento sea, por lo menos, de 38°C (100°F). La operación de amasamiento puede reducir la permeabilidad del pavimento y aumentar su resistencia al desgaste o abrasión por causa del transito. En algunos casos también se han logrado incrementos en la densidad debido a esta operación. La Figura 6.11 ilustra la acción de una rueda neumática durante la operación de amasamiento.

Las compactadoras de ruedas neumáticas también son ideales para corregir el cuarteo por calor en la superficie de la carpeta. Como se discutió anteriormente, el cuarteo por calor es la aparición de pequeñas grietas desconectadas, después de una o mas pasadas de la rueda de dirección de la compactadora de ruedas de acero.

Cuando se usa una compactadora de ruedas neumáticas para el amasamiento de una superficie asfáltica terminada es deseable tener los siguientes requerimientos:

- Un peso mínimo de rueda de 680 kg (1500 lb).
- Un diámetro mínimo de rueda de 380 mm (15 pulgadas).
- Una presión de rueda de 345 a 415 kPa (50 a 60 psi).

Note que las líneas de fuerza se extienden a través de la carpeta hasta la capa inmediatamente inferior. Esta capa firme inferior ejerce una fuerza igual y opuesta. Por consiguiente, la mezcla entre la compactadora y la capa inferior es compactada por las dos fuerzas iguales y opuestas.

Sin embargo, las líneas de fuerza en los bordes del rodillo siguen una trayectoria circular hacia la superficie de la carpeta, donde no hay fuerzas opuestas. La única resistencia, a lo largo de estas líneas de fuerza, proviene de la resistencia interna de la mezcla. Por consiguiente, la compactadora debe traslapar las pasadas anteriores con nuevas pasadas, debido a que la falta de confinamiento en los bordes del rodillo produce una densidad inadecuada en estas áreas de la carpeta. Por lo tanto, la compactación se completa por la interacción de las fuerzas provenientes del rodillo, la capa inferior, y el confinamiento lateral de la mezcla compactada.

La orientación de la compactadora es crítica, especialmente durante la compactación inicial. La dirección del recorrido de la compactadora debe ser tal que la rueda impulsora pase primero sobre la mezcla sin compactar.

La Figura 6.7 ilustra el uso correcto de una compactadora tándem de ruedas de acero. La rueda impulsora está por delante de la rueda de dirección, en la dirección del recorrido de la compactadora. Puede observarse que hay una fuerza vertical hacia abajo causada por el peso de la rueda (W). Por otro lado, las flechas concéntricas con la rueda representan la fuerza de rotación en la rueda (R), la cual es transmitida a la mezcla a medida que el rodillo es impulsado. Esta fuerza concéntrica tiende a mover la mezcla debajo del rodillo en vez de empujarla hacia fuera. La resultante de estas fuerzas (W y R) se aproxima más, en la rueda impulsora, a una fuerza vertical, que la resultante de las fuerzas en la rueda del timón.

La Figura 6.8 ilustra el uso incorrecto de una compactadora tándem de ruedas de acero. La rueda de dirección está al frente, en la dirección del recorrido de la compactadora. Este puede ser un error grave con algunas mezclas, especialmente durante la primera pasada de compactación. Debido a que la rueda de dirección es una rueda "muerta", sin fuerza automotriz, tiene una tendencia a empujar la mezcla hacia fuera, causando una ondulación por delante de la rueda. Un análisis interno de la mezcla revela dos fuerzas. Una de ellas es una fuerza vertical hacia abajo, y la otra es una fuerza horizontal hacia delante. La fuerza más importante, para lograr una compactación adecuada de la mezcla, es la fuerza vertical. Es esta la que proporciona el movimiento deseado de las partículas de agregado. La fuerza horizontal produce muy poca (si alguna) densificación. De hecho, el movimiento horizontal de la mezcla puede ocasionar una reducción de densidad.

Existen otras razones por las que la rueda impulsora debe estar sobre la mezcla por delante de la rueda de dirección; especialmente durante la primera pasada de la compactadora. La rueda impulsora compacta la mezcla con una superficie de contacto más plana, debido a que tiene un diámetro mayor. Por lo tanto, la fuerza horizontal de la rueda es minimizada. Además, este diámetro mayor de la rueda impulsora hace que esta se hunda menos en la mezcla. Este hecho también disminuye la componente horizontal de la fuerza. La rueda impulsora es la rueda más pesada, y es considerada la rueda de compactación. La primera pasada deberá hacerse con la rueda de compactación por delante de la rueda de dirección, debido a que el mejor momento para compactar una mezcla es cuando su resistencia es mínima, o sea cuando la mezcla se encuentra caliente.

El peso de la compactadora es transmitido a la mezcla a través de la presión de contacto ejercida bajo las ruedas. Por consiguiente, la presión de contacto no deberá sobrepasar la capacidad portante de la mezcla. Usualmente, las compactadoras más pesadas pueden ser usadas sobre mezclas más estables y gruesas, particularmente en las primeras pasadas. Para las mezclas menos estables será necesario usar compactadoras menos pesadas.

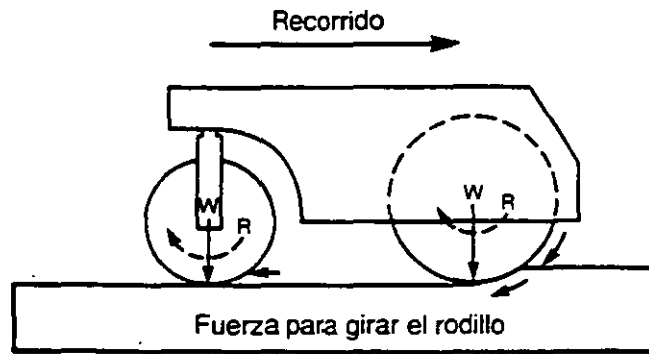


Figura 6.7 - Dirección Correcta del Recorrido de la Compactadora.

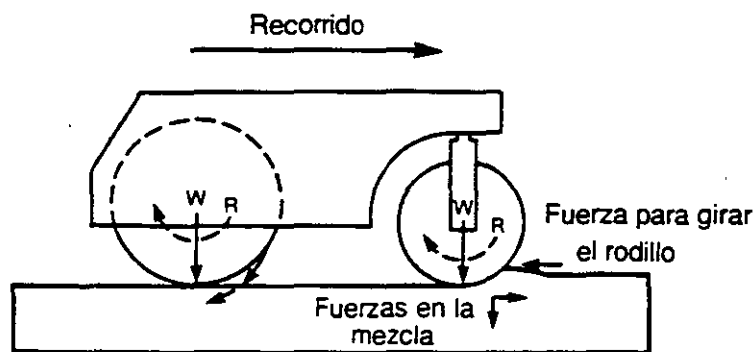


Figura 6.8 - Dirección Incorrecta del Recorrido de la Compactadora.

6.4.B Compactadoras de Ruedas Neumáticas

6.4.B.1 Descripción - Las compactadoras de ruedas neumáticas tienen ruedas de caucho en vez de ruedas o rodillos de acero. Generalmente poseen dos ejes tándem, con 3 o 4 ruedas en el eje delantero, y 4 o 5 ruedas en el eje trasero (Figura 6.9). Las ruedas, se mueven independientemente hacia arriba y hacia abajo.

Las compactadoras de ruedas neumáticas pueden cargar balasto (lastre) para ajustar el peso bruto total. Este balasto, dependiendo del tamaño y el tipo, puede variar entre 10 y 35 toneladas. Sin embargo, más importante que el peso bruto es el peso de cada rueda, el cual debe variar entre 1350 y 1600 kg. (3000 y 3500 lb.) si la compactadora va a ser usada para la primera pasada de compactación, o para la compactación intermedia.

Este tipo de compactadora puede estar equipada con ruedas de 380, 430, 510 o 610 mm (15, 17, 20, o 24 pulgadas) de diámetro. Durante la compactación las ruedas deben tener rodaduras lisas y deben estar infladas con la misma presión, permitiendo una variación máxima de 35 kPa (5 psi), para que puedan aplicar una presión uniforme durante la compactación.

6.4.B.2 Principios de Operación - Las compactadoras de ruedas neumáticas pueden ser usadas para dos tipos de compactación: para la primera pasada de compactación y la compactación intermedia, y para el acondicionamiento final de la superficie. Los dos procesos son diferentes y requieren de diferentes procedimientos de operación.

del tambor. Esta velocidad de rotación determina la frecuencia, o vibraciones por minuto (vpm), del tambor. El peso y la longitud de excentricidad (distancia desde el eje) determinan la amplitud (cantidad) de la fuerza de impacto generada. La frecuencia y la amplitud de las vibraciones están controladas independientemente de la velocidad del motor y del recorrido de la compactadora.

La frecuencia de vibración de los tambores usados para la compactación de concreto asfáltico se encuentra generalmente entre 2000 y 3000 vpm, dependiendo del modelo y el fabricante. Algunos modelos tan solo permiten un ajuste de una o dos frecuencias, mientras que otros permiten un margen de frecuencias (e.g. de 1800 a 2400 vpm).

6.4.C.2 Principios de Operación - Las compactadoras vibratorias consiguen la compactación a través de una combinación de tres factores. Estos son:

- Peso
- Fuerzas de impacto (vibración del tambor)
- Respuesta a la vibración en la mezcla

El factor peso ha sido ya discutido en conexión con las compactadoras de ruedas de acero y las de ruedas neumáticas. Las fuerzas de impacto son aquellas generadas por la vibración del tambor de compactación, y están reguladas mediante el control de la frecuencia y la amplitud de la vibración. La cantidad de fuerza de impacto necesaria para obtener la densificación optima en la carpeta variá con la temperatura y las propiedades de la mezcla asfáltica, el espesor de la carpeta, y el soporte proporcionado por la superficie sobre la cual se coloca la carpeta. Esta cantidad de fuerza también variá con el diámetro y el ancho del tambor, y con la proporción entre el peso estático y la fuerza dinámica (de impacto).

La respuesta a la vibración de la mezcla consiste en la manera como la mezcla reacciona a las fuerzas ejercidas sobre ella. Como con los otros tipos de compactadoras, la mezcla será fácilmente o difícilmente compactada dependiendo de su temperatura, su cohesión, la textura y forma de las partículas, el confinamiento, y otros factores. Lo único que variá en el caso de las compactadoras vibratorias es la presencia de fuerzas repetitivas dinámicas sobre la carpeta.

6.4.C.3 Fuerzas de Impacto - Para poder usar efectivamente una compactadora vibratoria es necesario entender los conceptos fundamentales usados para describir las fuerzas involucradas:

- *Frecuencia*

Las vibraciones del tambor son producidas por pesos excéntricos que se encuentran en un eje giratorio. La velocidad del eje determina la frecuencia (el numero de vibraciones, o impactos, por minuto).

La frecuencia esta definida como el número de ciclos por minuto; un ciclo constituye una vuelta completa del peso excéntrico. El peso excéntrico es un peso descentrado asegurado a un eje en el tambor (Figura 6.14) (ciertas compactadoras pueden tener ejes vibratorios montados, por fuera del tambor, sobre el bastidor). A medida que el eje gira, el peso excéntrico crea una fuerza centrífuga (hacia fuera). Entre mas grande el peso, mayor será la fuerza. También, entre mas lejos se encuentre del eje, mayor será la fuerza. Lo mismo ocurre entre mas rápido gire el eje.

El tambor vibratorio produce una secuencia rápida de impactos sobre la superficie de la carpeta a medida que la compactadora se mueve hacia delante. Estos impactos son iguales a la frecuencia de la vibración. Para una velocidad dada de compactadora, entre más alta sea la frecuencia usada, menor será el espaciamiento de los impactos y , por consiguiente, más lisa será la superficie compactada.

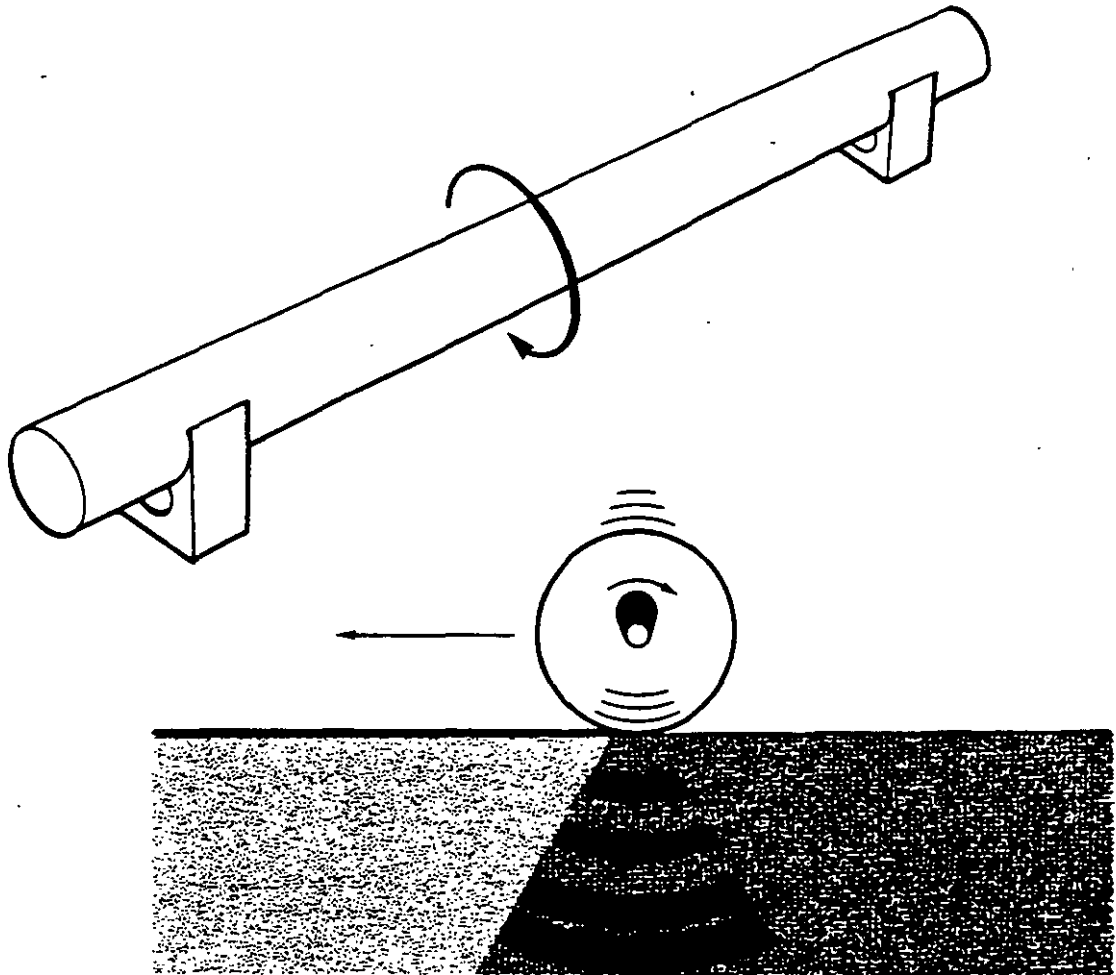


Figura 6.14 - Pesos Excéntricos sobre un Eje Giratorio Creando Vibraciones.

Para cada compactadora se debe utilizar la recomendación del fabricante respecto a la frecuencia que debe ser usada.

- **Amplitud**

El tambor de la compactadora se mueve hacia arriba y hacia abajo a medida que vibra (Figura 6.15). Cuando el movimiento del tambor cambia de dirección, se presenta un instante en que se encuentra quieto.

La amplitud está definida por el mayor movimiento posible del tambor en una dirección, medido a partir de su posición inicial de reposo. La amplitud está controlada por el peso excéntrico y su distancia desde el eje, y por el peso del tambor. Para un peso dado de tambor, entre mayor sea el peso excéntrico y entre más lejos se encuentre del eje, mayor será la amplitud. En la mayoría de las compactadoras vibratorias pesadas la amplitud puede ser controlada y regulada por el operador de acuerdo a las condiciones de pavimentación. Para cada compactadora se debe utilizar la recomendación del fabricante respecto a la amplitud que debe ser usada.

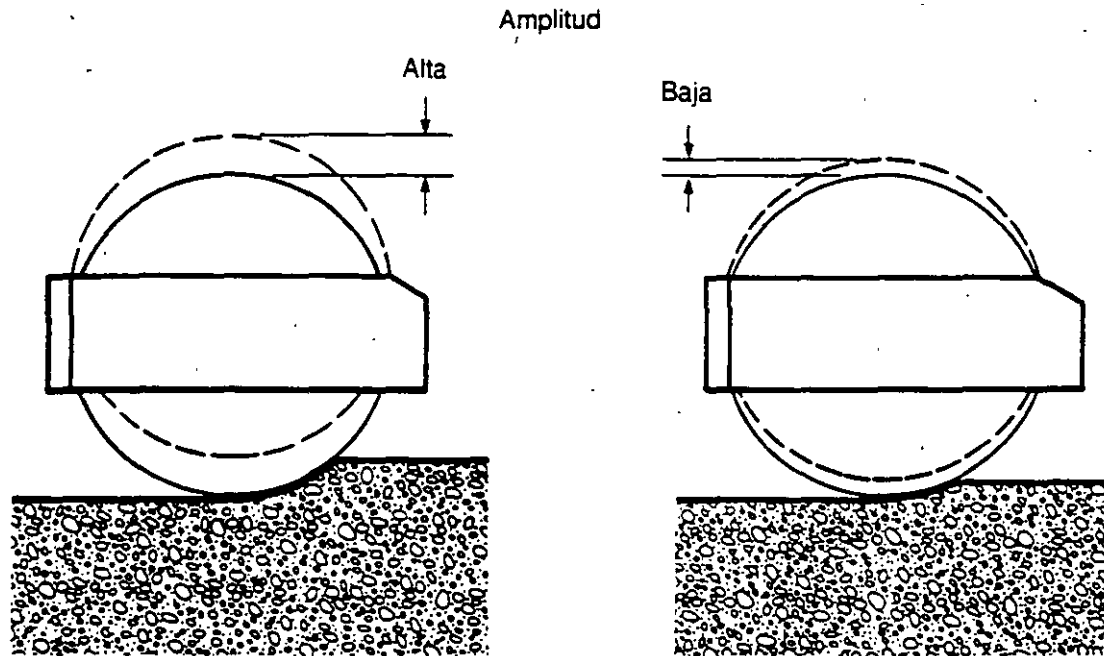


Figura 6.15 - Ilustración de la Amplitud.

6.4.C.4 Uso de las Compactadoras Vibratorias - La frecuencia y la velocidad de la compactadora deben ser igualadas tal que por lo menos se produzcan treinta impactos de vibración por cada metro de recorrido. Esta condición asegura una superficie lisa bajo una compactación vibratoria. La relación entre velocidad y frecuencia esta ilustrada en la Figura 6.16. A medida que la velocidad de la compactadora aumenta, para una frecuencia dada, el espaciamiento de los impactos también aumenta. Generalmente, para mezclas asfálticas, se recomienda usar la frecuencia nominal máxima con una velocidad de compactadora ajustada para proporcionar el espaciamiento deseado.

La Figura 6.17 ilustra cuatro modos diferentes de usar una compactadora vibratoria equipada con dos ruedas vibratorias. El primer modo muestra el uso de la compactadora sin vibración. En este caso, la compactadora actúa simplemente como una compactadora tándem estática de ruedas de acero. El segundo modo muestra el uso de la vibración en la rueda trasera, mientras que la rueda delantera se encuentra sin vibración. Este modo puede ser recomendado en mezclas que tienen estabilidades medias (no muy altas y no muy bajas). El tercer modo ilustra el uso de

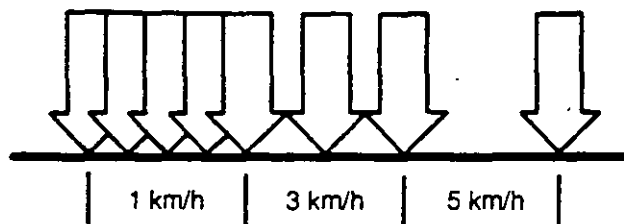


Figura 6.16 - Relación entre Velocidad y Frecuencia.

la vibración en ambas ruedas, sobre una mezcla estable, para conseguir la energía máxima de compactación. El cuarto modo ilustra el uso de la vibración en la rueda delantera, mientras que la rueda trasera se encuentra sin vibración. Este modo puede ser usado para conseguir compactación con la rueda delantera, y conseguir una superficie lisa con la rueda trasera. El modo a ser usado depende de las características de la mezcla y las condiciones del proyecto.

Al utilizar equipo vibratorio se debe tener en cuenta que la energía impartida por la rueda vibratoria debe ser absorbida por la mezcla que esta siendo compactada. El control de la amplitud permite al operador variar la fuerza desarrollada en la rueda, regulando de esta manera la energía impartida. Puede ser necesario ajustar la amplitud cuando hay cambios en las condiciones de colocación de la mezcla. Por ejemplo, un cambio en el espesor de la capa, en la temperatura de la mezcla, en la graduación de la mezcla, en el contenido de relleno mineral, y en el contenido de asfalto, puede requerir de ajustes en la amplitud usada. Es muy importante que la compactadora este vibrando solamente cuando esta en movimiento. Si las vibraciones continúan cuando la compactadora esta en reposo, o cuando esta cambiando de dirección, entonces cada rueda vibratoria dejará una indentación en el pavimento. La mayoría de las compactadoras modernas tienen un regulador automático para detener la vibración tan pronto los tambores cesan su movimiento.

Generalmente, no se debe usar vibración para compactar sobrecapas delgadas. Esto es particularmente cierto en el caso de mezclas arenosas. En las capas delgadas no hay suficiente material para absorber la energía impartida por los tambores vibratorios. Por consiguiente, esta energía pasa a través de la mezcla que esta siendo compactada, y rebota en la superficie sobre la cual se esta colocando la carpeta. Esto hace que la energía vuelva a entrar en la mezcla y cause que esta pierda compactación. Por lo tanto, en este tipo de situaciones deberá usarse la compactadora vibratoria en el modo estático. Además, la velocidad de la compactadora no deberá exceder 5 km/h (3 mph), sin importar si se están usando, o no, vibraciones. Esta velocidad es igual a la velocidad máxima recomendada para compactadoras de ruedas de acero y compactadoras de ruedas neumáticas.

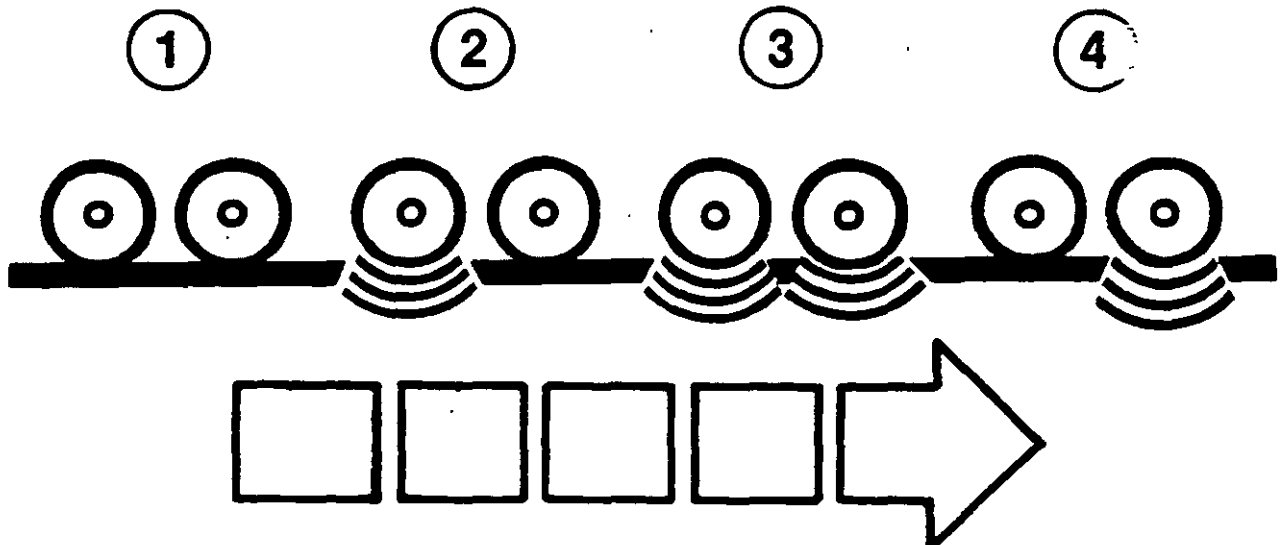


Figura 6.17 - Modos de Vibración.

6.6.A.2 Tolerancia de la Superficie - Las variaciones en la lisura de la carpeta no deberán exceder 6 mm bajo una regla recta de 3 metros colocada perpendicularmente a la línea central, y 3 mm cuando esta sea colocada paralelamente a la línea central. En algunos casos se usa una regla recta con rodamientos, la cual mide y registra, sobre un gráfico continuo, variaciones de la superficie. Las variaciones registradas son luego sumadas y reportadas como aspereza de superficie en milímetros por kilómetro.

6.6.A.3 Densidad - La densidad del pavimento se considera aceptable, o no, cuando se compara con la densidad de referencia establecida en el laboratorio usando una muestra de campo. La densidad del pavimento puede variar en un porcentaje promedio, establecido por las especificaciones, respecto a la densidad de referencia.

Existen tres métodos básicos para determinar la densidad de referencia. Estos son: porcentaje de la densidad de laboratorio, porcentaje de la densidad máxima teórica, y densidad de la sección de prueba (franja de control). El objetivo de los tres métodos es el de obtener un pavimento compactado que tenga, en promedio, un contenido de vacíos de 8 por ciento, o menos.

- **Porcentaje de la Densidad de Laboratorio**

Este método se aplica, con frecuencia, a los procedimientos Marshall de compactación en aquellas obras grandes donde se dispone de laboratorios de campo. Para cada lote o unidad de mezcla (usualmente la producción de un día) se determina una densidad de referencia tomando la densidad promedio de cuatro o más probetas de laboratorio, preparadas con mezcla proveniente de los camiones que están entregando en el lugar de la obra (ver Apéndice C, Procedimientos Aleatorios de Muestreo). Las probetas son compactadas en el aparato Marshall de acuerdo a la norma AASHTO T 245, con dos excepciones:

- La temperatura de la mezcla deberá aproximar la temperatura del asfaltador sin permitir un recalentamiento, y
- El número de golpes de compactación (35, 50, o 75) deberá ser igual al que se utilizó en el diseño de la mezcla.

La ventaja de este procedimiento es que las densidades de referencia obtenidas serán bastante representativas de la producción real diaria de mezcla, y compensarán las ligeras variaciones que ocurren en la mezcla de un día para otro.

- **Porcentaje de la Densidad Máxima Teórica**

La densidad de referencia se determina, en este método, calculando cual sería el peso unitario de mezcla si esta se compacta hasta un punto donde no tenga vacíos. Esta densidad se determina usando la norma AASHTO T 209.

- **Densidad de la Sección de Prueba (Tramo de Control)**

La densidad de referencia se determina a partir de un tramo de control de pavimento, construida al comienzo de cada capa que se va a colocar. El tramo de control es parte de la obra de pavimentación. Este tramo debe tener por lo menos 150 metros de longitud y estar construida con el mismo ancho y espesor que el resto de la capa que representa.

El contratista coloca y compacta el tramo de control con el equipo, el patrón de compactación, y la temperatura que propone usar en la obra.

La compactación comienza tan pronto como sea posible, después de que la mezcla se ha colocado, y continúa hasta que no se obtenga un aumento apreciable de densidad y/o hasta que la mezcla se enfríe a una temperatura de 85°C. La densidad de referencia se determina al promediar los resultados de un número específico de pruebas de densidad, tomadas de lugares aleatorios dentro del tramo de control.

Si la densidad de referencia del tramo de control esta por debajo del 92 por ciento de la densidad máxima teórica o 96 por ciento de la densidad de laboratorio, para la misma mezcla, entonces la densificación se considera inadecuada. (Estos limites son recomendados por el Instituto del Asfalto; las especificaciones de las agencias pueden variar). En este caso deberá construirse un tramo nuevo de control, incorporando los cambios necesarios en la temperatura de compactación, el equipo, y/o los procedimientos de compactación.

6.6.B Requisitos de Verificación

6.6.B.1 Pruebas - Las pruebas para verificar la compactación pueden efectuarse usando núcleos de mezcla del pavimento terminado, o medidores nucleares de densidad (Figura 6.22). De cualquier forma, las lecturas de densidad nuclear deberán ser correlacionadas con densidades de núcleos.

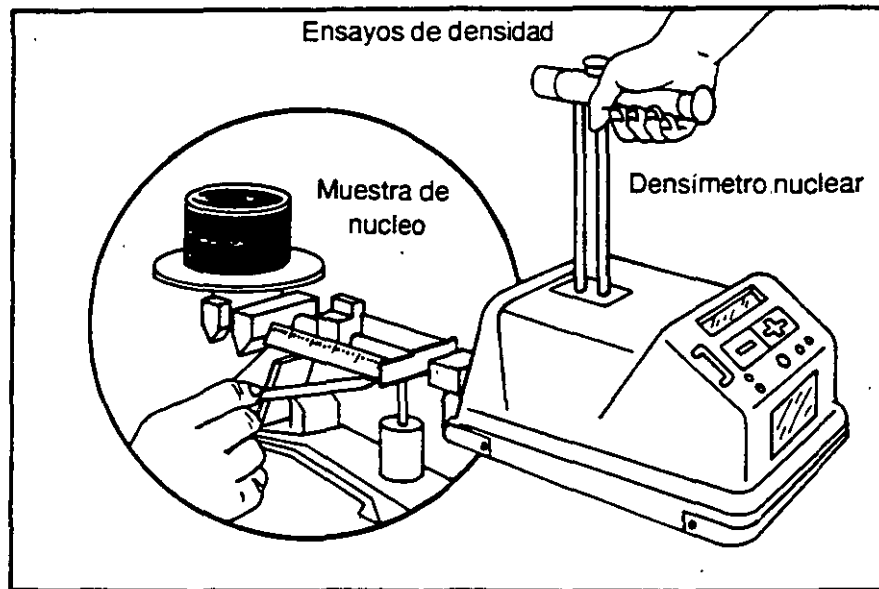


Figura 6.22 - Pruebas de Densidad.

Los densímetros nucleares presentan dos ventajas sobre el muestreo de núcleos. Una es que son rápidos y fáciles de usar, y la otra es que son no-destructivos.

Las pruebas, usando cualquier método, deben ser aleatorias, con un número mínimo de ensayos o núcleos para cada lote de mezcla (usualmente la producción de un día). El promedio de las densidades obtenidas en las pruebas debe satisfacer uno, o mas, de los siguientes criterios, dependiendo de el método usado para establecer la densidad de referencia: 96 por ciento de la densidad de laboratorio, 92 por ciento de la densidad máxima teórica, o 99 por ciento de la densidad de la franja de control.

La compactación longitudinal casi nunca produce una densidad uniforme en ambos lados de la junta. En la mayoría de los casos hay una zona de baja densidad en la junta en el primer carril colocado, y una zona de alta densidad en la junta en el carril de empalme. La única solución práctica para este problema parece estar en la pavimentación en escalón o en la pavimentación de ancho integral (total). La pavimentación en escalón permite que la junta sea compactada mientras la mezcla asfáltica todavía está caliente a ambos lados. En realidad, la mayoría de la pavimentación se hace en carriles individuales. En este caso es recomendable compactar la junta tan pronto como sea posible. En cualquier caso, las juntas longitudinales deberán compactarse directamente detrás del asfaltador.

6.5.D.3 Compactación de Bordes - Los bordes del pavimento deberán compactarse al tiempo con la junta longitudinal, excepto en el caso de la pavimentación en escalón o la pavimentación de capa gruesa. Al compactar los bordes, las ruedas de la compactadora deberán extenderse de 50 a 100 mm más allá del borde, con tal que el desplazamiento lateral de la mezcla no sea excesivo.

Después de haber compactado las juntas longitudinales y los bordes, se deberá proceder a la compactación inicial (primera pasada).

6.5.D.4 Compactación Inicial - Esta compactación puede efectuarse con compactadoras estáticas, o vibratorias, de ruedas de acero.

Es importante comenzar la operación de compactación en la parte baja de la carpeta (usualmente la parte exterior del carril que está siendo pavimentado), avanzando hacia la parte alta. La razón es que las mezclas calientes tienden a migrar hacia la parte baja de la carpeta durante la compactación. Esta migración de mezcla es más pronunciada cuando se comienza a compactar el lado alto de la carpeta. Cuando se colocan carriles contiguos, se debe seguir el mismo procedimiento pero solamente después de haber compactado la junta longitudinal.

6.5.D.5 Compactación Intermedia - La compactación intermedia debe seguir a la compactación inicial tan pronto como sea posible, mientras la mezcla asfáltica todavía se encuentra muy por encima de la temperatura mínima a la cual todavía se logra densificación (85°C).

La compactación intermedia debe ser continua hasta que toda la mezcla colocada haya sido completamente compactada. El patrón de compactación deberá desarrollarse de la misma manera que para la compactación inicial, sin importar el tipo de compactadora usada.

6.5.D.6 Compactación Final - La compactación final se efectúa solamente para mejorar la superficie de la carpeta. Esta compactación deberá hacerse con ruedas tándem estáticas de acero, o con ruedas vibratorias (sin la vibración), mientras el material todavía está lo suficientemente caliente para permitir la eliminación de marcas o huellas causadas por las compactadoras.

6.5.D.7 Compactación de Áreas Inaccesibles - Cuando la mezcla asfáltica se ha distribuido en áreas inaccesibles a las compactadoras, la compactación puede hacerse usando compactadoras de mano de placas vibratorias. Las placas de estas compactadoras tienen, generalmente, un área entre 0.1 y 0.3 m².

6.5.E Procedimientos Especiales de Compactación

6.5.E.1 Rasantes con Pendiente Pronunciada - Las rasantes normales no ofrecen ningún problema durante la compactación. Para las rasantes empinadas, sin embargo, puede ser necesaria una variación en el procedimiento de compactación. En estas situaciones, gran parte de las

fuerzas impartidas por la compactadora serán dirigidas hacia la parte baja de la pendiente, con posibilidades de causar movimientos excesivos de la mezcla en una dirección paralela a la pendiente. Para compensar esta tendencia, puede ser deseable efectuar las siguientes variaciones en la compactación:

- *Compactadoras estáticas de ruedas de acero*

Cuando se usen este tipo de compactadoras se debe retroceder la compactadora para que la rueda de dirección este en la dirección de la pavimentación. La acción de empuje y el peso ligero de esta rueda compensarán la tendencia de la mezcla a moverse hacia abajo, por la pendiente, e impartirán estabilidad adicional a la mezcla antes de que la rueda impulsora pase sobre ella.

- *Compactadoras de ruedas neumáticas*

No utilice este tipo de compactadoras para la primera pasada.

- *Compactadoras vibratorias*

Opere este tipo de compactadoras en el modo estático, para la compactación inicial, hasta que la mezcla obtenga suficiente estabilidad para permitir una vibración de baja amplitud.

6.5.E.2 Pavimentación en Tiempos Fríos - Las mezclas asfálticas se enfrían rápidamente cuando son colocadas sobre superficies frías en tiempos fríos. Además, las capas delgadas se enfrían más rápido que las capas gruesas. Es obvio que existe una ventaja en colocar capas gruesas si el tiempo está frío, debido a que se puede ganar tiempo adicional para poder compactar adecuadamente la mezcla.

6.5.E.3 Capas de Refuerzo de Pavimento - Se debe emplear una capa de nivelación cuando se este colocando una capa de refuerzo sobre un pavimento existente que tenga bastantes deformaciones en las rodadas (huellas de las ruedas). Esto permite eliminar las irregularidades superficiales. Una compactadora neumática es muy útil en la compactación de capas de nivelación. Este tipo de compactadora puede aplicar una presión uniforme sobre la superficie irregular, sin hacer puente sobre las huellas, en donde es muy importante obtener una densidad adecuada.

6.6 REQUISITOS DE APROBACION Y VERIFICACION DEL PAVIMENTO

6.6.A Requisitos de Aprobación

La calidad del pavimento terminado depende de que tanto éxito se logre en el proceso de compactación. Generalmente se usan tres criterios para juzgar la aprobación de una carpeta terminada. Estos son: textura superficial, tolerancia de la superficie, y densidad. Es la responsabilidad del inspector de asegurar que cada criterio sea cumplido.

6.6.A.1 Textura Superficial - Los defectos en la textura superficial pueden ser causados por errores en el mezclado, en el manejo, en la pavimentación o en la compactación. Una mezcla defectuosa por causa de un mezclado, un manejo o una colocación inadecuada, deberá ser removida y reemplazada antes de la compactación. Los defectos que aparezcan durante la compactación y que no puedan ser corregidos con pasadas adicionales, deberán ser reemplazados con mezcla caliente fresca antes de que la temperatura de la carpeta que esta alrededor baje por debajo de los 85°C. Se deberá tener cuidado, en toda área reparada, de asegurar que se mantenga la rasante correcta y que la tolerancia de la superficie cumpla con las especificaciones.

- (4) Compactación intermedia, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.
- (5) Compactación final.

Cuando este pavimentando en escalón, o empalmando un carril previamente colocado o cualquier otra barrera, compacte la mezcla en la siguiente secuencia:

- (1) Juntas transversales.
- (2) Juntas longitudinales.
- (3) Compactación inicial o primera pasada, comenzando en la junta longitudinal y progresando hacia el borde exterior.
- (4) Borde exterior. La compactadora deberá avanzar hacia el borde exterior no confinado en incrementos de 100 mm (aproximadamente) en pasadas consecutivas, cuando se encuentre a 300 mm, o menos, del borde.
- (5) Compactación intermedia, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.
- (6) Compactación final.

6.5.D. Procedimientos Específicos de Compactación

6.5.D.1 Compactación de Juntas Transversales - Cuando la junta transversal es construida al lado de una carril contiguo, la primera pasada se hace con una compactadora estática de ruedas de acero a lo largo de la junta longitudinal, sobre unos cuantos metros. Luego la superficie es nivelada con regla recta y si es necesario, se efectúan las correcciones del caso. A continuación, la junta es compactada en el sentido transversal con todo el ancho de la rueda sobre el material previamente colocado y compactado (Figura 6.20), excepto unos 150 mm. Esta operación se repite con pasadas consecutivas, cada una cubriendo unos 150 a 200 mm adicionales de carpeta nueva, hasta que todo el ancho de la rueda impulsora se encuentre sobre la mezcla nueva.

Durante la compactación transversal se deberán colocar tablones de espesor adecuado en el borde del pavimento, para proporcionar a la compactadora una superficie sobre la cual pueda rodar una vez que sobrepase el borde de la carpeta (Figura 6.20). Si no se usan tablones, la compactación transversal deberá detenerse unos 150 a 200 mm antes del borde exterior para evitar dañarlo. En este caso el borde deberá ser compactado luego durante la compactación longitudinal.

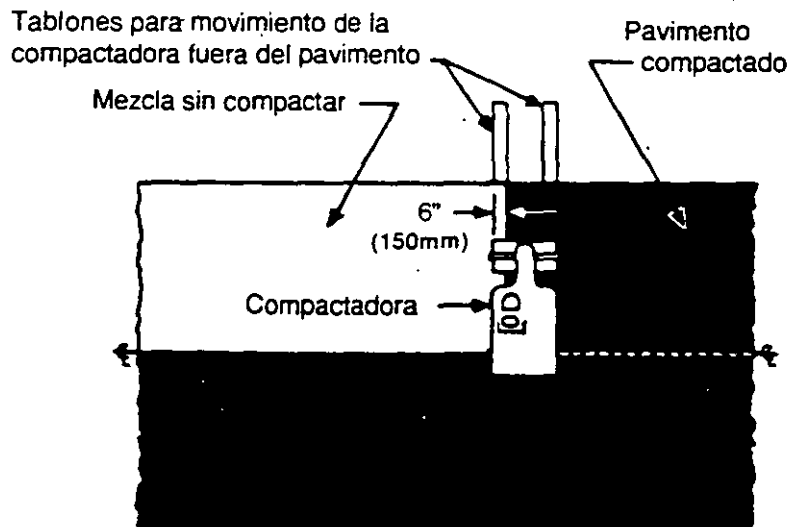


Figura 6.20 - Compactación de una Junta Transversal.

6.5.D.2 Compactación de Juntas Longitudinales - Cuando se usan compactadoras estáticas de ruedas de acero, o compactadoras neumáticas, para compactar juntas longitudinales, se permite que solamente 100 a 150 mm del ancho de la rueda recorran la carpeta nueva en la primera pasada. La mayor parte del ancho deberá rodar sobre el lado de junta previamente compactado. En cada pasada subsiguiente se aumenta el ancho de rueda permitido sobre la carpeta recién colocada, hasta que todo el ancho se encuentre sobre la mezcla nueva.

En el caso de compactadoras vibratorias se usa un procedimiento diferente. Los tambores compactadores solamente se extienden de 100 a 150 mm sobre el carril previamente compactado. El resto del ancho se encuentra sobre la mezcla recién colocada. El compactador continúa moviéndose a lo largo de esta línea hasta que se obtenga una junta completamente compactada.

Las juntas longitudinales, para propósitos de compactación, pueden clasificarse en dos categorías: calientes y frías. Cada una de ellas requiere de un procedimiento de compactación diferente.

- **Juntas Calientes**

Una junta caliente es aquella colocada entre dos carriles, aproximadamente al mismo tiempo; i.e. por asfaltadores trabajando en escalón. Este método produce la mejor junta longitudinal porque ambos carriles están casi a la misma temperatura cuando son compactados. El material se vuelve una sola masa bajo la compactadora y hay muy poca diferencia en densidad entre los dos carriles. Cuando se pavimenta en escalón, la primera pasada de la compactadora que va detrás de la pavimentadora delantera deja 75 a 150 mm de borde común, o junta, sin compactar. Esta junta común es luego compactada por la compactadora que sigue a la segunda la pavimentadora, en su primera pasada. Para lograr este objetivo en una manera efectiva, el segundo asfaltador, y la compactadora que lo sigue, deberán estar tan cerca como sea posible de la pavimentadora delantera para asegurar una densidad uniforme a través de la junta. La compactadora que sigue al segundo asfaltador compacta la costura en su primera pasada (Figura 6.21).

- **Juntas Frías**

Una junta fría es aquella entre dos carriles, uno de los cuales se ha dejado enfriar de un día para otro, o más, antes de colocar el carril contiguo. Debido a la diferencia de temperatura entre los dos carriles, casi siempre resulta una diferencia en densidad entre los dos lados de la junta, sin importar la técnica de compactación usada.

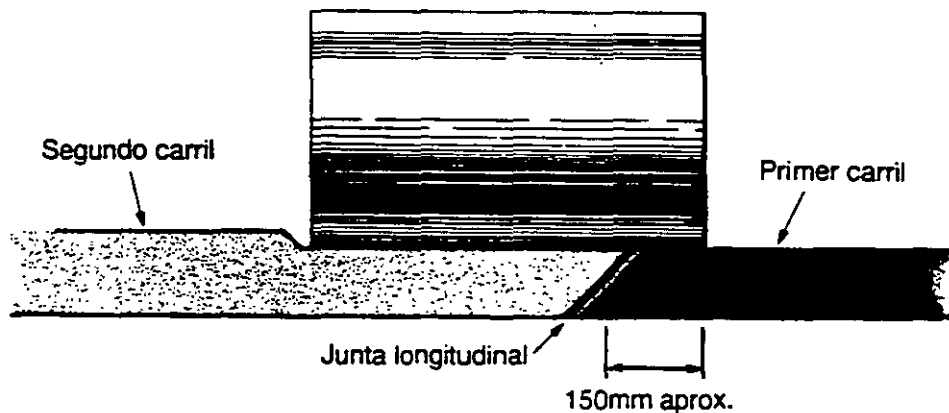


Figura 6.21 - Compactación de una Junta Longitudinal Caliente.

- (2) Si el tramo de prueba no cumple con las especificaciones, se debe efectuar una serie nueva de tramos de prueba. Para esto se recomienda el siguiente procedimiento:
- Disminuya la velocidad de la compactadora.
 - Tomé una medida nuclear de 15 segundos con el densímetro nuclear (Figura 6.19) después de cada pasada, o recorrido de ida y vuelta, hasta que el calibrador indique una densidad adecuada (dentro de especificaciones).
 - Trate una velocidad mayor usando el mismo número de pasadas. Utilice el densímetro nuclear para ver si todavía se consigue una densidad adecuada, y si es así, continúe aumentando la velocidad, con el mismo número de pasadas, hasta que la densidad sea inadecuada (no cumpla con las especificaciones). Después disminuya la velocidad hasta el punto donde se obtenga la máxima velocidad que cumple con las especificaciones de densidad en el menor número de pasadas.
 - La velocidad correcta de compactación es, siempre, un balance entre la compactación rápida para conseguir productividad, y la compactación necesaria para cumplir con las especificaciones de densidad y terminado. Por lo tanto, si la velocidad escogida conduce a una densidad adecuada, pero deja defectos en la superficie, entonces se debe reducir la velocidad hasta que desaparezcan los defectos.
- (3) El patrón de compactación para la franja de prueba deberá ser el mismo patrón que será usado en la obra.
- Nunca use un patrón más lento que aquel seleccionado para la obra.
 - Nunca use mas pasadas que aquellas seleccionadas para la obra. De otra manera, encontrara que el compactador tendrá problemas en mantener el ritmo del asfaltador.
- (4) Es muy importante reconocer el hecho de que todas las técnicas de operación están regidas por el comportamiento de la mezcla durante el proceso de compactación. Este comportamiento varia de obra en obra y de capa en capa. Por lo tanto, las normas no son absolutas, y tan solo deben ser consideradas como una guía.

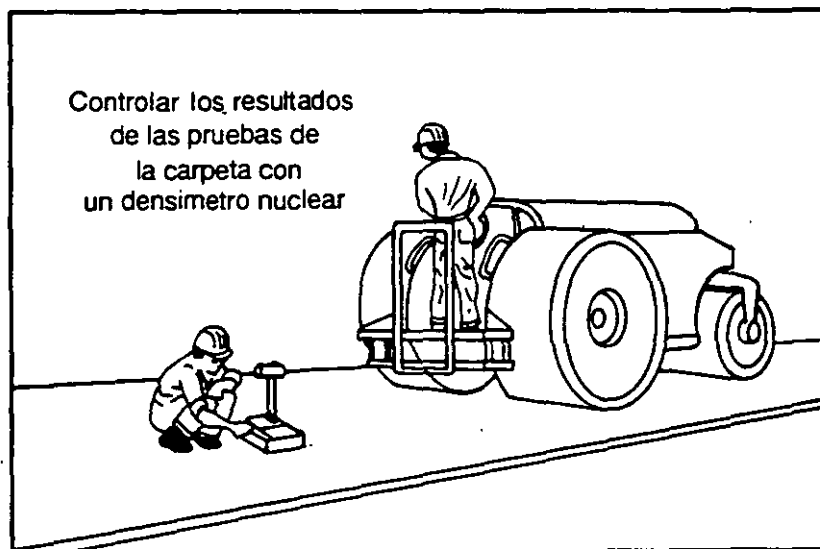


Figura 6.19 - Densímetro Nuclear.

6.5.C Secuencia de las Operaciones de Compactación

Como se mencionó anteriormente, existen tres tipos de operaciones de compactación. Estos son:

- Compactación inicial - La primera pasada de la compactadora sobre la carpeta recién colocada.
- Compactación intermedia - Todas las pasadas siguientes de la compactadora para obtener la densidad requerida antes de que la mezcla se enfríe por debajo de 85°C (185°F).
- Compactación final - La compactación efectuada solamente para mejorar la superficie mientras la mezcla todavía está lo suficiente caliente para permitir la eliminación de cualquier marca de la compactadora.

Las dos primeras operaciones (inicial e intermedia) deben seguir una secuencia específica para garantizar que la carpeta obtenga la densidad, forma, y lisura deseadas. La secuencia dicta que partes de la carpeta deben ser compactadas primero y cuales al final. Además, la secuencia es diferente para capas delgadas que para capas gruesas.

6.5.C.1 Capas Delgadas - Adopte la siguiente secuencia cuando este compactando una capa delgada (espesor compactado menor que 100 mm (4 pulgadas)) en anchos de un solo carril o en anchos completos:

- (1) Juntas transversales.
- (2) Borde exterior.
- (3) Compactación inicial o primera pasada, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.
- (4) Compactación intermedia, usando el mismo procedimiento del numeral (3).
- (5) Compactación final.

Cuando este pavimentando en escalón, o empalmando un carril previamente colocado o cualquier otra barrera, compacte la mezcla en la siguiente secuencia:

- (1) Juntas transversales.
- (2) Juntas longitudinales.
- (3) Borde exterior.
- (4) Compactación inicial o primera pasada, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.
- (5) Compactación intermedia, usando el mismo procedimiento del numeral (4).
- (6) Compactación final.

6.5.C.2 Capas Gruesas - Adopte la siguiente secuencia cuando este compactando una capa gruesa (espesor compactado mayor que 100 mm (4 pulgadas)) en anchos de un solo carril o en anchos completos:

- (1) Juntas transversales.
- (2) Compactación inicial o primera pasada, comenzando a una distancia de 300 a 380 mm (12 a 15 pulgadas) del borde bajo sin soportar, y progresando hacia el otro borde.
- (3) Borde exterior. La compactadora deberá avanzar hacia el borde exterior no confinado en incrementos de 100 mm (aproximadamente) en pasadas consecutivas, cuando se encuentre a 300 mm, o menos, del borde.

6.5 PROCEDIMIENTOS DE COMPACTACION

6.5.A Generalidades

El grado de densidad de una mezcla asfáltica en caliente depende de la cantidad de esfuerzo de compactación que se logre aplicar antes de que la mezcla se enfríe por debajo de 85°C (185°F). Anteriormente se examinaron algunas de las variables que afectan la cantidad de tiempo durante el cual se debe completar la compactación. Una de estas variables, mencionada brevemente, es la cantidad de producción de mezcla. El aumento de la velocidad de la compactadora no compensa el aumento en la cantidad de producción; simplemente reduce la cantidad de esfuerzo de compactación aplicado en una área específica durante un determinado periodo de tiempo.

En algunos casos puede ser necesario disponer de compactadoras adicionales para compensar aumentos en la producción de mezcla, si es que la compactadora utilizada no logra compactar adecuadamente la mezcla a la vez que esta tratando de mantenerse al día con la producción. El número de compactadoras necesarias deberá adaptarse a las condiciones específicas de la obra y deberá ser adecuado para lograr la densidad deseada (de referencia).

6.5.B Calculo de los Requisitos de Compactación

El inspector forma parte esencial en la determinación de los requerimientos de compactación con base en las especificaciones del contrato, aun cuando es la responsabilidad del contratista de establecer estos requerimientos. El número exacto de pasadas que se requieren para obtener la densidad correcta no se conoce en un principio. Esto se debe, mas que todo, a cierta incertidumbre que se tiene sobre la velocidad de enfriamiento de la mezcla. Esta incertidumbre, así como cualquier otra, se puede solventar mediante observaciones, mediciones, y pruebas cuidadosas efectuadas durante las etapas preliminares de la pavimentación. Generalmente es deseable que la compactadora permanezca tan cerca como sea posible del asfaltador.

Se han efectuado varios estudios sobre las tasas de enfriamiento de mezclas, bajo condiciones variables de temperatura de mezcla, espesor de capa, y temperatura de la capa de soporte. La temperatura provee una indicación bastante precisa del intervalo de tiempo necesario para obtener la densidad de referencia (Figura 6.18). Esta aproximación puede usarse para determinar el número requerido de compactadoras en la obra.

Las franjas de prueba sirven para establecer el patrón de compactación que debe ser usado para obtener la densidad requerida (ver Sección 6.6.A.3), la calidad adecuada de la superficie, y para obtener la cantidad óptima de producción con la compactadora utilizada. En casi todos los casos donde se usa una franja de prueba, las compactadoras logran cumplir con los requerimientos de densidad y consiguen producir una superficie de buena calidad.

Se debe planear y usar un patrón de compactación que proporcione el cubrimiento mas uniforme posible en el carril que esta siendo pavimentado. Debido a que las compactadoras son producidas con diferentes anchos, es imposible diseñar un patrón que pueda aplicarse a todas las compactadoras. Por esta razón, el mejor patrón, para un tipo dado de compactadora, se obtiene por medio de un tramo de prueba.

(1) Antes de usar un patrón de prueba se debe tomar una decisión respecto a la manera como se van a operar los siguientes aspectos de la compactadora:

- a. Velocidad
- b. Patrón de recorrido para el ancho de la pavimentación
- c. Número de pasadas
- d. Selección de la zona de operación de la compactadora detrás del asfaltador

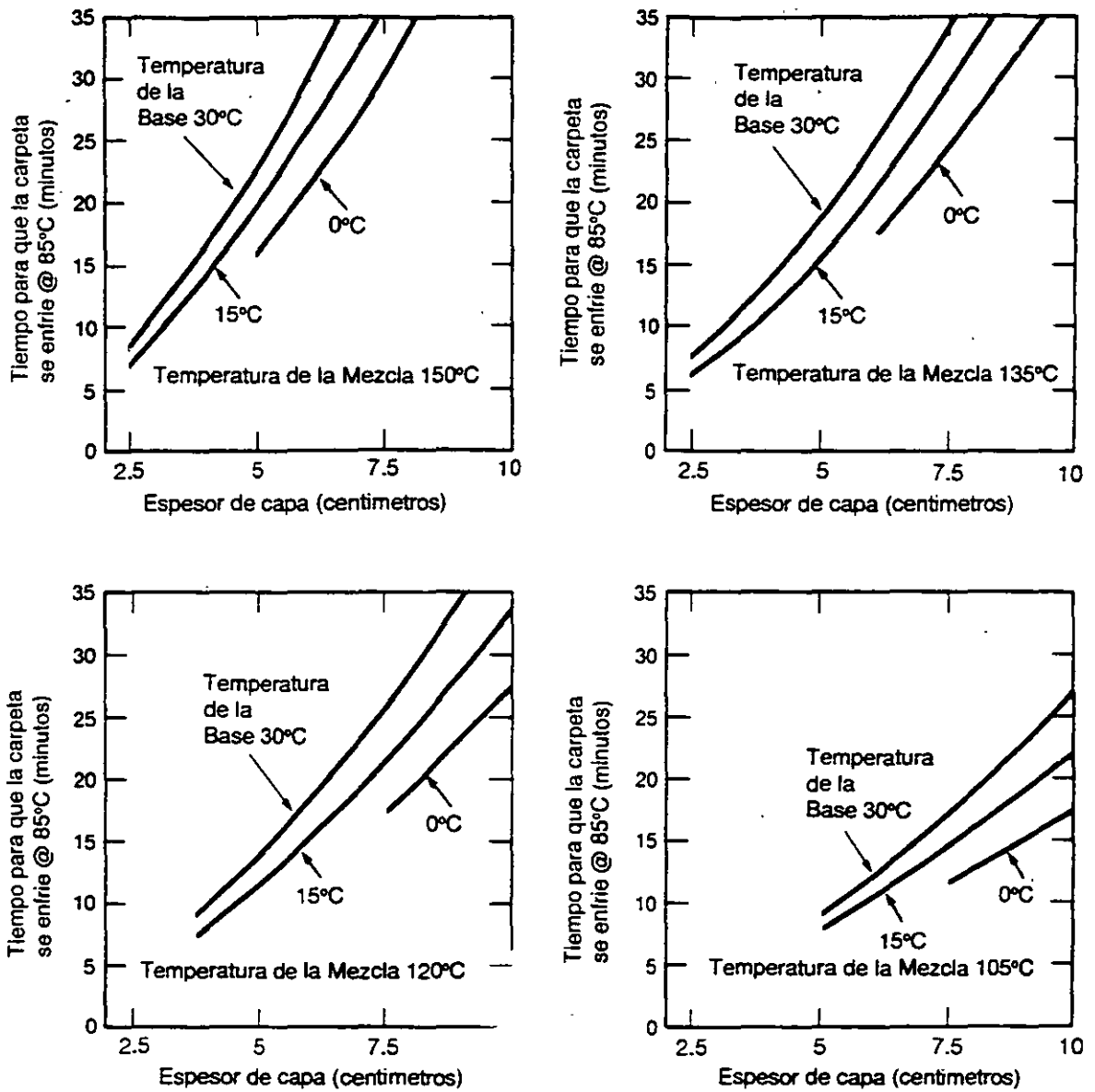


Figura 1-Tiempos para que el asfalto se enfríe a 85°

Velocidad del viento-10 nudos. Temperatura ambiente igual que la base.

Nota: "Temperatura de la Base" es la temperatura de la superficie sobre la cual se coloca la carpeta.

85°C es la temperatura de la carpeta medida 6 @ 12mm debajo de la superficie. La temperatura promedio del espesor total de la carpeta es de aproximadamente 80°C.

No se recomienda colocar espesores menores que los que figuran en las curvas cuando la temperatura base es menor de 0°C.

Figura 6.18 -Tiempo Permitido para la Compactación, Basado en la Temperatura y Espesor de la Mezcla, y la Temperatura de la Capa de Soporte.

6.6.B.2 Muestreo - Las muestras usadas para verificar densidad deben ser extraídas con una sierra de punta de diamante, o una máquina sacanúcleos, con el fin de minimizar el daño que pueda ocurrir en el pavimento y en las muestras. Si el pavimento no se ha enfriado a la temperatura ambiente, hasta la profundidad de la muestra, entonces puede usarse hielo para acelerar el proceso.

Se debe tener suficiente cuidado al obtener y transportar muestras de campo. Las muestras que van a ser usadas para determinar la densidad de referencia deberán ser transportadas en recipientes herméticos, lo mas rápido que sea posible, para minimizar las perdidas de calor antes de la preparación de la briqueta.

6.7 RESUMEN

La compactación es un proceso en donde se comprime un volumen dado de mezcla asfáltica en caliente hasta obtener un volumen más pequeño, con el fin de aumentar la resistencia y estabilidad de la mezcla, y de cerrar los espacios por donde puedan entrar el agua y el aire y ocasionar daños. La Figura 6.23 contiene un resumen de los factores que afectan la compactación.

Varios factores determinan la facilidad y eficacia con que una mezcla puede ser compactada. Entre estos factores se encuentran: las propiedades de la mezcla, los factores ambientales, el espesor de la capa, y otros como la resistencia de la subrasante.

Tres tipos de compactadoras son comúnmente usadas en la compactación: compactadoras de ruedas de acero, que consisten en rodillos de acero montados sobre dos o mas ejes tándem, compactadoras de ruedas neumáticas, las cuales usan ruedas de caucho, y compactadoras vibratorias, las cuales usan tambores de acero diseñados para vibrar sobre la carpeta.

La compactación debe ser completada antes de que la mezcla se enfríe por debajo de 85°C.

El objetivo de la compactación es de producir una carpeta con cierta densidad. La densidad de la carpeta puede ser medida por medio de núcleos o con un densímetro nuclear. Los resultados de estas pruebas son comparados con una "densidad de referencia" establecida para la obra. La densidad de referencia se determina usando uno de los siguientes parámetros: porcentaje de la densidad de laboratorio, porcentaje de la densidad máxima teórica, o densidad de la sección de prueba (tramo de control).

Se deben tomar en cuenta la textura superficial y las tolerancias de la superficie de la carpeta, además de la densidad, para determinar si el procedimiento de compactación ha sido exitoso.

FACTOR	EFEECTO	CORRECCIONES*
<i>Agregado</i>		
• Superficie lisa	Poca fricción entre partículas	Use rodillos livianos Disminuya la temperatura de la mezcla
• Superficie áspera	Bastante fricción interparticular	Use rodillos pesados
• Defectuoso	Se rompe bajo la acción de los rodillos de ruedas de acero	Use agregado firme Use compactadores neumáticos
• Absorbente	Seca la mezcla - difícil de compactar	Aumente el contenido de asfalto en la mezcla
<i>Asfalto</i>		
• Viscosidad		
- Alta	Movimiento limitado de partícula	Use rodillos pesados Aumente la temperatura
- Baja	Las partículas se mueven fácilmente durante la compactación	Use rodillos livianos Disminuya la temperatura
• Cantidad		
- Bastante	Inestabilidad y plasticidad debajo del rodillo	Disminuya el contenido de asfalto en la mezcla
- Poca	Disminuye la lubricación - difícil de compactar	Aumente el contenido de asfalto en la mezcla
<i>Mezcla</i>		
• Demasiado agregado grueso	Mezcla áspera - difícil de compactar	Disminuya el agregado grueso Use rodillos pesados
• Demasiado arenosa	Demasiado manejable - difícil de compactar	Disminuya la arena en la mezcla Use rodillos livianos
• Demasiado relleno mineral	Endurece la mezcla - difícil de compactar	Disminuya el relleno en la mezcla Use rodillos pesados
• Muy poco relleno mineral	Poca cohesión - la mezcla puede desarmarse	Aumente el relleno en la mezcla
<i>Temperatura de la Mezcla</i>		
• Alta	Difícil de compactar - la mezcla tiene poca cohesión	Disminuya la temperatura de mezclado
• Baja	Difícil de compactar - la mezcla es demasiado rígida	Aumente la temperatura de mezclado
<i>Espesor de Capa</i>		
• Capas gruesas	Mantienen el calor - mas tiempo para compactar	Compacte normalmente
• Capas delgadas	Pierden el calor - menos tiempo para compactar	Compacte antes de que la mezcla se enfríe Aumente la temperatura de la mezcla
<i>Condiciones Climáticas</i>		
• Baja temperatura ambiental	La mezcla se enfría muy rápido } La mezcla se enfría muy rápido } Enfría la mezcla - endurece la superficie }	Compacte antes de que la mezcla se enfríe Aumente la temperatura de la mezcla Aumente el espesor de la capa
• Baja temperatura superficial		
• Viento		

* Las correcciones pueden hacerse por tanteo en la planta o en el lugar de la obra. Otras correcciones adicionales pueden surgir de cambios en el diseño de la mezcla.

Figura 6.23 - Factores que Afectan la Compactación.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

CURSO

**CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES
DEL 25 AL 29 DE AGOSTO**

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

EXPLOTACION Y PRODUCCION DE MATERIALES PETREOS

PALACIO DE MINERIA

1997

EXPLOTACION Y PRODUCCION DE MATERIALES PETREOS

LAS PRINCIPALES FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE MATERIALES PETREOS SE OBTIENEN FUNDAMENTALMENTE DE:

- **BANCOS DE ROCA**
- **YACIMIENTOS DE AGREGADOS NATURALES DE RIO**
- **DEPOSITOS DE ALUVION**
- **CONGLOMERADO**

LAS ROCAS SE DIVIDEN EN TRES GRANDES CATEGORIAS GEOLOGICAS:

a)ROCAS IGNEAS

- * **BASALTOS**
- * **GRANITOS**
- * **RIOLITAS**
- * **ANDESITAS**

b)ROCAS SEDIMENTARIAS

- * **CALIZA**
- * **ARENISCA**
- * **DOLOMITAS**

c)ROCAS METAMORFICAS

- * **ESQUISTOS**
- * **GNEISS**
- * **MARMOL**

CONVERTIR EL MATERIAL EN GREÑA O NATURAL, EN AGREGADOS UTILES QUE REUNAN CIERTAS ESPECIFICACIONES EN UN PROCESO DE TRANSFORMACION QUE DEBERA REALIZARSE EN VARIOS PASOS O ETAPAS DE ACUERDO CON EL MATERIAL NATURAL DISPONIBLE Y CON LAS ESPECIFICACIONES QUE SE DEBA CUMPLIR.

BANCOS DE MATERIALES PETREOS

*** PLAYONES DE RIO**

*** DEPOSITOS**

*** MANTOS DE ROCA**

*** CONGLOMERADOS**

*** AGLOMERADOS**

*** ZONA DE PEPENA**

ABASTECIMIENTO DE MATERIALES PETREOS

- ***LOCALIZACION DE BANCOS***

- * CALIDAD
- * DISTANCIA DE ACARREO
- * ACCESIBILIDAD
- * FACILIDAD DE EXPLOTACION
- * VOLUMEN DISPONIBLE
- * TRATAMIENTO
- * COSTOS

- ***EXPLORACION Y ESTUDIOS***

- * ANTECEDENTES Y EXPLORACION
- * ESTUDIOS PRELIMINARES
- * ESTUDIOS DEFINITIVOS
- * ESTUDIOS PARA FINES DE INVENTARIO

USO PROBABLE DE MATERIALES PETREOS EN:

→ SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTO

- * GRAVA - ARENA DE RIO
(TRITURACION PARCIAL Y CRIBADO)**

 - * CONGLOMERADO
(TRITURACION PARCIAL Y CRIBADO)**

 - * ARENISCA
(DISGREGACION O TRITURACION PARCIAL)**

 - * ROCA ALTERADA
(TRITURACION PARCIAL - MEJORAMIENTO)**
-
- * ROCA PROCEDENTE DE MANTOS, DEPOSITOS, PEPENA
(TRITURACION TOTAL Y CRIBADO)**

 - * MATERIALES DE MENOR CALIDAD
(ESTABILIZADOS CON CAL, CEMENTO, PUZOLANA O
ASFALTO)**

**MATERIALES DE USO PROBABLE EN MEZCLAS ASFALTICAS
Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE PAVIMENTOS**

*** GRAVA - ARENA DE RIO**

(TRITURACION PARCIAL Y CRIBADO)

*** CONGLOMERADO**

(TRITURACION PARCIAL Y CRIBADO) (LAVADO)

*** ROCA PROCEDENTE DE MANTOS, DEPOSITOS O DE PEPENA**

(TRITURACION TOTAL Y CRIBADO) (LAVADO)

*** MATERIALES ESPECIALES**

(TEZONTLE, ESCORIAS, ARENAS, CONCHUELA)

EXPLORACION Y PRODUCCION DE MATERIALES PETREOS

LOS MATERIALES PETREOS SON FRAGMENTOS DUROS Y RESISTENTES, LIBRES DE MATERIALES CONTAMINANTES, CONFORME A LAS SIGUIENTES ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS.

AGREGADOS PARA CONCRETOS HIDRAULICOS

ARENA:	0	1/4"
GRAVA # 1:	1/4"	3/4"
GRAVA # 2:	3/4"	1 1/2"
GRAVA # 3:	1 1/2"	3"
GRAVA # 4:	3"	6"

AGREGADOS PARA CARRETERAS

MATERIAL DE SUB-BASE:	0	2"
MATERIAL DE BASE:	0	1 1/2"
MATERIAL DE CARPETA:	0	3/4"
MATERIAL DE SELLO:	3/16"	3/8"

GENERALMENTE SE DA UNA TOLERANCIA +/- 5% TANTO EN SOBRETAMAÑO COMO EN SUB-TAMAÑOS

EXPLOTACION Y PRODUCCION DE MATERIALES PETREOS

PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE EXTRACCION DE MATERIALES, SON FACTORES IMPORTANTES:

- * DUREZA**
- * GRADO DE ABRASIVIDAD**
(MEDIDO POR EL PORCENTAJE DE SILICE)

ANTES DE LA EXTRACCION DE MATERIALES

- * DESPALME**
- * DESENRAICE**
- * DEFINIR FRENTES**
- * FORMACION DE TERRAZOS**
(MAQUINAS DE PERFORACION, EQUIPOS DE CARGA Y EQUIPO DE EVACUACION DEL MATERIAL EXTRAIDO)

EXTRACCION PUEDE REALIZARSE POR MEDIOS:

- * MECANICOS**
 - MATERIALES SUAVES
(PIZARRA, CALIZAS BLANDAS, LIGNITO, ETC)
- * EXPLOSIVOS**
 - BANCOS DE ROCA
(FRAGMENTACION EN BLOQUES QUE PERMITAN SU MANEJO Y ENTRADA A LA QUEBRADORA PRIMARIA)

EXPLOTACION Y PRODUCCION DE MATERIALES PETREOS

PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE UNA ROCA

- a) ESFUERZO DE COMPRESION
- b) PESO ESPECIFICO
- c) ABSORCION
- d) DUREZA DE DORRY
- e) PRUEBA DE LOS ANGELES

ESCALA DE MOHS

DUREZA

EJEMPLO

1	TALCO, BAUXITA, GRAFITO
2	YESO, MICA, CAOLINITA
3	CALCITA, MARMOL, PIZARRA
4	FLUORITA, GRANITO, ARENISCAS
5	APATITA, ESQUISTOS, HEMATITA
6	OLIVINO, FELDESPATO, CALCEDONIA
7	CUARZO, BASALTO
8	TOPACIO, CIRCON
9	CORINDON, SERPENTINA, RUBI
10	DIAMANTE

PROCESO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

EL PROCESO DE PRODUCCION DE AGREGADOS ES EL SIGUIENTE:



LOS OBJETIVOS CENTRALES EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS SON:

- a) CUMPLIR LAS NORMAS DE TAMAÑO Y CALIDAD**
- b) PRODUCIR EL AGREGADO AL COSTO MINIMO POSIBLE**

PROCESAMIENTO DE AGREGADOS

- **SEPARACION EN FRACCIONES POR CRIBADO**

- **LAVADO**

- **CLASIFICACION**

- **MEZCLADO**

- **TRITURADO**

- **MOLIENDA**

- **ALMACENAMIENTO DE AGREGADO**

TRATAMIENTO DE MATERIALES PETREOS

- ◆ **ELIMINACION A MANO DEL DESPERDICIO**
5 - 10% DESPERDICIO MAYOR A TAMAÑO MAXIMO REQUERIDO.

- ◆ **DISGREGACION**
CONGLOMERADOS CALIHOCHOS - ARENISCAS CEMENTADAS -
ROCAS ALTERADAS

- ◆ **CRIBADO**
5 / 25% DE DESPERDICIO

- ◆ **TRITURACION**
 - PARCIAL
 - TOTAL

- ◆ **LAVADO**
 - ELIMINACION DE FINOS
 - CONTAMINACION CON ARCILLA O MATERIA ORGANICA

- ◆ **DOSIFICACION EN PLANTA**
 - ASEGURAR GRANULOMETRIA REQUERIDA
 - EVITAR CONTAMINACIONES INDESEABLES
 - HACER EFICIENTE LA PRODUCCION DE MATERIALES

CONTROL DURANTE LA EXPLOTACION Y PRODUCCION DE MATERIALES

LA CORRECTA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE TRITURACION ES UNO DE LOS FACTORES, QUE SIN LUGAR A DUDAS, INFLUYE MAS EN EL BUEN RESULTADO TECNICO Y ECONOMICO DE LAS OBRAS CIVILES DE CONSTRUCCION PESADA, TALES COMO CARRETERAS, AEROPUERTOS, PRESAS, VÍAS FERREAS, ETC.

ES POR LO TANTO MUY IMPORTANTE PODER CONTAR CON TODA LA INFORMACION NECESARIA PARA PODER PLANTEAR CORRECTAMENTE EL PROBLEMA DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE TRITURACION Y COMPLEMENTARIO RESPECTIVO, Y ASI ELEGIR LAS MAQUINAS QUE A PARTIR DE UN MATERIAL NATURAL O GREÑA SERAN CAPACES DE PRODUCIR EN EL TIEMPO REQUERIDO, LOS AGREGADOS PETREOS NECESARIOS PARA LA EJECUCION DE LA OBRA EN CANTIDAD SUFICIENTE Y CON LA CALIDAD ADECUADA.

CONCEPTOS BASICOS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE QUEBRADORA

- * INDICE DE REDUCCION**
- * COEFICIENTE DE FORMA**

EQUIPOS DE TRITURACION

TRITURACION PRIMARIA

1.- TRITURADORA DE QUIJADAS

2.- TRITURADORA GIRATORIA

TRITURADORA SECUNDARIA Y TERCIAIA

1.- TRITURADORA DE RODILLO

2.- TRITURADORA DE IMPACTO Y MARTILLO

3.- TRITURADORA DE CONO

EQUIPOS COMPLEMENTARIOS

1.- TOLVAS

2.- CRIBAS

- a) CRIBAS VIBRATORIAS INCLINADAS**
- b) CRIBAS HORIZONTALES**
- c) CRIBAS GIRATORIAS**
- d) CAPACIDAD DE CRIBAS VIBRATORIAS**

3.- ALIMENTADORES

- a) ALIMENTADORES DE MANDIL O TABLEROS METALICOS**
- b) ALIMENTADORES DE RECIPIENTE O DE PLATO**
- c) ALIMENTADOR VIBRATORIO CON O SIN REJILLA DE PRECRIBADO**
- d) OTRO TIPO DE ALIMENTADORES**

4.- EQUIPO DE LAVADO Y DESENLODADORES

- a) FLAUTAS DE RIEGO**
- b) DESENLODADORES**

5.- TRANSPORTADORES DE BANDA

6.- ELEVADORES DE CANGILONES

CRIBAS

OBJETIVOS PRINCIPALES

- a) CLASIFICACION DEL PRODUCTO POR TAMAÑOS
- b) SEPARACION DE LOS AGREGADOS QUE NO TENGAN EL TAMAÑO ADECUADO
- c) SEPARACION DE LOS AGREGADOS FINOS QUE NO NECESITAN MAS TRITURACION

LA CLASIFICACION DE MALLAS DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES SON LAS SIGUIENTES:

I.- ESTADOS UNIDOS: NORMAS A.S.T.M.

DESIGNACION DE MALLA	CLARO ENTRE MALLAS (mm)
3"	76
1 1/2"	38
3/4"	19
1/4"	6.3
# 4	4.76
# 8	2.38
# 16	1.19
# 30	0.59
# 50	0.297
# 100	0.149
# 200	0.074
# 400	0.037

II.- FRANCIA: NORMA AFNOR NF-XII-501

DESIGNACION DE MALLA	CLARO ENTRE MALLAS (mm)
50	50
20	20
15	15
10	10
5	5
MODULO 37	4
35	2.5
32	1.25
28	0.50
25	0.25
22	0.125
20	0.080
17	0.040

III.- INGLATERRA: NORMAS RSA-410

DESIGNACION DE MALLA	CLARO ENTRE MALLAS (mm)
3"	76
1 1/2"	38
3/4"	19
1/4"	6.3
# 5	3.35
# 10	1.67
# 22	0.699
# 44	0.353
# 85	0.178
# 100	0.172
# 200	0.076
# 300	0.053

**EN MEXICO SE UTILIZAN LAS NORMAS DE LA SCT, SARH, ETC.,
BASADAS EN LAS DE LA A.S.T.M.**

ALIMENTADORES

LOS PRINCIPALES PROPÓSITOS DE LOS ALIMENTADORES SON:

- 1. INTRODUCIR EL MATERIAL A LA PLANTA DE TRITURACIÓN.**
- 2. ALIMENTARLA UNIFORME, CONTINUAMENTE Y SIN FLUCTUACION.**
- 3. PROPORCIONAR LA CANTIDAD REQUERIDA DE MATERIAL.**
- 4. RECIBIR EL MATERIAL.**
- 5. ADECUACION DE SUS DIMENSIONES A LAS CONDICIONES Y NATURALEZA DE LA ALIMENTACION.**

EXISTEN VARIOS TIPOS DE ALIMENTADORES, LOS MAS CONOCIDOS SON:

- ALIMENTADOR DE MANDIL O DE TABLERO METALICO**
- ALIMENTADOR RECIPROCANTE O DE PLATO**
- ALIMENTADOR VIBRATORIO CON O SIN REJILLA (GRIZZLY) DE PRECRIBADO**
- ALIMENTADOR DE BANDA**

TIPO DE ALIMENTADORES

a) ALIMENTADOR DE BANDA

SELECCIÓN DE LOS ALIMENTADORES

REQUISITOS DE SELECCIÓN:

- 1.- TONELADAS POR HORA QUE DEBEN SER MANEJADAS, INCLUYENDO ALIMENTACIONES MAXIMAS Y MINIMAS**
- 2.- PESO VOLUMETRICO DEL MATERIAL**
- 3.- DISTANCIA A LA CUAL DEBE TRANSPORTARSE EL MATERIAL**
- 4.- ALTURA A LA CUAL EL MATERIAL DEBE SER ELEVADO**
- 5.- LIMITACIONES DE ESPACIO**
- 6.- METODO UTILIZADO PARA LA CARGA DEL ALIMENTADOR**
- 7.- CARACTERISTICAS DEL MATERIAL**

ALMACENAMIENTO

EL ALMACENAJE MEDIANTE MONTONES DE AGREGADO DEBE EMPLEARSE LO MENOS POSIBLE, DEBIDO A QUE PROVOCA CON MUCHA FACILIDAD LA SEGREGACION DEL MATERIAL, AUN CUANDO SE TENGAN LAS MEJORES CONDICIONES, LOS FINOS TIENDEN A ACUMULARSE.

- * SI ES NECESARIO ALMACENAR POR MONTONES, ÉSTOS DEBEN SER CONSTRUIDOS EN CAPAS HORIZONTALES O SUAVEMENTE INCLINADAS.**
- * NO DEBEN OPERAR VEHÍCULOS COMO CAMIONES, BULDOZERS U OTROS SOBRE LOS MONTONES DE MATERIAL, DEBIDO A QUE DEGRADA EL MATERIAL Y FRECUENTEMENTE CONTAMINA ÉSTE CON TIERRA.**
- * LA ZONA DE ALMACENAMIENTO DEBE CONTAR CON UNA BASE DURA PARA EVITAR QUE SE CONTAMINE EL MATERIAL CON EL DEL SUELO.**
- * EL ALMACENAMIENTO DE MATERIALES DE DIFERENTES TAMAÑOS DEBE HACERSE MEDIANTE MUROS DIVISORIOS APROPIADOS O DEJANDO ESPACIO SUFICIENTE ENTRE MONTONES.**
- * DEBE EVITARSE QUE EL VIENTO SEPARE LOS AGREGADOS FINOS SECOS.**
- * LAS TOLVAS DE AGREGADOS DEBEN MANTENERSE TAN LLENAS COMO SEA PRÁCTICO PARA EVITAR EL RESQUEBRAJAMIENTO AL EXTRAER LOS MATERIALES.**
- * LOS MATERIALES DEBEN DEPOSITARSE VERTICALMENTE EN LAS TOLVAS Y DIRECTAMENTE SOBRE EL ORIFICIO DE SALIDA.**

AGREGADO FINO (ARENA)

LA ARENA DEBE SER CONTROLADA EN SU GRANULOMETRIA PARA MANTENER LAS FRACCIONES MAS FINAS, EVITANDO LA ELIMINACION DE LOS FINOS O EVITANDO SU CONTAMINACION CON OTRO MATERIAL EXTRAÑO.

- ⊗ **EL MODULO DE FINURA DE LA ARENA DEBE SER CONTROLADO DE MANERA QUE EL VALOR DE PROYECTO NO VARÍE EN MÁS O EN MENOS 0.20.**

- ⊗ **DEBE CONTROLARSE ESTRICTAMENTE EL CONTENIDO DE PARTICULAS MENORES QUE LA MALLA NUM. 200, YA QUE EL EXCESO PROVOCA EL AUMENTO EN LA CANTIDAD DE AGUA Y CEMENTO, REVENIMIENTOS ALTOS, CONTRACCION POR SECADO Y FINALMENTE, REDUCCION DE LA RESISTENCIA.**

- ⊗ **NO SE DEBE COMBINAR DOS TAMAÑOS DE AGREGADOS FINOS CARGÁNDOLOS EN FORMA ALTERNADA EN DEPOSITOS O CAMIONES, SIENDO LO MÁS RECOMENDABLE EL ALMACENAMIENTO, MANEJO Y DOSIFICACIÓN POR SEPARADO DE LAS FRACCIONES GRUESAS Y FINAS.**

CONTROL DEL MATERIAL DE MENOR TAMAÑO

EL MATERIAL DE MENOR TAMAÑO DE UNA FRACCION DADA DE AGREGADOS ES AQUEL QUE DEBIDO AL MANEJO SE DEGRADA Y ALCANZA UN TAMAÑO INFERIOR A $5/6$ (0.83) DEL TAMAÑO MINIMO ESPECIFICADO EN CADA FRACCION.

- ⊗ **LA GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS AL ENTRAR EN LA MEZCLADORA DEBE SER UNIFORME Y DENTRO DE LOS LIMITES ESPECIFICADOS.**
- ⊗ **DEBE VERIFICARSE LA GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO CONFRECUENCIA.**
- ⊗ **DEBE EVITARSE LA DEGRADACION DEL AGREGADO DURANTE LAS OPERACIONES DE MANEJO DEL MATERIAL ANTES DE SU USO.**
- ⊗ **DEBE EVITARSE QUE EL AGREGADO EN CADA FRACCION CONTENGA MATERIAL DEGRADADO SUPERIOR AL 2%.**
- ⊗ **SI LOS METODOS USUALES DE MANEJO NO SON SATISFACTORIOS, EL MATERIAL DE MENOR TAMAÑO SE ELIMINARA MEDIANTE RECRIBADO, ANTES DE SER ALMACENADO EN LAS TOLVAS DE DOSIFICACION.**

SEPARACION DEL AGREGADO

- ⊗ **SEPARACION DEL AGREGADO DE MAYOR TAMAÑO.**
- ⊗ **TRATAMIENTO O ELIMINACION DEL AGREGADO DE MAYOR TAMAÑO.**
- ⊗ **A MENOS QUE SEA ESTRICTAMENTE NECESARIO LAS PARTICULAS, PRODUCTO DE LA TRITURACION MENORES DE 3/8", DEBERA DESPERDICIARSE.**
- ⊗ **SEPARACION POR TAMAÑOS DEL AGREGADO APROVECHABLE PARA MINIMIZAR SU SEGREGACION Y MANTENER UNA GRANULOMETRIA MAS CONSTANTE EN LA DOSIFICACION.**
- ⊗ **SE HA DEMOSTRADO POR LA EXPERIENCIA QUE EL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DE UNA FRACCION NO DEBE SER MAYOR A CUATRO VECES EL TAMAÑO MINIMO NOMINAL, PARA AGREGADOS MENORES DE 25.4 mm. Y NO MAS DE DOS PARA TAMAÑOS MAYORES DE 25.4 mm.**

EJEMPLO:

4.76	HASTA	20 mm.	(	3/16"	HASTA	3/4")
20	HASTA	40 mm.	(	3/4"	HASTA	1 1/2")
40	HASTA	75 mm.	(	1 1/2"	HASTA	3")
75	HASTA	150 mm.	(	3"	HASTA	6")

AGREGADOS PARA CONCRETO

- ⊗ **LOS AGREGADOS DE BUENA CALIDAD PARA CONCRETO SE OBTIENEN PRINCIPALMENTE DE DEPOSITOS NATURALES, BANCOS DE ROCA SANA PARA TRITURAR O DE UNA COMBINACION DE AMBOS.**

- ⊗ **LOS AGREGADOS NATURALES SE LES ENCUENTRA COMO DEPOSITOS SEDIMENTARIOS, PRODUCTOS DE ARRASTRES DE CORRIENTES O DEPOSITOS GLACIARES.**

- ⊗ **EN MEXICO ES COMUN ENCONTRAR LOS DEPOSITOS PRODUCTOS DE ARRASTRE.**

- ⊗ **LOS AGREGADOS TRITURADOS TIENEN FORMAS ANGULARES E IRREGULARES QUE AYUDAN A OBTENER UNA MAYOR TRABAZON ENTRE LAS PARTICULAS QUE CONLLEVA A UNA BUENA ADHERENCIA, SIN EMBARGO, AFECTAN DE MANERA IMPORTANTE LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO, LO QUE OBLIGA A UN MAYOR CONSUMO DE CEMENTO Y DE AGUA.**

PRUEBAS DE LABORATORIO

⊗ PROPIEDADES FISICAS

- DENSIDAD
- ABSORCION
- IMPUREZA ORGANICA (ARENA)
- GRANULOMETRIA

⊗ PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO

⊗ PRUEBA DE ABRASION "LOS ANGELES"

⊗ EXAMEN PETROGRAFICO

⊗ REACCION ALCALI-AGREGADO

- CONTROL DE LA REACCION
- EVITAR EL MATERIAL REACTIVO
- CONTROLAR EL CONTENIDO DE ALCALI LIBRE EN EL CEMENTO
- USAR ADITIVOS A BASE DE PUZOLANOS
- CONTROLAR LOS VACIOS EN EL MORTERO Y EN EL CONCRETO
- CONTROLAR LA HUMEDAD LIBRE

⊗ CONGELACION Y DESHIELO



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

CURSO

CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES

DEL 25 AL 29 DE AGOSTO

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**CONTROL DURANTE LA COMPACTACION
DE MATERIALES**

PALACIO DE MINERIA

1997

CONTROL DURANTE LA COMPACTACION DE MATERIALES

COMPACTACION:

LA APLICACION MECANICA DE CIERTA ENERGIA, O CANTIDAD DE TRABAJO POR UNIDAD DE VOLUMEN, PARA LOGRAR UNA REDUCCION DE LOS ESPACIOS ENTRE LAS PARTICULAS SOLIDAS DE UN SUELO, CON EL OBJETO DE MEJORAR SUS CARACTERISTICAS MECANICAS (RESISTENCIA, COMPRESIBILIDAD Y ESFUERZO - DEFORMACION).

ESTA REDUCCION DE ESPACIOS ENTRE PARTICULAS, GENERA UN AUMENTO EN EL PESO ESPECIFICO O VOLUMETRICO, YA QUE TAMBIEN SE PIERDE AIRE RETENIDO EN LAS PARTICULAS.

CONCEPTOS BASICOS:

⊗ *PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO.-*

UN SUELO CON HUMEDAD BAJA SE LE INCREMENTA EL CONTENIDO DE AGUA Y SE LE APLICA CADA VEZ LA MISMA ENERGIA DE COMPACTACION, HASTA ALCANZAR UN VALOR MAXIMO.

⊗ *HUMEDAD OPTIMA.-*

EL CONTENIDO DE AGUA CON EL CUAL SE OBTIENE EL MEJOR ACOMODO DE LAS PARTICULAS.

⊗ *GRADO DE COMPACTACION.-*

EL GRADO DE ACOMODO DE LAS PARTICULAS DE UN SUELO, RELACIONANDO EL PESO VOLUMETRICO SECO, OBTENIDO POR EL EQUIPO EN EL CAMPO, CON EL PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO OBTENIDO EN EL LABORATORIO.

OBJETIVOS DE LA COMPACTACION EN EL CAMPO

- REDUCIR COMPRESIBILIDAD
- AUMENTAR RESISTENCIA CORTANTE
- REDUCIR DEFORMABILIDAD
- REDUCIR PERMEABILIDAD
- LOGRAR ESTABILIDAD VOLUMETRICA
- LOGRAR LA PERMANENCIA DE PROPIEDADES
- ALCANZAR HOMOGENEIDAD
- LOGRAR DUCTILIDAD
- MINIMO COSTO POSIBLE

OBJETIVOS DE LA COMPACTACION EN EL LABORATORIO

A.-

ESPECIFICAR EL TIPO Y CONDICIONES DE LA COMPACTACION DE CAMPO, A TRAVES DE LA DETERMINACION EN EL LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DESEADAS EN EL PROTOTIPO.

B.-

CONTROLAR LA CALIDAD DE LA COMPACTACION EN EL CAMPO, MEDIANTE LA DEFINICION DE UN GRADO DE COMPACTACION MINIMO Y EL INTERVALO ACEPTABLE DE CONTENIDOS DE AGUA CON DESVIACIONES POSIBLES.

FACTORES POR CONTROLAR EN EL LABORATORIO PARA QUE SUS ENSAYES SEAN REPRESENTATIVOS DE LAS CONDICIONES DE CAMPO

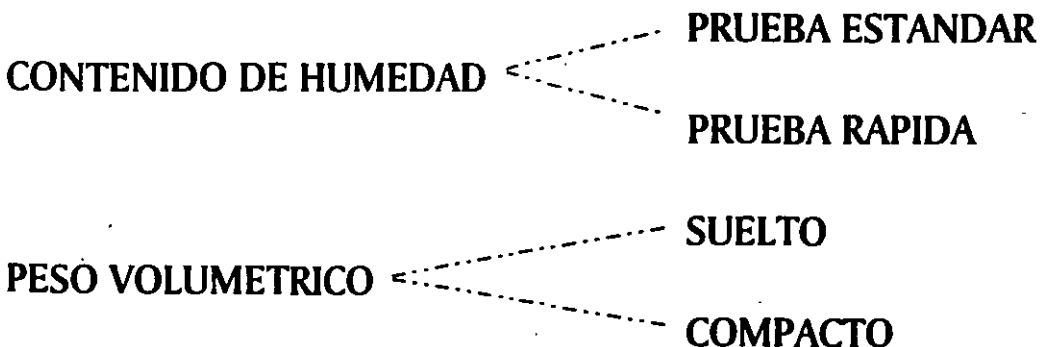
- * ENERGIA DE COMPACTACION
- * CONTENIDO DE AGUA
- * MECANISMO DE DENSIFICACION

COMPACTACION

DE ACUERDO CON LA COMPACTACION DEL SUELO O GRADO DE ACOMODO QUE PRESENTAN SUS PARTICULAS SOLIDAS, LOS PESOS VOLUMETRICOS PUEDEN SER:

- * PESO VOLUMETRICO DEL SUELO EN ESTADO NATURAL.-
EL ACOMODO DE SUS PARTICULAS ES CONSECUENCIA DE UN PROCESO DE LA NATURALEZA.**
- * PESO VOLUMETRICO DEL SUELO EN ESTADO SUELTO.-
SU ESTRUCTURA NATURAL HA SIDO ALTERADA POR ALGUN PROCESO ARTIFICIAL COMO LA EXTRACCION.**
- * PESO VOLUMETRICO DEL SUELO EN ESTADO COMPACTO.-
CUANDO LAS PARTICULAS SOLIDAS QUE LO CONSTITUYEN HAN ADQUIRIDO CIERTO ACOMODO POR ALGUN PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION.**
- * PESO VOLUMETRICO DE UN MATERIAL EN EL LUGAR.-
LOS PESOS VOLUMETRICOS EN ESTADO NATURAL O COMPACTO DEL SUELO, "IN SITU".**

PRUEBAS TRADICIONALES PARA MEDIR LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS.



PRUEBAS DE CAMPO TRADICIONALES PARA OBTENER EL PESO VOLUMETRICO EN ESTADO NATURAL O COMPACTADO

- METODO DE LA TROMPA Y ARENA
- METODO DEL CONO Y ARENA
- METODO DEL AGUA
- METODO DE LA PARAFINA (INALTERADAS)
- METODO DE LOS ESPEDIMENES LABRADOS (INALTERADAS)

GRADO DE COMPACTACION (Gc %)

CONSISTE EN RELACIONAR EL PESO VOLUMETRICO SECO EN EL LUGAR, CON EL PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO, EXPRESADO EL RESULTADO EN PORCIENTO.

$$G_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d \text{ máx}}} \times 100$$

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y LA HUMEDAD OPTIMA

IMPACTO — COMPACTACION DINAMICA — AASHTO ESTANDAR
AASHTO MODIFICADA
CALIFORNIA
TEXAS

PRESION — COMPACTACION ESTATICA — PORTER

AMASADO — COMPACTACION POR AMASADO — HVEEN

VIBRACION — COMPACTACION CON MESA VIBRATORIA

TRABAJOS DE COMPACTACION

COMPACTACION ESTATICA

- LA COMPACTACION SE EFECTUA DE ARRIBA HACIA ABAJO.
- SE CONSUME MAYOR ENERGIA PARA LOGRAR LA COMPACTACION DE LA PARTE INFERIOR DE LA CAPA.
- FRAGMENTACION DE PARTICULAS POR SOBRE COMPACTACION O EXCESO DE ENERGIA COMPACTIVA.
- SE FOMENTA LA RESISTENCIA DE LA FRICCION INTERNA DEL MATERIAL.

COMPACTACION POR IMPACTO

- APLICACIÓN REPETIDA SOBRE EL SUELO, CON ALTA AMPLITUD Y BAJA FRECUENCIA.

COMPACTACION POR VIBRACION

- SOMETE A LAS PARTICULAS A PRESION ESTATICA Y A IMPULSOS DINAMICOS.
- LA DENSIFICACION SE EFECTUA DE ABAJO HACIA ARRIBA.
- VENTAJAS:

ES POSIBLE OBTENER MAS ALTAS DENSIDADES, PERMITE EL USO DE COMPACTADORES MAS PEQUEÑOS, SE PUEDE TRABAJAR SOBRE CAPAS DE MAYOR ESPESOR, REDUCE EL NUMERO DE PASADAS, REDUCE COSTO DE COMPACTACION.

PROCESO DE COMPACTACION DE CAMPO

LA ENERGIA QUE SE REQUIERE PARA COMPACTAR LOS SUELOS EN EL CAMPO SE PUEDE APLICAR MEDIANTE:

- AMASADO
- PRESION
- IMPACTO
- VIBRACION
- MIXTOS

***DE ACUERDO A LOS
ESFUERZOS APLICADOS***

EQUIPOS TÍPICOS:

<i>EQUIPO</i>	<i>PROFUNDIDAD DE LA CAPA (cm)</i>	<i>No. DE PASADAS</i>	
		<i>PARA 90%</i>	<i>PARA 95%</i>
RODILLO METALICO	10 A 20	7 A 9	10 A 12
NEUMATICO LIGERO	15 A 20	5 A 6	8 A 9
NEUMATICO PESADO	HASTA 70	4 A 5	6 A 8
RODILLO DE IMPACTO	20 A 30	5 A 6	6 A 8
RODILLO DE REJA	20 A 25	6 A 7	7 A 9
PATA DE CABRA VIBRATORIA	20 A 30	3 A 5	6 A 7
LISO VIBRATORIO	20 A 30	VER GRAFICA SIGUIENTE	

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION

- CONTENIDO DE HUMEDAD**
- GRANULOMETRIA DEL MATERIAL**
- NUMERO DE PASADAS DEL EQUIPO**
- PESO DEL COMPACTADOR**
- PRESION DE CONTACTO**
- VELOCIDAD DEL EQUIPO COMPACTADOR**
- ESPESOR DE CAPA**

VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE LA COMPACTACION DE LOS SUELOS.

⊗ LA NATURALEZA DEL SUELO

- *SUELOS FINOS Y GRUESOS O*
- *SUELOS ARCILLOSOS Y FRICCIONANTES*

⊗ METODO DE COMPACTACION

• EN LABORATORIO

Impactos
Amasado
Carga Estática
Vibración

• EN CAMPO (en base al equipo)

Con rodillo liso
Con rodillo neumático
Con equipo vibratorio

⊗ LA ENERGIA ESPECIFICA

• EN LABORATORIO

Impactos dados con un pisón
Aplicación de presión estática
Presión de apisonado (variando N°
de capas, N° de golpes y moldes)

• EN EL CAMPO

Depende del peso (presión) y área
de contacto, espesor de capa y N°
de pasadas.

⊗ CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO

*CONTENIDO OPTIMO PARA EL EQUIPO Y LA ENERGÍA
CORRESPONDIENTE.*

VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE LA COMPACTACION DE LOS SUELOS

⊗ SENTIDO EN EL QUE SE RECORRA LA ESCALA DE HUMEDADES AL EFECTUAR LA COMPACTACION.-

- PESO VOLUMETRICO SECO vs. HUMEDAD (PRINCIPALMENTE EN LABORATORIO)

⊗ EL CONTENIDO DE AGUA ORIGINAL DEL SUELO.-

- CONCEPTO DE CONTENIDO NATURAL DEL AGUA

⊗ LA RECOMPACTACION.-

- USO DE LA MISMA MUESTRA DE SUELO EN PRUEBAS DE LABORATORIO.
- FATIGA DEL MATERIAL EN COMPACTACION DE CAMPO.

⊗ TEMPERATURA.-

- EFECTOS DE EVAPORACION DEL AGUA INCORPORADA O DE CONDENSACION.

⊗ OTRAS VARIABLES.-

- NUMERO Y ESPESOR DE LA CAPA
- NUMERO DE PASADAS DEL EQUIPO

CRITICA A LAS PRUEBAS TRADICIONALES

GENERALES:

ERRORES DEL OPERADOR

- ⊕ FALLAS DE APRECIACION
- ⊕ FALTA DE EXPERIENCIA
- ⊕ TIEMPOS EXCESIVOS EN LA EJECUCION DE LAS PRUEBAS
- ⊕ DESCONOCIMIENTO DEL CRITERIO QUE DEBE APLICARSE A CADA PRUEBA

ERRORES EN EL EQUIPO

- ⊕ MAL USO DEL EQUIPO
- ⊕ DETERIORO DEL MISMO
- ⊕ EQUIPO SIN MANTENIMIENTO
- ⊕ REPARACIONES CON PARTES IMPROVISADAS

PRUEBAS DE HUMEDAD

- ⊕ ERROR HUMANO POR EL ESTADO DE ANIMO
- ⊕ EQUIPO INADECUADO Y EN MAL ESTADO FISICO
- ⊕ CLIMA QUE INFLUYE EN LOS RESULTADOS Y TIEMPO DE REALIZACION DE LA PRUEBA

OBTENCION DEL PESO ESPECIFICO

- ⊕ FACTOR HUMANO
CONOCIMIENTO, HABILIDAD Y CRITERIO
- ⊕ TIEMPO DE EJECUCION
- ⊕ PRECISION DE LA PRUEBA
- ⊕ APLICACION DE LA PRUEBA ADECUADA

CRITICA A LAS PRUEBAS TRADICIONALES

OBTENCION DEL GRADO DE COMPACTACION

- ⊕ **LOS CONCEPTOS PLANTEADOS ANTERIORMENTE REPERCUTEN EN LA CONFIABILIDAD DEL GRADO DE COMPACTACION Y ALTERAN FACILMENTE LOS RESULTADOS.**

COMPACTACION EN EL CAMPO

- ⊕ **FACTOR HUMANO, CONOCIMIENTOS EMPIRICOS A LO LARGO DE LA EXPERIENCIA.**
- ⊕ **SONDEOS PREESTABLECIDOS QUE SE PRESTA A MALAS INTENSIONES (QUE YA NO SON REPRESENTATIVOS DE TODA LA OBRA)**
- ⊕ **NUMERO DE PRUEBAS LIMITADO Y QUE REQUIEREN DE MUCHO TIEMPO PARA OBTENER RESULTADOS.**
- ⊕ **RESULTADOS INOPORTUNOS QUE OCASIONAN RETRASOS EN EL AVANCE DE LA OBRA.**

SELECCION DE EQUIPO

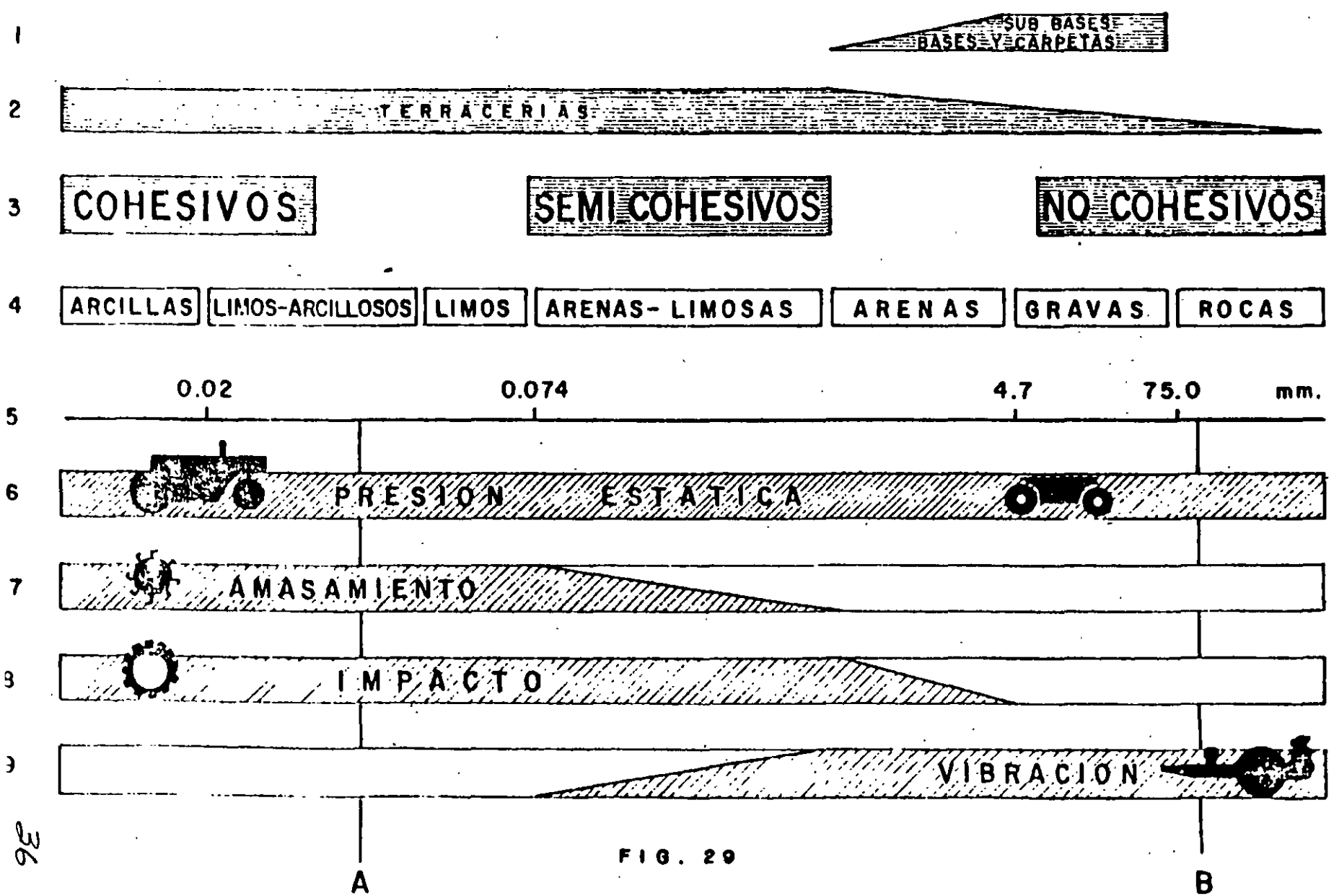


FIG. 29

36

Tabla 2.1 Posibles equipos de compactación, según tipo de suelo y uso

	Simbolo SUCS*	MATERIAL	Tamper autopulsado	Tamper remolcado	Pata de cabra autopulsado	Pata de cabra remolcado	Liso vibratorio pequeño	Liso vibratorio pesado	Pata de cabra vibratorio, pequeño	Pata de cabra vibratorio, pesado	Neumático ligero	Neumático pesado
BASE		Granular Limpio					1	1			3	2
SUB-BASE		Granular con pocos finos	1	1			1	1	2	2		2
CUERPO DEL TERRAPLEN		Roca	2	2				1		2		
	GW, GP SW	Arena, Grava	2	2			1	1	2	2		3
	SP	Arena Uniforme					1	1	2	2		3
	SM, GM	Arenas o Gravas Limosas	1	1	4	4	3	3	2	2		2
	ML, MH	Limos	1	1	2	2			3	3		2
	GC, SC	Arenas o Gravas Arcillosas	1	1	2	2			3	3		2
	CH, CL	Arcillas	1	1	2	2				3		3

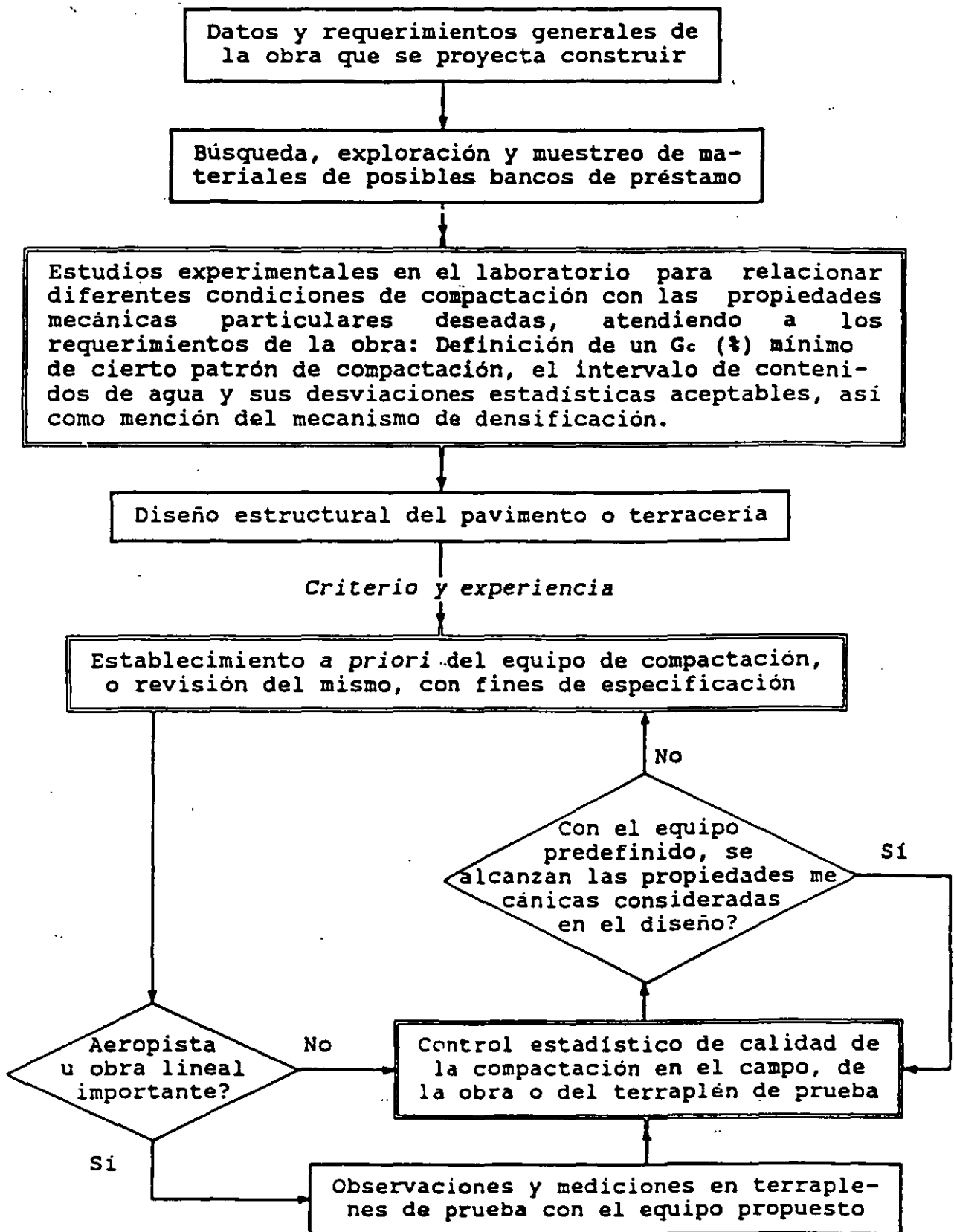
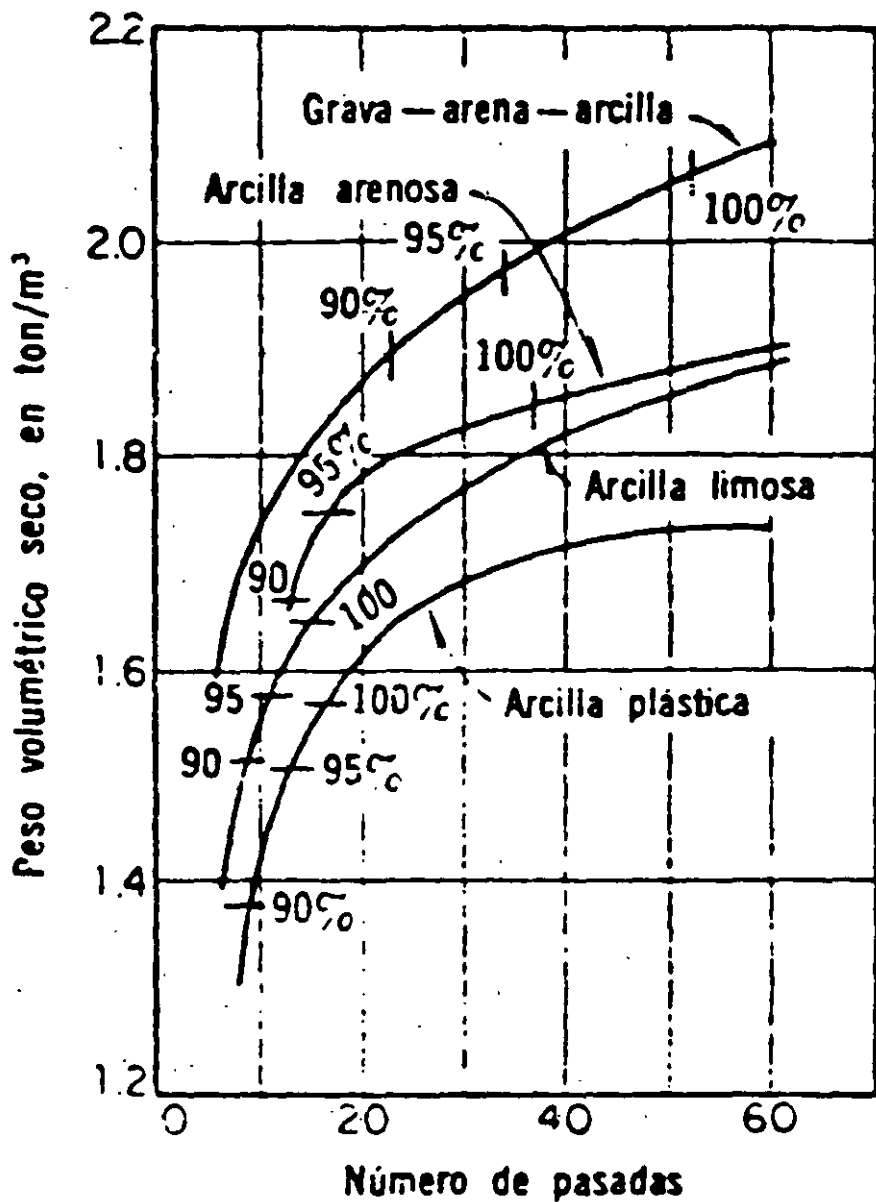


Fig 2.2 Metodología a seguir para la compactación de suelos en vías terrestres



Nota : Se indican valores de G_c (%) respecto al Proctor estandar

Fig. 2.3 Aumento de la densificación con el número de pasadas de un rodillo pata de cabra (Marsal y Reséndiz, 1975)

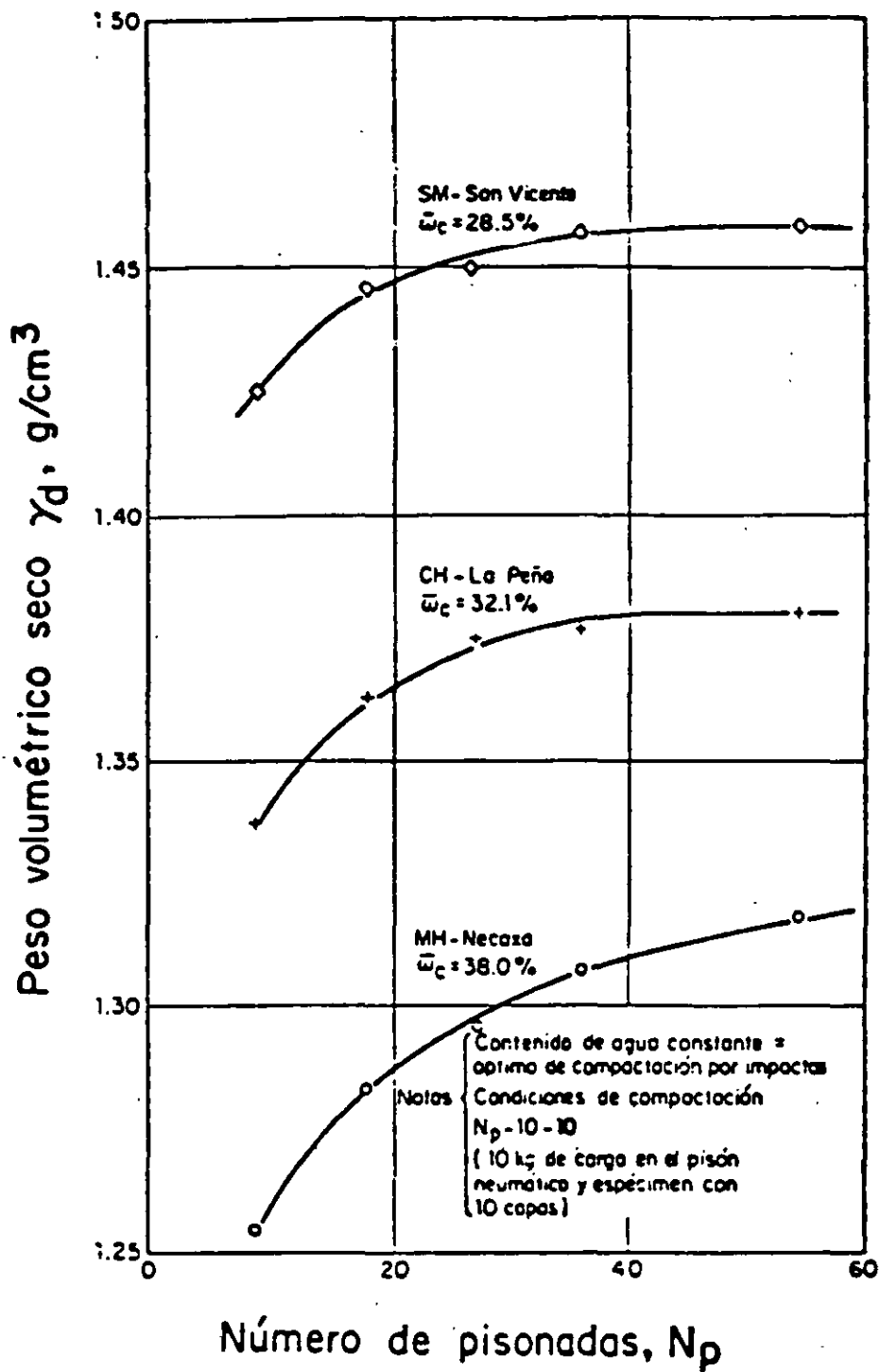


Fig. 2.4 Aumento de la densificación con el número de pisonadas en prueba de compactación por amasado (Alberro et al., 1980)

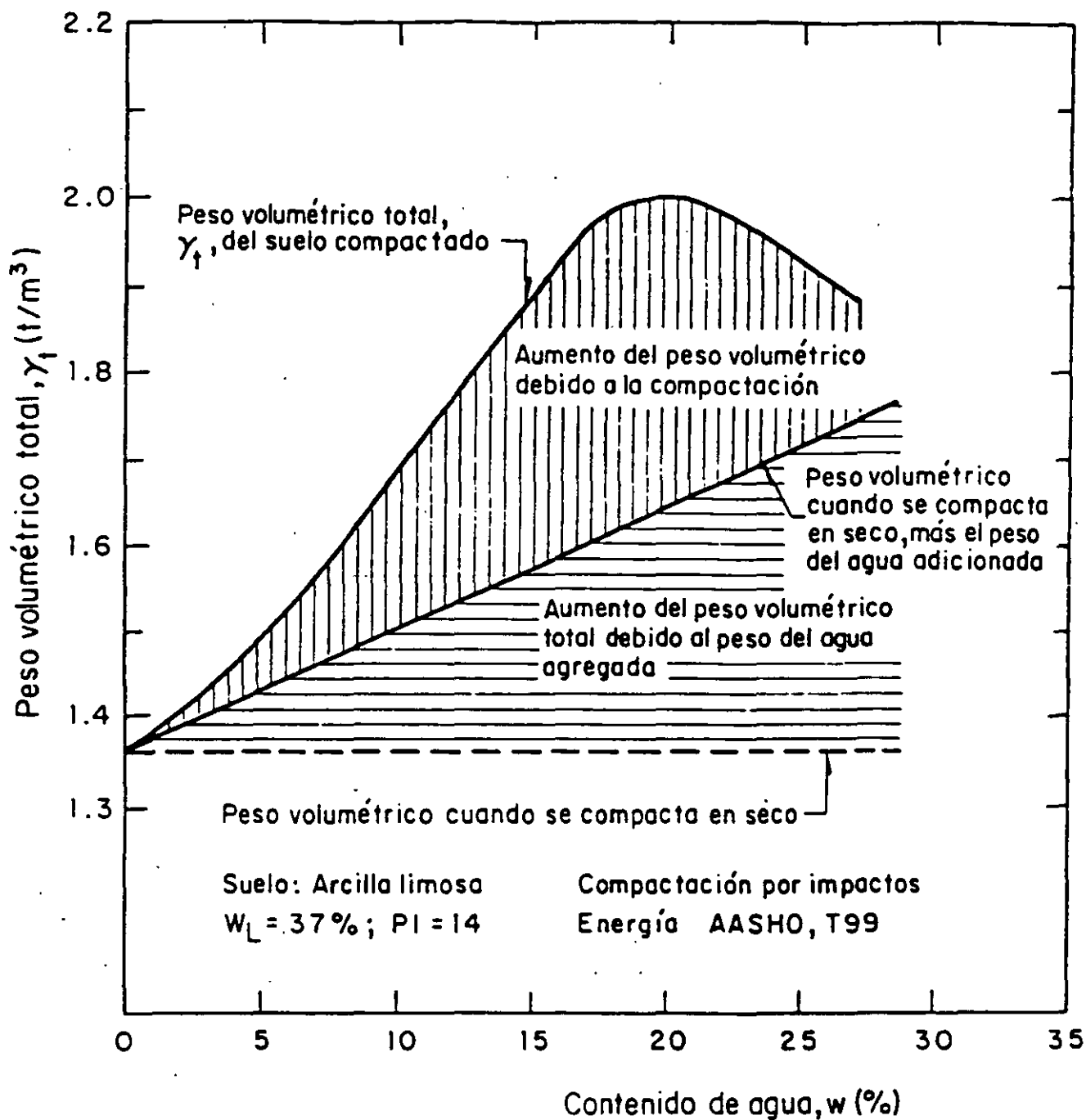


Fig. 2.8 Variación del peso volumétrico total con el contenido de agua en un suelo compactado

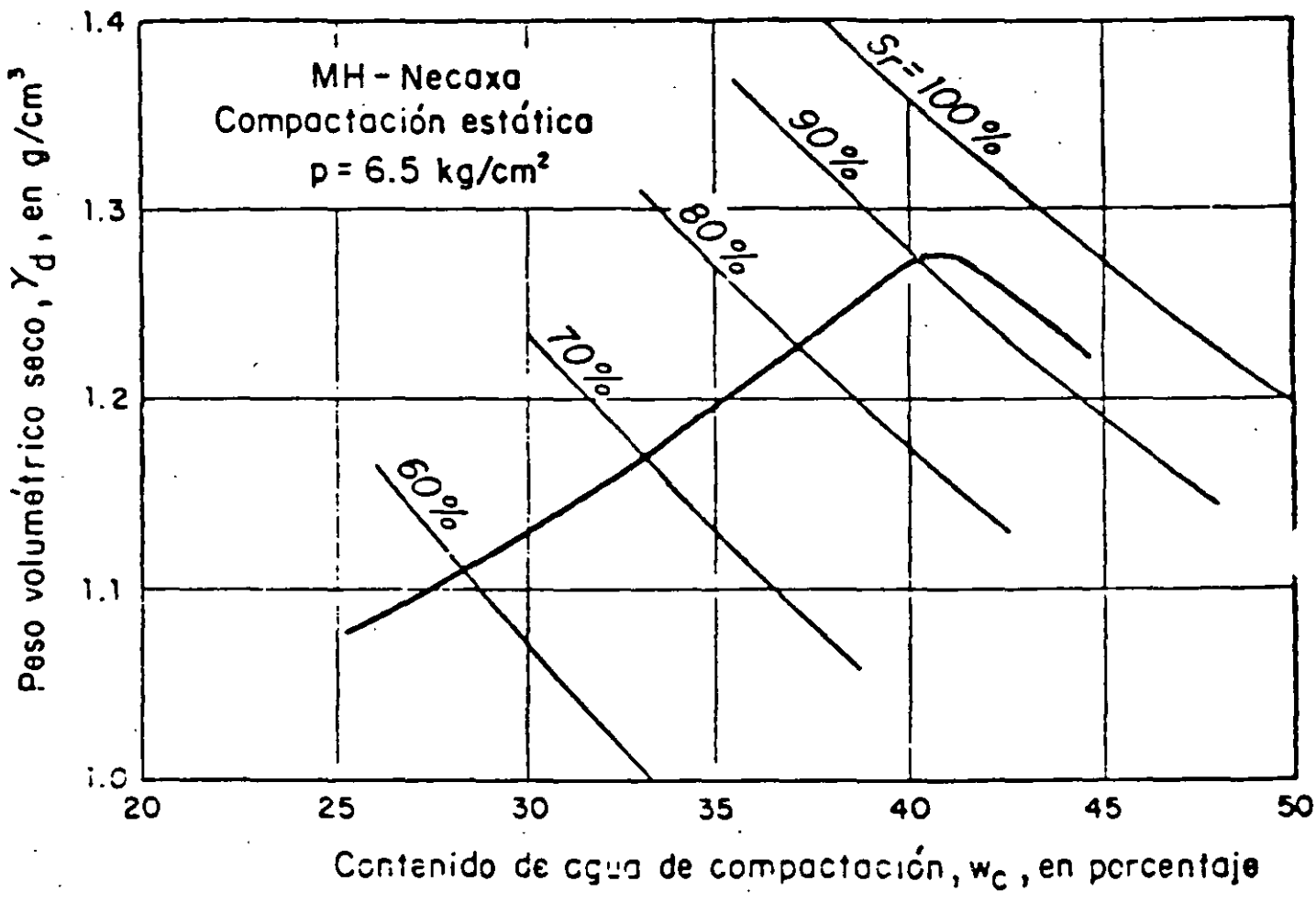


Fig. 2.9 Curva de compactación

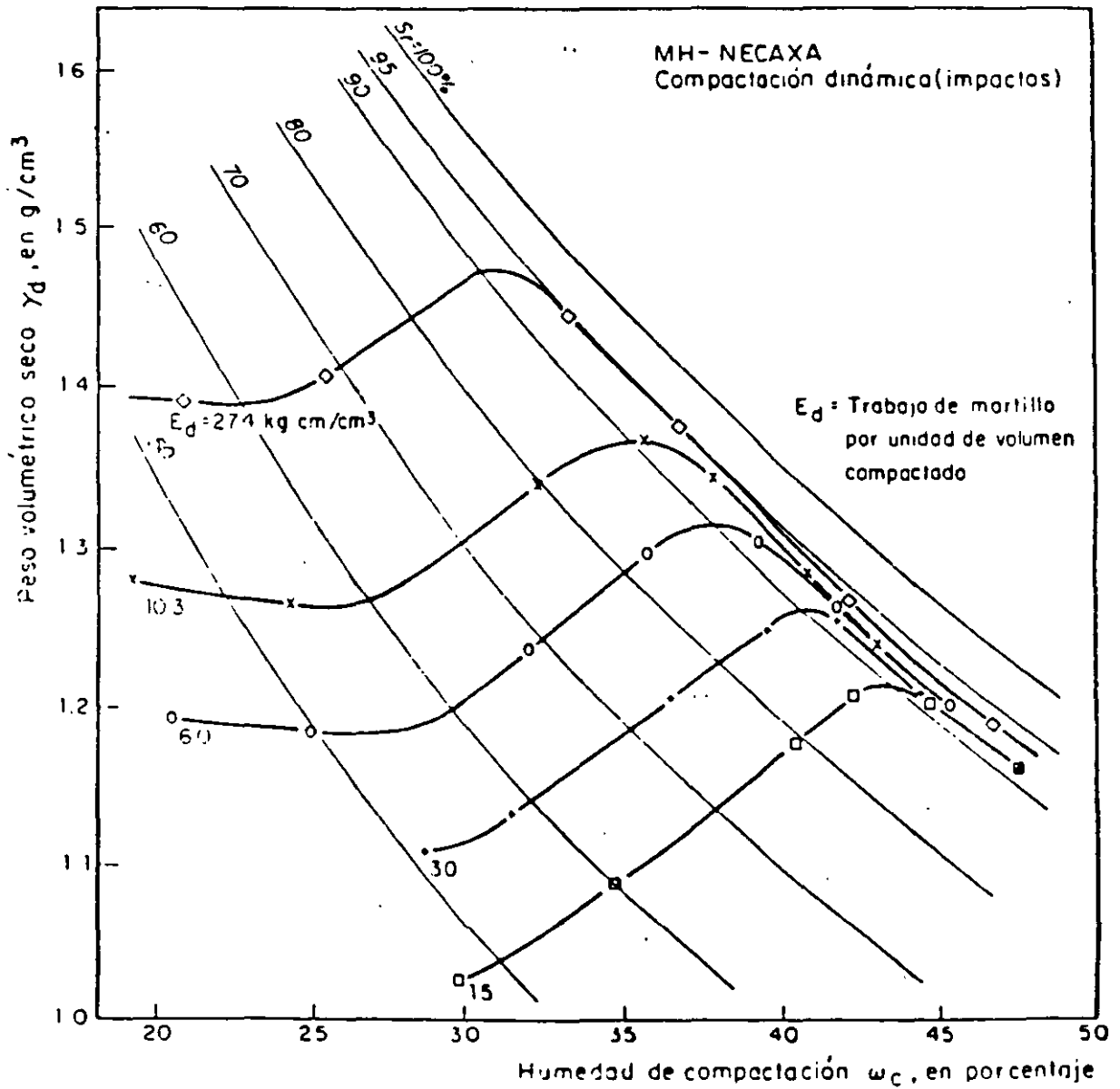


Fig. 2.10 Efecto de la energía aplicada por impactos sobre las curvas de compactación.

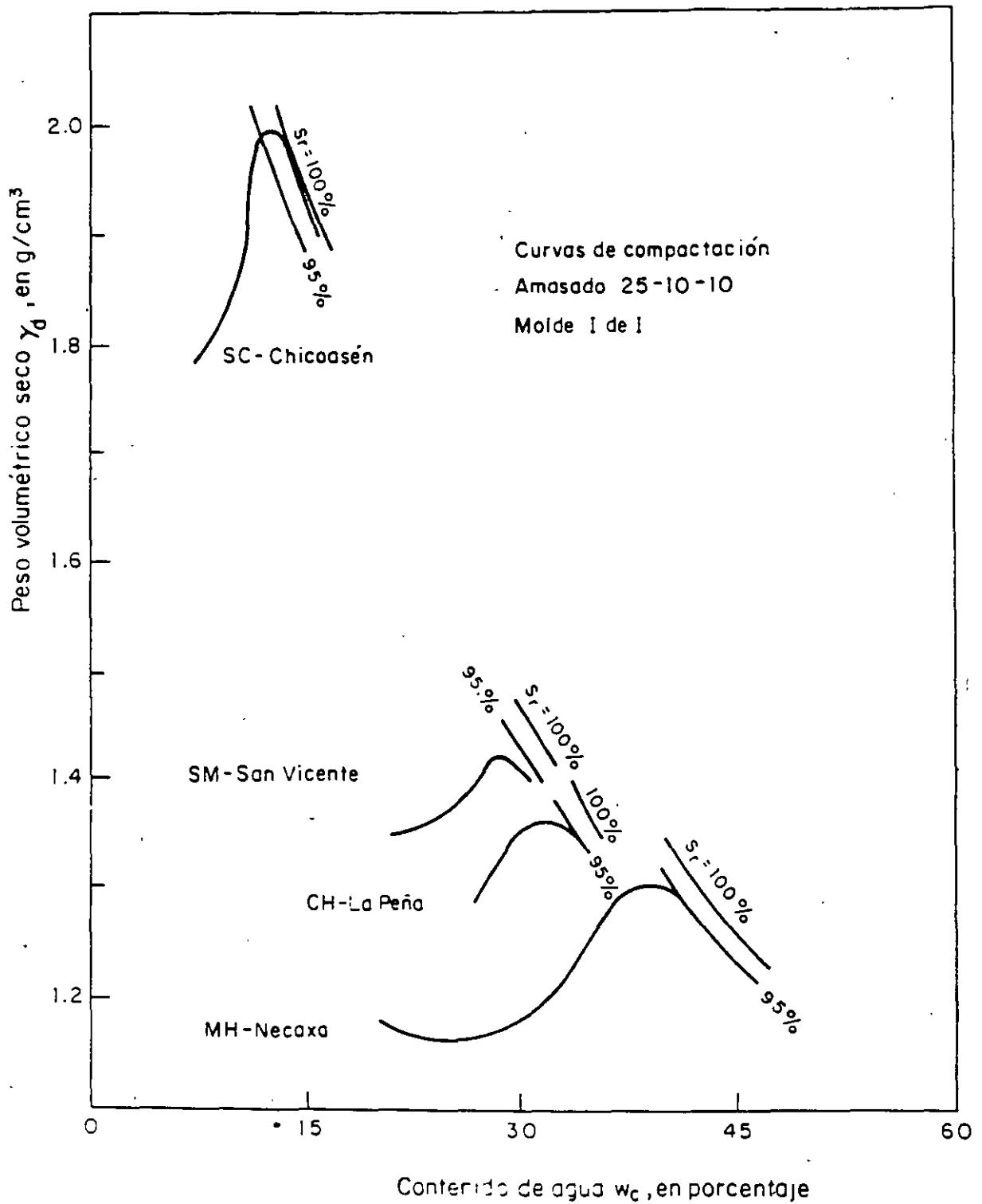


Fig. 2.11 Curvas de compactación con igual amasado en cuatro suelos cohesivos diferentes



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES

del 25 al 29 de agosto de 1997

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

MATERIAL DIDACTICO

Ing. Carlos Domínguez Suárez

Palacio de Minería

1997

CRITERIOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE TERRACERÍAS

USO	ESTUDIO PRELIMINAR DE BANCO			ESTUDIO DEFINITIVO DE BANCO			CONTROL DE CALIDAD			VERIFICACIÓN DE CALIDAD			EVALUACIÓN DE OBRAS EN OPERACIÓN		
	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA
TERRACERÍAS	EN PRESTAMOS LATERALES Y PRESTAMOS DE BANCO DENTRO DEL DERECHO DE VÍA						20 kg	1 POR CADA 300 m ³ EN MATERIAL PARA TERRACERÍAS	GRANUL SIMPLIFICADO DE ARENA (CBR ESTÁNDAR)	20 kg	1 POR CADA 800 m ³ EN MATERIAL PARA TERRACERÍAS	GRANUL SIMPLIFICADO DE ARENA (CBR ESTÁNDAR)	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN CARRETERAS	TV DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR CBR EN EL LUGAR PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA
	20 kg	1 POR CADA 250 m DE MAT. HOMOG. ò 1 POR CADA 150 m DE MAT. HETEROG. ò 1 POR CADA CORTE	GRANUL SIMPLIFICADO LÍQUIDO L PLÁSTICO E DE ARENA CBR ESTÁNDAR EXPANSIÓN	40 kg	1 POR CADA 250 m DE MAT. HOMOG. ò 1 POR CADA 150 m DE MAT. HETEROG. ò 1 MÍNIMO POR CADA CORTE	GRANUL SIMPLIFICADO LÍQUIDO L PLÁSTICO PVS SUELTO PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA ABSORCIÓN CBR ESTÁNDAR EXPANSIÓN E DE ARENA										1 POR CADA 200 m POR CAPA EN CARRETERAS ò 1 POR CADA 500 m^{3} POR CAPA EN AEROPISTAS, CALLE DE RODAJE Y PLATAFORMAS	TV DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR	1 kg	1 POR CADA 200 m POR CAPA PARA CARRETERAS ò 1 POR CADA 1500 m^{3} POR CAPA EN AEROPISTAS, CALLE DE RODAJE Y PLATAFORMAS	TV UNIDAD HUMEDAD ESPESOR	10 kg	1 POR CADA 3 COMPACTACIONES EN MAT. SIMILAR POR CAPA	PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA
	EN PRÉSTAMOS DE BANCO FUERA DEL DERECHO DE VÍA						10 kg	1 POR CADA 3 COMPACTACIONES DE MAT. SIMILAR POR CAPA	PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA						

CRITERIOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS

USO	ESTUDIO PRELIMINAR DE BANCO			ESTUDIO DEFINITIVO DE BANCO			CONTROL DE CALIDAD			VERIFICACION DE CALIDAD			EVALUACIÓN DE OBRAS EN OPERACIÓN		
	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	PRUEBAS POR MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTRA	PRUEBAS POR MUESTRA
REVESTIMIENTO SUBBASE Y BASE	20 kg	1 POR CADA 2500 m ² DE MAT HOMOG 1 POR CADA 1250 m ² DE MAT HETERO	GRANULOMETRÍA DE ARENA CBR ESTÁNDAR	40 kg	1 POR CADA 2500 m ² DE MAT HOMOG 1 POR CADA 1250 m ² DE MAT HETERO	GRANULOMETRÍA LÍQUIDO L PLÁSTICO PVS SUELTO PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA ABSORCIÓN CBR ESTÁNDAR DE ARENA EN BASE DESGASTE DE LOS ANGELES Y AFINIDAD CON ASFALTO	20 kg	1 POR CADA 300 m ² EN MATERIAL PARA TERRAPLEN 1 POR CADA 200 m ² EN MATERIAL PARA SUBRASANTE	GRANUL SIMPL E DE ARENA CBR ESTAND	20 kg	1 POR CADA 900 m ² EN MATERIAL PARA TERRAPLEN 1 POR CADA 600 m ² EN MATERIAL PARA SUBRASANTE	GRANUL SIMPL E DE ARENA CBR ESTAND	20 kg	1 POR CADA 1000 m EN CARRETERAS	PV DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR CBR EN EL LUG PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA
	20 kg	1 POR CADA 1800 m ² DE MAT HOMOG ó 1 POR CADA 800 m ² DE MATERIAL HETEROG	GRANUL SIMPL LÍQUIDO L PLÁSTICO E DE ARENA CBR ESTÁNDAR EXPANSIÓN	40 kg	1 POR CADA 1800 m ² DE MAT HOMOG. ó 1 POR CADA 800 m ² DE MATERIAL HETEROG	GRANUL SIMPL LÍQUIDO L PLÁSTICO PVS SUELTO PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA ABSORCIÓN CBR ESTAND EXPANSIÓN E. DE ARENA	1 kg EN MATERIAL COMPACTADO 1 POR CADA 200 m POR CAPA EN CARRETERAS ó 1 POR CADA 500 m ² POR CAPA EN AEROPISTAS, CALLE DE RODAJE Y PLATAFORMAS	ACTUADO PV DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR	1 kg EN MATERIAL COMPACTADO 1 POR CADA 200 m POR CAPA PARA CARRETERAS 1 POR CADA 1500 m ² POR CAPA EN AEROPISTAS, CALLE DE RODAJE Y PLATAFORMAS	10 kg	1 POR CADA 3 COMPACTACIONES EN MAT. SIMILAR POR CAPA	PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA	10 kg	1 POR CADA 3 COMPACTACIONES EN MAT. SIMILAR POR CAPA	PVS MÁXIMO HUM ÓPTIMA

W

CATEGORIA	USO	ESTRUC. DE BARRIO			ESTRUC. DEFINITIVO DE BARRIO			CAMBIO EN			VERIFICACION DE CALIDAD			EVALUACION DE OBRAS E		
		TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	FORMAS EN MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	FORMAS EN MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	FORMAS EN MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	FORMAS EN MUESTRA	TAMANO MUESTRA	FRECUENCIA MUESTREO	FORMAS EN MUESTRA
VERBACERIAS	CUERPO DE TERRAPLEN Y SUBSANTO	20 kg	1 POR CADA 200 m ² DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 150 m ² DE MAT. OPTIMO & 1 POR CADA 100 m ²	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO EQUIVALENTE DE ARENA POR ESTANDAR REPASION	40 kg	1 POR CADA 200 m ² DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 150 m ² DE MAT. OPTIMO & 1 POR CADA 100 m ²	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO PESO VOLUMETRICO SECO MAX. HUMEDAD OPTIMA ABSORCION POR ESTANDAR REPASION EQUIVALENTE DE ARENA NOTA: EN TER. BASANTE, UNIFORME MATERIAL - HOMOGENEO	20 kg	1 POR CADA 200 m ² EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA EQUIVALENTE DE ARENA	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA EQUIVALENTE DE ARENA	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	PESO VOLUMETRICO DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR
		20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 1500 m ³ DE MAT. OPTIMO	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO EQUIVALENTE DE ARENA POR ESTANDAR REPASION	40 kg	1 POR CADA 1000 m ³ DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 1500 m ³ DE MAT. OPTIMO	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO PESO VOLUMETRICO SECO MAX. HUMEDAD OPTIMA ABSORCION POR ESTANDAR REPASION EQUIVALENTE DE ARENA	20 kg	1 POR CADA 200 m ² EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA EQUIVALENTE DE ARENA	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA SIMPLIFICADA EQUIVALENTE DE ARENA	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	PESO VOLUMETRICO DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR
ALBERGADORES PESTESOS	REVESTIMIENTO SUB-BASE Y BASE	20 kg	1 POR CADA 200 m ² DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 150 m ² DE MAT. OPTIMO	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA POR ESTANDAR	40 kg	1 POR CADA 200 m ² DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 150 m ² DE MAT. OPTIMO	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO PESO VOLUMETRICO SECO MAX. HUMEDAD OPTIMA ABSORCION DENSIDAD POR ESTANDAR EQUIVALENTE DE ARENA HUMEDAD LOS ANCHOS (EN BASE) AFIRIDAD CON ASFALTO (EN BASE)	20 kg	1 POR CADA 200 m ² EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA HUMEDAD OPTIMA	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA HUMEDAD OPTIMA	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	PESO VOLUMETRICO DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR
		20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 1500 m ³ DE MAT. OPTIMO	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA HUMEDAD LOS ANCHOS	40 kg	1 POR CADA 1000 m ³ DE MAT. TERREN. & 1 POR CADA 1500 m ³ DE MAT. OPTIMO	GRANULOMETRIA PESO VOLUMETRICO SECO SECO ABSORCION DENSIDAD EQUIVALENTE DE ARENA DESGASTE LOS ANCHOS FORMA DE LA PARTICULA AFIRIDAD CON EL ASFALTO (EN BASE) HUMEDAD OPTIMA	20 kg	1 POR CADA 200 m ² EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA FORMA DE PARTICULA	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA ABSORCION HUMEDAD EQUIVALENTE DE ARENA FORMA DE LA PARTICULA DESGASTE LOS ANCHOS AFIRIDAD CON ASFALTO	20 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	PESO VOLUMETRICO DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR
RESCLA ASFALTICA Y SELLO		25 kg	1 POR CADA 2000 m ²	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA HUMEDAD LOS ANCHOS	40 kg	1 POR CADA 2000 m ²	GRANULOMETRIA PESO VOLUMETRICO SECO SECO ABSORCION DENSIDAD EQUIVALENTE DE ARENA DESGASTE LOS ANCHOS FORMA DE LA PARTICULA AFIRIDAD CON EL ASFALTO (EN BASE) HUMEDAD OPTIMA	25 kg	1 POR CADA 100 m ² EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA EQUIVALENTE DE ARENA FORMA DE PARTICULA	25 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	GRANULOMETRIA ABSORCION HUMEDAD EQUIVALENTE DE ARENA FORMA DE LA PARTICULA DESGASTE LOS ANCHOS AFIRIDAD CON ASFALTO	25 kg	1 POR CADA 1000 m ³ EN MATERIAL COMPACTADO	PESO VOLUMETRICO DEL LUGAR HUMEDAD ESPESOR



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

CONTROL DE CALIDAD APLICADO A LAS VIAS TERRESTRES

del 25 al 29 de agosto de 1997

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

MATERIAL DIDACTICO

Ing. Carlos Domínguez Suárez

Palacio de Minería

1997

ELABORACION DEL CONCRETO HIDRAULICO

- LA ELABORACION DEL CONCRETO HIDRAULICO INCLUYE LA OPERACION DE MANEJO Y MEDIDA DE LOS MATERIALES, MEZCLADO, TRANSPORTE, COLOCACION, ACABADO Y CURADO.
- CADA UNA DE ESTAS FASES NO SATISFECHAS DEBIDAMENTE, PUEDE INFLUIR GRANDEMENTE EN EL CONCRETO OBTENIDO, PUDIENDO TRAER COMO CONSECUENCIA LA PRESENCIA DE DEFECTOS TANTO EN APARIENCIA COMO EN RESISTENCIA, POR LO QUE SE DEBEN CONTROLAR CUIDADOSAMENTE EN EL CAMPO.
- LA EXACTITUD Y LA FORMA DE PROCEDER EN LA MEDICION DE LAS CANTIDADES DE MATERIALES QUE INTERVIENEN EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO HIDRAULICO ES DE SUMA IMPORTANCIA, PUESTO QUE TANTO LA CONSISTENCIA DEL CONCRETO, COMO SU RESISTENCIA, CAMBIAN CONSIDERABLEMENTE CUANDO SE PRESENTAN VARIACIONES EN LAS CANTIDADES DE CADA UNO DE ELLOS.
- EL OBJETIVO FINAL ES OBTENER UNIFORMIDAD Y HOMOGENEIDAD EN EL CONCRETO PRODUCIDO.

DOSIFICACION DEL CONCRETO

DOSIFICACION POR VOLUMEN:

- EL EMPLEO DE ESTE METODO INCLUYE UNICAMENTE LA DOSIFICACION DE LOS AGREGADOS INERTES, PUESTO QUE EL CEMENTO VIENE ENVASADO CON PESO Y VOLUMEN DETERMINADO (PESO=50 kg, VOLUMEN=33 lts) Y LOS PROPORCIONAMIENTOS EN ESTOS CASOS SE CALCULAN PARA SACO DE CEMENTO.
- LA MEDIDA DE LOS MATERIALES EN VOLUMEN POR MEDIO DE BOTES O CARRETILLAS, NO ES DE RECOMENDAR SE, EN VISTA DE QUE LAS DOSIFICACIONES RESULTAN CON VARIACIONES MUY GRANDES ORIGINANDO CON ELLO LA OBTENCION DE UN CONCRETO POCO UNIFORME Y DE CONSISTENCIA VARIABLE.

DOSIFICACION DEL CONCRETO

DOSIFICACION POR PESO:

- EN LA ACTUALIDAD SE EXPRESAN LAS PROPORCIONES EN PESO, EN VISTA DE QUE SE EMPLEA EXACTAMENTE LA CANTIDAD DE MATERIAL CALCULADA PARA CADA MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO.

- EL PESO DE CUALESQUIERA DE LOS INGREDIENTES QUE INTERVIENEN EN LA COMPOSICION DE UNA MEZCLA, ESTA DIRECTAMENTE RELACIONADO MEDIANTE SU DENSIDAD, CON EL ESPACIO SOLIDO QUE OCUPA.

- EL CONTROL DE LA DOSIFICACION ES MUCHO MAS FACIL Y RIGIDO, HAYA O NO VARIACION EN LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS. LA CORRECCION DE AGUA POR HUMEDAD SE HACE CON TODA EXACTITUD.

- LA OPERACION DE MEDICION CONSISTE ESENCIALMENTE EN TOLVAS PARA ALMACENAMIENTO DE MATERIALES, QUE ESTAN COMUNICADAS DIRECTAMENTE Y POR LA PARTE INFERIOR CON LA BASCULA PESADORA. MEDIANTE UN SISTEMA APROPIADO PARA ABRIR LAS COMPUERTAS DE LAS DIFERENTES TOLVAS, SE CONTROLA CON EXACTITUD EL PESO DE CADA UNO DE LOS MATERIALES, DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE LA MEZCLA.

TRANSPORTE DEL CONCRETO

- EL CONCRETO PUEDE SER TRANSPORTADO POR METODOS Y EQUIPOS DIVERSOS:

CAMION-REVOLVEDOR

CAMION DE CAJA FIJA (CON O SIN AGITADORES)

CUCHARONES TRANSPORTADOS POR
CAMION O CARRO DE FERROCARRIL

CONDUCTORES O MANGUERAS

BANDAS TRANSPORTADORAS

- CADA TIPO DE TRANSPORTE POSEE VENTAJAS Y DESVENTAJAS, QUE DEPENDEN DE:

LAS CONDICIONES DE USO

LOS INGREDIENTES DE LA MEZCLA

LA ACCESIBILIDAD Y UBICACION DEL
SITIO DE COLOCACION

LA CALIDAD Y TIEMPO DE ENTREGA

LAS CONDICIONES AMBIENTALES

MEZCLADO DEL CONCRETO

- EL OBJETIVO IMPORTANTE PARA EL EXITO DEL MEZCLADO ES LA APROPIADA SECUENCIA Y COMBINACION DE LOS INGREDIENTES DURANTE LA CARGA DE LAS MEZCLADORAS.
- ES PREFERIBLE QUE EL CEMENTO SE CARGUE JUNTO CON OTROS MATERIALES, PERO DEBE ENTRAR EN LA DESCARGA DESPUES DE QUE APROXIMADAMENTE EL 10% DEL AGREGADO HAYA ENTRADO EN LA MEZCLADORA.
- EL AGUA DEBE ENTRAR PRIMERO EN LA MEZCLADORA, Y CONTINUAR FLUYENDO MIENTRAS LOS DEMAS - - INGREDIENTES SE VAN CARGANDO.
- LOS ADITIVOS DEBEN CARGARSE EN LA MEZCLADORA EN EL MISMO PUNTO DE LA SECUENCIA DEL - - - MEZCLADO, MEZCLA TRAS MEZCLA. LOS ADITIVOS LIQUIDOS DEBEN CARGARSE CON EL AGUA, Y LOS - ADITIVOS EN FORMA DE POLVO DEBEN SER VERTIDOS DENTRO DE LA MEZCLADORA CON OTROS INGREDIEN - TES SECOS.

MEZCLADO DEL CONCRETO

- LOS TIPOS MAS COMUNES DE MEZCLADORAS SON LAS DE TAMBOR, DE EJE VERTICAL Y LA DE ASPAS EN ESPIRAL.
- UNA MEZCLADORA DE TAMBOR, DE DISEÑO SATISFACTORIO TIENE UN ARREGLO DE ASPAS EN ESPIRAL Y UNA FORMA DE TAMBOR PARA ASEGURAR DE EXTREMO A EXTREMO EL INTERCAMBIO DE MATERIALES - - PARALELO AL EJE DE ROTACION, Y UN MOVIMIENTO ENVOLVENTE QUE VOLTEA Y ESPARCE LA MEZCLA - SOBRE SI MISMA AL MEZCLARSE.
- EN LA MEZCLADORA DE EJE VERTICAL, LAS ASPAS GIRAN SOBRE EJES VERTICALES QUE OPERAN EN UN RECIPIENTE FIJO O GIRATORIO QUE DA VUELTAS EN SENTIDO OPUESTO.
- LA MEZCLADORA DE PALETA EN ESPIRAL CONSTA DE UN EJE HORIZONTAL MOVIDO POR FUERZA MOTRIZ CON PALETAS EN ESPIRAL QUE OPEREN DENTRO DE UN TAMBOR HORIZONTAL.

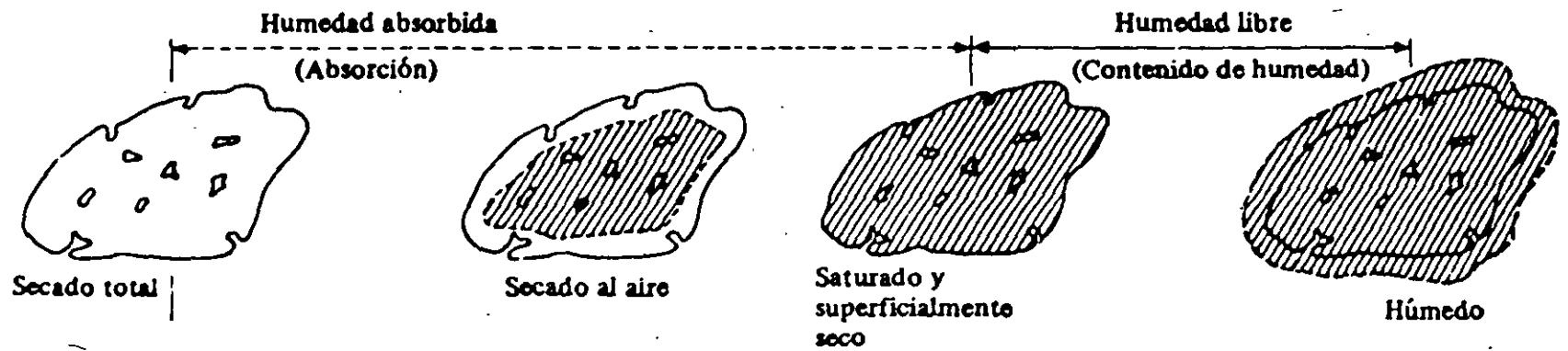


Fig. 3.6 Representación esquemática de la humedad del agregado.

TABLA 3.11 Valores típicos de absorción de diversos agregados^{3,8}

<i>Tipo y tamaño del agregado (con designaciones de malla ASTM)</i>	<i>Forma</i>	<i>Contenido de humedad en agregado seco al aire, expresado como porcentaje del peso seco</i>	<i>Absorción (contenido de humedad en agregado saturado y superficialmente seco, como porcentaje del peso seco)</i>
Grava de río del Valle del Támesis de 19.0-9.5 mm ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ ")	Irregular	0.47	2.07
Grava de río del Valle del Támesis de 9.5- 4.8 mm ($\frac{3}{8}$ " - $\frac{3}{16}$ ")	"	0.84	3.44
4.8-2.4 mm ($\frac{3}{16}$ " - No. 8)	"	0.50	3.15
2.4 -1.2 mm (No. 8-16)	"	0.30	2.90
1.2 mm 600 μ m (No. 16-30)	Arena	"	"
600-300 μ m (No. 30-50)	del río	"	1.70
300-150 μ m (No. 50-100)	del Valle	"	1.10
150-75 μ m (No. 100-200)	del Támesis	"	1.25
Arena de río de la zona 2 del Valle del Támesis de 4.8 mm-150 μ m ($\frac{3}{16}$ " - No. 100)	"	0.60	1.60
Grava de río para prueba de 19.0-9.5 mm ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ ")	"	0.80	1.80
Grava de río para prueba de 9.5- 4.8 mm ($\frac{3}{8}$ " - $\frac{3}{16}$ ")	"	1.13	3.30
Grava de Bridport de 19.0-9.5 mm ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ ")	"	0.53	4.53
Grava de Bridport de 9.5- 4.8 mm ($\frac{3}{8}$ " - $\frac{3}{16}$ ")	Redonda	0.40	0.93
Granito de Mountsorrel de 19.0-9.5 mm ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ ")	"	0.50	1.17
Granito de Mountsorrel de 9.5- 4.8 mm ($\frac{3}{8}$ " - $\frac{3}{16}$ ")	Angulosa	0.30	0.57
Caliza triturada de 19.0-9.5 mm ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ ")	"	0.45	0.80
Caliza triturada de 9.5- 4.8 mm ($\frac{3}{8}$ " - $\frac{3}{16}$ ")	"	0.15	0.50
Arena estándar de Leighton Buzzard de 850-600 μ m (No. 20-30)	"	0.20	0.73
	Redonda	0.05	0.20

CONCRETO PREMEZCLADO

+ AL CONTRATAR SE DEBE PROPORCIONAR

ADEMAS DE LOS DATOS ANTERIORES
NOMBRE DEL CONTRATISTA
NOMBRE Y UBICACION DE LA OBRA
REQUISITOS ESPECIALES (AIRE INCLUIDO O TEMPERATURA)
CANTIDAD TOTAL DE CONCRETO
LA HORA DE ENTREGA
LA FRECUENCIA DE LAS ENTREGAS
REVISION DE ACCESOS PARA QUE EL
CAMION PUEDA SER DESCARGADO

- PISOS FIRMES PARA SOPORTAR LA CARGA DEL CAMION (24 ton.)
- LARGO 8m
- ANCHO 2.5m
- ALTO 3.5m
- 15m RADIO DE GIRO PARA DAR VUELTA

+ NOTAS DE ENTREGA

VERIFICAR QUE LA NOTA SEA DEL CONCRETO ORDENADO O CONTRATADO

NOMBRE DEL PROVEEDOR Y DE LA PLANTA
NUMERO DE SERIE DE LA NOTA
FECHA
NUMERO DE CAMION

VERIFICAR LA HORA DE CARGA

ANOTAR LA HORA DE ENTREGA

SE ESPERA QUE EL CAMION ESTE TOTALMENTE DESCARGADO DENTRO DE LOS 30 MINUTOS DESPUES DE SU LLEGADA A LA OBRA

CUANDO SE SEPA QUE LA DESCARGA TARDARA MAS TIEMPO, DEBE - - AVISARSE AL PROVEEDOR AL HACER EL PEDIDO.

CONCRETO PREMEZCLADO

- ACTUALMENTE UNA GRAN PROPORCION DEL CONCRETO USADO EN LAS OBRAS POR LOS CONTRATISTAS, ES PREMEZCLADO Y PUEDE CONSEGUIRSE PARA TODO TIPO DE TRABAJO, DESDE CONCRETO POBRE HASTA DE ALTA RESISTENCIA.
- + SE REQUIERE DE PROGRAMAR LOS PEDIDOS CON ANTICIPACION (MINIMO 24 HRS)
- + ES CONVENIENTE QUE EL CONTRATISTA Y EL PROVEEDOR ESTABLESCAN UNA - - FORMAL COMUNICACION, PARA PLANEAR LOS PEDIDOS CON SUFICIENTE TIEMPO.
- + DETALLAR LOS REQUISITOS QUE DEBE REUNIR EL CONCRETO.

CLASIFICACION (RESISTENCIA Y TRABAJABILIDAD)

TIPO DE CEMENTO

TAMAÑO Y TIPO DE AGREGADOS

RELACION MAXIMA AGUA/CEMENTO

SI DEBE O NO USARSE ADITIVO

INFORMACION ADICIONAL RESPECTO A LOS ACABADOS

DOSIFICACION Y MEZCLADO DEL CONCRETO HIDRAULICO EN LA OBRA

- LOS MATERIALES DEBEN CARGARSE EN LA TOLVA EN EL ORDEN CORRECTO, - CUANDO LA TOLVA SE VOLTEA PARA DESCARGAR DENTRO DE LA REVOLVEDORA EL MATERIAL QUE SE CARGO PRIMERO SERA EL ULTIMO EN SER DESCARGADO; POR ESTO EL AGREGADO GRUESO GENERALMENTE ES EL PRIMERO EN SER CARGADO PARA QUE ESTE EMPUJE A LA ARENA Y AL CEMENTO Y LA TOLVA DESCARGUE LIMPIAMENTE.

- CUANDO SE VACIA DIRECTAMENTE EN LA REVOLVEDORA, LA ARENA DEBE IR ENCIMA DEL AGREGADO GRUESO; SIN EMBARGO ES MUY COMUN COLOCAR EL CEMENTO ENTRE EL AGREGADO GRUESO Y LA ARENA; SI EL CEMENTO PASA A LA TOLVA DESDE EL SURTIDOR DEL SILO, UNA PARTE PODRIA SER ARRASTRADO POR UN VIENTO FUERTE SI SE COLOCA ENCIMA DE LA ARENA.

- CUANDO EL CEMENTO YA SE ENCUENTRA EN LA TOLVA ENTRE EL AGREGADO GRUESO Y EL FINO, VACIESE EN LA REVOLVEDORA JUNTO CON PARTE DEL AGUA; GENERALMENTE ES MEJOR COMENZAR A VACIAR EL AGUA UNOS SEGUNDOS ANTES DE AÑADIR LOS MATERIALES SOLIDOS, Y AGREGAR EL RESTO DEL AGUA CONFORME SE VACIA EL RESTO DE LOS MATERIALES.

- CUANDO EL CEMENTO Y EL AGREGADO SE VACIAN SEPARADAMENTE EN LA REVOLVEDORA, SE DEBE ASEGURAR QUE EL CEMENTO NO ENTRE PRIMERO, - HAY QUE CARGAR ANTES PARTE DEL AGREGADO GRUESO Y PARTE DEL AGUA, DESPUES EL CEMENTO Y FINALMENTE EL RESTO DEL AGREGADO Y DEL AGUA.

MEZCLADO DEL CONCRETO

- EL TIEMPO DE MEZCLADO PARA REVOLVEDORAS ROTATORIAS DE TAMBOR HASTA DE 1 M³ DE CAPACIDAD, DEBE SER DE 1.5 A 2 MINUTOS DESPUES DE HABER VACIADO TODOS LOS MATERIALES.

- EL TIEMPO DE MEZCLADO PARA OLLAS, DEBIDO AL TIPO DE MEZCLA DE ACCION FORZADA, SON SUFICIENTES 30 O 40 SEGUNDOS.

- LA GUIA MAS IMPORTANTE PARA SABER SI LA MEZCLA SE HA TERMINADO, SON LOS OJOS DEL OPERADOR DE LA REVOLVEDORA; UN BUEN OPERADOR NO TARDA MUCHO EN SABER CUANTO TIEMPO SE NECESITA PARA LOGRAR EL RESULTADO CORRECTO.

- UN CAMION MEZCLADOR CUANDO SE EMPLEA COMO AGITADOR PARA TRANSPORTAR CONCRETO QUE HA SIDO MEZCLADO EN UNA MEZCLADORA DE PLANTA, DURANTE SU TRAYECTO, EL TAMBOR GIRA LENTAMENTE, A RAZON DE 1 O 2 REVOLUCIONES POR MINUTO, SOLAMENTE PARA CONSERVAR EL CONCRETO EN MOVIMIENTO CONSTANTE. AL LLEGAR A LA OBRA DEBE ACELERARSE HASTA ALCANZAR DE 10 A 15 REVOLUCIONES POR MINUTO, DURANTE 3 MINUTOS POR LO MENOS, PARA QUE EL CONCRETO ESTE BIEN MEZCLADO Y HOMOGENEO.

- UN CAMION MEZCLADOR CUANDO SE EMPLEA COMO TAL, SI EL AGUA SE AGREGA EN LA OBRA EL TAMBOR DE LA MEZCLADORA DEBE GIRAR ALREDEDOR DE 100 REVOLUCIONES DESPUES DE LA ADICION DEL AGUA, PARA GARANTIZAR QUE EL CONCRETO ESTA SUFICIENTEMENTE MEZCLADO. SE REQUERIRAN DE 7 A 10 MINUTOS PARA LLEVAR A CABO EL MEZCLADO, PUESTO QUE LOS TAMBORES DE LAS MEZCLADORAS GIRAN POR LO GENERAL A 10 O 15 R.P.M., CUANDO FUNCIONAN A ALTA VELOCIDAD.

Tabla 4.4: Tiempos mínimos de mezclado recomendados.

Capacidad de la mezcladora m ³	Tiempo de mezclado, minutos	
	Bureau of Reclamation 4.7	Instituto Americano del Concreto 4.15 y Norma ASTM C 94-72
0.8	1½	1
1.5	1½	1½
2.3	2	1½
3.1	2½	1½
3.8	2½	2
4.6	3	2½
7.6		3½

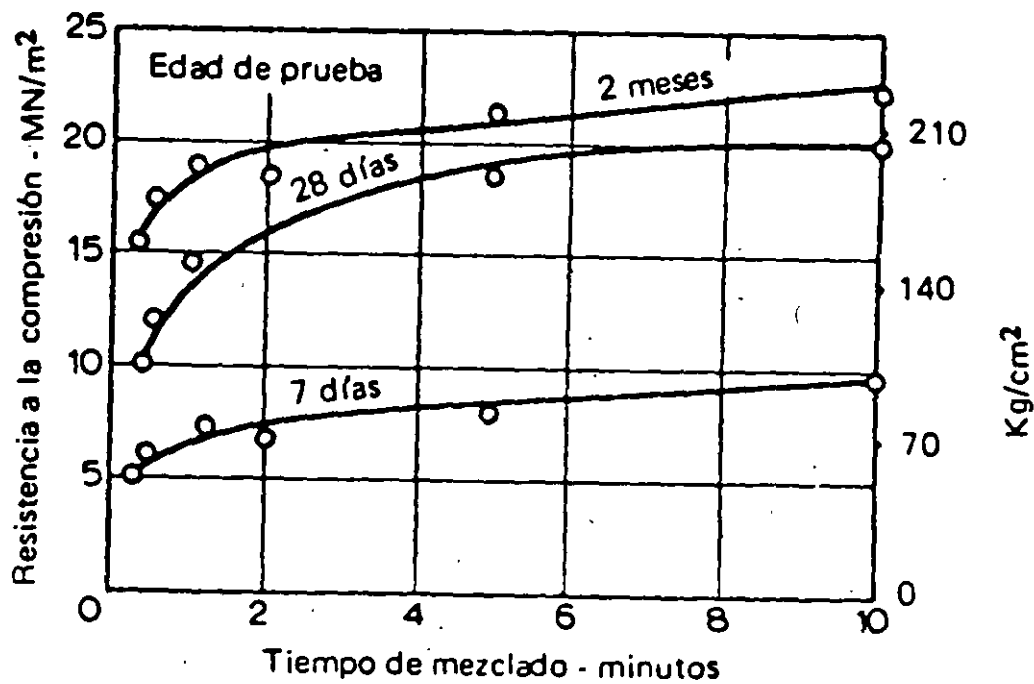


Fig. 4.16: Efecto del tiempo de mezclado en la resistencia del concreto.^{4.23}

CUIDADO DE LA DOSIFICACION POR PESO Y DE LA MEZCLADORA

- 1.- VERIFICAR QUE LA REVOLVEDORA ESTE NIVELADA. Si no está nivelada el concreto no se mezclará debidamente.
- 2.- REVISAR SIEMPRE LOS NIVELES DE COMBUSTIBLE, ACEITE Y AGUA, ANTES DE ARRANCAR LA REVOLVEDORA. Asegurese de tener suficiente combustible para el trabajo del día.
- 3.- ASEGURESE DE QUE LA AGUJA DE LA CARATULA DEL MEDIDOR ESTA EN CERO CUANDO LA TOLVA ESTE VACIA. Si no marca cero hay que ajustarla.
- 4.- NO SE DEBE PERMITIR QUE AGREGADO DERRAMADO SE ACUMULE ALREDEDOR DEL MECANISMO O DEBAJO DE LA TOLVA. El agregado acumulado debajo de la tolva impide que ésta se pueda mover con facilidad y afecta seriamente la lectura del medidor.
- 5.- LIMPIAR COMPLETAMENTE EL TAMBOR DESPUES DE TERMINAR EL COLADO DEL DIA Y CUANDO HAYA UNA PAUSA, COMO LA HORA DE LA COMIDA La acumulación del cemento o mortero afecta la lectura del medidor y hace que se suministre insuficiente agregado
- 6.- MANTENER LIMPIA LA TOLVA ESPECIALMENTE CUANDO EL CEMENTO SE COLOCA EN LA MISMA TOLVA QUE EL AGREGADO HUMEDO. GENERALMENTE ESTO SE LOGRA COLOCANDO PRIMERO EL AGREGADO GRUESO EN LA TOLVA, DESPUES EL CEMENTO Y FINALMENTE EL AGREGADO FINO. El agregado grueso ejerce una acción de desgaste sobre el fondo de la tolva, tanto al vaciarlo en la revolvedora como al descargarlo de la misma.
- 7.- VERIFICAR UNA VEZ A LA SEMANA QUE LA VELOCIDAD DE LA REVOLVEDORA ES LA RECOMENDADA POR EL FABRICANTE. Si no es así, el concreto puede quedar mal mezclado y la revolvedora podría averiarse.
- 8.- AL MENOS UNA VEZ POR SEMANA, O CON MAS FRECUENCIA SI SE CREE QUE ALGO ANDA MAL, VERIFIQUESE QUE EL SISTEMA DE PESO TRABAJA BIEN Y QUE LOS MATERIALES SE ESTAN SUMINISTRANDO CON LOS PESOS CORRECTOS. En una máquina con medidor se puede hacer rápidamente una verificación aproximada.

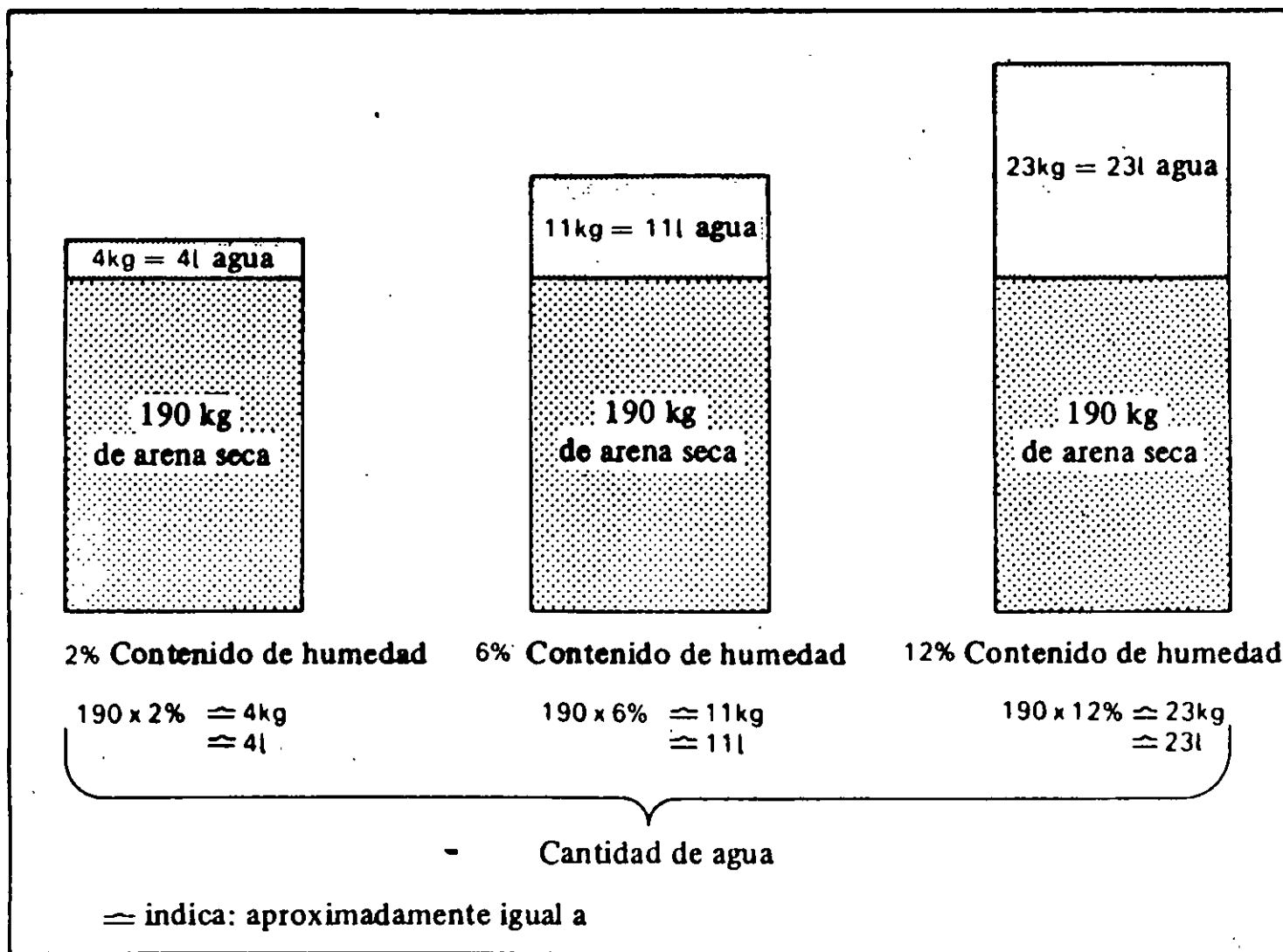


Fig. 5. Ilustración esquemática (no a escala) del efecto de los cambios de contenido de humedad, sobre la cantidad de agua de la arena.

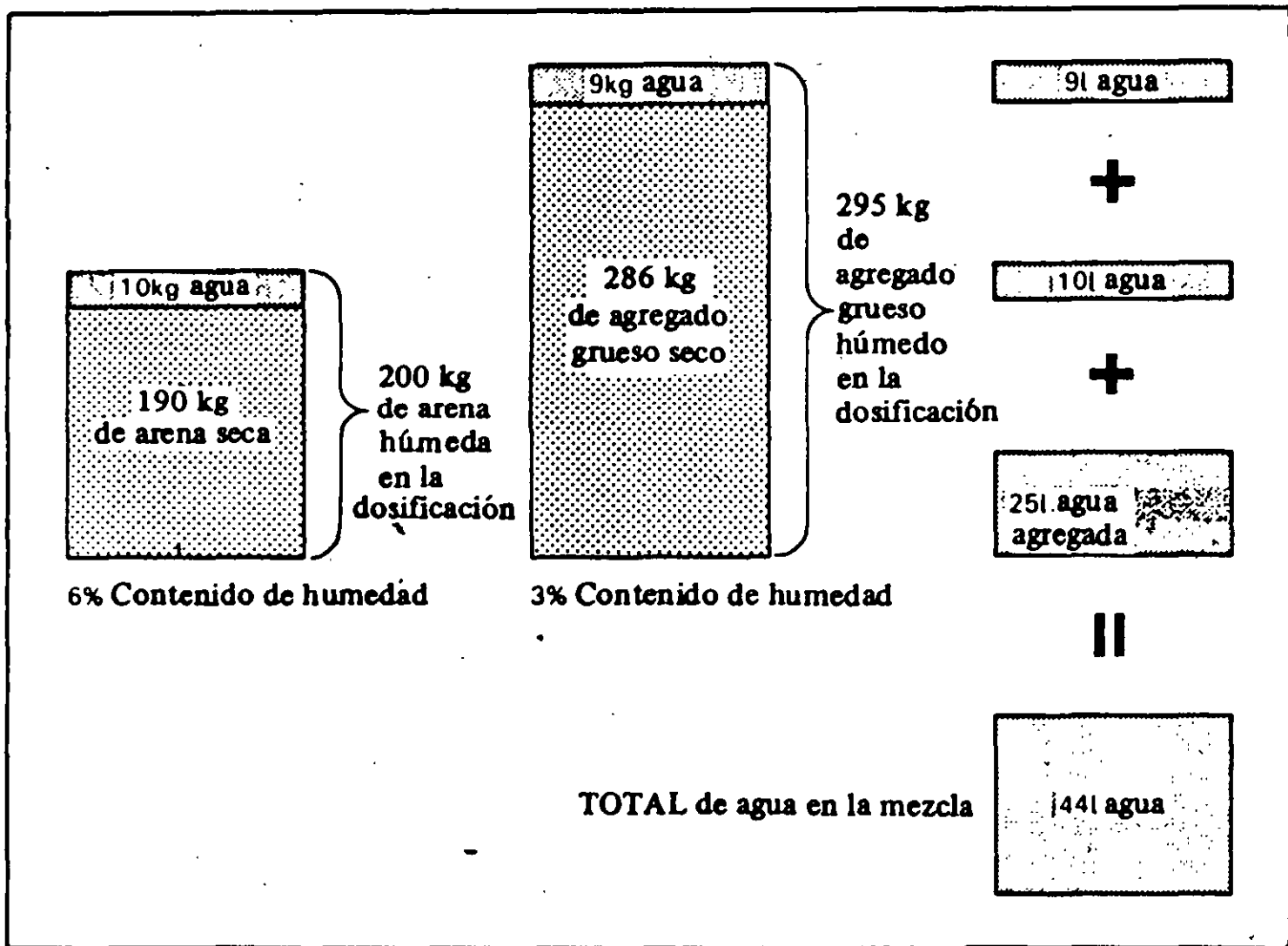


Fig. 6. Ilustración esquemática que muestra de dónde proviene la cantidad total de agua de una mezcla.

61

LA UNIFORMIDAD DEL CONCRETO ES AFECTADA POR LA DISPOSICION DE LAS TOLVAS DE ABASTECIMIENTO Y DE LAS BASCULAS DOSIFICADORAS

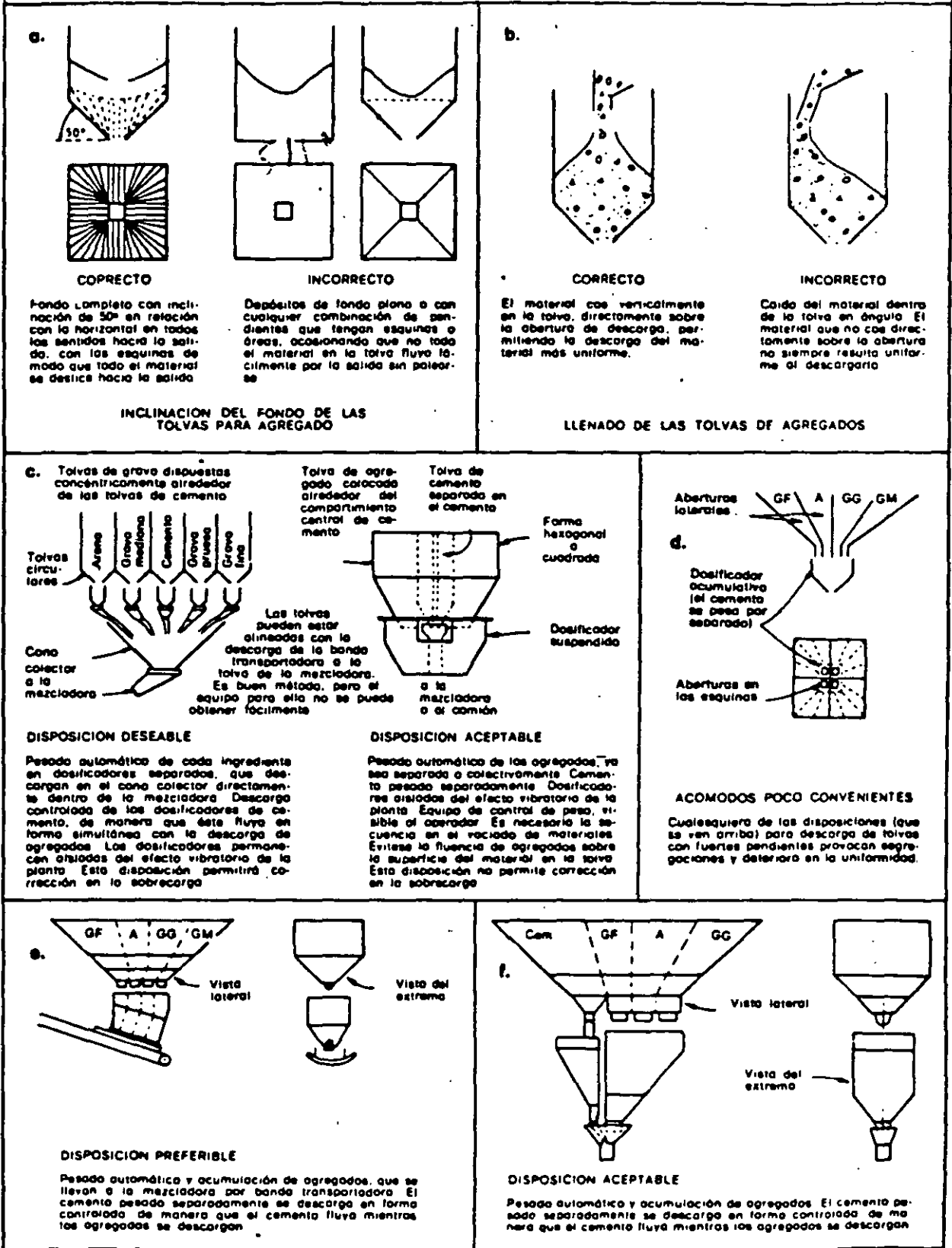


Fig. 3.2. Métodos correctos e incorrectos de dosificación.

A MENOS QUE SE CONTROLE LA DESCARGA DEL CONCRETO DE LAS MEZCLADORAS, LA UNIFORMIDAD QUE RESULTA DE UN BUEN MEZCLADO SERA DESTRUIDA POR SEPARACION

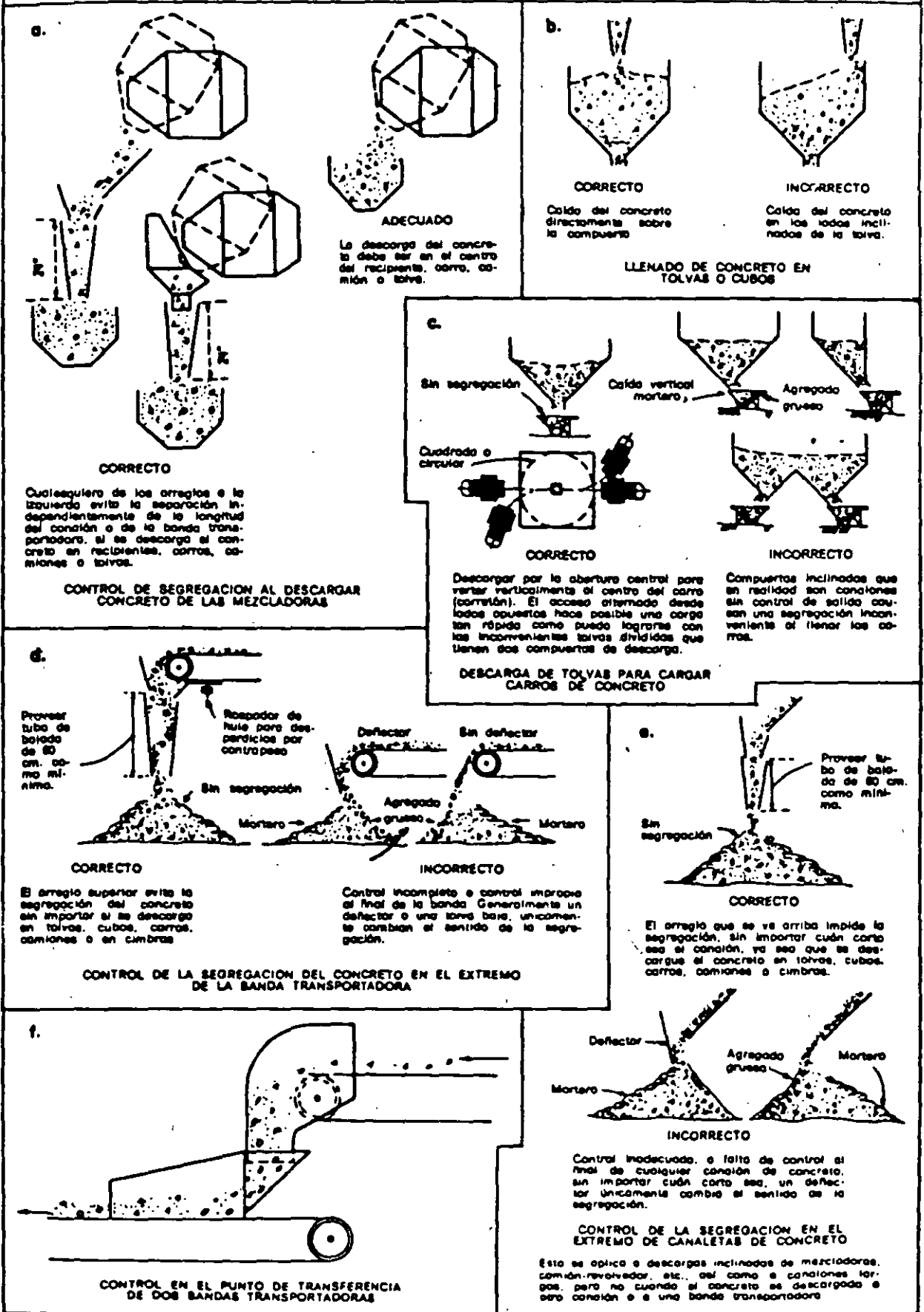
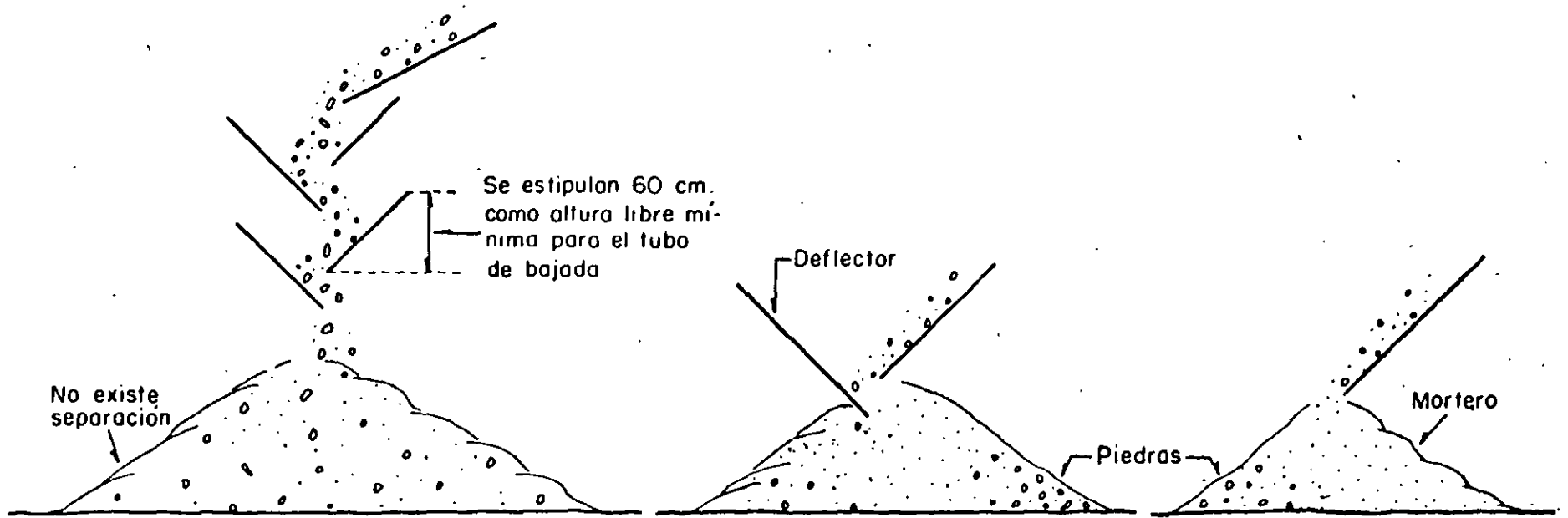


Fig. 4.8. Métodos correctos e incorrectos de manejo de concreto.



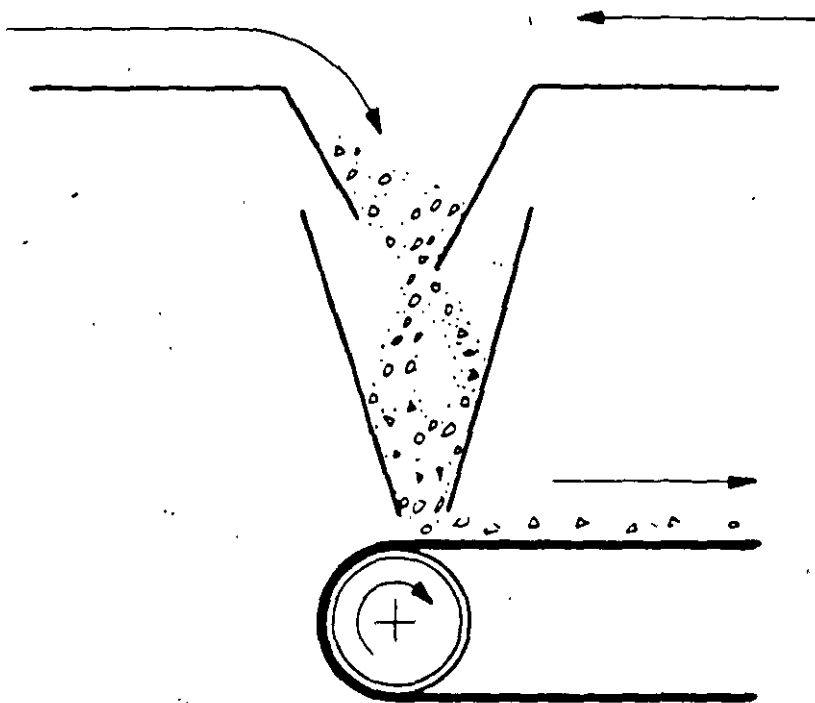
METODO CORRECTO

El arreglo superior previene la segregación, sin importar qué tan largo sea el canal, con tal que el concreto sea descargado dentro de tolvas, cubos, carretillas, camiones o bien directamente en las formas.

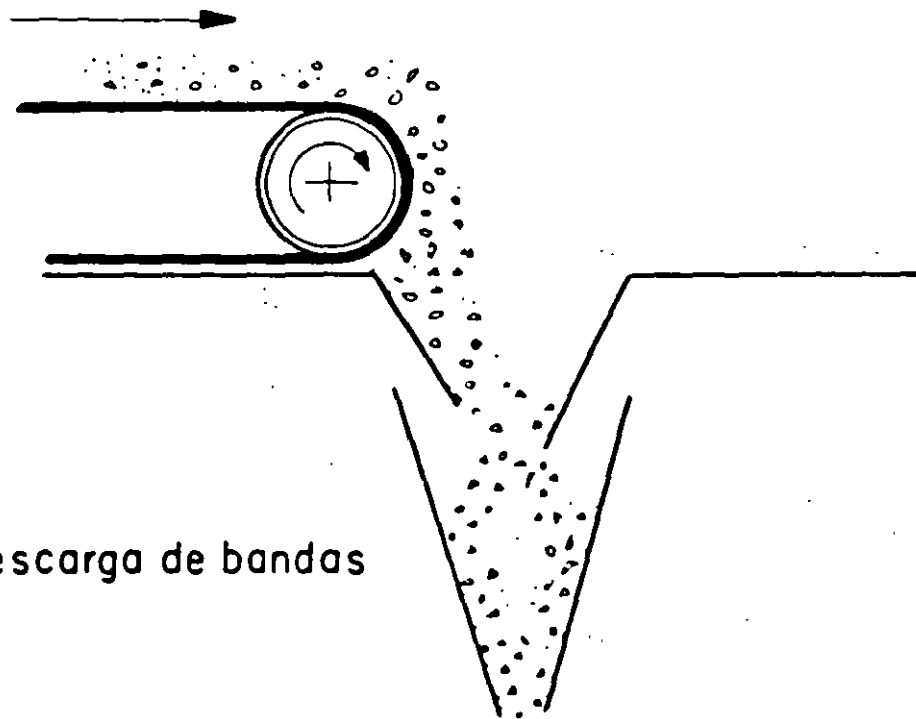
METODO INCORRECTO

Caída inadecuada del concreto, con el empleo de canalones para transportar concreto. Con estos dispositivos se obtiene generalmente un concreto segregado.

CONTROL DE LA SEGREGACION AL FINAL DE LOS CANALES PARA TRANSPORTAR CONCRETO



Descarga a bandas para evitar segregación.



Descarga de bandas

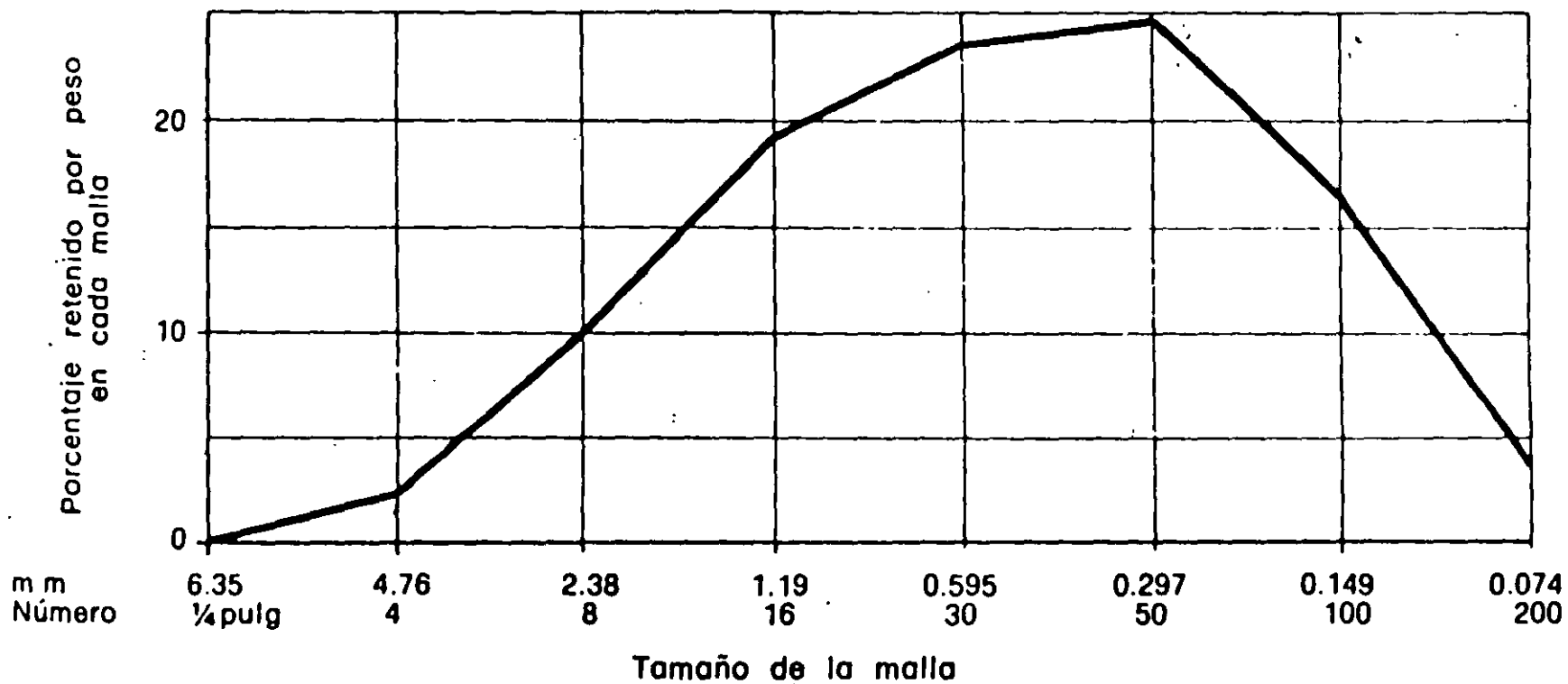


Fig. 9.4. 2b. Valores sugeridos de granulometría en cada malla para arena de peso normal para concreto bombeado.

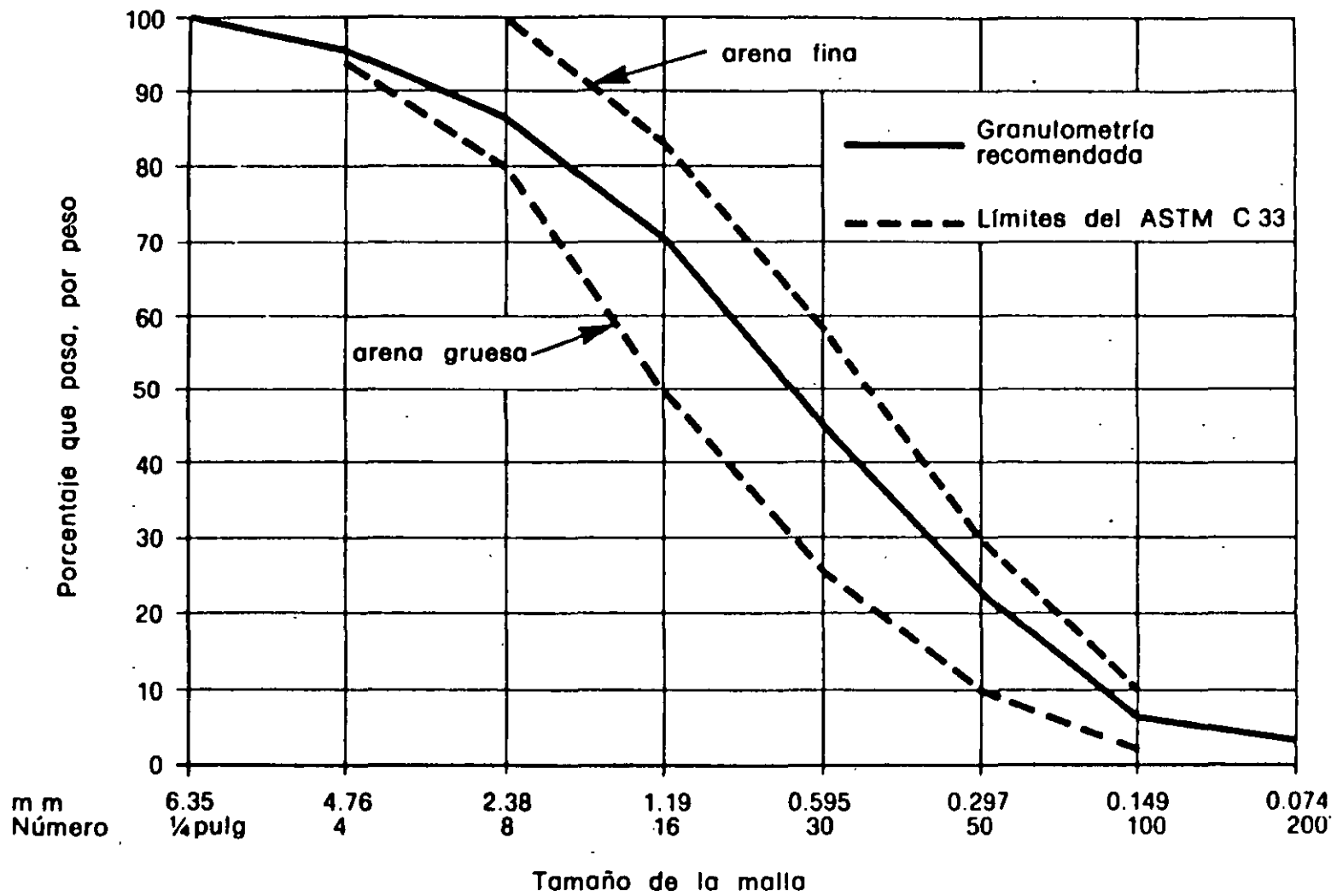


Fig. 9.4.2. a. Límites sugeridos para la granulometría de arena de peso normal para concreto bombeado.

DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (Número de malla y pulgadas)

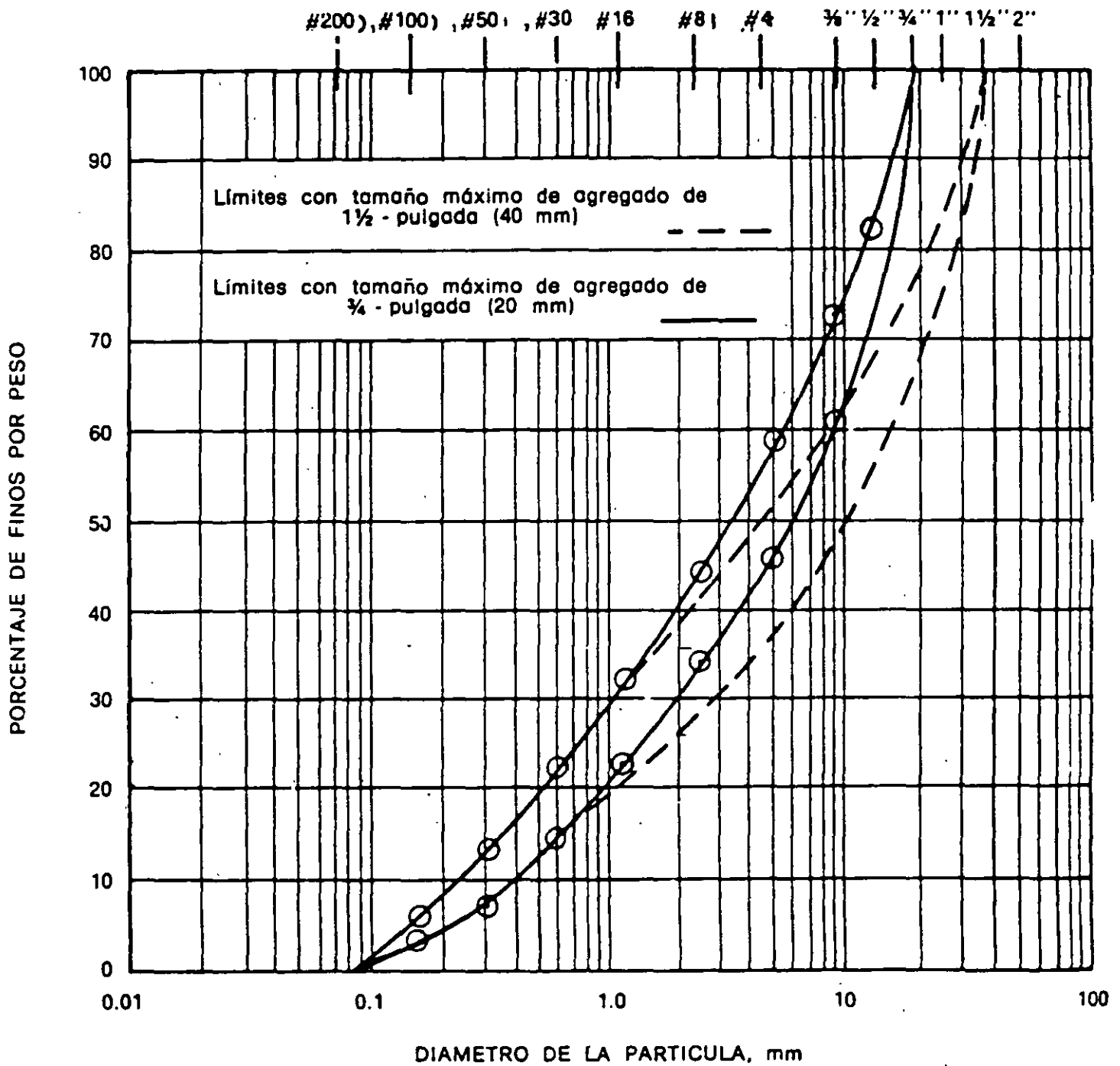
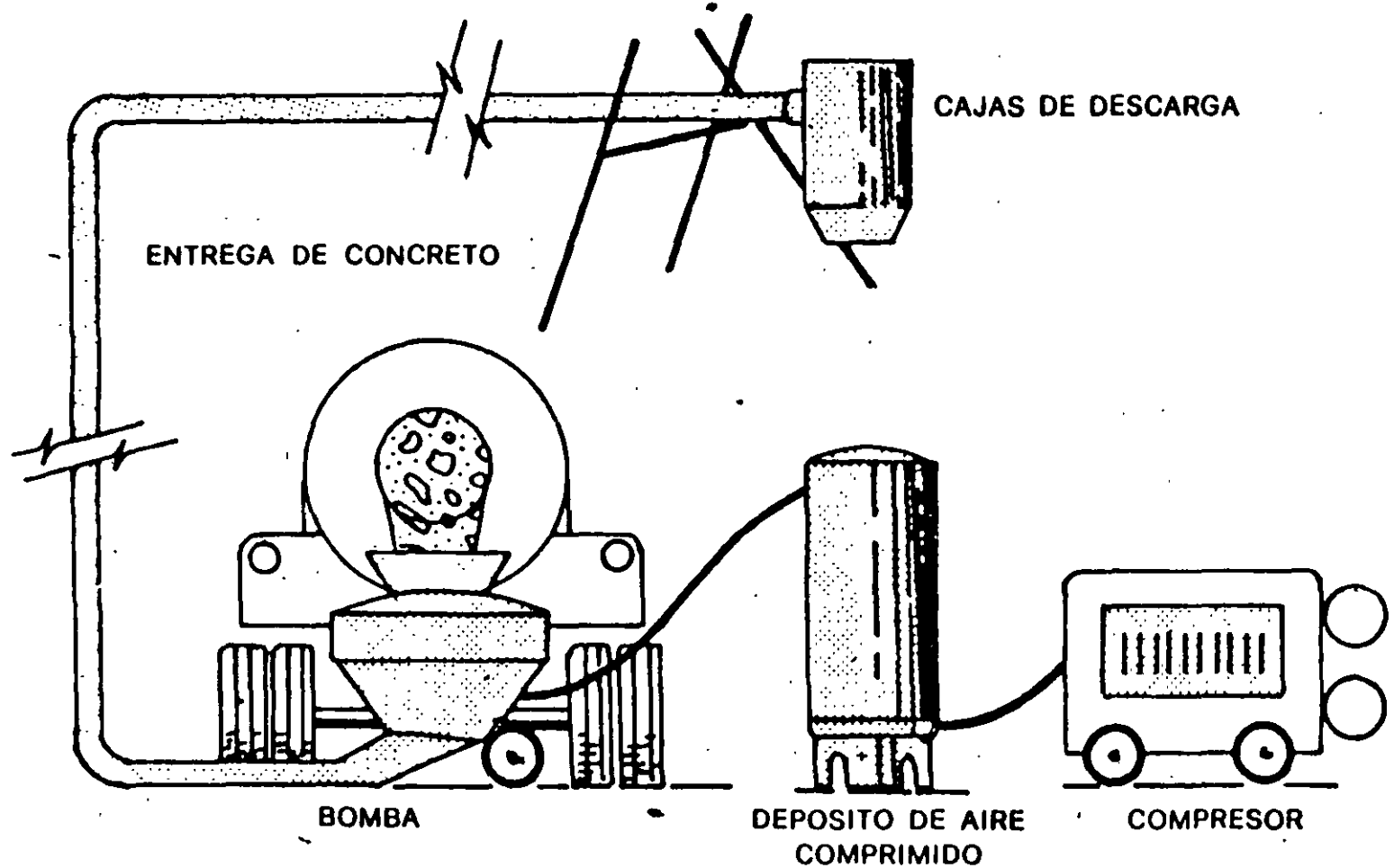


Fig. 9.4.2c. Granulometría combinada de agregado de peso normal recomendada para concreto bombeado.



La válvula de entrada se abre cuando la válvula de descarga está cerrada y el concreto se introduce en el cilindro por gravedad y por la succión del pistón. Cuando el pistón avanza se cierra la válvula de entrada, la válvula de descarga se abre, y el concreto es empujado por la tubería hacia la cimbra.

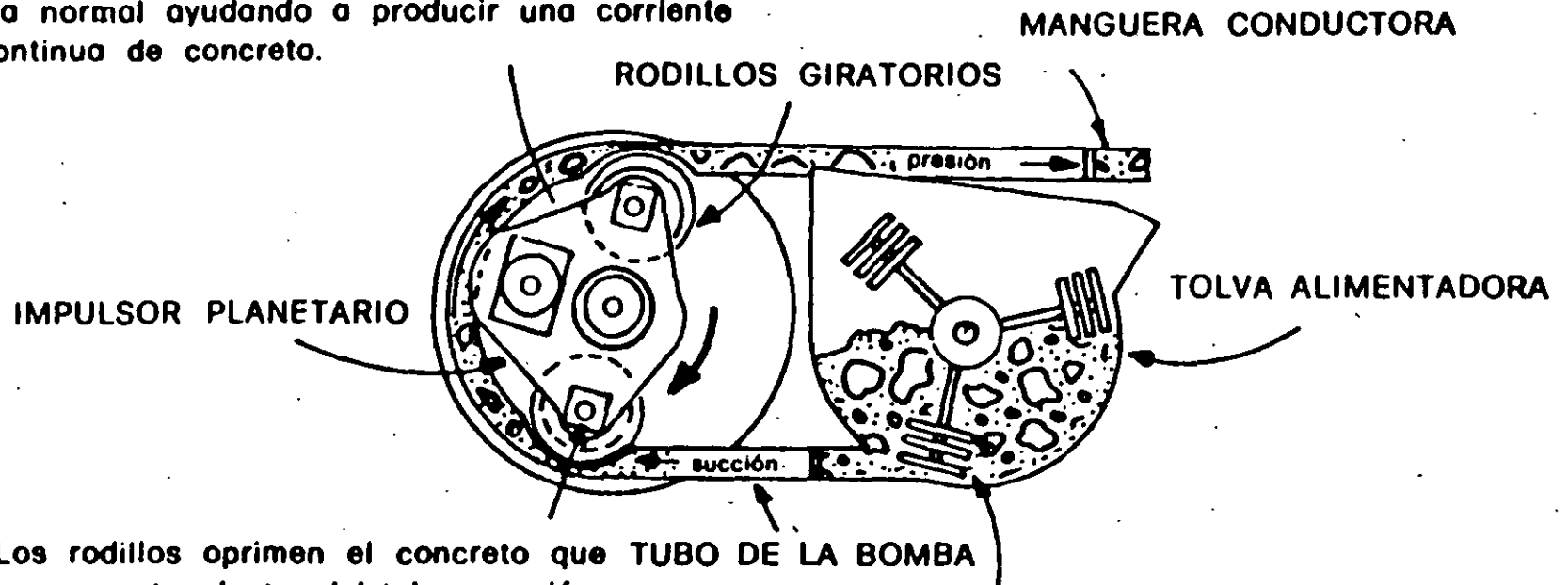
Fig. 1. Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo de pistón.



El compresor llena de aire comprimido el tanque, que empuja el concreto en la bomba-a través de la tubería.

Fig. 2. Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo neumático.

El enrarecimiento del aire que se mantiene en la cámara de la bomba vuelve el tubo a su forma normal ayudando a producir una corriente continua de concreto.



Los rodillos oprimen el concreto que TUBO DE LA BOMBA se encuentra dentro del tubo empujándolo hacia la manguera de conducción.

Aspas giratorias que empujan el concreto al tubo de la bomba.

Fig. 3. Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo de retacado.

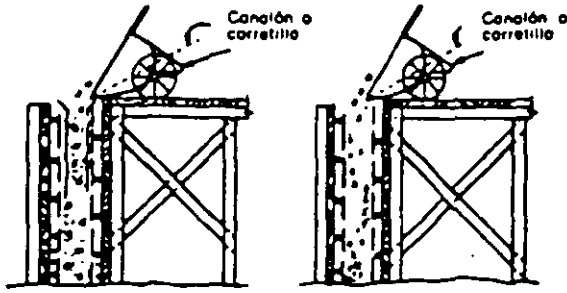
TABLA 9.3.—DATOS SOBRE CONDUCTOS PARA CONCRETO BOMBEADO

Diámetro del conducto* pulg (mm)	Área de la sección transversal pulg² (cm²)	Tamaño máximo nominal del agregado pulgada (cm)		Volumen de concreto por cada 100 pies (30.5 m) de conducto		Longitud de conducto por cada yd² (m²) de concreto pies (metros)	Peso** del concreto por cada sección de 10 pies (3.1 m) de conducto libras (kg)	Capacidad de entrega, yarda cúbica por hora (m³/hr), para velocidades medias (no máximas) indicadas*** Velocidades en pie por segundo (m/seg)			
		Mezcla rica	Mezcla pobre	pie²	yd² (m²)			1 (0.3)	2 (0.6)	3 (0.9)	4 (1.2)
3 (76.1) DE 14 espesor de pared	6.41 (41.3)	¾ (1.9)	¾ (1.9)	4.4	0.2 (0.1)	625 (191)	66.8 (30.5)	5.9 (4.5)	12 (9.0)	18 (14)	24 (18)
4 (102) DE 14 espesor de pared	11.7 (75.5)	1 (2.5)	¾ (1.9)	8.2	0.3 (0.2)	333 (102)	123 (55.8)	11 (8.3)	22 (17)	32 (25)	43 (33)
4(102)DI	12.6 (81.0)	1 (2.5)	1 (2.5)	8.7	0.3 (0.2)	313 (95.4)	131 (59.4)	12 (8.9)	23 (18)	35 (27)	47 (36)
5 (127) DI	19.6 (127)	1½ (3.8)	1 (2.5)	14	0.5 (0.4)	200 (61.0)	204 (92.5)	18 (14)	36 (28)	54 (41)	72 (55)
6 (152) DI	28.3 (182)	2 (5.0)	1½ (3.8)	20	0.7 (0.6)	137 (41.8)	294 (133)	26 (20)	53 (40)	79 (60)	100 (80)
7 (178) DE 5/32 pulg espesor de pared	35.1 (227)	2 (5.0)	1½ (3.8)	24	0.9 (0.7)	111 (33.8)	366 (166)	32 (25)	65 (50)	97 (74)	— —
8 (200) DI	50.2 (324)	2½ (6.3)	2 (5.0)	35	1.3 (1.0)	76 (23.8)	524 (238)	46 (35)	93 (71)	— —	— —

* DE indica diámetro exterior; DI indica diámetro interior.
 ** A 150 libras/pie cúbico (2400 kg/m³)
 *** Las capacidades fueron obtenidas por la fórmula hidráulica normal (multiplíquese el área de la sección transversal por la velocidad de la línea en unidades apropiadas) Para obtener la capacidad asignada o nominal para un determinado sistema de bomba y conductos, consulte al fabricante

EL CONCRETO SE SEGREGARA SERIAMENTE A MENOS QUE SE DEPOSITE DENTRO DE LAS CIMBRAS ADECUADAMENTE

a.



CORRECTO

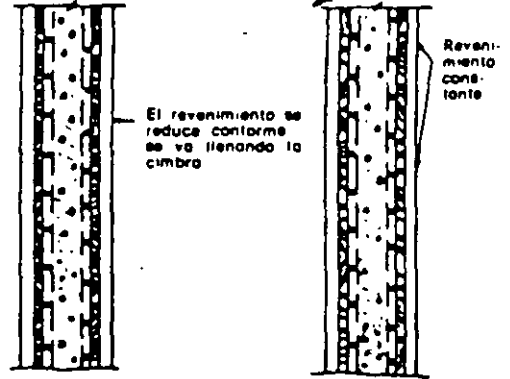
INCORRECTO

Descárguese el concreto en un colector con una manguera ligera y flexible. Esto evita la segregación. La cimbra y el acero estarán limpios hasta que los cubra el concreto.

Permite que el concreto del canalón o la carretilla se golpee contra la cimbra y rebote en las varillas y la cimbra causando segregación y huecos en el fondo.

COLOCANDO CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE CIMBRAS ESTRECHAS

b.



CORRECTO

INCORRECTO

El revenimiento se reduce conforme se va llenando la cimbra

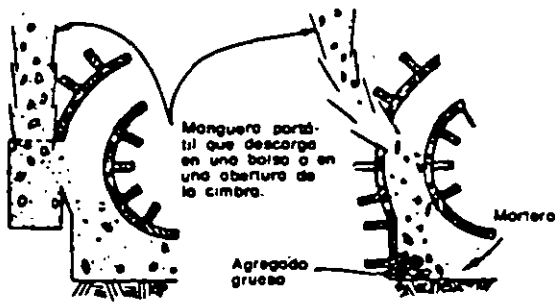
Revenimiento constante

Necesariamente el concreto es más húmedo en el fondo de cimbras estrechas y profundas, y se hace más seco conforme se alcanza la parte superior. El aumento de agua tiende a igualar la calidad del concreto. La contracción por asentamiento es mínima.

Usar el mismo revenimiento en la parte superior como se requiere en el fondo del vaciado. Un alto revenimiento en la parte superior produce un exceso de agua y decoloración, pérdida de calidad y durabilidad en la capa superior.

CONSISTENCIA DEL CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS

c.



CORRECTO

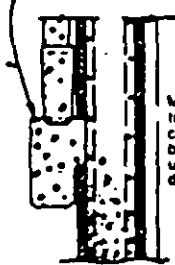
INCORRECTO

Manguera portátil que descarga en un bolso a en una abertura de la cimbra.

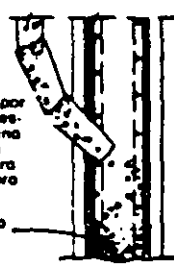
Montero

Agregado grueso

Blanco



CORRECTO



INCORRECTO

Manguera portátil que descarga en un bolso a en una abertura de la cimbra

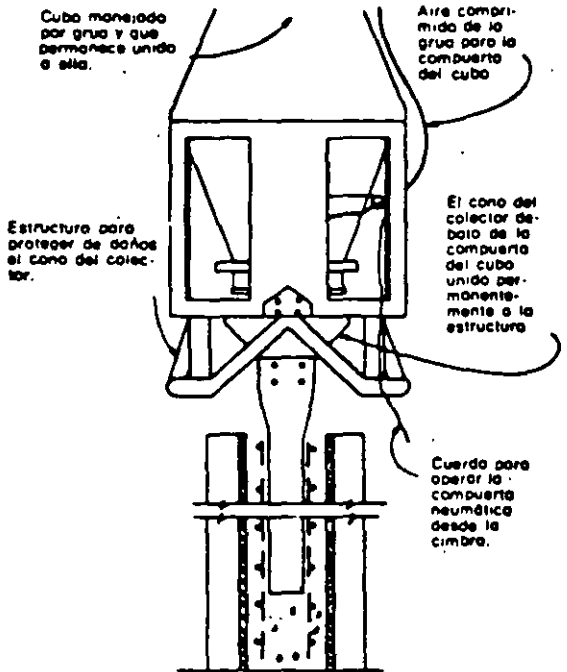
Agregado grueso

Caida vertical del concreto en bolsos exteriores debajo de cada abertura de la cimbra, permitiendo que el concreto se detenga y fluya fácilmente a la cimbra sin segregación.

Permitir que el concreto fluya a gran velocidad dentro de las cimbras o que forme un ángulo con la vertical. Esto invariablemente resulta en segregación.

COLOCACION EN MUROS PROFUNDOS O CURVOS A TRAVÉS DE UNA ABERTURA EN LA CIMBRA

d.



Cubo manejado por grúa y que permanece unido a ella.

Aire comprimido de la grúa para la compuerta del cubo

Estructura para proteger de daños el cono del colector.

El cono del colector debajo de la compuerta del cubo unido permanentemente a la estructura

Cuerda para operar la compuerta neumática desde la cimbra.

Conducto de caída flexible conectado al cono colector. El conducto se dobla en plano cuando no está cargado nada de concreto permitiendo que se le emplee para el menor tamaño de agregado, además de ser lo suficientemente grande para el mayor.

COLOCACION DE CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS

Fig. 6.1 (a-d) Métodos correctos e incorrectos de colocar concreto.

EL CONCRETO SE SEGREGARA SERIAMENTE A MENOS QUE SEA DEPOSITADO ADECUADAMENTE EN LAS CIMBRAS

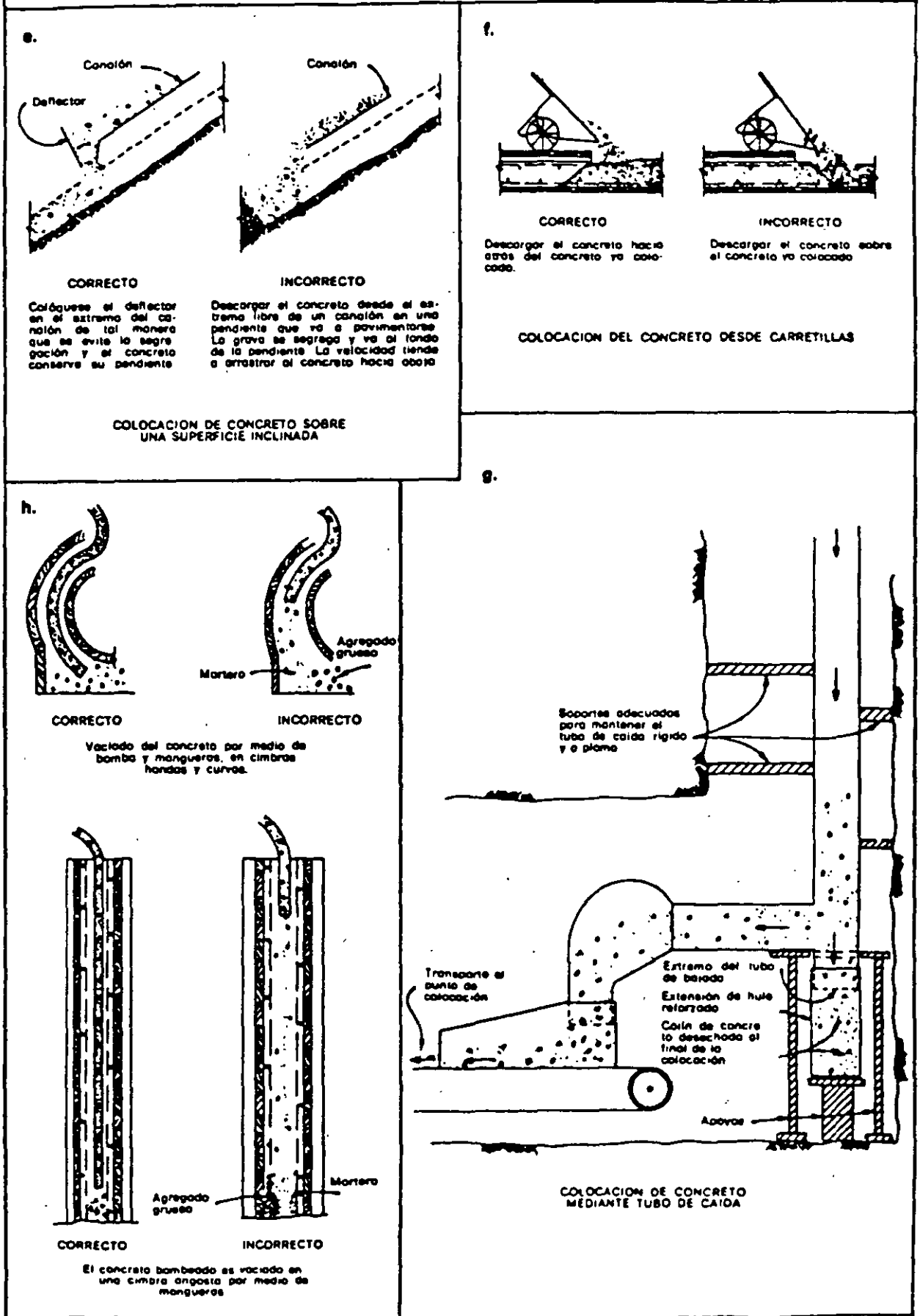
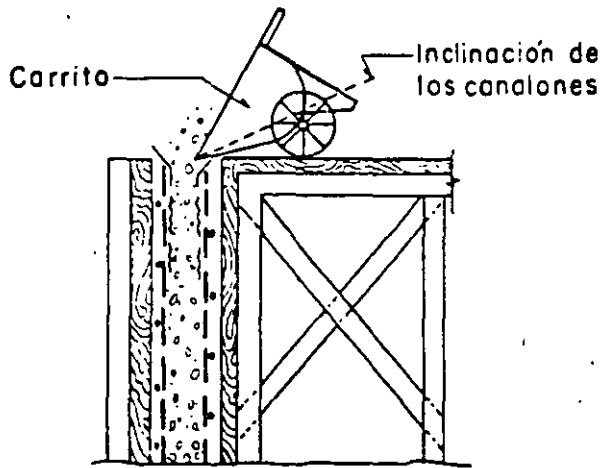
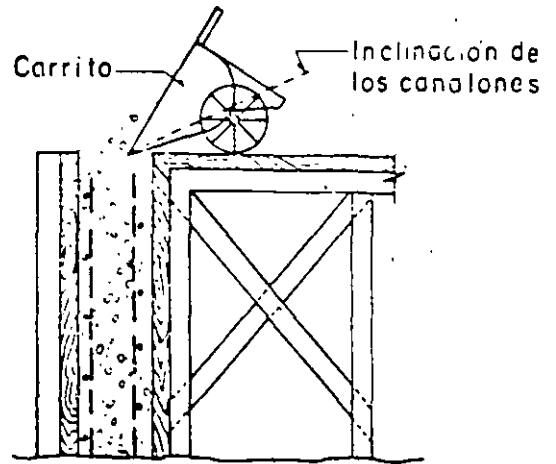


Fig. 6.1 (e-h) Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.



METODO CORRECTO

Descargando el concreto dentro de tolvas de alimentación o dentro de canales flexibles de salida, se evita la separación de los materiales. Las formas y el refuerzo deben permanecer limpios hasta que el concreto los cubra.

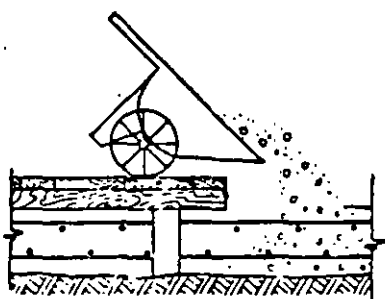


METODO INCORRECTO

El permitir que el concreto golpee ligeramente contra las formas al descargarse de los carritos ocasiona desalineamiento de ellas y separación del agregado en el fondo.

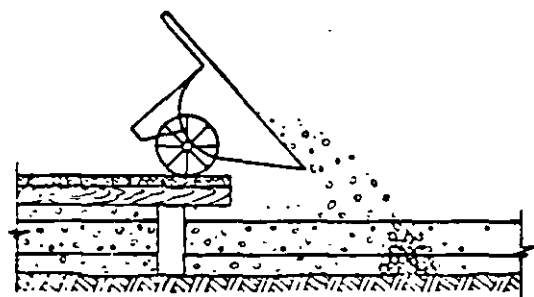
COLOCACION DE CONCRETO EN TRABES MEDIANTE CARRITOS

FIG. 20



METODO CORRECTO

Descarga del concreto cerca del sitio a donde puede llegar el carrito.



METODO INCORRECTO

Descarga del concreto lejos del sitio que puede cubrir normalmente el carrito, ocasiona segregaciones.

COLOCACION DE CONCRETO EN LOSAS MEDIANTE CARRITOS

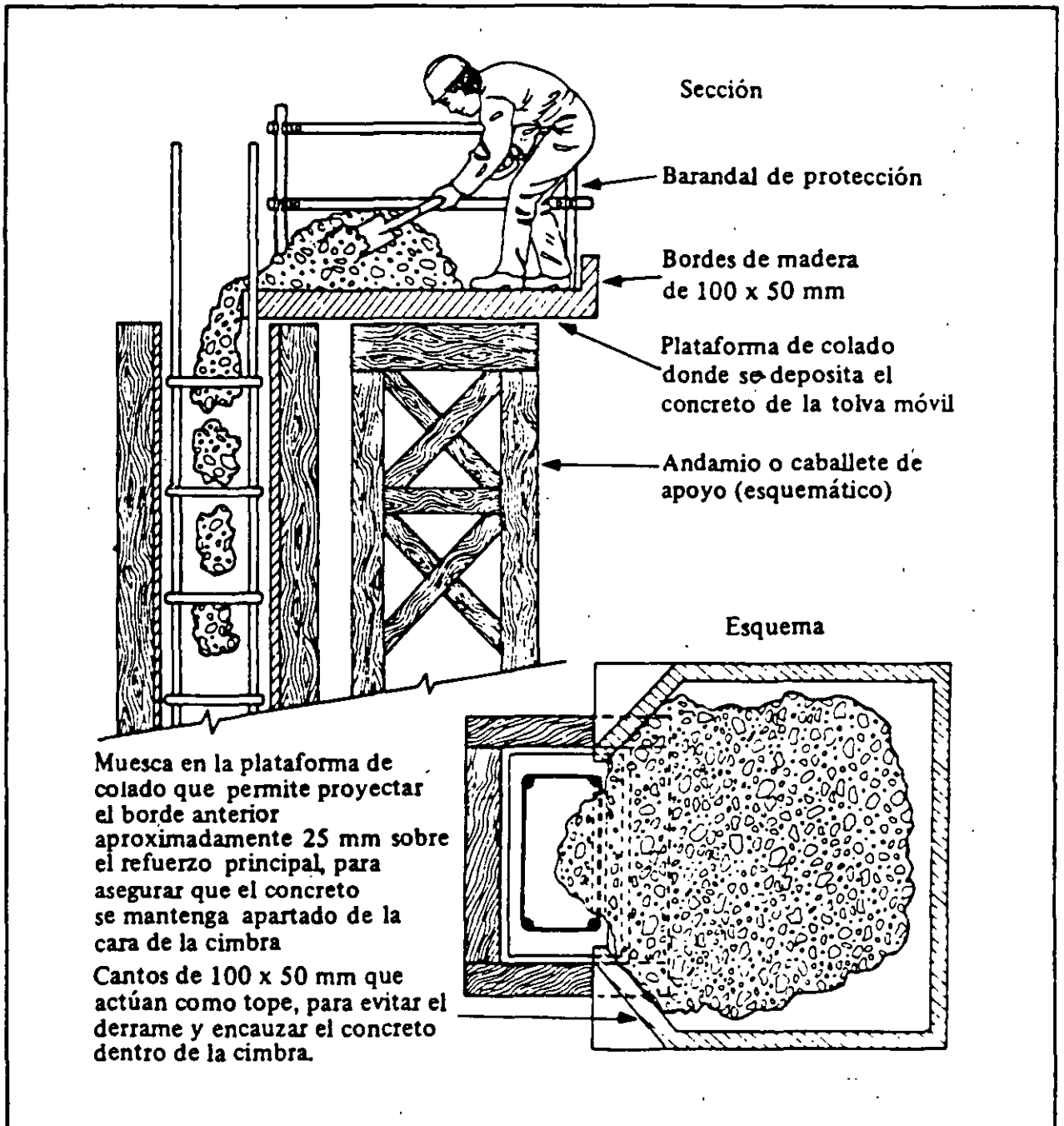


Fig. 10. Empleo de una plataforma de colado en la parte superior de una columna. En muros delgados puede emplearse una distribución similar pero con una plataforma de colado extendida.

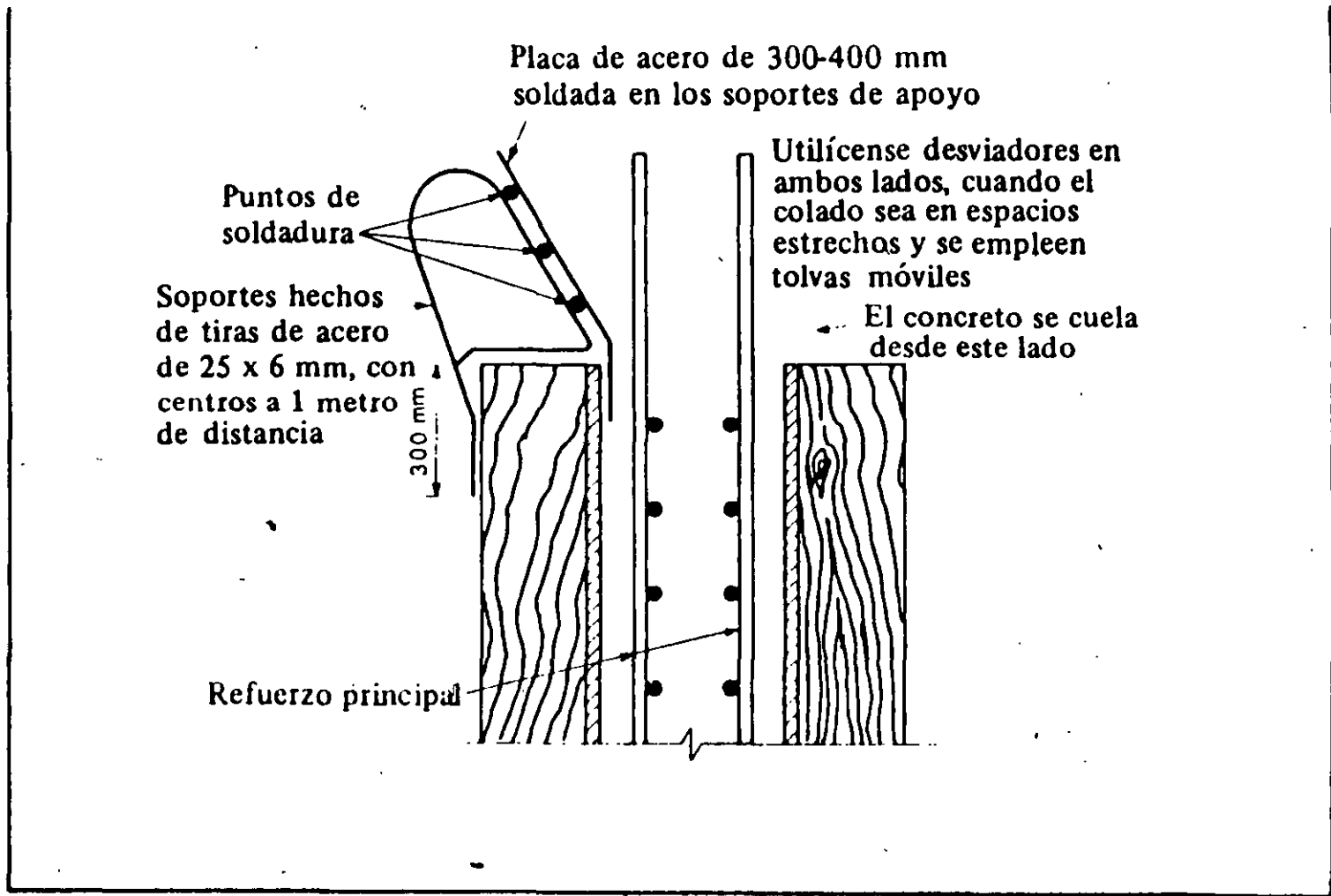


Fig. 11. Al colar muros, las placas desviadoras ayudan a dirigir el concreto para que no toque la cara de la cimbra.

COLADO DEL CONCRETO

- 1.- EL CONCRETO DEBE DEPOSITARSE EN SU POSICION FINAL, O LO MAS CERCA POSIBLE DE ESTA

El paleo a mano, como en el caso de las losas, significa pérdida de tiempo y esfuerzo.

Debe tenerse especial cuidado cuando se utiliza una tolva movil para colar el concreto en muros y otras secciones angostas. Cuidadosamente se coloca el concreto en franjas.

- 2.- EL CONCRETO DEBE COLARSE EN CAPAS UNIFORMES

Se debe evitar colados en cúmulos grandes o capas inclinadas, ya que siempre existirá riesgo de segregación.

EN MUROS Y COLUMNAS NINGUNA CAPA DEBE TENER MAS DE 45 CM DE ESPESOR

Con capas mayores, el peso del concreto hace imposible eliminar el aire en la parte inferior aún con vibración

EN LOSAS DELGADAS, COMPACTADAS CON VIGAS VIBRADORAS, SE RESTRINGEN LAS CAPAS A 15 O 20 CM. CON ESPESOR MAYOR ES NECESARIO USAR VIBRADORES

Las vigas vibratoras no compactan losas de mayor espesor

- 3.- NO DEBE HABER RESTRICCIÓN EN CUANTO A LA ALTURA DESDE LA QUE SE CUELA EL CONCRETO

Esto no es aplicable a mezclas con tendencia a la segregación, o que no puedan compactarse completamente

- 4.- EL CONCRETO DEBE COLARSE LO MAS RAPIDO POSIBLE, PERO NO MAS DE LO QUE PUEDE RESISTIR EL METODO DE COMPACTACION Y EQUIPO

Las velocidades de colado y compactación deben ser compatibles e iguales

COLADO DEL CONCRETO

- 5.- CUANDO SE REQUIERA BUEN ACABADO EN COLUMNAS Y MUROS - DEBEN LLENARSE LAS CIMBRAS A UNA VELOCIDAD MAYOR DE LOS 2 M DE ALTURA POR HORA
- También se deben evitar demoras e interrupciones que puedan causar variaciones
- 6.- ES PRECISO ASEGURARSE DE QUE CADA CAPA DE CONCRETO HAYA SIDO BIEN COMPACTADA, ANTES DE COLAR LA CAPA SIGUIENTE
- Además, cada nueva capa debe colarse mientras la anterior aún responde a la vibración; esto hará que las capas se entrelacen
- 7.- SE DEBE EVITAR LA FORMACION DE JUNTAS FRIAS
- El buen planeamiento es necesario, especialmente cuando se trata de colados grandes
- 8.- EN COLUMNAS Y MUROS, EL COLADO DEBE HACERSE DE MANERA QUE EL CONCRETO NO SE ESTRELLE CONTRA LA CARA DE LA CIMBRA; ASIMISMO DEBE EVITARSE EL IMPACTO FUERTE SOBRE EL ACERO DE REFUERZO, YA QUE ESTE GOLPE PODRIA MOVERLO
- Es probable que esto no solo acuse segregación, sino que también dañe la cimbra, afectando el acabado
- 9.- ES PRECISO CERCIORARSE SIEMPRE DE QUE EL COLADO DEL CONCRETO PUEDE OBSERVARSE DESDE EL EXTERIOR DE LA CIMBRA
- Debe tenerse lámparas disponibles para observar el colado en muros y columnas de sección delgada

EMPLEO DEL VIBRADOR

- 1.- ASEGURESE DE QUE SE PUEDE OBSERVAR LA SUPERFICIE DEL CONCRETO

Puede ser necesario el empleo de lám para para observar cuando se cuele en secciones estrechas y profundas .

- 2.- INTRODUCIR EL VIBRADOR - CON RAPIDEZ

Al introducir el vibrador debe dejarse que penetre hasta el fondo de la capa lo más rápidamente posible y por su propio peso.

- 3.- DEJARLO DENTRO DEL CONCRETO DURANTE 10 SEGUNDOS

Depende de la trabajabilidad del concreto como del tamaño del vibrador.

- 4.- SACARLO LENTAMENTE

Lo principal es verificar que se cierre el agujero que dejó el vibrador, - de lo contrario, aparecerá en el concreto acabado.

- 5.- INTRODUCIR DE NUEVO EL VIBRADOR, A NO MAS DE 50 CM DE DISTANCIA DE SU POSICION ANTERIOR

Con vibrador de menor diámetro se requieren inserciones aún más cercanas.

EMPLEO DEL VIBRADOR

- 6.- EVITAR QUE EL VIBRADOR TOQUE LA CARA DE LA CIMBRA. CONSERVESE A UNOS 75 O 100 CM DE LA CIMBRA
No solamente se dañará la cara de la cimbra, sino que quedará marcada en la superficie acabada del concreto.

- 7.- EVITAR QUE EL VIBRADOR TOQUE EL ACERO DE REFUERZO
No causa daño siempre que el concreto esté fresco; pero puede transmitirse a una sección de concreto endurecido, y afectar la adherencia.

- 8.- EVITAR UTILIZAR EL VIBRADOR PARA HACER FLUIR EL CONCRETO

- 9.- EVITAR INSERTAR EL VIBRADOR EN LA PARTE SUPERIOR DEL CUMULO DEL CONCRETO
Aunque debe evitarse la formación de cúmulos, a veces esto sucede, hay que insertar el vibrador alrededor de su perímetro.

- 10.- VERIFICAR QUE EL VIBRADOR PENETRE HASTA 1 CM EN LA CAPA ANTERIOR
Permitirá que las capas se entrelacen.

- 11.- INTRODUCIR TODO EL LARGO DE LA CABEZA DEL VIBRADOR EN EL CONCRETO
Esto es esencial para mantener fríos los cojinetes.

EMPLEO DEL VIBRADOR

- 12.- EVITAR QUE EL VIBRADOR TRABAJE MIENTRAS NO ESTE DENTRO DEL CONCRETO De lo contrario se corre el riesgo de sobrecalentar los cojinetes.
- 13.- EVITAR DOBLECES EN LAS FLECHAS FLEXIBLES
- 14.- SI EL ACABADO ES IMPORTANTE, UN POCO DE VIBRACION ADICIONAL REDUCE LAS CAVIDADES
- 15.- ASEGURESE DE QUE EL MOTOR NO SE MUEVA POR LAS VIBRACIONES No debe moverse tirando de la flecha flexible.
- 16.- LIMPIAR BIEN EL VIBRADOR DESPUES DE USARLO

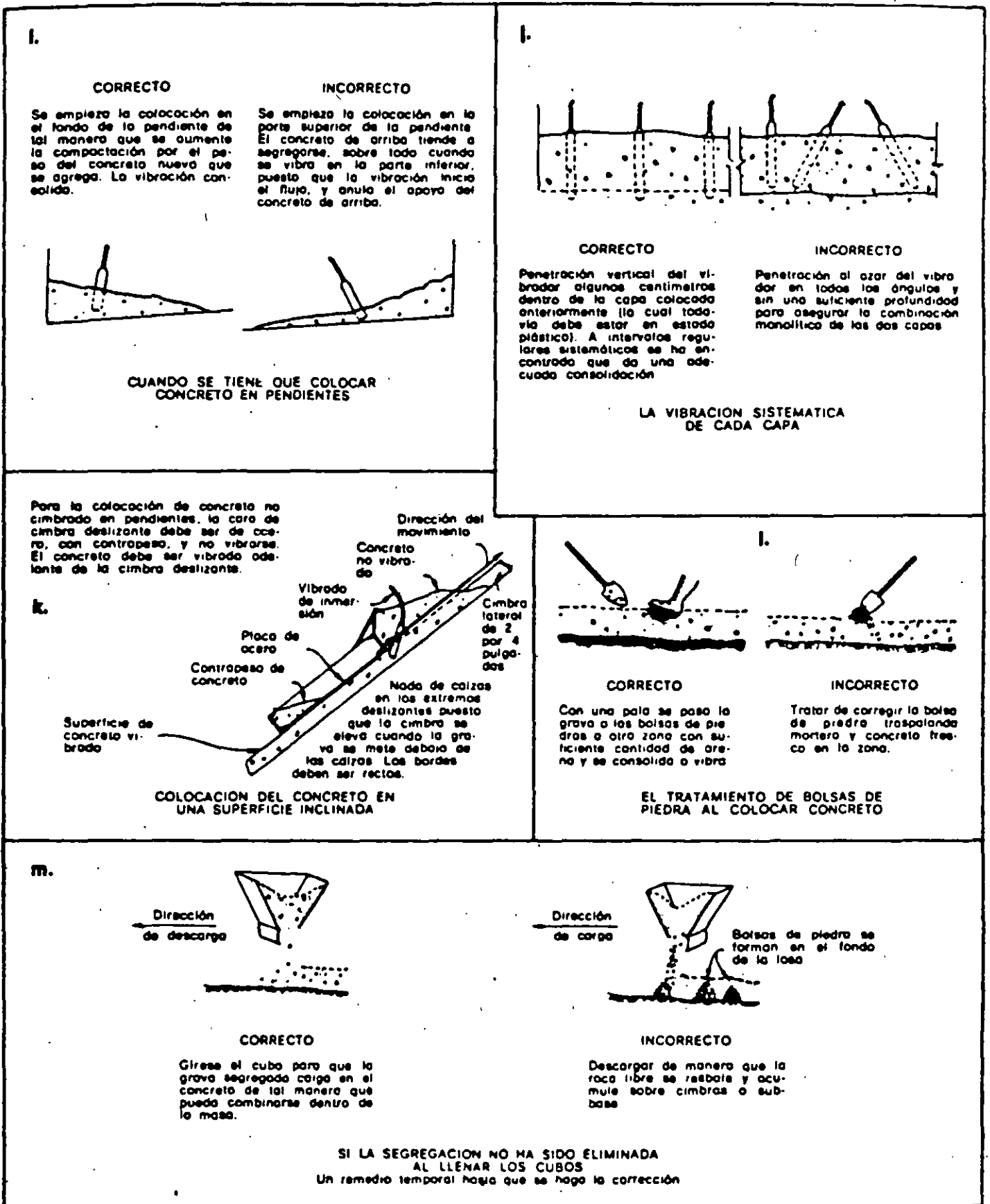
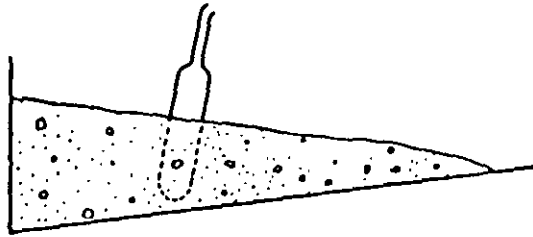
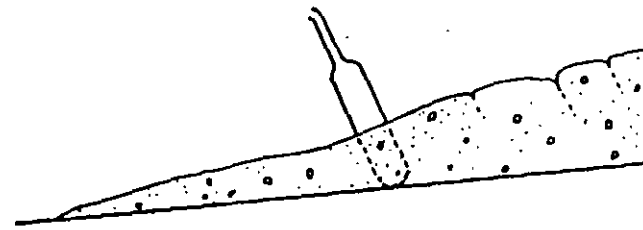


Fig. 6.1. (I-m) Métodos correctos e incorrectos de consolidación.



CORRECTO

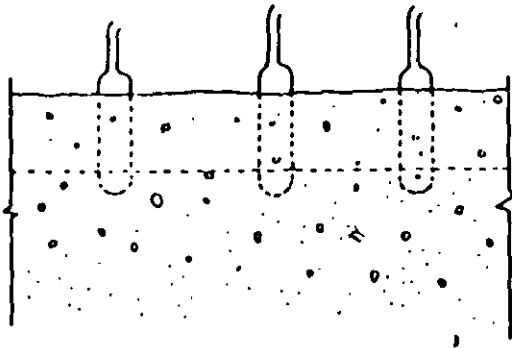
Empezese la colocación del concreto en la parte inferior de la pendiente de modo que la consolidación se incremente con el peso del concreto añadido posteriormente.



INCORRECTO

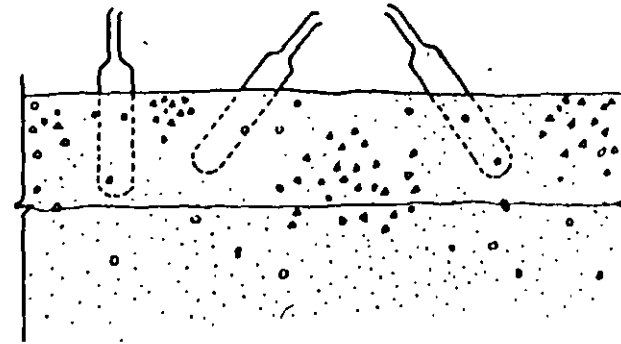
Empezar la colocación en la parte superior de la pendiente. El concreto de la parte alta tiende a separarse, especialmente al vibrar la parte inferior, pues la fluencia provocada por la vibración deja sin apoyo a la parte de arriba.

FIG. 22



CORRECTO

La penetración vertical del vibrador, unos cuantos centímetros en la capa anterior (que aún no debe estar endurecida) a intervalos regulares produce la consolidación adecuada.



INCORRECTO

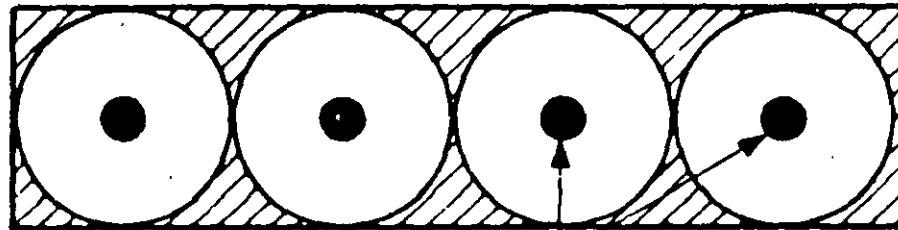
La penetración al azar del vibrador, bajo ángulos variables, sin suficiente profundidad, origina acumulamiento de materiales y falta de cohesión entre una capa y otra.

FIG. 23

Dib CRP

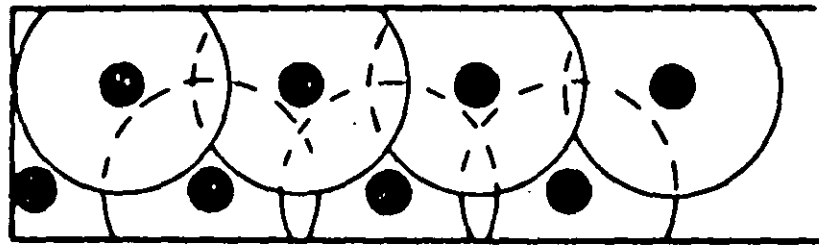
DIVERSOS METODOS EMPLEADOS PARA EL VIBRADO DEL CONCRETO

26



Incorrecto

Las posiciones de inserción situadas en el centro y a grandes distancias, dejan áreas no compactadas



Correcto

Traslapar el radio de acción asegura una compactación total.

Fig. 3. En muros y otras secciones angostas, la inserción del atizador en un patrón alternado asegura la compactación de todo el concreto.

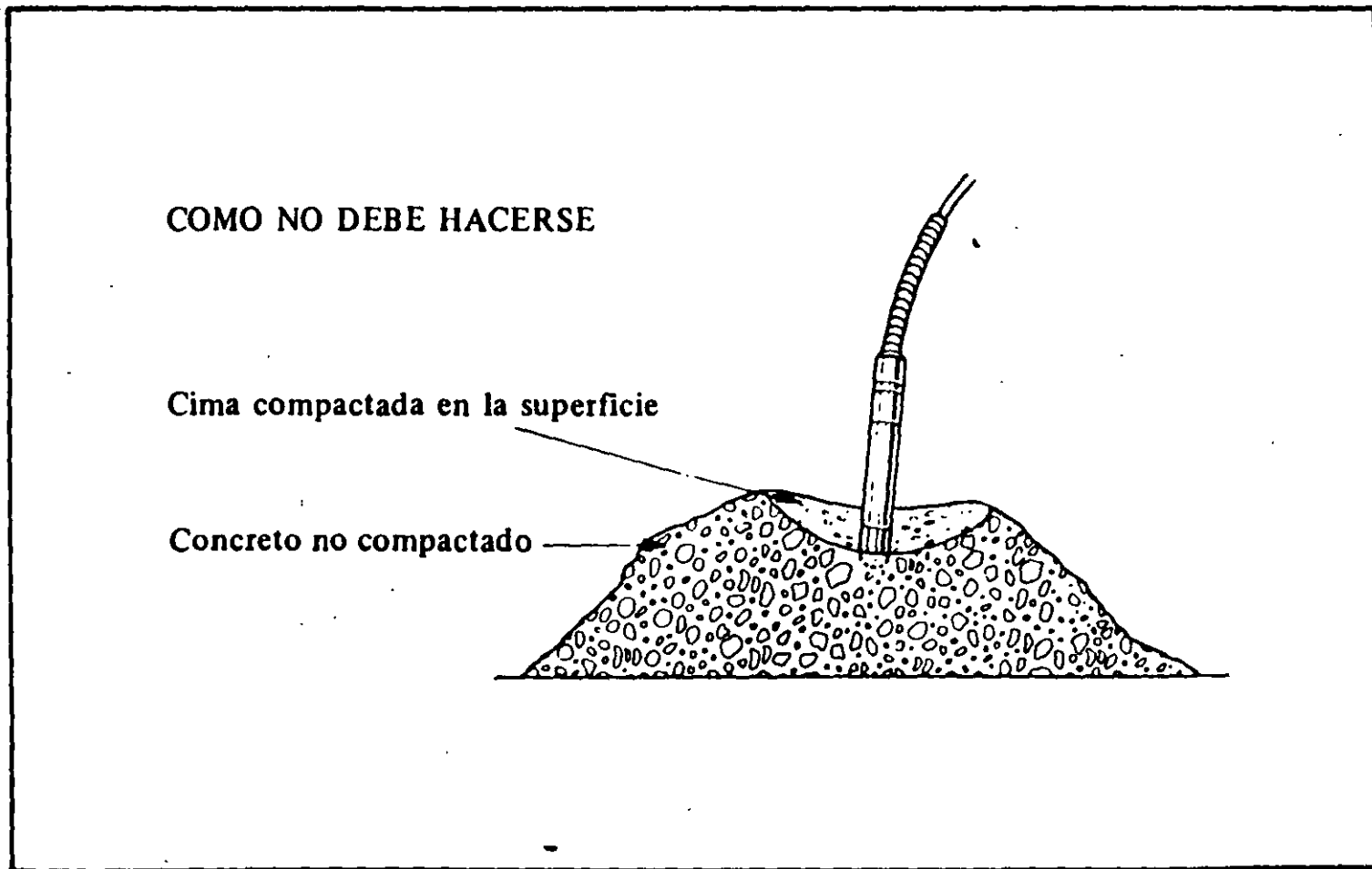


Fig. 4. Insértese el atizador rápidamente para evitar una compactación de la cima, lo que restringe el escape de aire.

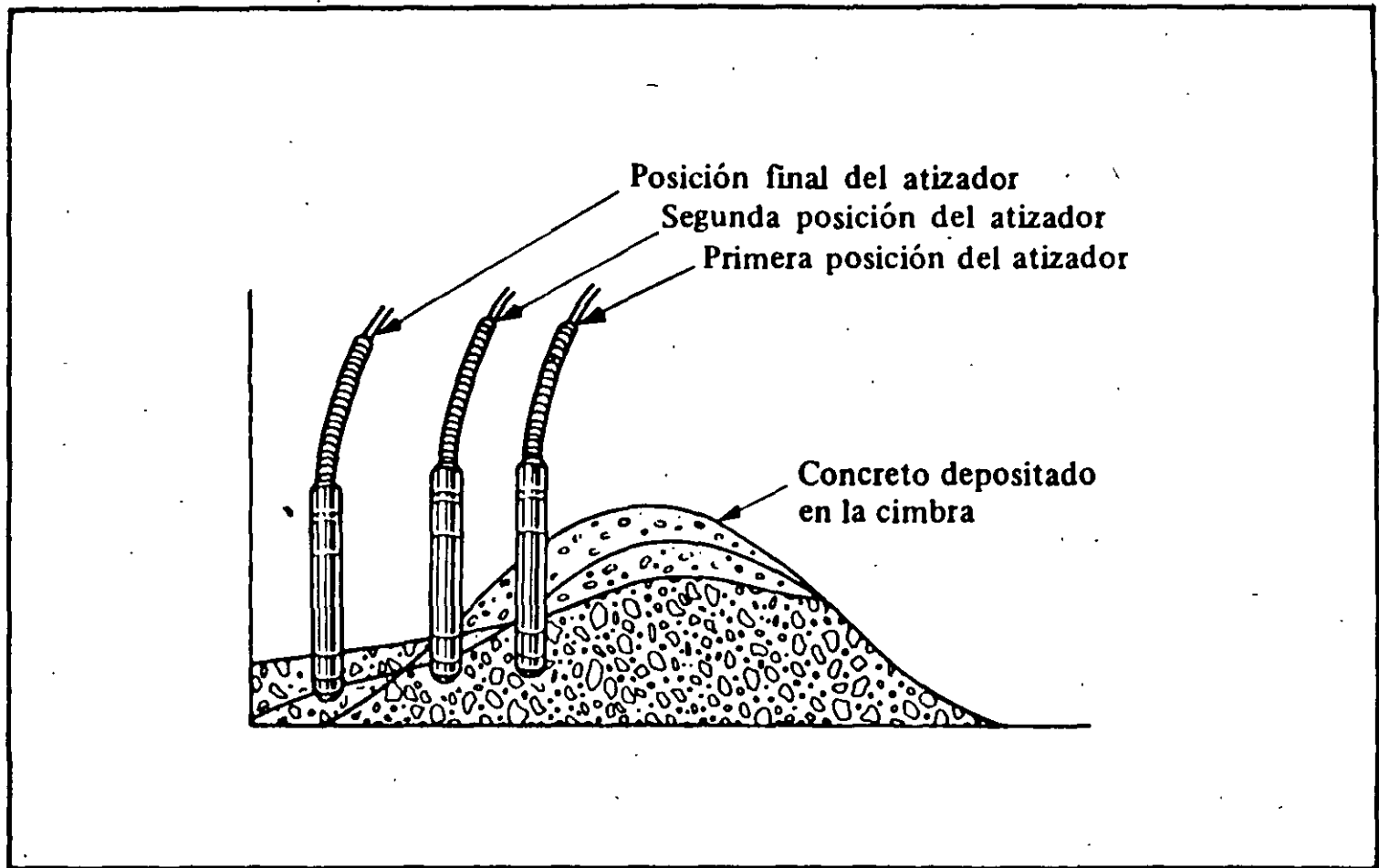


Fig. 5. Manera de emplear el atizador para aplanar el cúmulo y llenar las esquinas difíciles. Hágase fluir el concreto en forma de lengüeta hasta una junta de esquina o tope, teniendo cuidado de evitar la segregación. No se coloque el concreto primero en la junta, para después vibrarlo.

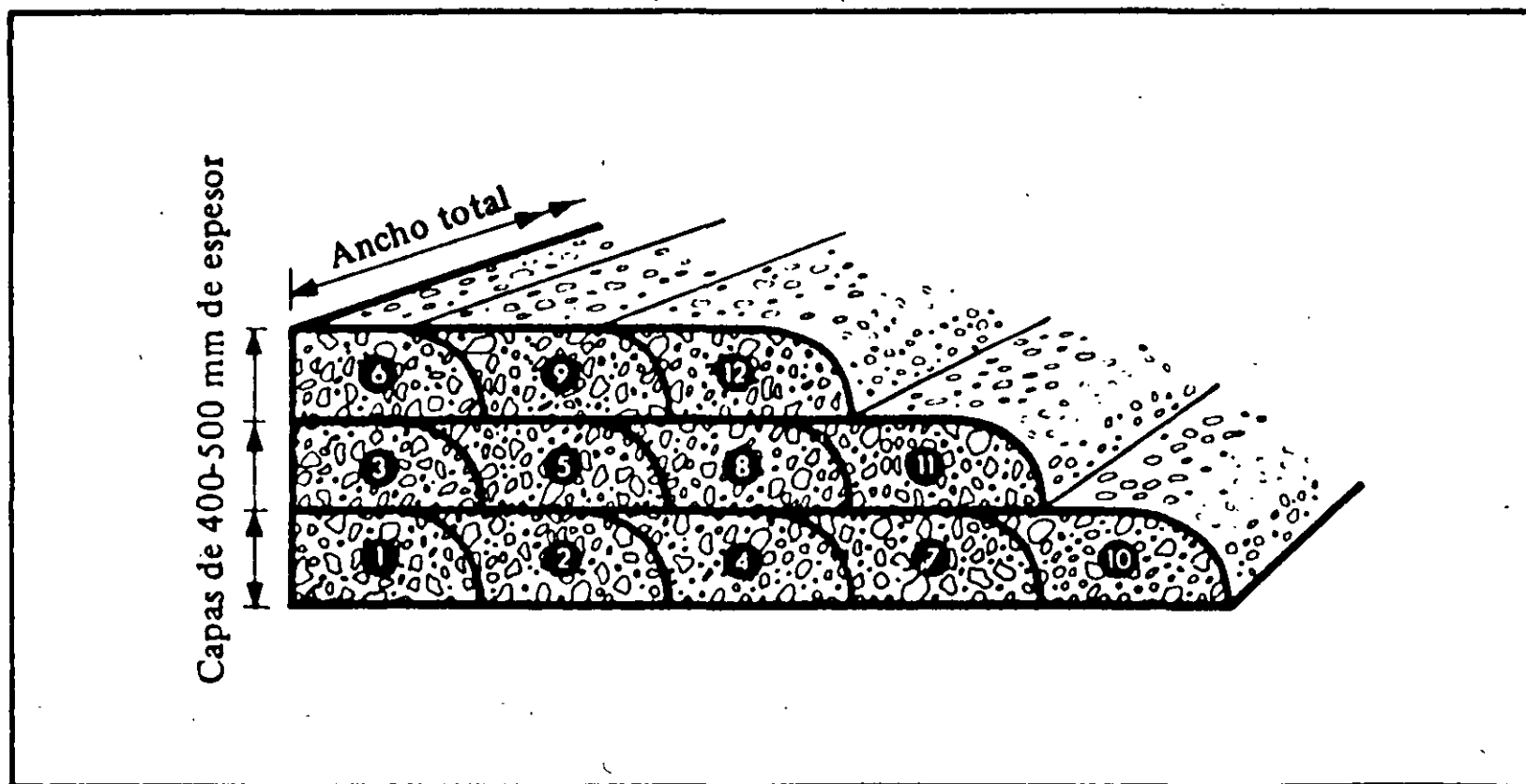


Fig. 17. Colado por etapas para evitar juntas frías en concreto masivo.

EL CONCRETO EN LA OBRA

TABLA 1. Características y aplicaciones de los vibradores internos

<i>Diámetro de la cabeza (mm)</i>	<i>Radio de acción (mm)</i>	<i>Velocidad aproximada de compactación, suponiendo un colado rápido (m³/h)</i>	<i>Aplicación</i>
20-30 (aguja)	80-150	0.8-2	Revenimiento de 50 mm y mayor, en secciones muy delgadas y áreas difíciles. Puede ser necesario el uso simultáneo de vibradores de mayor tamaño, cuando haya acero de refuerzo, ductos u otras obstrucciones en exceso.
35-40	130-250	2-4	Revenimiento de 50 mm y mayor, en columnas y muros delgados y en áreas difíciles.
50-75	180-350	3-8	Revenimiento de 25 mm y mayor, en construcción general, libre de restricciones y obstrucciones.

CURADO DEL CONCRETO HIDRAULICO

- EL CONTENIDO DE AGUA DEL CONCRETO FRESCO ES CONSIDERABLEMENTE MA YOR QUE EL NECESARIO PARA LA HIDRATACION DEL CEMENTO. SIN EMBARGO, DESPUES DEL FRAGUADO INICIAL SE PIERDE UNA CANTIDAD APRECIABLE DE ES TA AGUA, POR EVAPORACION U OTRA FORMA, RETARDANDO O EVITANDO LA - COMPLETA HIDRATACION.

- EL OBJETO DEL CURADO ES EVITAR O COMPENSAR LA PERDIDA DE HUMEDAD - NECESARIA, DURANTE LA TEMPRANA Y RELATIVAMENTE RAPIDA ETAPA DE HI - DRATACION.

- EL PROCEDIMIENTO USUAL PARA HACER ESTO ES CONSERVAR LA SUPERFICIE - EXPUESTA CONTINUAMENTE HUMEDA.

- CON UN CURADO APROPIADO, NO SOLO SE EVITA DICHA PERDIDA DE AGUA, SINO QUE SE ELIMINAN LAS CONTRACCIONES EXCESIVAS QUE PUEDEN ORIGI NAR UN AGRIETAMIENTO SUPERFICIAL.

- UN CURADO ADECUADO AUMENTARA TAMBIEEN LA IMPERMEABILIDAD DEL - CONCRETO.

MÉTODOS DEL CURADO DE CONCRETO HIDRAULICO

- 1.- MEDIANTE RIEGOS
Se lleva a cabo con riegos continuos mediante mangueras, o aspersores insertados en tuberías galvanizadas.
- 2.- MEDIANTE INUNDACIONES
Se deposita una película delgada de agua con espesor de 2 a 5 cm, recubriendo la superficie por curar.
- 3.- CON EL EMPLEO DE TIERRA O PAJA HUMEDA
Se coloca una capa de 3 a 15 cm de paja o tierra humedecida por un periodo de 3 a 10 días.
- 4.- USANDO RECUBRIMIENTOS DE PAPEL
Se emplea papel fuerte y flexible, que puede emplearse hasta 15 veces sucesivas. Impide que el agua del concreto se evapore fácilmente.
- 5.- OTROS MÉTODOS SON USANDO POLIETILENO, YUTE, PAPEL DE SACOS DE CEMENTO
El traslape de las juntas de polietileno y papel de sacos de cemento debe ser de 30 cm. Debe conservar húmeda la superficie del concreto.
- 6.- DEJANDO LOS MOLDES EN SU LUGAR LO MAS QUE SE PUEDA
Impiden que el sol y el viento active la evaporación del agua de mezcla. Sin embargo resulta antieconómico no aprovechar la cimbra para lo que realmente es útil.
- 7.- EMPLEANDO CLORURO DE CALCIO
Compuesto que absorbe la humedad de la atmósfera y la condensa en forma de agua, los cristales varían entre 1 y 2 mm y se colocan a razón de 1 Kg/m².
- 8.- EMPLEANDO PRODUCTOS QUÍMICOS QUE FORMAN UNA PÉLICULA IMPERMEABLE
Dichos productos pueden ser un silicato de sodio, al evaporarse el agua forma una capa de aspecto vidrioso que es impermeable y evita que el agua del concreto se evapore.
- 9.- USANDO RECUBRIMIENTOS BITUMINOSOS
Se usa el asfalto o el alquitrán, se rocia la superficie del concreto para sellar la superficie evitando que se tenga pérdida de agua.

METODOS DEL CURADO DE CONCRETO HIDRAULICO

10.- PROCEDIMIENTOS ACELERADOS DE CURADO

CONSISTIRAN EN APLICAR TEMPERATURAS SUPERIORES A LA AMBIENTE

SE EMPLEAN PARA ARTICULOS MANUFACTURADOS COMO:

POSTES
TUBOS
TABIQUES
PIEDRA ARTIFICIAL

GENERALMENTE SON CAMARAS O CUARTOS CALENTADOS DIRECTAMENTE CON VAPOR, DE MODO QUE LA ATMOSFERA QUE RODEE AL CONCRETO - SE ENCUENTRE SATURADA DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DE 35° A 50°C.

LOS ARTICULOS SE INTRODUCEN JUNTO CON SUS MOLDES DURANTE - UNAS 12 O 24 HORAS.

EL CONCRETO EN TALES CONDICIONES ENDURECE A LAS 24 HORAS, LO QUE ENDURECERIA EN UNOS 6 DIAS DE CURADO A LA TEMPERATURA - AMBIENTE.

Resistencia a la compresión, porcentaje de la obtenida a los 28 días en concreto con curado húmedo.

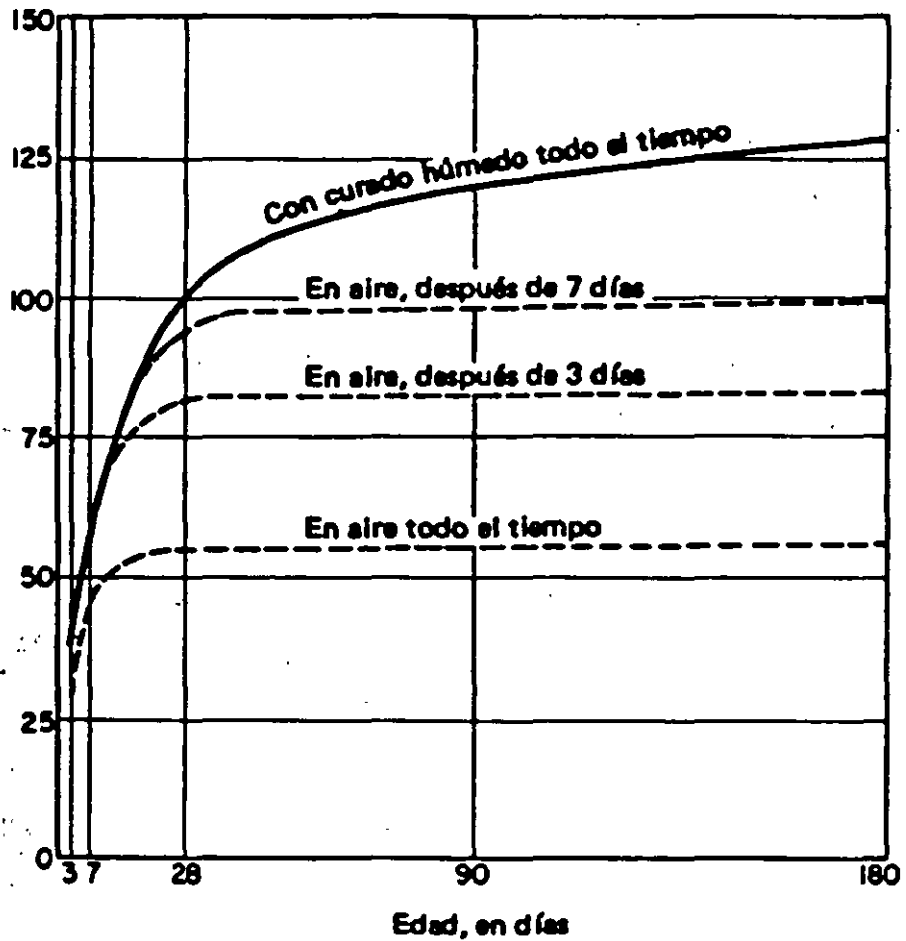
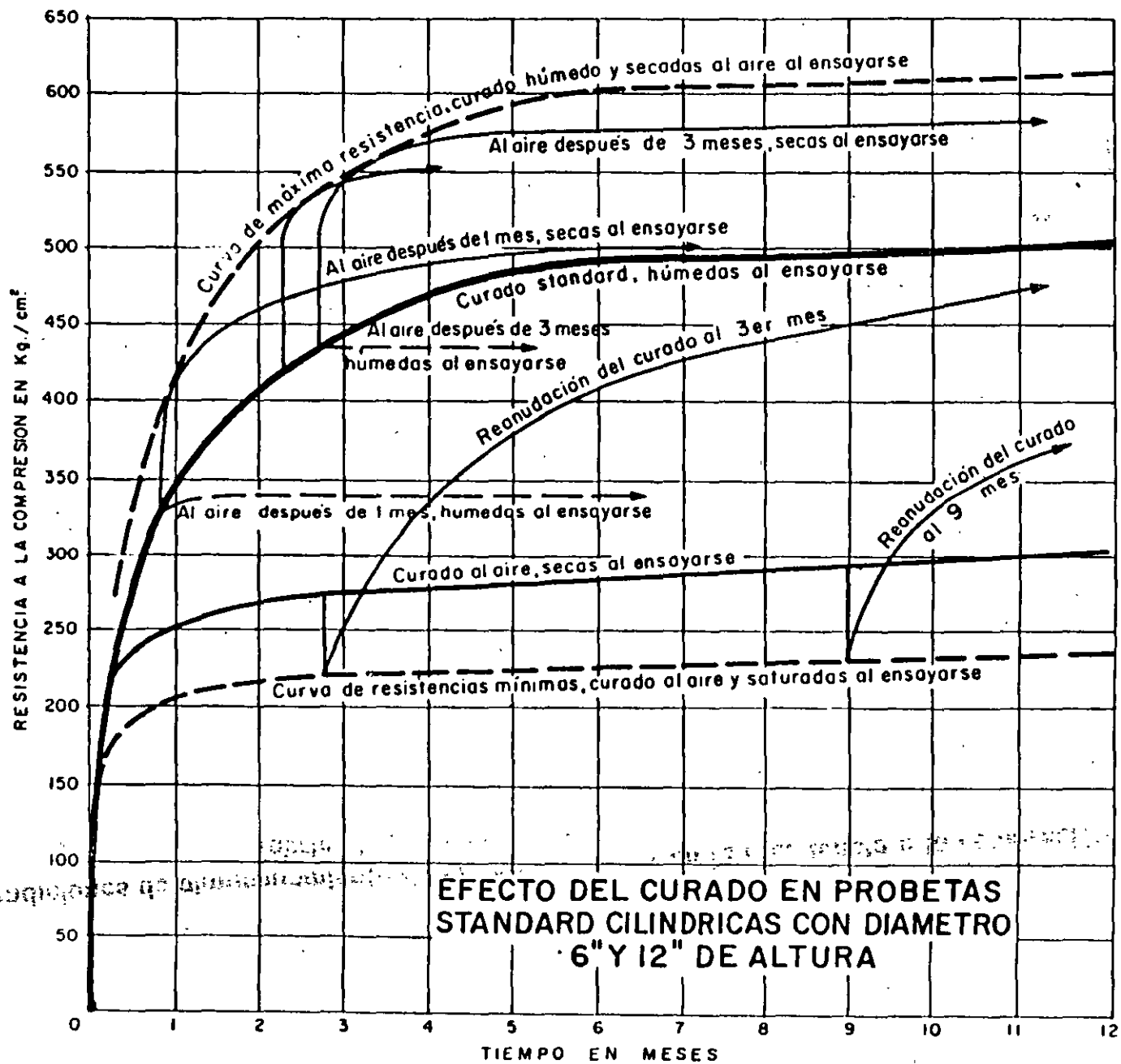


Fig. 11. La resistencia del concreto continúa aumentando mientras haya humedad para la hidratación del cemento.



52

Efecto de las condiciones de almacenamiento de los especímenes en la resistencia a la compresión de concreto fabricados con cemento de laboratorio

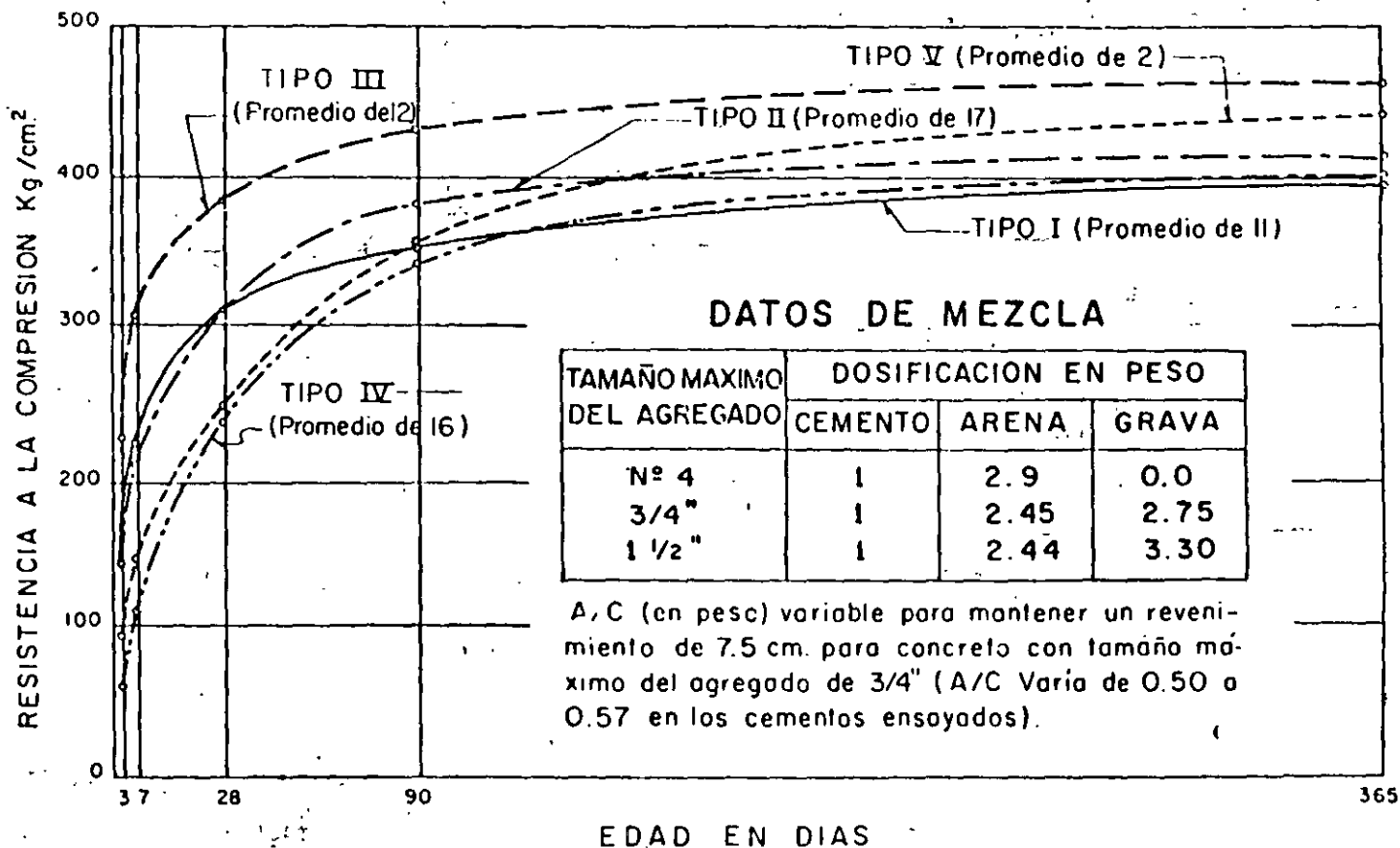
Fecha de obtención.	Resistencia a la compresión a la edad indicada, kg/cm ²									
	Curado húmedo continuo					Curado húmedo durante 7 días, después almacenamiento al aire en el laboratorio				
	28 días	3 meses	1 año	2 años	5 años	28 días	3 meses	1 año	2 años	5 años
2-10-39	405	500	550	550	570	470	485	—	435	460
9- 4-40	425	515	540	590	610	470	485	—	435	445
23-12-40	425	495	565	575	620	460	440	435	410	485
5- 4-41	420	490	565	540	600	475	480	460	455	490
2- 8-41	405	490	540	535	585	435	475	420	400	445
20- 3-42	430	490	565	580	610	470	475	460	455	485
13- 8-42	425	515	555	535	610	485	480	450	390	470
4- 1-43	445	495	565	540	630	480	495	445	440	495
29-11-44	400	430	575	600	600	450	450	445	435	465
25-10-45	450	490	570	600	595	470	490	460	460	450

FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Concreto: Mezclado en mezcladora
 Agregado: Elgin Ill., arena y grava graduadas de 0 a 40 mm
 Revenimiento: 2.5 a 5.0 cm

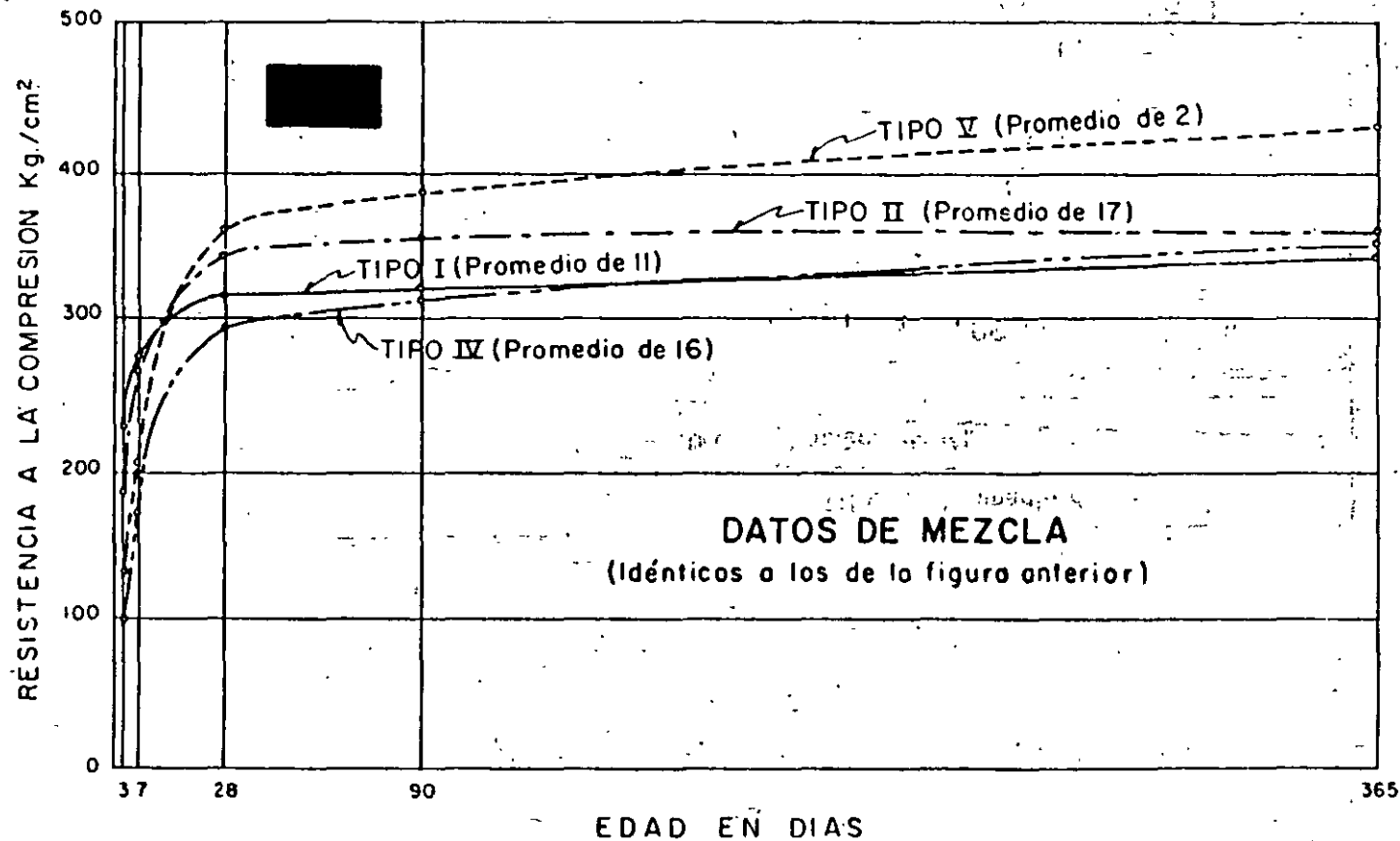
Mezcla: 1:5 en volumen—1:7.18 en peso
 Contenido de cemento: 280 kg/m³
 Especímenes: Cilindros de 15 x 30 cm

W



EDAD EN DIAS
CURADO NORMAL

Almacenamiento continuo de los probetos sin sellar, en cuartos de vapor mantenidos a una temperatura de 21°C.



CURADO EN MASA

Probelos encerrados en recipientes de metal delgado y almacenados en cámaras adiabáticas con temperatura inicial de 21°C. durante un ciclo de elevación de temperatura de 28 días y a 21°C después del mismo.

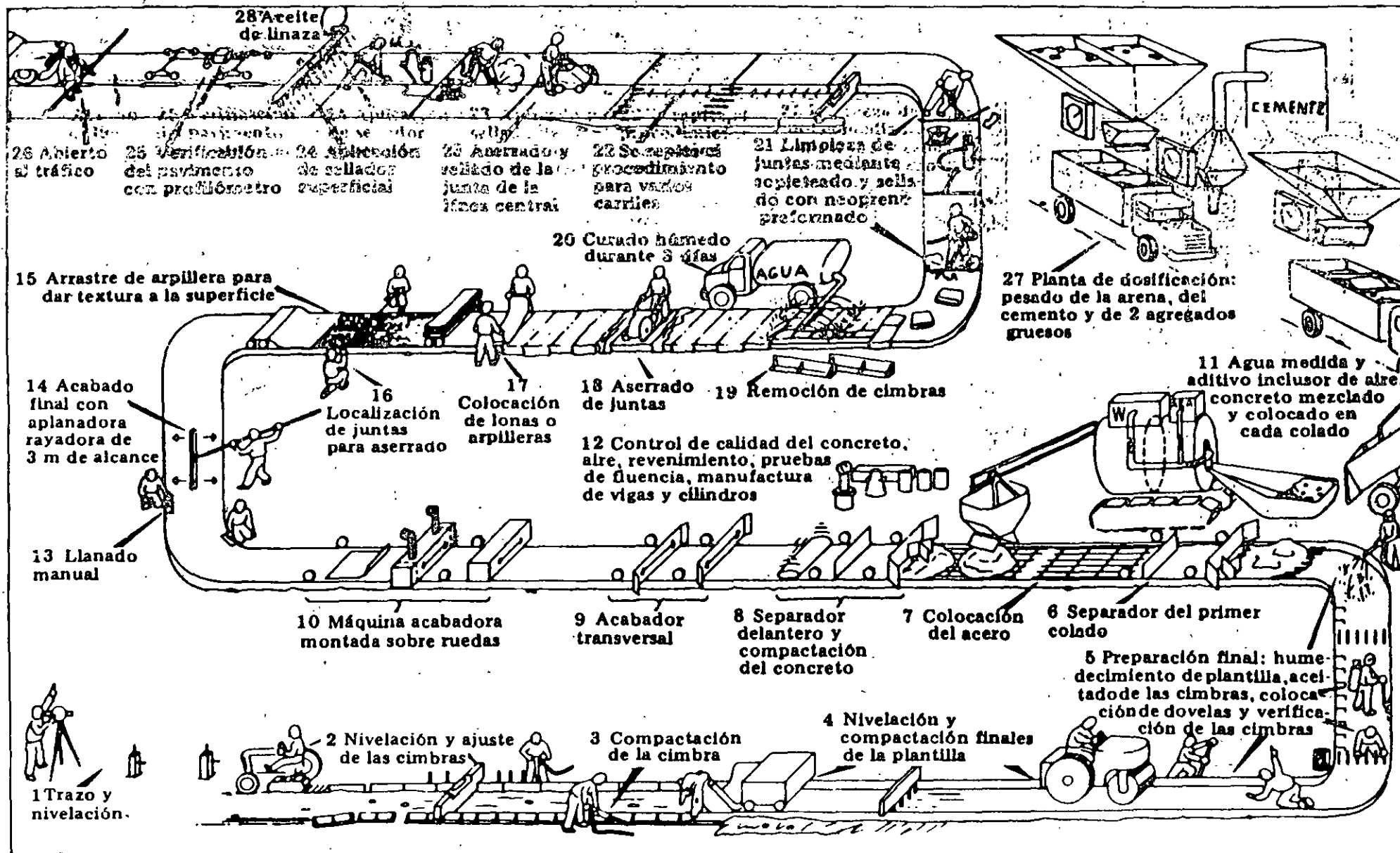


Fig. 1a. Descripción detallada del procedimiento de pavimentación empleando mezcladora pavimentadora, cimbras y planta de dosificación en seco. (Cortesía del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Ontario.)