

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO  
DEL 16 AL 26 DE NOVIEMBRE DE 1992

DIRECTORIO DE ALUMNOS

- 1.- ROLANDO ALBERTO AGUILAR COLATO  
RODRIGUEZ DE GREIFF S.A. DE C.V.  
23 NORTE Y 2° DIAGONAL UNB. LA ES-  
PERANZA # 412 SAN SALVADOR CENTRO  
AMERICA TEL. FAX. 255582 256347
- 2.- REMBERTINO ALEJO JERONIMO  
LUMBRERAS Y TUNELES S.A. DE C.V.  
SAN JERONIMO # 153 9° PISO  
TEL. 537-96-56
- 3.- JESUS ANTONIO FLORES BUSTAMANTE  
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA  
AV. SAN-PABLO # 180 TEL. 3-244-489  
C.P. 02200
- 4.- WILFRIDO GIORGUL CHAVEZ  
UNIVERSIDAD LA SALLE  
BENJAMIN FRANKLIN # 47 TEL. 5169960  
C.P. 6140
- 5.- MA. ANGELICA HERNANDEZ ALVARADO  
LUMBRERAS Y TUNELES S.A. DE C.V.  
SAN LORENZO 153 9° PISO
- 6.- JOEL GILBERTO HERRERA ALVARADO  
LABORATORIOS LIAC JEFE DE LABORATORIO  
RODOESTER No. 49 COL. NAPOLES CUAUHTPEC  
TEL. 5-43-38-00
- 7.- MIGUEL ANGEL MARTINEZ GARICA  
I.C.A. INDUSTRIAL  
VIADUCTO MIGUEL ALEMAN # 81 COL.  
TACUBAYA TEL. FAX. 272-64-04  
C.P. 11800
- 8.- CIRILO RAYMUNDO MENDEZ  
UNIVERSIDAD DEL SALVADOR  
TEL. 257088 SAN SALVADOR
- 9.- MEDINA PEREA MIGUEL ANGEL  
COMISION NACIONAL DEL AGUA, ESPECIALIS-  
TA EN HIDRAULICA, SIERRA GORDA 23  
COL. LOMAS DE CHAPULTEPEC MIGUEL HIDAL-  
GO C.P. 11000 Z.P. 5-20-72-46
- 10.- BORIS RODRIGUEZ DE GREIFF, S.A. DE C.V.  
PREXCON S.A. DE C.V.  
79 AV. SUR Y CALLE CUSCATLAN COD.  
PLAZA DE CRISTAL LOCAL 2-6 COL. ESCALON  
SAN SALVADOR TEL. 982140
- 11.- CESAR SALGADO CRUZ  
APASCO S.A. DE C.V.  
NICANOR ARVIDE NO. 428 COLARCIDE  
TEL. 598-18-00 C.P. 01280
- 12.- SANCHEZ JIMENEZ HILDA  
COMISION NACIONAL DEL AGUA, ESPECIALISTA EN  
HIDRAULICA SIERRA SORDA # 23 COL. LOMAS DE  
CHAPULTEPEC HIDALGO C.P. 11000 TEL. 5406620
- 13.- ADOLFO TAGARA MONTALVO  
GEOVISA S.A. DE C.V.  
CERRADA TENORIOS # 9 COL. HDA.  
COAPA TEL. 5-99-27-27 C.P. 14300
- 14.- ALEJANDRO TOME GARCIA  
INGENIEROS CONSULTORES ENCARGADO DE  
LABORATORIO DE CONCRETO BENITO JUAREZ NO. 5  
COL. CENTRO DEL CULIACAN S/N TEL. 16-29-03
- 15.- RAYMUNDO VAZQUEZ GARCIA  
INGENIERIA DE APOYO Y CONSULTORIA S.A.  
TALABARTEROS NO. 198 DEPTOS. 102 y 103  
JANITZIO TEL. 7-95-07-23 C.P. 15200
- 16.- DANIEL SALVADOR VAZQUEZ GUZMAN  
AND. 11 No. 39 GRUPO 33  
UNIDAD IMSS TEQUESQUINAHUAC EDO. MEXICO  
TEL. 3-10-65-26 C.P. 54030
- 17.- LUIS MENDOZA RICO  
I.C.A. TRANSPORTE  
TEL. 5-86-56-22



DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO  
CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO

ING. ALBERTO BARRIENTOS RIOS  
Asoc. Mexicana de la Industria  
del Concreto, A. C.  
Blvd. Adolfo López Mateos No. 1135  
Col. San Pedro de los Pinos  
México, D. F.  
C.P. 01180  
Tel. 515-31-54 272-90-11

ING. GUSTAVO BONILLA FERNANDEZ  
ALTECO - CONCRET  
Vicente Eguia No. 5 2o. Piso  
México, D. F.  
Tel. 272-94-01 272-93-29

ING. JORGE DAVILA RAMIREZ  
GRUPO BAL  
GERENTE TECNICO  
Isla 31, Col. Alpes  
México, D. F.  
C.P. 01010  
651-49-11

ING. LORENZO FLORES CASTRO

ING. FELIPE DE JESUS GOMEZ SANCHEZ

ING. MANUEL MENA FERRER  
Vasco de Quiroga 82  
Circuito Misioneros  
Cd. Satélite  
Naucalpan, Mex.  
Tel. 393-60-29

ING. ALEJANDRO GRAF LOPEZ  
Director del Centro Técnico del  
Concreto  
GRUPO CEMEX  
Calle 4 No. 3  
San Pedro de los Pinos  
C.P. 01180  
México, D. F.  
Tel. 272-55-77

MANUEL ANDRES PUELLO BAEZ  
ALTECO S. A. DE C. V.  
Gerente Técnico  
Vicente Eguia No. 5  
Col. Observatorio  
Tel. 272-91-55

ING. JOSE ANTONIO RANGEL JARAMILLO

ING. JOSE ANTONIO TENA COLUNGA  
GRUPO LOMES CONCRETOS METROPOLITANOS  
Gerente Técnico  
Bosque de Cidro # 12  
Bosques de las Lomas New York # 115  
1er. Piso  
Col. Nápoles  
Tel. 765-96-66 y 765-94-34

ING. MARIO TENA BERNAL  
CODESA  
Asesor Técnico  
Morelos 122 Esq. con venados  
Colonia Los Olivos  
Tlahuac, D. F.  
Tel. 845-12-87 al 90

ING. GUILLERMO TORRES GONZALEZ

ING. FRANCISCO SANTOS OLIVA  
A.M.I.C. GRUPO BAL, ABC, S. A.  
Isla 31, Col. Las Águilas  
Tel. 651-04-31

ING. LEONARDO I. VITELA JUAREZ

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
 CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO**  
 16 AL 26 DE NOVIEMBRE DE 1992

F E C H A	HORARIO	T E M A	PROFESORES
lunes 16 de noviembre	17:00 a 17:30 hrs.	Inauguración	Ing. Alejandro Graf López
	17:30 a 18:30 hrs.	Principios Generales sobre concreto	
	18:45 a 21:00 hrs.	Propiedades materias primas: CEMENTO	Ing. Alberto Barrientos Rios Ing. Manuel Andres Puello Baez
martes 17 de noviembre	17:00 a 18:00 hrs.	Propiedades materias primas: ARENA Propiedades materias primas: GRAVA	Ing. Jorge Dávila Ramírez
	19:15 a 21:00 hrs.	Propiedades materias primas: AGUA Y ADITIVOS	Ing. José Antonio Tena Colunga
miercoles 18 de noviembre	17:00 a 19:00 hrs.	Diseño y Selección de mezclas	Ing. Mario Tena Bernal
	19:15 a 21:00 hrs.	Dosificación y mezclas del concreto	
jueves 19 de noviembre	17:00 a 19:00 hrs.	Transporte y Colocación	Ing. Felipe Gómez Sánchez Ing. Felipe Gómez Sánchez
	19:15 a 21:00 hrs.	Consolidación y curado	
lunes 23 de noviembre	17:00 a 19:00 hrs.	Durabilidad del concreto	Ing. Manuel Mena Ferrer Ing. Gustavo Bonilla Fernández (invitados especiales)
	19:15 a 21:00 hrs.	Mesa Redonda (Supervisión en Obra)	
martes 24 de noviembre	17:00 a 19:00 hrs.	Aseguramiento de la Calidad	Ing. José Antonio Tena Colunga Ing. Jorge Dávila Ramírez
	19:15 a 21:00 hrs.	Metrología y Mantenimiento	
miercoles 25 de noviembre	17:00 a 19:00 hrs.	Control de Calidad Norma C-155	Ing. Guillermo Torres González Ing. Felipe Gómez Sánchez
	19:15 a 21:00 hrs.	Calidad y Costos	
jueves 26 de noviembre	17:00 a 19:00 hrs.	Consideraciones Especiales	Ing. Francisco Santos Oliva
	19:30 a 20:30 hrs.	CLAUSURA	

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO:

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO**

16 AL 26 DE NOVIEMBRE DE 1992

MCI. JOSE ANTONIO TENA COLUNGA (COORDINADOR)  
GERENTE TECNICO  
CONCRETOS METROPOLITANOS, S. A. DE C.V.  
NUEVA YORK 115, 1er PISO  
COL. NAPOLES  
TEL: 765 96 66, 765 94 34

ING. GUSTAVO BONILLA RODRIGUEZ (COORDINADOR SUPLENTE)  
GERENTE DE LOGISTICA  
CONCRET  
GOBERNADOR VICENTE ELIAS No. 5 2do. PISO  
COL. OBSERVATORIO  
DELEG. MIGUEL HIDALGO  
TEL: 272 94 01, 273 93 29

ING. ALEJANDRO GRAFF LOPEZ  
DIRECTOR DEL CENTRO TECNICO DEL CONCRETO  
CEMEX  
CALLE 4 No. 3  
COL. SAN PEDRO DE LOS PINOS  
DELEG. ALVARO OBREGON  
01180 MEXICO, D. F.  
TEL: 271 55 77

ING. ALBERTO BARRIENTOS RIOS  
JEFE DE LABORATORIO A M I C  
ASOCIACION MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO  
BOULEVARD ADOLFO LOPEZ MATEOS 1135  
COL. SAN PEDRO DE LOS PINOS  
DELEG. ALVARO OBREGON  
01180 MEXICO, D. F.  
TEL: 272 89 81, 272 90 11

ING. MANUEL ANDRES PUELLO BAEZ  
GERENTE TECNICO  
CONCRET  
GOBERNADOR VICENTE ELIAS No. 5 2do. PISO  
COL. OBSERVATORIO  
DELEG. MIGUEL HIDALGO  
TEL: 272 94 01, 273 93 29

ING. JORGE DAVILA RAMIREZ  
GERENTE TECNICO  
GRUPO BAL  
ISLA No. 31  
COL. ALPES  
DELEG. ALVARO OBREGON  
01010 MEXICO, D. F.  
TEL: 651 49 11

ING. MARIO TENA BERNAL  
CONSULTOR DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y  
CONTROL DE CALIDAD  
CERRADA DE M. NEGRETE No. 5  
COL. NIÑOS HEROES DE CHAPULTEPEC  
03440 MEXICO, D. F.  
TEL: 579 40 82

ING. FELIPE GOMEZ SANCHEZ  
GERENTE TECNICO  
LATINOAMERICANA DE CONCRETO, S. A.  
PROL. AV. SAN ANTONIO No. 705  
COL. LOMAS DE BECERRA  
DELEG. ALVARO OBREGON  
01280 MEXICO, D. F.  
TEL: 598 68 77, 698 63 47

ING. MANUEL MENA FERRER  
CONSULTOR EN TECNOLOGIA DEL CONCRETO  
VASCO DE QUIROGA No. 82  
CIRCUITO MISIONEROS  
EN SATELITE, NAUCALPAN  
ESTADO DE MEXICO C.P. 53100  
TEL: 393 60 29, 393 49 47

ING. GUILLERMO TORRES GONZALEZ  
GERENTE TECNICO  
LATINOAMERICANA DE CONCRETO, S. A.  
PROL. AV. SAN ANTONIO No. 705  
COL. LOMAS DE BECERRA  
DELEG. ALVARO OBREGON  
01280 MEXICO, D. F.  
TEL: 598 68 77, 698 63 47

ING. FRANCISCO SANTOS OLIVA  
ASESOR TECNICO  
GRUPO BAL, S. A.  
ISLA No. 31  
COL. ALPES  
DELEG. ALVARO OBREGON  
01010 MEXICO, D. F.  
TEL: 651 49 11

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO:

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO.

FECHA:

Del 16 al 26 de noviembre de 1992.

		DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION)	PUNTUALIDAD	
<b>CONFERENCISTA</b>						
1	<i>Ing. Alejandro Graf López</i>					
2	<i>Ing. Alberto Barrientos Rios</i>					
3	<i>Ing. Manuel Andres Puello Baez</i>					
4	<i>Ing. Jorge Dávila Ramírez</i>					
5	<i>Ing. José Antonio Tena Colunga</i>					
6	<i>Ing. Mario Tena Bernal</i>					
7	<i>Felipe Gómez Sánchez</i>					
8	<i>Ing. Manuel Mena Ferrer</i>					
9	<i>Ing. Gustavo Bonilla Fernández</i>					
<b>ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10</b>						

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO:

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO.

FECHA:

Del 16 al 26 de noviembre de 1992.

		DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION)	PUNTUALIDAD	
<b>CONFERENCISTA *</b>						
10	Ing. Guillermo Torres González					
11	Ing. Francisco Santos Oliva.					
<b>ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10</b>						



## EVALUACION DEL CURSO

C O N C E P T O		
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO EN EL CURSO	
EVALUACION TOTAL		

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

1.- ¿Qué le pareció el ambiente en la División de Educación Continua?

MUY AGRADABLE

AGRADABLE

DESAGRADABLE

2.- Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

PERIODICO EXCELSIOR  
ANUNCIO TITULADO DE  
VISION DE EDUCACION  
CONTINUA

PERIODICO NOVEDADES  
ANUNCIO TITULADO DE  
VISION DE EDUCACION  
CONTINUA

FOLLETO DEL CURSO

CARTEL MENSUAL

RADIO UNIVERSIDAD

COMUNICACION CARTA,  
TELEFONO, VERBAL,  
ETC.

REVISTAS TECNICAS

FOLLETO ANUAL

CARTELERA UNAM "LOS  
UNIVERSITARIOS HOY"

GACETA  
UNAM

3.- Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

AUTOMOVIL  
PARTICULAR

METRO

OTRO MEDIO

4.- ¿Qué cambios haría en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

---

---

---

5.- ¿Recomendaría el curso a otras personas?

SI

NO

5.a. ¿Qué periódico lee con mayor frecuencia?

---

---

6.- ¿Qué cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7.- La coordinación académica fué:

EXCELENTE

BUENA

REGULAR

MALA

8.- Si está interesado en tomar algún curso INTENSIVO ¿Cuál es el horario más conveniente para usted?

LUNES A VIERNES  
DE 9 a 13 H. Y  
DE 14 A 18 H.  
(CON COMIDAD)

LUNES A  
VIERNES DE  
17 a 21 H.

LUNES A MIERCOLES  
Y VIERNES DE  
18 A 21 H.

MARTES Y JUEVES  
DE 18 A 21 H.

VIERNES DE 17 A 21 H.  
SABADOS DE 9 A 14 H.

VIERNES DE 17 A 21 H.  
SABADOS DE 9 A 13 H.  
DE 14 A 18 H.

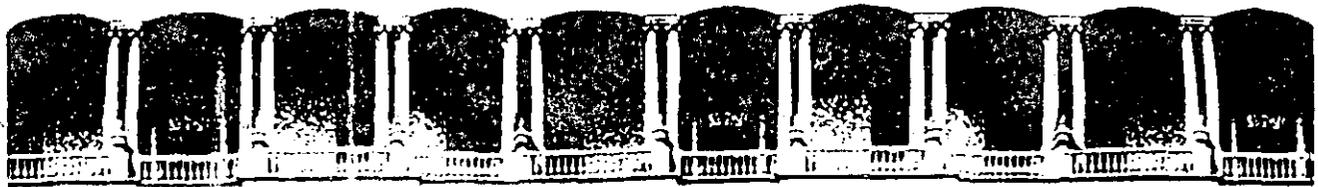
OTRO

9.- ¿Qué servicios adicionales desearía que tuviese la División de Educación Continua, para los asistentes?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10.- Otras sugerencias:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO**

**HIDRAULICO**

**del 16 al 26 de noviembre de 1992**

**PRODUCCION DE CONCRETO**

#### 4. PRODUCCION DE CONCRETO

##### 4.1 Acopio de materiales

##### 4.1.1. Cemento

Existen dos formas acostumbradas para suministrar el cemento: envasado en sacos de papel de 50 kg cada uno y a granel. El suministro a granel se ha limitado generalmente a las obras mayores en que se requieran grandes cantidades de cemento, o bien a plantas de concreto premezclado y de fabricación de productos de concreto que son consumidores permanentes. En los demás casos, el suministro se hace en sacos.

Aun cuando el abastecimiento a granel pueda representar ventaja económica por la supresión de los envases, y tiene la conveniencia técnica de obligar a dosificar el cemento por peso, es necesario reconocer que la situación normal en las obras menores consiste en manejar sacos. A continuación se incluyen algunas recomendaciones pertinentes relativas al abastecimiento del cemento en las obras menores.

a) Debe seleccionarse la clase o tipo adecuados a la obra por construir, conforme a lo indicado en 3.1.1. En cuanto a la selección de la marca más conveniente, es necesario tomar en cuenta factores económicos

(distancia y precio) y la posible existencia de registros de calidad que sean accesibles al consumidor. En este aspecto conviene suponer que, aun que existen especificaciones de calidad mínima que el cemento debe satisfacer, pueden existir diferencias apreciables (generalmente en exceso de los límites de las especificaciones) entre cementos de diferentes procedencias.

b) Una vez definidos clase o tipo y marca del cemento, conviene mantenerlos constantes en el curso de la obra, salvo que se presenten circunstancias especiales que obliguen a un cambio.

c) Si el cemento se recibe por conducto de un intermediario, es recomendable investigar las condiciones y el tiempo que ha permanecido almacenado. Si el cemento presenta terrones que no se deshagan con la presión de los dedos o bien si su antigüedad es mayor de 3 meses, es preferible no aceptarlo, excepto que se pueda comprobar su calidad mediante pruebas de laboratorio.

d) Al recibir el cemento debe almacenarse en condiciones que eviten su posible hidratación y faciliten su consumo en el orden cronológico de llegada. Para esto es necesario disponer de un local adecuado, con ambiente seco. Conviene tener presente que los cementos más finos (como el portland tipo III) manifiestan tendencia a hidratarse más rápidamente.

e) Es costumbre almacenar los sacos de cemento formando pilas, con objeto de aprovechar al máximo el espacio disponible. Se ha encontrado cómodo, para mejorar la estabilidad de estas pilas, formarlas por capas de sección cuadrada, constituidas por dos, cuatro o más sacos, orientados alternativamente en posiciones que formen ángulo recto. Conviene limitar la altura de las pilas, por comodidad, según los medios disponibles para el apilamiento de los sacos. Debe evitarse que los sacos tengan contacto

con las paredes del local y con el piso, si éste no es de madera. Asimismo, debe dejarse, entre pilas contiguas, espacio suficiente para las maniobras de descarga.

f) El cemento que se disperse por rotura de sacos debe recuperarse a la brevedad posible, a fin de evitar su hidratación y su contaminación con cuerpos extraños. Este cemento puede destinarse a trabajos secundarios, como fabricación de mortero para mampostería, concreto para firmes y otros.

g) Conviene distinguir entre los terrones que se forman por hidratación incipiente del cemento y los que se producen por compactación de los sacos en las capas inferiores de una pila. Los segundos normalmente se desbaratan con facilidad mediante una ligera presión con los dedos; de ser así, y si el cemento tiene menos de 3 meses de almacenamiento, puede emplearse sin mayores requisitos; de lo contrario, es recomendable obtener una muestra y remitirla a un laboratorio para que verifique su estado. Dicha muestra puede consistir en un saco completo.

h) Es recomendable comprobar periódicamente el peso de los sacos, para el cual existe una tolerancia oficial de  $\pm 0.750$  kg respecto al teórico (50 kg). Para esto conviene tomar al azar un mínimo de 50 sacos y pesarlos en una báscula de precisión verificada. Si el promedio obtenido resulta menor de 50 kg, se recomienda corregir las cantidades de arena y grava dadas en las tablas 3.2 y 3.3 para revolturas de un saco de cemento, ajustándolas al peso promedio determinado.

i) Para el colado de estructuras o partes de la obra que sean especialmente importantes, es conveniente procurar que todo el cemento necasario proceda de un mismo lote, con objeto de propiciar más uniformidad en este aspecto.

#### 4.1.2 . Agregados

Una vez aceptada la fuente de donde deben obtenerse los agregados para el concreto, es necesario ponerlos en las condiciones requeridas y hacerlos llegar hasta el equipo de dosificación y mezclado en las mismas condiciones.

Si los agregados proceden de un depósito natural aceptado y las partículas que los constituyen son de naturaleza uniforme, hay dos características que por su tendencia a variar deben ser vigiladas estrechamente: la composición granulométrica y el contenido de impurezas tales como limo, arcilla y materia orgánica. Cuando el depósito se manifieste variable en estos aspectos, será conveniente, desde el principio de su explotación, tratar de delimitar aquellas zonas que presenten características mejores y más uniformes. Los ensayos que se efectúan para lograr dicho fin se describen en el cap 6.

Si los agregados deben producirse por trituración de una roca cuya calidad fue aceptada, el primer aspecto que debe definirse es el relativo al equipo más idóneo para efectuar la fragmentación. En este sentido deben considerarse las características particulares de la roca disponible, tales como dureza, resistencia, textura, abrasividad y presencia de planos débiles, y también las dimensiones de los fragmentos que requieren producirse. De la información que suministra un estudio petrográfico de la roca (orientado con esta finalidad) y la que proporcionan los catálogos de los fabricantes de equipo, resulta posible muchas veces seleccionar el proceso adecuado para producir fragmentos de buena forma, con la granulometría requerida. De manera general pueden mencionarse algunas situaciones y limitaciones que conviene tener presentes.

Resulta más fácil producir grava que arena, mediante un proceso de trituración. En atención a esta restricción, deben examinarse todas las posibilidades existentes para obtener arena natural, antes de intentar producirla por trituración.

Las rocas duras y resistentes, con granos fuertemente entrelazados, representan una materia prima difícil, pues tienden a producir fragmentos lajeados e inducen mayor desgaste del equipo.

Las quebradoras de quijadas producen mejores resultados cuando solamente se destinan a trituración primaria, con objeto de alimentar un equipo secundario (giratorio, de impacto o de rodillos) que produzca la reducción al tamaño requerido.

Las formas indeseables (3.1.2a), se acentúan a medida que los fragmentos son menores. Al producir grava, este defecto puede atenuarse obteniendo los fragmentos más chicos mediante recirculación a costa de incrementar el desperdicio.

Independientemente de si los agregados proceden de depósitos naturales o se producen por trituración de rocas, es necesario someterlos a un proceso de cribado eficiente, a fin de separarlos en las fracciones especificadas para la obra. Siempre que sea posible, debe preferirse el empleo de cribas vibratorias con alimentación de agua. El uso de estas, en cantidades suficientes, facilita el cribado y permite eliminar algunas impurezas. Conforme a lo señalado en 2.5, el cribado defectuoso de los agregados es una deficiencia que se padece frecuentemente en las obras menores y es, tal vez, una de las que más contribuyen a incrementar la variabilidad del concreto durante su producción. En la tabla 4.1 se presentan los límites que se consideran aceptables para los defectos de cribado de los agregados en las obras menores.

Cuando los agregados salen del equipo de cribado, puede su ponerse que poseen un cierto grado de uniformidad que es necesario conser var hasta que lleguen al equipo mezclador del concreto. En este lapso, los agregados cribados normalmente requieren ser almacenados para quedar en disponibilidad de ser utilizados cuando se requieran. Se presentan al gunas recomendaciones para evitar segregación durante las operaciones de almacenamiento de los agregados y para su utilización.

a) Evítese la formación de grandes pilas únicas de forma cónica, porque esto, ineludiblemente, facilita la segregación de las partículas más grandes que tienden a rodar y acumularse en la base de la pila. Es preferible construir los almacenamientos mediante la acumulación sucesiva de montones reducidos, o bien extendiéndolos horizontalmente para formar terrazas de poca altura. Si esto no es posible por falta de espacio y/o de equipo adecuado, colóquense mamparas que limiten el desplazamiento de los agregados (fig 4.1a).

b) Evítese que el viento disperse la arena en el punto de descar ga; esto se logra colocando un tubo o una pantalla de protección (fig 4.1b).

c) Impídase que los almacenamientos de agregados diferentes se mez clen entre sí por quedar demasiado próximos. Si el espacio disponible pa ra almacenar es reducido, conviene colocar muros o mamparas divisorias en tre almacenamientos contiguos (fig 4.1c).

d) No se almacenen los agregados directamente sobre el terreno na tural, porque se producen contaminaciones al recogerlos. Es recomendable preparar una plantilla de asfalto, suelo-cemento o concreto pobre, o bien colocar una capa de grava apisonada antes de almacenar. Asimismo, convi ne disponer una ligera pendiente en el terreno para facilitar el drenaje del agua que escurra a través de los agregados y propiciar la uniformidad en su contenido de humedad (fig 4.1d).

e) Se recomienda disponer en la obra de los medios para corregir las proporciones teóricas en que deben dosificarse los agregados, conforme a su grado de humedad y contenido de tamaños ajenos a las diversas fracciones separadas, según procedimiento que se describirá más adelante. Para facilitar estas operaciones, es conveniente disponer de almacenamientos cuya capacidad permita definir y muestrear los agregados que se van a utilizar durante las siguientes 24 horas, sin que resulten alterados en ese lapso por nuevas aportaciones sobrepuestas. Esta facilidad también permite dejar drenar, durante un mínimo de 24 horas antes de su utilización, cualquier porción de arena o grava que se encuentre almacenada en estado de sobresaturación.

#### 4.2 Dosificación de materiales

##### 4.2.1 Cemento

Según lo expuesto previamente, (3.2.2e), lo recomendable en la dosificación del cemento es pesar directamente las cantidades indicadas para elaborar cada revoltura. En su defecto, dosificar sacos completos considerándoles el peso teórico (50 kg) o bien el peso promedio determinado según 4.1.1h. No se debe dosificar el cemento por fracciones de sacos ni tampoco hacerlo por volumen.

Si el cemento se pesa, conviene hacerlo en un recipiente separado de los agregados para evitar que la eventual humedad de estos pueda producirle aglomeraciones o tendencia a adherirse en las paredes del recipiente. Si se le administra por sacos, pueden hacerse arreglos para incorporarlo directamente a la mezcladora simultáneamente con el vaciado de los agregados..

Es particularmente recomendable adoptar medidas que eviten la pérdida de cemento durante su vaciado a la mezcladora, ya que esto puede

de ser causa permanente de disminución en la resistencia prevista.

#### 4.2.2 Agregados

Conviene disponer de los agregados separados en, por lo menos, dos fracciones (arena y grava) cuando el tamaño máximo no sobrepase 38 mm (1 1/2 pulg). Cuando el tamaño máximo exceda esta dimensión, será necesario que la grava se divida a su vez en dos fracciones, por lo menos. Las siguientes recomendaciones para su dosificación son independientes de si los agregados se encuentran separados en dos, tres o más fracciones.

a) Conforme a lo anotado en 2.5, la falta de precisión en la dosificación de los agregados es una de las causas más frecuentes de variación en la calidad del concreto, en obras menores. Esto se deriva de la práctica inconveniente de hacer esta dosificación mediante la medición de volúmenes en vez de hacerlo por pesadas. Es necesario crear conciencia en el pequeño constructor, de que es indispensable dosificar los agregados por peso, si se quiere obtener un nivel adecuado en la calidad de todo el concreto que se produzca.

El equipo más simple para pesar los agregados consiste en una báscula de plataforma, con barra para descontar el peso de los recipientes vacíos, los cuales con frecuencia son botes de lámina de 18 lt de capacidad, aproximadamente, o bien carretillas provistas con ruedas neumáticas. Al aplicar este sistema, es útil disponer de tantas básculas como fracciones de agregados haya que dosificar, y procurar que todos los recipientes vacíos tengan el mismo peso aproximado, para que la operación de destarar no tenga que repetirse continuamente. De esta manera, las pesadas se pueden hacer en forma expedita colocando el recipiente vacío sobre la plataforma y vertiendo agregados hasta que el fiel se nivele.

A medida que se requiere mayor precisión en las dosificaciones, los equipos tienden a ser más complejos. El siguiente paso en cuanto a precisión, lo constituyen las plantas dosificadoras, de las cuales hay una gran variedad. Las más sencillas y de menor capacidad disponen de una tolva pesadora única donde todas las fracciones de agregados se pesan acumuladamente; al aumentar la capacidad se impone la necesidad de disponer una tolva pesadora para cada fracción. Si el peso se hace acumulado se admite una tolerancia de 1 por ciento, y si es individual, de 2 por ciento; este último sería el caso de la báscula de plataforma.

b) Para que las cantidades efectivas de todas las fracciones de agregados que se pesen para cada revoltura correspondan a las teóricamente supuestas y se mantengan aceptablemente uniformes en el curso de la producción del concreto, es necesario tomar en cuenta y corregir los efectos que producen sus variaciones inherentes, relativas a deficiencias de cribado y contenidos de humedad.

Las deficiencias de cribado, también conocidas como contaminaciones granulométricas, se refieren a las partículas de agregado que son más chicas o más grandes que las comprendidas en el intervalo teórico abarcado por cada fracción separada. Las que son menores se denominan sub tamaños, y las mayores, sobretamaños. Así, la arena, cuyo intervalo teórico comprende partículas entre la malla No 200 (74 micras) y la malla No 4 (4.8 mm) suele contener una cierta cantidad de fragmentos menores que se consideran impurezas (limo, arcilla) y mayores que deben ser considerados como grava. De igual manera, a la grava con tamaño máximo nominal igual a 38 mm (1 1/2 pulg), por ejemplo, le correspondería un intervalo teórico de 4.8 a 38 mm, pero también puede contener fragmentos menores que deben ser tratados como arena y mayores, que aun siendo gravas, conviene restringir para evitar que obstruyan la colocación del concreto a través del acero de refuerzo.

La cuantificación de sub y sobretamaños requiere hacerse mediante cribado de una porción reducida de cada fracción de agregado, empleando mallas cuyas aberturas sean iguales a los límites del intervalo teórico que les corresponda. Una vez determinados los porcentajes de partículas ajenas al intervalo teórico, se procede a corregir las cantidades de agregados que deben posarse en cada revoltura, con objeto de obtener nuevas cantidades cuya combinación conduzca a las cantidades teóricas previstas al hacer el proporcionamiento. En la tabla 4.2 se presenta un ejemplo numérico de la forma como se acostumbra llevar a cabo esta corrección granulométrica en las obras, considerando que se disponga de tres fracciones de agregados: arena (0-5 mm), grava 1 (5-19 mm) y grava 2 (19-38 mm).

Adaptando este ejemplo al caso de una obra menor, lo frecuente sería disponer de solamente dos fracciones: arena (0-5 mm) y grava (5-38 mm), cuyas deficiencias de cribado, determinadas sobre muestras representativas cribadas en malla No 4 (4.8 mm), podrían ser así:

<u>Concepto</u>	<u>En la arena</u>	<u>En la grava</u>
Material retenido en malla No 4 (grava)	7.5 por ciento	90.0 por ciento
Material pasado por malla No 4 (arena)	92.5 por ciento	10.0 por ciento

Suponiendo que se trate de elaborar un concreto como el indicado en el ejemplo de 3.2.3, en el que hay que pesar 185 kg de arena (100 por ciento pasada por malla No 4) y 345 kg de grava (100 por ciento retenida en malla No 4) para cada revoltura de dos sacos de cemento, si se dosifican estas cantidades en las condiciones anteriores, se tendría:

Conceptos	Fracciones del agregado	
	Arena, en kg	Grava, en kg
Cantidades dosificadas (en condiciones disponibles)	185	346
Grava en la arena: $185 \times 0.075$		14
Arena en la arena: $185 \times 0.925$	171	
Grava en la grava: $346 \times 0.90$		311
Arena en la grava: $346 \times 0.10$	35	
Cantidades dosificadas corregidas (netas)	206	325

El resultado sería la inclusión real de 206 kg de arena neta, en lugar de los 185 kg previstos, esto es, 21 kg de más, y, consecuentemente, 21 kg de menos en la grava. Una forma sencilla para hacer la corrección consiste en disminuir 21 kg a la cantidad de arena que deba dosificarse, esto es,  $185 - 21 = 164$  kg. La cantidad de grava sería entonces  $346 + 21 = 367$  kg. La dosificación de estas cantidades conduciría a los siguientes resultados:

Conceptos	Fracciones del agregado	
	Arena, en kg	Grava, en kg
Cantidades dosificadas (en condiciones disponibles)	164	367
Grava en la arena: $164 \times 0.075$		12
Arena en la arena: $164 \times 0.925$	152	
Grava en la grava: $367 \times 0.90$		330
Arena en la grava: $367 \times 0.10$	37	
Cantidades dosificadas corregidas (netas)	189	342

En esta forma, la diferencia entre la cantidad de arena requerida (185 kg) y la verdaderamente incluida (189 kg) se ha reducido a solamente 4 kg en exceso. De manera que con una segunda aproximación, las cantidades definitivas serían:

$$\text{Arena} = 164 - 4 = 160 \text{ kg}$$

$$\text{Grava} = 367 + 4 = 371 \text{ kg}$$

Conviene hacer esta corrección directamente a partir de los datos de cantidades de agregados aportadas por las tablas 3.2 y 3.3. A continuación, debe efectuarse la segunda corrección por concepto de humedad, la cual solamente se ha previsto para la arena por considerarla de mayor significación. Como se indicó al pie de esas tablas, en las cantidades puestas como datos se ha considerado que la arena se encuentra seca al ambiente; se recomienda incrementarlas en 3 por ciento si la arena se encuentra húmeda (sin agua superficial), y en 6 por ciento si se encuentra saturada (con agua superficial). También se recomienda evitar el uso de arena con exceso de agua superficial (sobresaturada), siendo preferible dejarla drenar durante un lapso de 24 horas antes de usarla.

#### 4.2.3 Agua

Es conveniente utilizar agua que provenga de una fuente conocida y, de preferencia, que existan antecedentes de haberla empleado en una aplicación similar. En donde sea posible, conviene usar agua de la red de abastecimiento. Debe evitarse el uso de agua que presente olor o color, excepto cuando pruebas físicas y químicas demuestren que la contaminación es inofensiva para el concreto.

El agua que debe incorporarse a cada revoltura puede dosificarse confiablemente por volumen cuando se dispone de un recipiente cali

orado, como el tanque con dispositivo de sifón mencionado en 2.2. Lo que por ningún motivo debe permitirse es la adición indiscriminada del agua, por conducto de quien solamente procura (erróneamente) facilitar el acomodo del concreto en las formas.

La incorporación del agua a la mezcladora debe hacerse, siempre que sea posible, simultáneamente con el resto de los materiales. A veces resulta práctico vaciar una porción reducida del agua dentro de la mezcladora vacía y, con esta en movimiento, agregar los materiales sólidos y el resto del agua en una operación gradual. Debe evitarse el vaciado repentino de cualquiera de los ingredientes del concreto.

#### 4.2.4 Aditivos

Estos, independientemente de si son líquidos o sólidos, deben dosificarse junto con el agua de mezclado, después de hacer la solución respectiva (excepto algunos, que solamente deben usarse bajo control especial). Un requisito indispensable para usar dos aditivos simultáneamente es que sean compatibles y que al mezclarlos no se produzca precipitación.

Debe cuidarse que la concentración del aditivo no se modifique por evaporación procurando mantenerlo tapado y evitando preparar soluciones en cantidades mayores que las requeridas para un día de colado. Si el aditivo es sólido y se disuelve previamente en una cierta cantidad de agua, debe tomarse en cuenta al hacer la dosificación y disminuir el agua de mezclado en la cantidad de solución que deba añadirsele. Por ejemplo, un aditivo en polvo que se presenta en sacos de 50 kg debe dosificarse a razón de 150 g por cada saco de cemento. Para ponerlo en condiciones de ser dosificado, se disuelve cada saco en agua suficiente para llenar un recipiente de 200 lt. Así, para dosificar 150 g del producto, habrá que medir  $\frac{200 \times 0.150}{50} = 0.6$  lt de la solución; de modo que si se fabrican revol

turas de dos sacos de cemento, habrá que disminuir en 1.2 lt el agua de mezclado y añadirle una cantidad igual de solución.

#### 4.3 Mezclado, transporte y colocación

##### 4.3.1 Mezclado del concreto

Esta operación tiene por finalidad lograr un contacto íntimo entre el agua y el cemento para formar una pasta homogénea y distribuir uniformemente las partículas de los agregados en el conjunto, de manera que cualquier porción de la mezcla presente la misma composición y, en consecuencia, obtenga las mismas propiedades al cabo del tiempo.

El mezclado del concreto debe hacerse mecánicamente para que se realice en un lapso razonablemente corto. Por ningún motivo debe permitirse el mezclado manual de concreto destinado a un miembro estructural. En algunas ocasiones se permite mezclar a mano pequeños volúmenes de mortero o concreto para trabajos secundarios (mamposterías, firmes, etc.), en cuyo caso se recomienda incrementar el contenido de cemento en 10 por ciento por lo menos.

Existen diversos tipos y capacidades de mezcladoras para concreto. Conforme a la distinción más usual, que se basa en el modo de mezclar, hay dos tipos principales: las de mezclado por gravedad y forzado. En el primero se hallan comprendidos los equipos que más se usan en las obras menores, esto es, las revolventoras de tambor con todas sus variantes (fijas o basculantes, eje horizontal o inclinado, descarga por volteo o por marcha reversible, tambor y aspas fijos o giratorios, etc.). Las de mezcla forzada suelen denominarse de turbina, y se destinan preferentemente a la producción de concretos secos, razón por la cual son muy usadas en la industria de prefabricación de elementos de concreto.

En las mezcladoras de tambor existe la costumbre (proceden

te de EUA) de designar su capacidad en función del valor S, que equivale a un pie cúbico de concreto. Así, una mezcladora 115 (que aquí se conoce como de dos sacos) tiene capacidad nominal para mezclar 310 lt de concreto. Es conveniente operar estos equipos lo más cerca posible de su capacidad nominal, pues su eficiencia se reduce si se les hace trabajar con poca o con demasiada carga. Al respecto, conviene observar cómo varía el volumen de concreto que se produce en revolturas de un saco de cemento (tabla 3.4) conforme a la resistencia requerida, el tamaño máximo y el peso específico de los agregados. Por ejemplo, si se cuenta con una revoladora 115 para elaborar concreto con  $f_{cr} = 175 \text{ kg/cm}^2$ , tamaño máximo = 38 mm y peso específico = 2.45, solamente se podrán producir revolturas de un saco (si así se dosifica el cemento), puesto que revolturas de dos sacos producen un volumen aproximado de 418 lt de concreto, que es bastante mayor que la capacidad nominal del equipo. Por lo contrario, si el concreto a elaborar es  $f_{cr} = 400 \text{ kg/cm}^2$ , tamaño máximo = 19 mm y peso específico = 2.65, se podrán producir revolturas de tres sacos, cuyo volumen aproximado debe ser 294 lt de concreto, que es prácticamente la capacidad nominal del equipo. En el primer caso, para obtener el rendimiento adecuado del equipo, lo recomendable sería dosificar el cemento por peso (en vez de hacerlo por sacos), siendo así posible elaborar revolturas de 294 lt mediante pesadas de 70 kg de cemento. Otra posible solución sería cambiar el equipo de mezclado por otro de diferente tamaño, de manera que al producir revolturas con sacos completos, trabajara más cerca de su capacidad nominal.

El tiempo de mezclado mínimo que debe darse para alcanzar homogeneidad en la mezcla suele definirse en función de la capacidad nominal del equipo. En mezcladoras de tambor, los tiempos mínimos de mezclado especificados por el USBR (ref 4.1) contados a partir del momento en que todos los materiales se encuentran dentro de la mezcladora, son como sigue:

<u>Capacidad de mezcladora, en m<sup>3</sup></u>	<u>Tiempo mínimo de mezclado, en min</u>
< 1.50	1 1/2
1.50 - 2.25	2
2.25 - 3.00	2 1/2
3.00 - 3.75	2 3/4
3.75 - 4.50	3

En mezcladoras en que el mezclado es forzado, el tiempo mínimo requerido para alcanzar homogeneidad puede ser menor. Sin embargo, conviene tener presente que, con frecuencia, no es el tiempo de mezclado el que más influye en la duración del ciclo de producción de la mezcladora, sino las operaciones de pesaje, carga de los materiales y descarga del concreto. Con una buena coordinación de estas operaciones será posible conseguir ciclos que sean iguales al tiempo de mezclado, incrementado en uno o dos minutos, cuando más.

De cualquier manera, como la operación de mezclado del concreto tiene por finalidad obtener homogeneidad en la distribución de sus componentes, conviene poder discernir cuándo es homogénea la mezcla. Para ello existe la llamada prueba de eficiencia de mezcladoras, descrita en la Designación 26 del Manual de Concreto del USBR (ref 4.1), en la cual se determina la variabilidad de la mezcla, comparando peso volumétrico del mortero y contenido de grava, en dos porciones de la misma revoltura tomadas al principio y al final de la descarga de la mezcladora.

Un medio sencillo para comprobar si el concreto es homogéneo cuando sale de la mezcladora, consiste en tomar dos muestras de la misma revoltura, procurando interceptar el chorro de descarga con un recipiente adecuado. La primera muestra debe obtenerse durante la descarga de la primera cuarta parte del volumen mezclado y la segunda durante la descarga

de la última cuarta parte. A cada muestra debe determinársele revenimiento y peso volumétrico conforme a los procedimientos que se incluyen en 6.2.2. Además, deben elaborarse en cada caso tres cilindros estándar según el método expuesto en 6.2.3, para ensayarlos a 7 días de edad. Se considera que la revoltura es homogénea, si los resultados obtenidos en ambas muestras no manifiestan diferencias que excedan de los siguientes valores:

<u>Concepto</u>	<u>Máxima diferencia permisible</u>
1. Revenimiento	
a) Si el promedio es igual o menor de 10 cm	1.5 cm
b) Si el promedio es mayor de 10 cm	3.0 cm
2. Peso volumétrico	20 kg/m <sup>3</sup>
3. Resistencia a compresión a 7 días de edad (promedio de 3 especímenes en cada muestra)	10 kg/cm <sup>2</sup>

Si como resultado de estas pruebas se determina que la revoltura no es homogénea, esto puede relacionarse con varias causas posibles: tiempo de mezclado insuficiente, velocidad de rotación inadecuada (excesiva o insuficiente), desgaste en las aspas, volumen de revoltura en exceso o defecto de la capacidad nominal, o falta de idoneidad en el equipo para mezclar eficientemente la clase de concreto que se produce, conforme a consistencia especificada (revenimiento) y tamaño máximo de agregado. Algunas de estas causas pueden ser corregibles, pero otras pueden requerir que se cambie el equipo mezclador por otro más adecuado.

En ocasiones, aunque la revoltura se aprecie homogénea en el interior de la mezcladora en movimiento, puede disgregarse durante la

operación de descarga. Este efecto se intensifica cuando la operación se hace lentamente, a fin de verter porciones en diferentes recipientes. Para evitarlo, se recomienda vaciar toda la revoltura, en una sola operación de descarga, dentro de un recipiente único de capacidad adecuada, desde donde pueda distribuirse a los recipientes del equipo de transporte, en caso de que así se requiera.

Es frecuente que la primera revoltura que se produzca resulte con aspecto excedido en grava, debido al mortero que se adhiere en el interior de la mezcladora. Esto se evita mezclando inicialmente una pequeña revoltura de mortero que se desperdicie, o bien incrementando en 10 por ciento las cantidades de cemento y arena que se dosifiquen para hacer la primera revoltura de concreto.

#### 4.3.2 Transporte y colocación del concreto

Estos movimientos corresponden a lo que también se denomina puesta en obra del concreto, es decir, su traslado desde la mezcladora hasta el interior de las cimbras que deben dar forma a la estructura que se construye. La mayoría de las veces este traslado se divide en dos etapas: el transporte desde la descarga de la mezcladora hasta un punto inmediato a la estructura, y la colocación desde este hasta el interior de las cimbras.

a) Transporte. Debe efectuarse cuidando que se satisfagan dos requisitos esenciales: que sea lo suficientemente rápido para evitar que el concreto se seque y pierda revenimiento antes de ser colocado, y que sea eficaz para evitar que se produzca segregación y pérdida de mortero o lechada.

Existen diversos medios y equipos en uso para transportar concreto, aunque no todos son aptos para cumplir los requisitos anteriores.

Los que se emplean con mayor frecuencia son:

Carretillas y vagonetas

Malacates y montacargas

Tubos y canalones

Camiones de varios tipos

Botes accionados por grúas o cablevías

Bandas transportadoras

Bombas de concreto

Transportadores neumáticos

Para la elección del más adecuado, se requiere tomar en cuenta los siguientes aspectos principales: volumen de concreto a transportar; distancias mínima, media y máxima; consistencia especificada (reventamiento) y tamaño máximo del agregado en las mezclas; accesibilidad y medios disponibles para colocar el concreto dentro de las cimbras.

Las carretillas y vagonetas (de mano o mecanizadas) son equipos de bajo costo, útiles para mover volúmenes reducidos en distancias cortas, razones por las cuales se las encuentra frecuentemente en las obras menores. Habilitando vías de tránsito cómodas y expeditas, y contando con ruedas neumáticas, es posible obtener resultados aceptables si se las utiliza en número suficiente.

Los malacates y montacargas se emplean para salvar desniveles y espacios poco accesibles, moviendo volúmenes reducidos en distancias cortas. Es decir, su aplicación y rendimiento es comparable al de carretillas y vagonetas, a las cuales suelen suplir o complementar.

Los tubos y canalones son los dispositivos más simples que se emplean para el descenso del concreto. Debido a su bajo costo y facilidad de adaptación, constituyen un procedimiento bastante utilizado en las

obras menores. Aunque son innegables dichas ventajas, su aplicación des  
cuidada conduce invariablemente a segregar el concreto y promueve defectos  
de construcción. Considerando que no es práctico proscribir su uso, se es  
tima necesario enumerar algunas recomendaciones para mejorar los resultados  
que puedan obtenerse con su aplicación, principalmente en el caso de los ca  
nalones:

No debe permitirse que el uso de canalones obligue a emplear mezclas  
fluidas por ese solo hecho. La consistencia de las mezclas debe  
ser determinada por las características de la estructura y la faci  
lidad que esta ofrezca para colocar y acomodar el concreto, obser  
vándose como norma el empleo de la consistencia menos fluida que  
sea posible.

Los canalones que mejores resultados producen son los metálicos, o  
de madera forrada de lámina, con sección semicircular o semejante,  
provistos con una tapa que proteja al concreto del sol, el viento  
y la lluvia.

Deben tener una pendiente uniforme en todo su desarrollo, la cual  
debe ser suficiente para permitir que el concreto deslice, pero no  
tanto que produzca segregación.

En el extremo de descarga deben colocarse tubos de forma troncocó  
nica, también llamados "trompas de elefante", para confinar el con  
creto, reducir su velocidad de caída, obligarlo a que descienda ver  
ticalmente dentro de las cimbras y disminuir su altura de caída li  
bra.

Antes de vaciar el concreto por primera vez, y en cada ocasión que  
el sol y el viento lo justifiquen, puede permitirse mojar los cana  
lones, siempre y cuando el agua que escurra no se mezcle con el con  
creto.

Los camiones también son equipos en que se transporta frecuentemente el concreto en las obras menores. De ellos, existen dos tipos principales: los que cuentan con una revoladora de tambor integrada (camión mezclador) y los habilitados con una caja de volteo. Los primeros, que se utilizan en la industria del concreto premezclado, permiten conservar homogéneo el concreto aun en distancias grandes de acarreo. Su única limitación estriba en no poder operar con mezclas de muy bajo revenimiento, la cual es inherente al tipo de revoladora con que cuentan. Entre los segundos, existen variantes de acuerdo con la geometría de la caja y la posibilidad de adaptación de espas para agitar el concreto. En términos generales, puede considerarse que el camión de volteo común y corriente de caja rectangular no es un equipo adecuado para transportar concreto, por los inconvenientes que presenta: si la mezcla tiene consistencia fluida, sus ingredientes se clasifican con facilidad durante el transporte de acuerdo con su peso específico; si la mezcla es de consistencia seca, resulta difícil su descarga con la simple inclinación de la caja. La adaptación de cajas con diseño más apropiado alivia estos inconvenientes pero no los elimina totalmente. A veces, mediante la incorporación de espas agitadoras, se obtienen mejores resultados.

Como en el caso de los canalones, los camiones de volteo son equipos cuyo uso para transportar concreto se encuentra muy arraigado en las obras menores, a pesar de los defectos señalados. Esto puede atribuirse a su gran radio de acción, su aptitud para hacer llegar el concreto a diversos puntos de la obra y su costo relativamente bajo. Tomando en cuenta estas ventajas, no parece fácil evitar que se continúen empleando. Por lo tanto, es oportuno hacer algunas recomendaciones para obtener mejores resultados:

No se deben transportar en camiones de volteo mezclas demasiado

fluidas. Si es imposible evitarlo debe procurarse que la caja sea estanca para impedir fugas y debe proveerse un medio para remezclar el concreto en el punto de descarga, a fin de restituir su homogeneidad antes de colocarlo dentro de las cimbras.

Cuando se transporten mezclas demasiado secas, puede facilitarse su descarga adaptando a la caja un vibrador exterior, o bien haciendo uso de uno de inmersión.

Deben taparse las cajas de volteo durante el transporte, con objeto de proteger el concreto contra los efectos del sol, el viento y la lluvia.

No debe permitirse el uso de camiones de volteo cuando el tiempo de transporte sea excesivo y, a pesar de todas las precauciones, la mezcla pierda más de 2.5 cm de revenimiento (si este es de 10 cm o menor) o más de 4 cm (si es de 11 cm o mayor) desde la salida de la mezcladora hasta el lugar de entrega.

Los botes accionados por grúas o cablevías constituyen, tal vez, el equipo más idóneo para transportar concreto en distancias cortas, e inclusive colocarlo dentro de las cimbras, pues no producen segregación y son aptos para mezclas de consistencia seca. Los botes o cubos para concreto están provistos de una compuerta inferior que hace expedito el vaciado por gravedad. Se recomienda su uso en obras en que se disponga de equipo mecánico para movilizarlos.

Las bandas transportadoras, bombas de concreto y transportadores neumáticos son equipos especializados en el transporte y colocación de concreto que, mediante una operación adecuada, suelen ser eficaces. Su costo, más elevado que el de los equipos precedentes, limita sus aplicaciones en las obras menores. Cuando sea necesario utilizarlos, se recomienda

consultar primero la información técnica del fabricante y la que se encuentra en varias de las referencias bibliográficas de este capítulo (refs 4.2 a 4.4).

b) Colocación. La operación propiamente dicha de colocar el concreto consta de los arreglos que se hacen para introducirlo en el espacio delimitado por las cimbras que configuran la estructura. Algunos equipos de transporte de concreto, como las bombas, cumplen también con el objetivo de colocarlo; pero otros, como los camiones, solamente lo aproximan a la estructura. La mayoría de las veces es necesario emplear dos o más sistemas de desplazamiento del concreto, que se complementan para transportar lo y colocarlo.

Muchos de los defectos de construcción más comunes se atribuyen a prácticas inadecuadas durante la colocación del concreto. Para contribuir a que sean menos frecuentes, se incluyen las recomendaciones que siguen:

No se debe colocar concreto que se reciba previamente segregado, pues lo normal es que las operaciones subsecuentes tiendan a incrementar la segregación, en vez de reducirla. Es preferible corregir las fallas que ocurran en la etapa previa o bien remezclar el concreto antes de colocarlo.

El concreto no debe descender en caída libre desde el extremo de descarga de un canalón, una banda o de la tubería de una bomba, no importa qué tan reducida sea la altura. Como práctica invariable deben colocarse tubos cónicos rígidos (trompas de elefante), mangueras flexibles de diámetro no menor de 20 cm, o simples mamparas deflectoras, a fin de reducir la velocidad de caída del concreto y obligarlo a que incida verticalmente sobre la superficie de colocación.

Debe evitarse el desplazamiento horizontal del concreto dentro del área de colocación. Para lograrlo deben hacerse arreglos para que el concreto se deposite en diversos puntos que abarquen todo el espacio por llenar.

Evítense las acumulaciones de concreto en un mismo punto de descarga o su colocación mediante capas con demasiado espesor, pues en ambos casos se forman taludes donde el agregado grueso se segrega y, además, no es posible darle compacidad adecuada. Para concreto estructural, es necesario que el espesor de las capas horizontales no exceda de 50 cm.

Debe evitarse la formación de juntas frías entre dos capas sucesivas, debido a falta de planeación en la colocación. Tomando en cuenta la velocidad con que el concreto puede colocarse y su tiempo de fraguado inicial, deben localizarse las juntas de construcción, de modo que el tiempo de colocación de una capa que abarque toda el área de colado sea inferior al tiempo de fraguado inicial del concreto. De esta manera puede conseguirse que al colocar una nueva capa, el concreto de abajo todavía se encuentre en estado plástico y pueda crearse "fusión" entre ambas capas al ser sometidas a vibración.

#### 4.4 Acomodo, acabado y curado

##### 4.4.1 Acomodo del concreto

Es la operación según la cual el concreto recién colocado dentro de las cimbras, se somete a acciones que le permiten fluir para llenar todo el espacio confinado por las mismas. Con estas acciones se persigue también expulsar la mayor cantidad posible del aire que se encuentre atrapado dentro del concreto, es decir, se busca suministrarle la máxima

compacidad. Esto último ha dado motivo para llamar compactación del concreto al proceso de acomodarlo.

La práctica obligada para acomodar el concreto consiste en someterlo a vibraciones, por medio de equipos vibradores que suelen ser de tres clases diferentes: a) los de inmersión, que actúan sumergidos en el concreto; b) los externos, que se adosan a las cimbras; c) los de superficie, que se emplean apoyados sobre el concreto. De ellos, los de inmersión son los más aptos y eficaces en diversas condiciones de trabajo. En consecuencia, son tal vez los más usados.

Los vibradores pueden ser accionados por medio de electricidad, aire a presión o gasolina, siendo preferibles los dos primeros medios. Los equipos vibradores movidos por motores de gasolina, son poco confiables por su tendencia a fallar y su menor eficacia para acomodar mezclas de muy bajo revenimiento; por lo tanto, solo conviene emplearlos en las obras en que no se disponga de las otras fuentes de energía.

Muchas de las especificaciones actuales establecen que el concreto se acomode preferentemente por medio de vibradores de inmersión, eléctricos o neumáticos, que estando sumergidos en el concreto manifiesten una frecuencia de vibrado no menor de 6 000 vpm (100 hertzios), excepto cuando el concreto resulta poco accesible, o sus espesores son muy delgados, siendo entonces preferible emplear vibradores externos de cimbra o de superficie.

Además de la posibilidad de adquirirlos con diferentes frecuencias de vibrado (de 3 000 vpm en adelante), los vibradores de inmersión se construyen para diversas capacidades de trabajo. Como esta es función de la masa del elemento vibratorio alojado en el cabezal, se supone que (para una misma frecuencia) la potencia disponible aumente conforme sea mama

yor al diámetro del cabezal. Por otra parte, como el suministro de energía requiere incrementarse según aumente la frecuencia, lo usual ha sido que los vibradores de muy alta frecuencia tiendan a ser de menor tamaño. Sin embargo, las mejoras actuales logradas en los vibradores neumáticos permiten salvar esta limitación, siendo posible disponer ahora de vibradores de gran tamaño y muy alta frecuencia, para aquellas obras en que se requiere acomodar grandes masas de concreto con muy bajo revenimiento y gravas de grandes dimensiones.

Para los trabajos usuales en obras menores, es suficiente considerar el empleo de vibradores con frecuencias entre 6 000 y 9 000 vpm, con diámetro de cabezal variando entre 19 y 63 mm (3/4 a 2 1/2 pulg). Por ejemplo, puede considerarse que un buen vibrador con cabezal de 38 mm de diámetro, accionado por una sola persona, puede acomodar de 3 a 6 m<sup>3</sup> de concreto por hora, en condiciones normales.

Para el uso correcto de los vibradores de inmersión conviene atender las siguientes recomendaciones:

a) El vibrador debe introducirse y extraerse del concreto con lentitud, en dirección completamente vertical y a distancias regulares. Frecuentemente se considera suficiente espaciar de 40 a 75 cm los puntos de inserción y efectuar la extracción en un lapso no menor de 5 seg.

b) El tiempo que el vibrador debe permanecer dentro del concreto en cada inserción depende principalmente de su consistencia. Normalmente son suficientes de 5 a 15 seg, pero a veces conviene dejarlo a juicio del operador, considerando que el vibrador debe comenzar a extraerse en cuanto la superficie del concreto adquiere brillo por efecto del flujo de lechada.

c) Evítase sobrevibrar el concreto, porque se produce segregación al fluir demasiada lechada o mortero hacia la superficie y hacia las pare

des que lo confinan. También debe evitarse la tendencia a desplazar lateralmente el concreto mediante la aplicación inclinada del vibrador, por la misma razón.

#### 4.4.2 Acabado del concreto

Existen dos tipos principales de acabados en las superficies de concreto: los que se producen por contacto con los moldes que lo confinan y los que se obtienen mediante la aplicación de herramientas o dispositivos. En cada tipo existen clases que se distinguen por las tolerancias geométricas y por la tersura de las superficies resultantes. Ambos requisitos suelen establecerse en función del aspecto decorativo, de las condiciones de exposición y servicio, y del carácter provisional o permanente de las estructuras.

El Manual de Concreto del USBR (ref 4.1) presenta una clasificación de acabados que comprende los casos más comunes. Los que se producen por contacto con las cimbras se designan con la letra F y son cinco:

F 1. Es el menos exigente de los acabados de este tipo, ya que normalmente se especifica para superficies que posteriormente deberán ser cubiertas por material de relleno. Se admiten variaciones\* graduales hasta de 25 mm y no hay requisitos para la tersura de la superficie. De la cimbra solo se requiere que sea resistente y estanca.

F 2. Es un acabado más estricto, que se recomienda para superficies visibles. Se admiten variaciones graduales hasta de 13 mm y bruscas hasta de 6 mm. Las cimbras pueden ser de madera o acero, siempre que den las tolerancias geométricas indicadas.

F 3. Es el acabado requerido en estructuras donde predomina el aspecto decorativo. Solamente se admiten variaciones graduales hasta de 6 mm

---

\* Se miden respecto a una regla de 1.5 m.

y brúscas hasta de 3 mm. Se recomienda usar cimbra de madera forrada con triplay u otro, para obtener máxima tersura. No es conveniente usar cimbra metálica porque su fijación normalmente requiere emplear pernos; además puede producir manchas en la superficie.

F 4. Es la clase de acabado que se especifica en estructuras hidráulicas donde el agua fluye con alta velocidad. Se toleran variaciones graduales y/o brúscas hasta de 6 mm si son en la dirección del flujo, o de 3 mm si son en otra dirección. Las cimbras deben ser de madera forrada o metálicas, para lograr máxima tersura.

F 5. Se especifica para superficies que vayan a recibir un acabado decorativo sobrepuesto (yeso, mortero, tirol, etc.). Se toleran variaciones graduales o brúscas hasta de 6 mm. La cimbra debe ser de madera rugosa para obtener superficies ásperas que suministren adherencia. No deben aplicarse lubricantes a la cimbra.

Los acabados que se obtienen sobre superficies libres mediante la aplicación de herramientas o dispositivos de nivelación, enrase y esparajamiento, se designan con la letra U y son cuatro:

U 1. Es el equivalente al F 1 en este tipo de acabado. Se admiten variaciones\* hasta de 10 mm. Se produce mediante el paso de una regla o cercha, sin mayores manipulaciones. Esta clase suele constituir la primera etapa para conseguir los acabados U 2 y U 3.

U 2. Se considera equivalente al acabado F 2. Se le toleran variaciones hasta de 6 mm. Se consigue a partir del acabado U 1, mediante el paso manual de la llana de madera, o con una llana mecánica, pero sin llegar al extremo de pulir la superficie.

U 3. Es un acabado que se obtiene a partir de U 2, con objeto de lograr mayor tersura en la superficie, lo cual se logra puliéndola con lla

\* Se miden respecto a una regla de 3 m

na metálica. De tal modo, la tolerancia geométrica no varía, es decir, se admiten variaciones hasta de 6 mm.

U 4. Es el acabado que se recomienda para losas de concreto de revestimiento de canales. Se admiten variaciones hasta de 6 mm en las losas de fondo y hasta de 13 mm en los taludes. Se obtiene con llana metálica, igual que en U 3, o con equipo mecánico de revestimiento. No son objetables las picaduras menores de 2 a 3 mm, dejadas por este último.

#### 4.4.3 Curado del concreto

Con esta denominación se designa el conjunto de condiciones favorables que deben prevalecer en el concreto recién colado, para que la evolución de la hidratación del cemento que contiene se desarrolle normalmente, hasta que el concreto alcance las propiedades correspondientes a la calidad de sus componentes y la proporción en que se les combina.

Para que el cemento se hidrate normalmente, es decir, que adquiera madurez en forma gradual pero sostenida, se necesitan dos condiciones primordiales en el concreto:

- 1) existencia permanente de agua en cantidad suficiente
- 2) conservación de la temperatura dentro de límites adecuados

El fenómeno físico-químico del fraguado, que ocasiona la rigidización de la pasta, se inicia en cuanto se mezcla el cemento con el agua. El proceso continúa mediante reacciones químicas que forman nuevos compuestos con distintas propiedades a las de los materiales que los originaron, y que son los que determinan el comportamiento ulterior de la pasta. Este proceso de hidratación se desarrolla mientras existe agua suficiente en la proximidad de cada partícula de cemento; en el momento en que esta condición deja de ocurrir el desarrollo del proceso se frena, e incluso se interrumpe. Si esta situación anómala se prolonga, la pasta (y por tan

to, el concreto) experimenta imperfección permanente y no alcanza su calidad potencial. El concreto recién mezclado suele contener mayor proporción de agua de la que el cemento necesita para hidratarse, pero a partir de entonces la situación puede cambiar si no se adoptan medidas para evitar que el agua disponible sea sustraída por absorción o se pierda por evaporación. La adopción de tales medidas constituyen la práctica del curado del concreto, en lo que se refiere a la conservación de humedad.

La temperatura también juega un papel importante en el desarrollo del proceso de hidratación del cemento, principalmente cuando presenta valores extremos. Puede decirse que, dentro de ciertos límites, hay proporcionalidad entre la temperatura de la pasta y la velocidad con que se hidrata. Tomando como referencia una temperatura de  $23 \pm 2$  °C, que según la ASTM (ref 4.5) es la especificada para curado estándar, puede admitirse un comportamiento como el que a continuación se indica, cuando un concreto recién hecho se cura permanentemente durante 28 días a diferentes temperaturas:

<u>Temperatura permanente</u> <u>de curado, en °C</u>	<u>Velocidad de</u> <u>hidratación</u>	<u>Resistencia mecánica</u> <u>a 28 días</u>
* { < - 10 -10 a 0 0 a 5	Nula Casi nula Muy lenta	Nula Imperceptible Muy baja
** { 10 a 21 21 a 25 25 a 40	Reducida Normal Incrementada	Prácticamente normal Normal Prácticamente normal
*** { 40 a 65 65 a 90	Rápida Muy rápida	Ligeramente baja Baja
**** { > 90	Muy rápida	Muy baja

\* Debe evitarse que la temperatura de curado del concreto sea menor de 10 °C.

- \*\* El intervalo permisible de temperatura, para el curado permanente del concreto, varía entre 10 y 40 °C, aproximadamente.
- \*\*\* Temperaturas entre 40 y 90 °C solamente son aconsejables en periodos cortos, a fin de acelerar la velocidad inicial de hidratación, mediante la aplicación del procedimiento de curado con vapor a presión atmosférica.
- \*\*\*\* La aplicación de temperaturas mayores de 90 °C solamente produce buenos resultados en el concreto mediante el procedimiento de curado en autoclave.

De acuerdo con lo anterior, si la temperatura varía entre 10 y 40 °C, puede esperarse que la velocidad de hidratación del cemento sufra cambios apreciables, sobre todo al principio, pero al cabo de un lapso conveniente (por ejemplo 28 días) la resistencia del concreto debe manifestarse con pocas variaciones por esa causa. Como esta situación es bastante frecuente en la República Mexicana, por sus condiciones climatológicas, lo usual en las obras pequeñas es que la temperatura de curado del concreto no requiera ser influida para permanecer dentro del intervalo permisible. Esto no quiere decir que, si por circunstancias especiales la temperatura del concreto es demasiado alta o baja, no sea necesario adoptar medidas apropiadas para llevarla a dicho intervalo.

Existen varios procedimientos para conservar la humedad del concreto (ref 4.6):

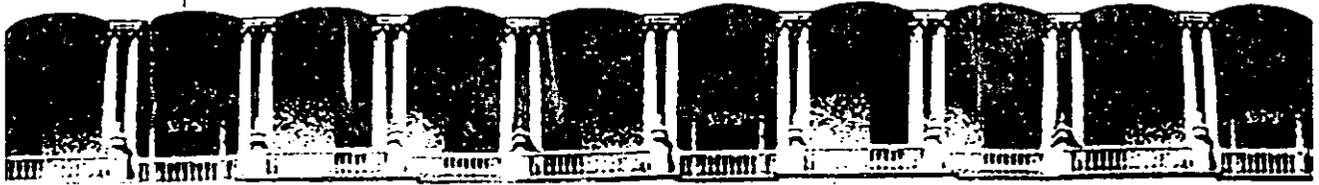
- |                       |   |  |
|-----------------------|---|--|
| Curado con agua       | { | Inundación o inmersión<br>Riego o aspersión<br>Materiales saturados (telas absorbentes de yute o algodón, tierra, arena, viruta de madera, heno, etc.) |
| Materiales selladores | { | Telas plásticas (polietileno)<br>Papeles impermeables<br>Líquidos que forman membrana  |

Los materiales selladores evitan la pérdida de agua por evaporación, mientras el curado con agua la suministra para reponer la que se pierde, no solamente por evaporación, sino por otras causas como la absorción de los agregados, la cimbra o el terreno. De esta manera, un buen curado con agua suele producir mejores resultados, principalmente cuando es baja la relación agua/cemento con que se elabora el concreto. No obstante, hay casos en que el curado con materiales selladores resulta más conveniente. Así ocurre en grandes superficies verticales donde no es fácil mentener un buen curado con agua, o en la superficie de pavimentos en que es indispensable reducir la evaporación a partir del momento en que se realiza el acabado, estando todavía el concreto en estado plástico.

Independientemente del procedimiento de curado que se aplique, es necesario vigilar que sea eficiente y de duración adecuada. Lo primero requiere que se empleen materiales de calidad comprobada; para lo segundo varias especificaciones establecen que si el curado se hace con agua, se aplique por un lapso no menor de 7 días cuando el cemento usado es tipo I o III, y no menor de 14 días para cualquier otro cemento.

#### 4.5 Referencias.

- 4.1 "Concrete Manual", US Bureau of Reclamation, Denver (1966)
- 4.2 "Recommended Practice for Measuring, Mixing and Placing Concrete" ACI, Committee 614 (1959)
- 4.3 "Placing Concrete by Pumping Methods", ACI Journal, Committee 304 (may 1971)
- 4.4 "Symposium on Shotcreting", ACI, SP-14
- 4.5 "Standard Method of Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory". American Society for Testing and Materials, Book of Standards, Parte 10 (1971)
- 4.6 "Recommended Practice for Curing Concrete", ACI Journal, Committee 308



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M

NOVIEMBRE 1992

**CURSO :** CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD  
DEL CONCRETO HIDRAULICO.

**TEMA :** PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS

**SUBTEMA :** CEMENTO

**OBJETIVO :** CONOCER LAS CARACTERISTICAS DE LOS  
CEMENTOS PORTLAND; SELECCIONAR EL  
TIPO ADECUADO DE CEMENTO EN FUNCION  
AL TIPO DE OBRA Y AL GRADO DE EXPOSICION  
DEL ELEMENTO EN CUESTION.

ING. ALBERTO BARRIENTOS RIOS.

M. C. MANUEL ANDRES PUELLO BAEZ.

## DESARROLLO DEL TEMA :

En el sentido más amplio de la palabra cemento indica cualquier clase de adhesivo. En el área de la construcción y de la Ingeniería Civil, indica una sustancia que puede emplearse para unir arena y roca machacada u otro tipo de áridos, y formar una masa sólida. De esta manera, se originan materiales como el hormigón, los morteros y diferentes clases de productos, derivados del fibrocemento.

Entre los tipos de cementos más importantes se encuentra el Portland ; el cual es un material finamente pulverizado , que al agregarse agua, ya sea sólo o mezclado con otros materiales tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida ; por esta condición se dice que el cemento Portland es hidráulico.

El cemento Portland debe su nombre, al hecho de que su inventor el maestro de obra Inglés Joseph Aspdin, encontró en 1824 que el polvo producido al moler una mezcla calcinada de caliza y arcilla era semejante al endurecer ( mezcla polvo + agua ), a ciertas canteras de piedra de la Isla de Portland, Inglaterra.

Los compuestos principales en el cemento son: silicato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ), silicato dicálcico ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), aluminato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_5$ ), y el ferroaluminato tetracálcico ( $\text{Ca}_4\text{Fe}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$ ). Estos compuestos constituyen el 90 % en peso del cemento ; mientras que el 10 % restante está constituido por el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que se agrega al clinker durante la molienda, y otros elementos libres los cuales no alcanzan la calcinación, entre los que se encuentran la cal ( $\text{CaO}$ ), la magnesia ( $\text{MgO}$ ) y los álcalis totales ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ). Ver cuadro No.1.

## COMENTARIOS :

El fraguado y endurecimiento del cemento portland es debido a reacciones químicas, que se producen entre el agua y los compuestos presentes en el cemento.

## OBSERVACIONES :

CUADRO No. 1 COMPONENTES PRINCIPALES  
DEL CEMENTO - SUS FORMULAS  
Y PESOS MOLECULARES

<u>COMPUESTOS</u>	<u>FORMULA</u>	<u>PESO MOLECULAR</u> (gr/mol)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	228.33
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	172.25
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	270.18
Aluminio férrico tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	485.94
Silicato de calcio hidratado	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	134.19
Aluminato tetracálcico hidratado	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	560.52
Aluminio tricálcico hidratado	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	378.30
Sulfoaluminato de calcio hidratado*	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$	1237.22
Sulfoaluminato de calcio hidratado*	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	622.56

\* Etringita.

DESARROLLO DEL TEMA :

Los materiales calcáreo y arcillosos son los empleados en la fabricación de cemento. El material más importante es la caliza, que ocurre en la naturaleza en las formas de creta, caliza sedimentaria y caliza metamórfica.

Entre los materiales arcillosos se emplean principalmente la pizarra, formada por minerales arcillosos que provienen de la separación de los componentes solubles de las rocas, por intemperismo y quedando sólo los óxidos de hierro, aluminio y silicio, que son relativamente insolubles.

El yeso, como materia prima se añade al clinker, cuya función es la de controlar el fraguado del cemento, es decir su endurecimiento.

Las materias primas señaladas, son adecuadamente preparadas por trituración, molienda y mezclado, siendo calcinadas y sinterizadas a temperaturas elevadas para producir el clinker. Los consumos relativos de las materias primas pueden variar, ya que las proporciones de caliza y arcilla dependen de su composición química respectiva.

COMENTARIOS :

Se conocen dos métodos para la fabricación de cemento portland: el seco y el húmedo. El proceso húmedo es poco utilizado ya que produce un alto gasto de combustible y de energía eléctrica. Por esta razón se describe únicamente el proceso seco, que es el más común, y el más económico.

OBSERVACIONES :

DESARROLLO DEL TEMA :

El proceso de fabricación del cemento portland se inicia con la explotación adecuada de los yacimientos de materias primas. El mineral es triturado para reducir su tamaño, principalmente los materiales calcáreos, ver diagrama No.1.

El material triturado, es almacenado y luego se alimenta a los molinos de crudos para su molienda. El material crudo que sale de los molinos, pasa a ser clasificado, separándose los finos de los gruesos. Esto se realiza por clasificación neumática y su función es optimizar el proceso de molienda. Los gruesos obtenidos son alimentados nuevamente al molino, mientras que el material fino es bombeado hasta los silos homogeneizadores y de aquí a los silos de almacenamiento o depósitos.

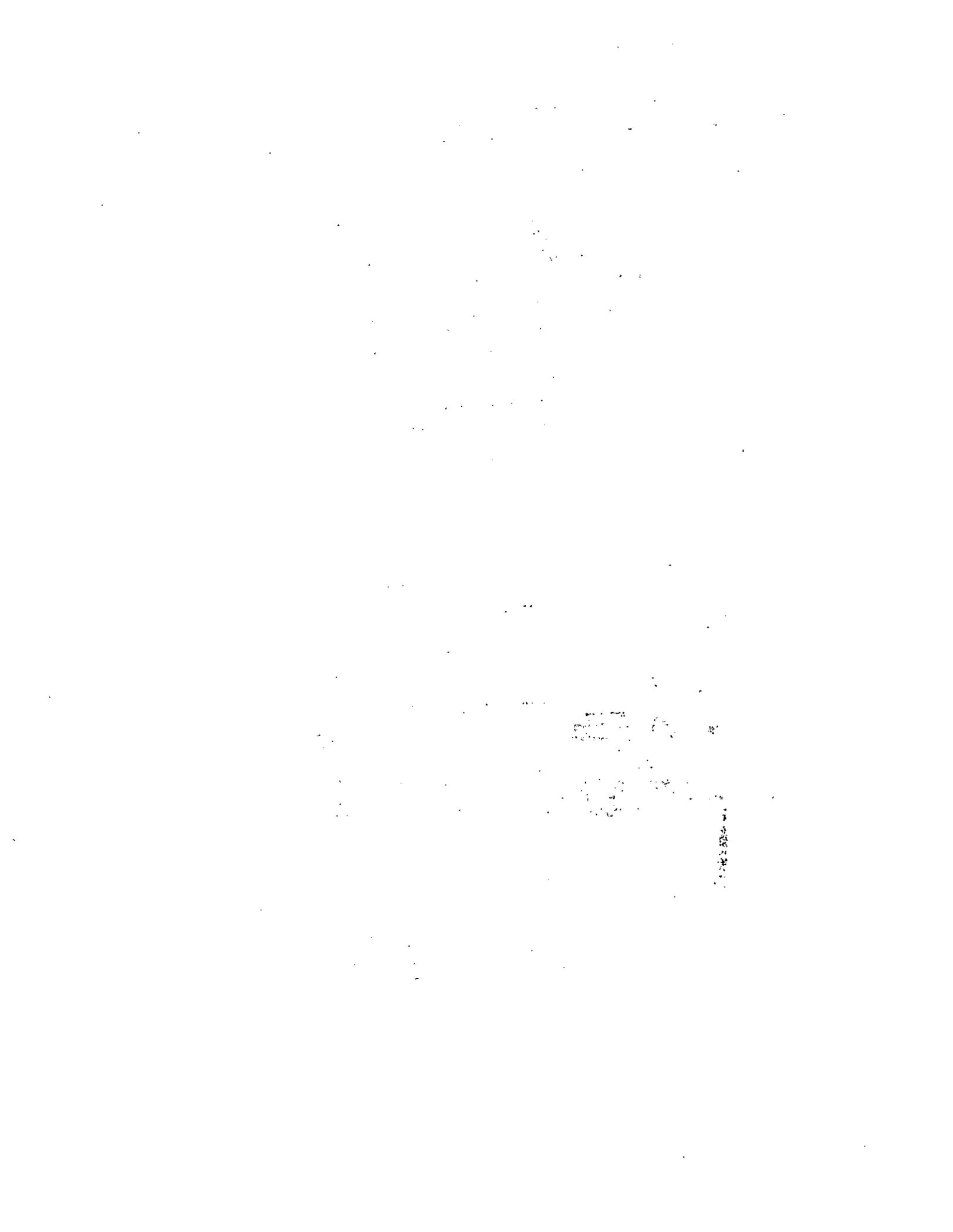
La mezcla de crudo es alimentada desde los silos hasta el horno, para su calcinación. Esta es la etapa más importante, de la fabricación del cemento, ya que aquí es donde se forman los compuestos potenciales.

En el proceso de calcinación se produce una combinación casi total del CaO, de la descarbonatación de la caliza, con los óxidos : férrico, de aluminio y de silicio de la arcilla. Un buen proceso de calcinación normalmente produce un contenido de CaO libre menor del 1.5 %.

COMENTARIOS :

La clasificación según el tamaño de la partícula, realizada en el separador, se basa en el principio de decantación o ley de Stokes.

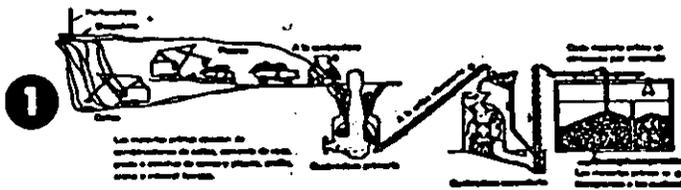
OBSERVACIONES :



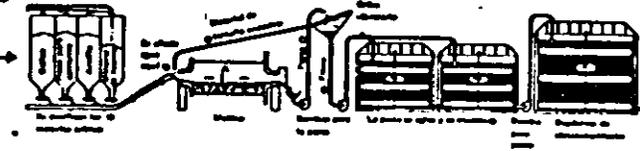


Este diagrama de operaciones muestra los procesos de la fabricación del cemento Portland

PRIMERO SE REDUCE LA PIEDRA A UN TAMAÑO DE 3 PULGADAS, LUEGO A 1/4 DE PULGADA, Y SE ALMACENA



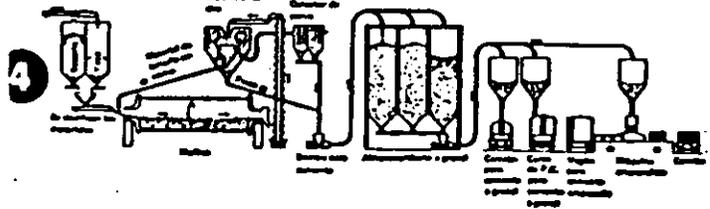
LAS MATERIAS PRIMAS SE MUELEN HASTA PULVERIZARSE Y SE MEZCLAN



EL CALOR CONVIERTE, POR REACCIONES QUÍMICAS, A LAS MATERIAS PRIMAS EN ESCORIA DE CEMENTO



LA ESCORIA A LA QUE SE HA AÑADIDO YESO SE MUELE FORMANDO EL CEMENTO PORTLAND QUE SE ENBARCA



DESARROLLO DEL TEMA :

El clinker producido es enfriado en mesetas o parrillas, por una corriente de aire. El clinker ya frio se deposita en patios de almacenamiento, para luego ser pasado a los molinos de cemento.

El clinker frio es molido con yeso, en molino de bolas. La rotación del molino hace que las bolas al caer compriman y friccionen la carga del clinker y yeso, que se alimenta por un extremo y se descarga por el otro.

La molienda de la mezcla de clinker y yeso es similar a la del crudo: el material fino o producto, es transportado los silos de cemento, utilizando bombas neumáticas Fuller, o de banda. De los silos pasa a las máquinas envasadoras para su comercialización.

COMENTARIOS :

El clinker es un mineral sintético, formado por los minerales calcinados.

Los cementos puzolanicos, de escorias de altos hornos y los de cenizas volantes, son producido de una manera similar al portland tipo I; la única diferencia es que estos materiales se adicionan al clinker conjuntamente con el yeso para su molienda y ser producido estos cementos.

El cemento portland de color blanco, se considera tipo I o tipo III; pues su diferencia con el gris es la utilización de una arcilla (caolin), con bajo contenido de óxido de hierro.

OBSERVACIONES :

DESARROLLO DEL TEMA :

Existen 5 tipos de cementos portland, de acuerdo a su composición química estos son :

- 1- Tipo I, común o normal.
- 2- Tipo II, resistencia moderada a los sulfatos.
- 3- Tipo III, de alta resistencia a edad temprana.
- 4- Tipo IV, de bajo calor de hidratación.
- 5- Tipo V, de resistencia elevada a los sulfatos.

El cemento portland blanco se suele clasificar como tipo I o III. El Portland tipo I es de usos generales; éste se caracteriza por su alta resistencia mecánica y no debe ser usado en sitios propensos a la corrosión por sulfatos o donde el calor producido por su hidratación cause una elevación apreciable de temperatura.

El tipo II es utilizado en obras hidráulicas, es decir en las estructuras de drenaje o en presa por su bajo calor de hidratación; mientras que el tipo III se utiliza en clima frío o cuando se desee disminuir un elemento en poco tiempo. El tipo IV se usa en lugares donde se requiere un bajo calor de hidratación, además genera una resistencia muy inferior a los otros portland; éste se destina para estructuras de concreto masivo. Para túneles, alcantarillas, aguas subterráneas con alta concentraciones de sales se usa el tipo V; Ver cuadro No.2.

COMENTARIOS :

Existen otros cementos los cuales se le suele llamar especiales; éstos contribuyen al ahorro de energía, o de alta resistencia química.

OBSERVACIONES :

CUADRO No.2 EJEMPLO DE COMPOSICION DE LOS 5 TIPOS  
DE CEMENTO PORTLAND  
(%)

Compuestos*	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
$C_3S$	48	44	<u>51</u>	30	46
$C_2S$	22	29	16	<u>46</u>	32
$C_3A$	10	6	<u>12</u>	5	<u>3</u>
$C_4AF$	8	11	7	13	12
Suma	88	90	86	94	93

(\*)

- $C_3S$  = Silicato Tricálcico.  
 $C_2S$  = Silicato Dicálcico.  
 $C_3A$  = Aluminato Tricálcico.  
 $C_4AF$  = Ferroaluminato Tetracálcico.

DESARROLLO DEL TEMA :

Entre estos podemos señalar los siguientes :

- 1- Cemento Pozolánico.
- 2- Cemento de Escorias de alto horno.
- 3- Cemento de Albañilería.
- 4- Cemento de Cenizas Volantes.
- 5- Cemento con alto contenido de Alúmina.
- 6- Cemento para pozos Petroleros.
- 7- Cementos inclusores de Aire.
- 8- Cementos Expansivos.
- 9- Cementos Portland impermeabilizados.
- 10- Cementos Plásticos y de Fraquado Regulado.
- 11- Cementos con adiciones Funcionales.

COMENTARIOS :

En la ASTM C 150, aparecen las especificaciones para los tres tipos de cemento inclusor de aire( tipo IA, IIA, y IIIA): Para Portland Cement Association considera cementos especiales a los señalados más arriba con los números: 6, 8, 9, 10, y 11.

OBSERVACIONES :

DESARROLLO DEL TEMA :

Al mezclar el cemento con agua se forma una pasta cuya consistencia es plastica, fácilmente moldeable, tendiendo a perder esta propiedad a medida que pasa el tiempo y llegando finalmente al estado sólido. Esta transformación que sufre el cemento o pasta inicial se conoce como fraguado.

Quizás se deba a Lavoisier el primer estudio cuidadoso, del endurecimiento de los morteros; mientras que Vicat extendió su idea al fraguado general de todos los tipos de cementos que tratados con agua producen un material duro y resistente. Además afirmó que el fraguado y endurecimiento tienen lugar por una reacción entre el agua y la cal ( $\text{CaO}$ ) u otro material para formar un hidrato.

En el año de 1887, Le Chatelier explica claramente el proceso de endurecimiento de los cementos, a través de la hidratación; según este el endurecimiento o resistencia final de la masa fraguada depende de la cohesión de los cristales y de su mutua adherencia entre ellos.

En conclusión, dos teorías sobre el endurecimiento del cemento han sido presentadas: la de hidratación de Le Chatelier y, otra, sobre coloides definida por Michaelis.

COMENTARIOS :

Arbitrariamente se utilizan los términos de fraguado inicial y final para indicar el inicio y final de las reacciones de hidratación, pero el término de fraguado únicamente se refiere al cambio de estado viscoplástico al estado rígido.

OBSERVACIONES :

## DESARROLLO DEL TEMA :

Las reacciones de hidratación involucran de manera diferente a los constituyentes del cemento. La hidratación del C3S produce una cantidad moderada de calor, estando la velocidad de hidratación controlada por el espesor de la capa de silicato cálcico hidratado. A medida que el grosor de esta capa crece, disminuye la velocidad de la reacción.

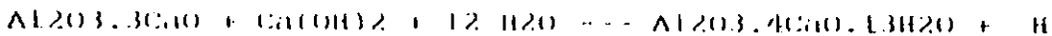
La hidratación del C3S, contribuye a la resistencia del cemento a edades cortas. La reacción del C3S es :



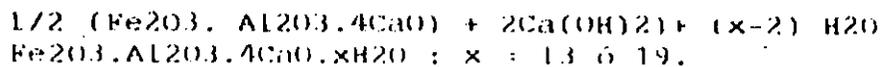
El C2S, tiene una hidratación más lenta que el C3S, contribuye a la resistencia tardía; es decir posterior a los 28 días. Esta hidratación incluye parte del C3S, que a esta edad aún no ha sido hidratado; la reacción es la siguiente:



El C3A se hidrata más rápidamente que los silicatos mencionados, produciendo una gran cantidad de calor de hidratación; las reacciones son las siguientes :



La hidratación del C4AF casi no contribuye con la resistencia mecánica; el producto final de dicha reacción es análogo a la del C3A. La reacción es como sigue:



## COMENTARIOS :

Los silicatos hidratados se abrevian como CSH. Su nombre mineralógico es Tobermorita o gel de Tobermorita.

## OBSERVACIONES :

DESARROLLO DEL TEMA :

Si se muele el clinker sin la adición de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), y se mezcla con agua, el C3A presente en el clinker reacciona rápidamente, desprendiendo una gran cantidad de calor. La mezcla se consolida de una manera irreversible, seguida de un fraguado al que se le llama instantáneo.

Mientras que el falso fraguado es originado por la presencia de un yeso deshidratado o semihidratado: la presencia de anhídrita (yeso deshidratado), y el semihidratado en el cemento poseen una gran solubilidad, inclusive mayor a la del yeso, esto solamente cuando ambos están mezclados.

Al mezclarse con agua la anhídrita y el semihidratado producen soluciones supersaturadas en relación con el yeso; produciendo en este estado un gran depósito de yeso, lo que con el remezclado permite romper el falso fraguado.

La deshidratación del yeso se produce durante la molienda, del clinker; pues a veces la temperatura en el molino puede llegar hasta 150 °C, además de que el clinker puede estar algo caliente. No obstante los molinos de cemento poseen en el segundo compartimento una espesa de agua la cual funciona de una manera automática, con la finalidad de disminuir la temperatura y evitar el problema del falso fraguado.

COMENTARIOS :

El falso fraguado es un endurecimiento prematuro de una pasta de cemento, lo cual puede eliminarse mediante remezclado de la pasta; esta variable física elimina la trabajabilidad de la pasta o del mortero.

OBSERVACIONES :

$F'$  = Finura del cementante expresado como porcentaje corregido que paso por la malla.

$R_c$  = Residuo corregido en porciento.

$R_m$  = Residuo de la muestra retenido en la malla No.325 expresado en g. (0.088 g).

$F$  = Factor de corrección del Tamíz, el cual puede ser negativo o positivo ( + 31.2 % ).

## DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE CEMENTANTES HIDRAULICOS

Se entiende por peso específico de los cementantes hidráulicos, la relación del peso del cementante en gramos entre el volumen en mililitros que desplaza al introducirse en un líquido; con el cual no se efectúa reacción química alguna.

Para la determinación se utiliza el frasco de lechatelier y el líquido recomendado es Kerosina, petróleo diáfano, con peso específico no menor de 0.730 g/ml.

Procedimiento.- Se llena el frasco con el líquido al nivel comprendido entre cero y un mil; la parte superior del frasco deberá secarse en caso necesario. La primera lectura se efectuará después de ajustarse la temperatura introduciendo el frasco en agua para que la temperatura del líquido no tenga variaciones de 0.2°C.

Se pesa aproximadamente 60g de cementante con una aproximación de 0.1g y se introduce en pequeñas porciones en el lechatelier estando éste a temperatura del laboratorio; se evitará que el cementante se pegue a las paredes interiores del cuello superior del frasco y tener cuidado de eliminar el aire que haya sido atrapado para esto se le pone el tapón al frasco y tomándolo con ambas manos se hace girar dándole una inclinación o bien dándole unos golpecitos girándolo en una superficie plana que lo protege de la ruptura.

La segunda lectura se deberá tomar estando el líquido en la parte graduada superior y después de sumergir el frasco en baño de agua durante un tiempo

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE CEMENTANTES HIDRAULICOS

suficiente para estabilizar la temperatura.

CALCULOS:

La diferencia entre el volúmen inicial y final representa el volúmen desalojado por el peso del cementante empleado en la prueba.

El peso específico se calcula como sigue:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso del cementante en gramos}}{\text{Volúmen del líquido desplazado, en ml.}}$$

Dos determinaciones del peso específico para la misma muestra no deben diferir en más de 0.01.

DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO POR MEDIO DEL TAMIZ No.325

circular, luego se enjuaga con agua destilada y se seca en una placa metálica de bajo calor o en una estufa a  $100 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ; una vez seca se pesa y se realizan los cálculos teniendo en cuenta el factor de corrección el cual puede ser negativo o positivo y particular para cada Tamíz.

DETERMINACION DEL FACTOR DE CORRECCION DEL TAMIZ.

Residuo en la malla No.325 de la muestra estandar. (No. 114). 12.2 %

Residuo para un gramo de la muestra 0.122 g

Residuo en el Tamíz que se esta calibrando 0.093 g

Diferencia + 0.029 g

$$\text{Factor de corrección} = + \frac{0.029}{0.093} \times 100 = + 31.18\% = + 31.2\%$$

$$\text{Factor de corrección} = 31.2\%$$

CALCULOS:

$$R_c = R_m (100 + C) = 0.088 \text{ g} (100 + 31.2) = 11.5 \%$$

$$F = 100 - R_c = 100 - 11.5 = 88.5\%$$

DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO POR MEDIO DEL TAMIZ No.325

TAMIS No. 325.- Esta constituido con malla tejida de latón, bronce y otro alambre adecuado y montado sin distorsión en un marco de aproximadamente 1 cm. arriba de la parte inferior.

El marco debe ser circular con 5 cm. de diámetro o 2 pulgadas más menos 6.25 mm; la altura debe de ser de  $75 \pm 6.25$  mm.

El factor de corrección de la malla es la diferencia entre la cantidad del residuo obtenido y la cantidad de residuo indicado por la finura específica de la muestra patrón expresado como porcentaje del primer residuo.

PROCEDIMIENTO.- Se pone una muestra de cemento de un gramo en el Tamíz limpio y seco, se le aplica un chorro de agua suavemente para humedecer la muestra sin provocar proyecciones y después ajustar la presión de trabajo (el chorro de agua es por medio de una regadera de material no corrosivo al agua cuyo diámetro será de 17.46 mm. exterior y con una serie de perforaciones en forma de cruz con eje en el centro y otra línea de perforaciones intermedios conformando eje también con el centro, entre cada perforación y estos a la vez formando un círculo cuyo diámetro es de perforación a perforación 6mm. de centro a centro y en el segundo círculo con ocho perforaciones la distancia de perforación a perforación y de centro a centro será de 11.1 mm., cada perforación será de 0.5mm. de diámetro).

El chorro de agua debe ser de una presión de (1 lb/in<sup>2</sup>) 0.7 kg/cm<sup>2</sup> y se le aplicará durante un minuto al Tamíz con el cemento dándole un giro en forma

TIEMPOS DE FRAGUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT.	
---	--

el borde afilado de la regla metálica quite el exceso formando un ángulo pequeño son respecto a la parte superior de la superficie del anillo, teniendo cuidado de no comprimir la pasta durante la operación de corte y alizado.

Coloque la pasta confinada bajo la varilla movable del Vicat de tal manera que la varilla quede en contacto con la superficie de la pasta, entonces colóquese el indicador movable en cero y dejese caer la varilla exactamente 30 segundos después de haber terminado el mezclado, el aparato estará libre de vibraciones durante la penetración, se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando la varilla se asiente  $10 \pm 1$  mm. debajo de la superficie original en un lapso de 30 segundos. Hagase pastas de tanteos variando el porcentaje de agua hasta obtener esta consistencia.

La pasta así obtenida se utiliza para hacer las determinaciones de los tiempos de fraguado por el método de Vicat o el de Gilmore y se emplea también para hacer las barras para la determinación de expansión acelerada por el método de autoclave.

TIEMPOS DE FRACUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT.

expresado como por ciento de la longitud efectiva de medición.

El porcentaje de incremento en longitud será reportado como expansión en autoclave y con signo positivo (+), la disminución en longitud será indicada con el signo menos (-) antepuestos ambos antes del valor en por ciento.

AGUA DE CONSISTENCIA NORMAL.

Es el agua necesaria para que 500 g. de cemento nos des una pasta de consistencia normal, y es el estado ideal para que una pasta de cemento sea moldeable, y en el aparato Vicat nos de una penetración de  $10 \pm 1$  mm.

La pasta se obtiene mezclando el cemento en la mezcladora, procedimiento:

Se pone el agua, se agrega el cemento y se deja en reposo durante 30 segundos en seguida se empieza el mezclado en la primera velocidad durante 30 segundos, pasado este período se pasa lo mezclado y con una espátula de hule se baja todo el cemento que se haya pegado con la agitación en la parte superior de la olla, esta operación debe efectuarse en un lapso de 15 segundos inmediatamente se cambia a segunda velocidad y se inicia el mezclado por un período de un minuto, cuando se termino el mezclado con las manos protegidas con guantes de hule, se forma una bola la cual se pasa de una mano a otra, estando separadas las manos a unos 15 cm; la bola (de cemento) se introduce en el molde tronco-cónico por un diámetro mayor del aparato de Vicat llenando totalmente el molde y el sobrante se elimina con un movimiento simple de la palma de la mano. Coloque el anillo sobre su diámetro mayor en la placa de vidrio y con

Peso de la barra con la esfera mayor 442.7 g

Con una pasta preparada con el agua de la consistencia normal se elabora una pastilla en la placa de vidrio o no absorbente y se mete al cuarto húmedo, a los 30 minutos se empiezan hacer lecturas o penetraciones con la esfera menor, hasta que esta visiblemente no deje huella en la pasta, en este momento se considera el tiempo de fraguado inicial, después de 30 minutos del fraguado inicial se empiezan hacer lecturas con la esfera mayor hasta que la punta no deje huellas visibles en la pasta. Entonces en ese momento es el tiempo de fraguado final.

#### EXPANSION EN AUTOCLAVE DE CEMENTO PORTLAND.

Este método de ensaye pretende determinar la sanidad del cemento Portland por medio de un ensaye en autoclave de un espécimen de cemento limpio.

**AUTOCLAVE.-** La autoclave consistirá de un recipiente con vapor de alta presión, equipado con una válvula de seguridad y además contará con una válvula de desfogue para poder permitir el escape de aire durante la parte inicial del período de calentamiento y para liberar cualquier cantidad de vapor a presión que permanezca al final del período de enfriamiento. El manómetro tendrá una carátula de diámetro nominal de 114 mm. y estará graduado de 0 a 42.2 kg/cm<sup>2</sup> de 0 a 600 lb/pulg.<sup>2</sup> con divisiones de no mas de 0.35 kg/cm<sup>2</sup> o 5 lb/pulg.<sup>2</sup>. La temperatura de trabajo en el autoclave será de 215°C y una presión de 20.7 ± 10 lb/pulg.<sup>2</sup> y para la formación del vapor se agregó 7 a 10 por ciento del

TIEMPOS DE FRAGUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT.

volúmen del autoclave.

Los moldes serán de 2.5 cm X 2.5 cm (1" por 1") de sección transversal y una longitud de 10 pulgadas 25.4 cm medido de la parte donde terminan los índices

La pasta de cemento consiste en 500 g, de cemento con agua suficiente para dar una pasta de consistencia normal y será mezclado de acuerdo al método de mezclado de pastas.

Obtenida la pasta se procede al llenado de moldes, estos serán moldeados en dos capas aproximadamente iguales, se compacta cada capa con los dedos pulgares o índices presionando las pastas en las esquinas, alrededor de los índices y a lo largo de la superficie del molde hasta que se obtenga un espécimen homogéneo, se lisa la parte superior del molde con la llana o regla metálica, durante esta operación las manos estarán protegidas con guantes de hule después de moldeados se colocan en el cuarto húmedo o gabinete a las 24 hs. + 30 minutos se desmoldan, se miden y se colocan en una canastilla para que todos estén expuestos al vapor saturado, después de permanecer tres horas en condiciones de trabajo antes mencionado se apaga el autoclave y deja enfriar, cuando se haya enfriado por la válvula de desfogue se elimina el resto de vapor que haya quedado dentro del autoclave se destapa y se sacan las barras y se introducen en un recipiente, ya preparado con agua caliente a 90°C se introducen y dejan ahí 15 minutos después de los cuales se le agrega agua fría al recipiente hasta que llegue la temperatura del agua fría, después de 15 minutos de permanecer en ese medio se sacan y se miden en el comparador; si la diferencia de la longitud de los especímenes de ensaye antes y después del proceso en el autoclave será

TIEMPOS DE FRAGUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT	
--	--

émbolo el cual se pondrá en contacto con la pasta de cemento, ahora colóquese el indicador móvil en la marca cero y dejese caer la varilla exactamente 30 segundos después de haber completado el mezclado. El aparato debe estar libre de vibraciones durante el ensaye. Se considera que la pasta tiene una resistencia adecuada cuando la varilla penetra  $32 \pm 4$  mm debajo de la superficie original en 30 segundos para la penetración inicial, después de completar la lectura inicial remuevase el émbolo de la pasta, límpiase y colóquese nuevamente el anillo y la placa en una nueva posición, entonces pongase nuevamente el émbolo en contacto con la superficie de la pasta apriete el tornillo y colóquese el indicador móvil en la marca cero de la escala, déjese caer el émbolo por segunda vez cinco minutos después de haber transcurrido el período de mezclado; se determina la penetración final 30 seg. después de que el émbolo se ha dejado caer.

El informe mostrará el porcentaje de penetración como sigue:

$$\% \text{ DE PENETRACION FINAL} = \frac{\text{Penetración final} \times 100}{\text{Penetración inicial}} = \%$$

TIEMPOS DE FRAGUADO POR EL METODO DE GILMORE.

Esta Norma establece el método para determinar los tiempos de fraguado con la del Gilmore, que debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

Peso de la barra con esfera pequeña 113.4 f

TIEMPOS DE FRAGUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT

determina la penetración de 25 mm; y que corresponde al tiempo de fraguado inicial; el tiempo de fraguado final es aquel en el que la misma aguja no penetre visiblemente en la pasta.

FRAGUADO FALSO DE CEMENTO PORTLAND (METODO DE PASTA).

FRAGUADO FALSO.- Es el desarrollo rápido de rigidez en una mezcla de pasta de cemento portland, mortero o concreto, sin la evolución de mucho calor, esta rigidez puede ser disipada y la plasticidad mediante mezclado posterior sin adición de agua.

PROCEDIMIENTO.- Se pesan 500 g. de cemento con suficiente agua para producir una pasta de cemento que colocada en tronco cónico rígido del VICAT de una penetración la barra del aparato VICAT de  $32 \pm 4$  en un periodo de 30 segundos. El mezclado se hace siguiendo el procedimiento para mezclado de pasta solo que al final en lugar de ser un minuto serpa de 2 minutos 30 segundos. Una vez obtenida la pasta de cemento formese una bola con las manos protegidas con guantes de hule, se presiona la bola que descansa en la palma de la mano dentro del diámetro mayor del anillo cónico, deteniendose con la otra mano, llenando completamente el anillo con la pasta, remuevase el exceso de pasta en el extremo mayor por medio de un movimiento simple de la palma de la mano. Coloque el anillo sobre la placa de vidrio y quitesse el exceso de pasta de la parte superior del anillo por medio de la cuchara o regla metálica ligeramente inclinada con respecto a la superior del anillo y a la vez tratando de alizar teniendo cuidado de no comprimir la pasta, coloque la pasta confinada bajo la varilla del VICAT a una distancia de un tercio de borde de anillo, apriete el

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO  
(USANDO ESPECIMENES CUBICOS DE CINCO CENTRIMETROS 2")

LA TOLERANCIA PERMISIBLE ES:

<u>EDAD DE ENSAYE</u>	<u>TOLEANCIA PERMISIBLE</u>
24 Horas	+ 1/2 Hora
3 Días	+ 1 Hora
7 Días	+ 3 Horas
28 Días	+ 12 Horas

TIEMPOS DE FRAGUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT	
--	--

Esta Norma establece el método para determinar el tiempo de fraguado de una pasta de cementantes hidráulicos, midiendo su resistencia a la penetración de la aguja de vicat.

PREPARACION DE LA PROBETA:

Se mezclan 500 g de cemento con el porcentaje de agua de mezclado, obtenido al determinar el agua de consistencia normal y de acuerdo al método para mezclado de pastas, obtenida la pasta y con las manos enguantadas se forma la pelotita y se introduce la pasta hidráulica al anillo por su parte del diámetro mayor se llena y el sobrante de la pasta sobre la base mayor se quita mediante un movimiento simple de la palma de la mano se coloca sobre la placa de vidrio y el sobrante se elimina como la cuchara inclinada ligeramente sobre la base superior si es necesario se alisa la superficie sin presionar la pasta una vez hecha la probeta se coloca en la cámara húmeda, después de 30 min. de haber permanecido en estas condiciones, se le determina la la. lectura con el agua, hasta obtener una penetración de 25 mm o menor para la determinación de la penetración, se baja la aguja hasta que quede en contacto con la superficie de la pasta, se fija el tornillo que sujeta la barra y se coloca el indicador en cero de la escalera o se toma una lectura inicial; se afloja el tornillo que sujeta la barra para que esta quede suelta y a los 30 seg. se hace la lectura, si la pasta se encuentra muy plástica en las penetraciones iniciales, las lecturas con la barra deben retardarse para evitar que pueda doblar la aguja. Las penetraciones o lecturas no deben tomarse a una distancia menor de 6 mm una de otras y ninguna de ellas se hará a una distancia menor de 9 mm de la parte interior del molde, se registran todas las texturas de las penetraciones y por interpolación se

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO  
(USANDO ESPÉCIMENES CUBICOS DE CINCO CENTRIMETROS 2")

Las proporciones de los materiales secos con los cuales se fabrican los morteros estandar serán una parte de cemento y 2.75 partes de arena, el agua para los cementos tipo I, II y V será constante de 0.485 en peso y para los III, y Puzolanico será la necesaria para obtener una fluidez de  $110 \pm 5$  determinada en la plancha de fluidez. Se hacen varios morteros con diferentes cantidades de agua hasta obtener la fluidez deseada.

Con la mezcla o mortero ya elaborado se coloca una capa de mortero mas o menos de 2.5 cm de espesor en todos los compartimientos de los moldes utilizados, apisonarse el mortero en cada compartimiento cúbico 32 veces en aproximadamente 10 segundos y en cuatro etapas. Cada etapa deberá formar ángulos rectos con la otra y consistirá de ocho golpes adyacentes sobre la superficie del espécimen, la presión de apisonado será justamente la suficiente para asegurar un llenado uniforme de los moldes terminada la 1era. capa, termínese el llenado con la 2da. capa apisonese y enrasese con la cuchara casi totalmente inclinada, inmediatamente después de compeltar el moldeado, coloquese los espécimenes en el cuarto o gabinete húmedo durante un lapso de 24 horas si se desmoldan antes conservese en los anaqueles de cuarto húmedo hasta que cumplan las 24 horas y después sumerjanse en agua los espécimenes que no se vayan a probar, estos permaneceran en inmersión hasta que les toque el ensaye.

La carga se aplicará en las caras que hayan quedado con las caras planas del molde; se registrará la carga y se determina la resistencia a la compresión y se reporta el promedio del espécimen ensayado, y no se toma en cuenta los que esten defectuosos y que su valor sea menor del 10% del promedio.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO  
(USANDO ESPECIMENES CUBICOS DE CINCO CENTRIMETROS 2")

**MOLDES PARA LOS ESPECIMENES.**- Los moldes serán de un material duro que no sea atacado por el mortero de (2") cinco cm. las caras interiores de los moldes serán superficies planas y no tendrán mas de 3 compartimientos cúbicos y podrán separarse en no más de dos partes.

**REVOLVEDORA.**- (batidora).- recipiente (olla) y paleta.- Se usará una revolvedora mecánica accionada con un motor eléctrico, una paleta y un recipiente para la mezcla según método de mezclado mecánico de morteros de cemento hidráulico de consistencia plástica.

**MESA DE FLUIDEZ o DE FLUJO.**- Es para determinar la fluidez de acuerdo al método especificado en la NOM-C-85 vigente.

**APISONADO.**- El apisonador se fabricará con material no absorbente, no abrasivo y no frágil, puede ser un compuesto de hule que tenga una dureza shore "A" de  $80 \pm 10$  y tendrá una sección transversal de 12.7 mm. x 25.4 mm. y una longitud conveniente de ensayo.

**MAQUINA DE COMPRESION.**- El apoyo superior tendrá asiento esférico. La humedad relativa del laboratorio no será menor de 50%, en cuarto de humedad conservará una humedad relativa no menor de 90% y una temperatura de 23°. (más menos 2° C).

La arena usada para eleborar los espécimenes de ensaye será natural de sílice de altura graduada.

"DETERMINACION DE LA FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS"  
(METODO DE PERMEABILIDAD AL AIRE)

E = Porosidad deseada de capa de cemento ( $0.500 \pm 0.005$ )

Teniendo el peso de la muestra, se pesa la cantidad con aproximación de 0.001 g, y se coloca en la celda, colocando un disco de papel filtro sobre el disco de metal y sus orilla se presionan con el émbolo de madera, ya colocada la muestra de cemento se dan unos golpecitos en los lados de la celda con el fin de poner a nivel la capa de cemento, sobre esta se coloca otro disco de papel filtro y se comprime el cemento con el émbolo del aparato, hasta que el collarin asiente en la parte superior de la celda se saca el émbolo con lentitud y se gira aproximadamente  $90^\circ$  y se vuelve a oprimir en cada determinación se deben usar discos de papel filtro nuevos. La celda se coloca en el tubo del manómetro y el aire contenido en la rama donde esta colocada la celda se elimina el aire lentamente hasta que el líquido alcance la marca más alta, luego se cierra la llave, se pone en marcha el cronómetro en el momento en que el fondo del menisco del líquido en el manómetro llegue a la segunda marca y se detiene en el momento en que la parte baja del menisco llegue a la tercera marca; se registra el tiempo medido en segundos y se aplica la fórmula que generalmente ya se determino una constante la cual se multiplica por la raíz cuadrada del tiempo, se considera concreto el valor cuando dos determinaciones no defieran del 2% en caso contrario se repite hasta satisfacer esta condición, si en cuatro determinaciones no se obtiene dicha aproximación se debe revisar procedimiento y el aparato.

"DETERMINACION DE LA FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS"  
(METODO DE PERMEABILIDAD AL AIRE)

El disco debe ser de metal inoxidable y tener un espesor de  $0.9 \pm 0.1$  mm y de 30 a 40 perforaciones de 1 mm, de diámetro, distribuidos simétricamente en la superficie del disco que debe ajustar perfectamente. El émbolo debe ser de acero inoxidable y ajustar en la celda con la holgadura de 0.1 mm su parte inferior es plana con sus aristas en escuadra formando un ángulo recto con su eje principal, debe tener escape de aire en el centro o en la orilla y en la parte superior una corona o collarín que no permita que penetre más el émbolo, la cama en donde coloca el cemento mide  $15 \pm 1$  mm de altura. El papel filtro debe ser textura media y del mismo diámetro del interior de tubo. El manómetro consta de un tubo de vidrio en forma de "U" de 9 mm de diámetro nominal exterior, con un brazo lateral en donde se le coloca una llave que haga un cierre hermético a una distancia no mayor de 50 mm de la rama del manómetro. El líquido para el manómetro debe ser butil 1-2, bencen-dicarboxilo o bien un aceite mineral delgado, el manómetro se llena hasta la marca inferior, el líquido no debe ser volátil ni higroscópico.

El peso de la muestra debe ser el que se requiera para lograr una capa de cemento que tenga una porosidad de  $0.500 \pm 0.005$  y se calcula como sigue:

$$P = D:V (1 - E)$$

P = Peso de la muestra, en gramos

D = Densidad de la muestra de prueba (se considera 3.15 para c.p.)

V = Volúmen de la capa de cemento, en cm<sup>3</sup>

"DETERMINACION DE LA FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS"  
(METODO DE PERMEABILIDAD AL AIRE)

Es el método para la determinación de la finura de los cementantes hidráulicos, en terminos de la superficie específica expresada en  $\text{cm}^2$  x gramo de cementante, por medio de la permeabilidad que presenta una muestra de cementante al paso de aire.

Se define superficie específica, como al área total expresada en  $\text{cm}^2$  por gramo de cementante.

Para la determinación se utiliza al aparato Blaine, consta esencialmente de una serie de dispositivos que tiene por finalidad hacer pasar el aire, a través de una capa preparada de cementante de porosidad definida. El número y tamaño de los poros esta en función del tamaño de las partículas contenidas en la capa del cementante y se determina la velocidad del paso del aire a través de dicha capa.

**CELDA DE PERMEABILIDAD:**

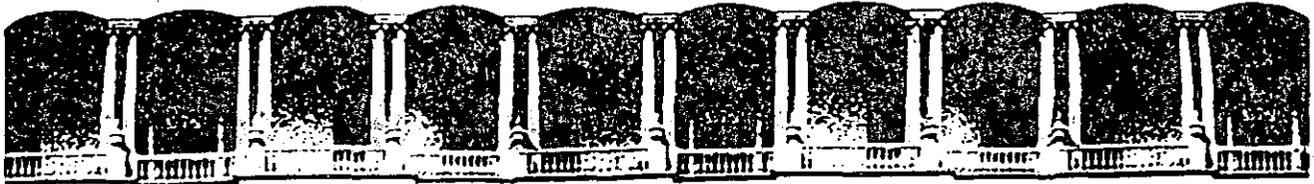
Consiste en un cilindro rígido, de vidrio o de metal inoxidable que no se amalgame con el mercurio, con diámetro interior de  $12.7 \pm 1$  mm; la parte superior de la celda esta dispuesta en ángulo recto con respecto al eje de la misma. La parte inferior de la celda debe ajustar herméticamente con la parte superior del manómetro, en la parte interior de la celda y a  $50 \pm 15$  mm, de la parte superior, se encuentra un reborde de 0.5 a 1 mm, de ancho para soportar el disco metálico perforado.

## APARATO DE VICAT

El cual consiste en un armazón, A, que lleva una barra móvil, B, la cual pesa 300 g y en uno de sus extremos, C, su diámetro es de 10 mm, con una longitud mínima de 50 mm, el otro extremo lleva una aguja de penetración de D, un mm. de diámetro y una longitud de 50 mm, la barra B es reversible y puede colocarse en cualquier posición por medio del tornillo, E, tiene un indicador ajustable, F, el cual se mueve a lo largo de la escala graduada en mm, que va fija en el armazón A, la pasta se coloca dentro de un anillo tronco cónico rígido, G, que descansa sobre una placa cuadrada, lisa y no absorbente, H, de 10 cm, por lado aproximadamente.

El anillo debe ser de un material inoxidable e impermeable, con un diámetro interior en la parte inferior de 7 cm, y 6 cm en la base superior y con una altura de 4 cm.

El aparato de vicat se utiliza para la determinación de consistencia normal fraguado falso y tiempos de fraguado.



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

NOVIEMBRE 1992.

**CURSO:** CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO.

**TEMA:** CARACTERISTICAS DE MATERIAS PRIMAS.

**SUBTEMA:** AGREGADOS PARA CONCRETO.

**OBJETIVO:** PRESENTAR EL CONOCIMIENTO BASICO DE LAS CARACTERISTICAS  
Y PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS, PARA EMPLEARLAS EN LA  
SELECCION Y APLICACION ADECUADA EN LA PRODUCCION DE  
CONCRETO HIDRAULICO.

JORGE DAVILA RAMIREZ.

COMITE TECNICO AMIC.

AGREGADOS

OTROS NOMBRES: ARIDOS O AGLOMERANTES.

CLASIFICACION: EN DOS TIPOS COMUNES

- FINOS: Arenas
- GRUESOS: Grasas, escorias de altos hornos, escorias volcánicas, tabique triturado, arcillas expandidas, aire en grandes proporciones, etc.

CANTIDAD EN LA QUE INTERVIENEN EN EL CONCRETO:

- EN PESO: Aproximadamente 75%
- EN VOLUMEN: Aproximadamente 70% (Ver Anexo Num. 2)

El costo de los agregados por lo general es considerablemente menor al del cemento, por lo que también de manera general no se les considera como ingredientes de primera importancia en el concreto y se pasa por alto la gran influencia que tienen en la obtención de concretos de buena calidad y en las características que de éstos pueden obtenerse.

En México, la norma que regula el uso de los agregados es la NOM-C-111.

La identificación de las propiedades características de los agregados, que influyen en el concreto como se muestra en el Anexo Num.3, está sujeta a determinaciones directas o indirectas de laboratorio.

LAS PRUEBAS O PROPIEDADES QUE CON MAYOR FRECUENCIA SE DETERMINAN EN LOS AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRAULICO SON EN NUESTRO PAIS:

1. GRANULOMETRIA
2. GRAVEDAD ESPECIFICA
3. PESO UNITARIO
4. ABSORCION
5. HUMEDAD SUPERFICIAL
6. SOLIDEZ O SANIDAD
7. RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA ABRASION
8. LIMPIEZA O CONTAMINACION Y SUSTANCIAS DELETEREAS
9. DUREZA DEL AGREGADO GRUESO

En su mayoría coinciden con las que el AMERICAN CONCRETE INSTITUTE recomienda para el control sistemático de la calidad de los agregados. El equipo con que se ejecutan pueda obtenerse con facilidad relativa.

LAS PRUEBAS O DETERMINACIONES QUE DE MANERA POCO FRECUENTE SE ESPECIFICAN O QUE MARCAN LIMITES QUE DEBAN CUMPLIR LOS AGREGADOS PARA CONCRETO, SON:

10. RIGIDEZ
11. RESISTENCIA A LA COMPRESION
12. MODULO DE ELASTICIDAD Y RELACION DE POISSON
13. FORMA DE LA PARTICULA
14. TEXTURA SUPERFICIAL
15. POROSIDAD
16. ESTRUCTURA DE LOS POROS
17. PERMEABILIDAD
18. CALOR ESPECIFICO
19. DIFUSIBILIDAD TERMICA
20. COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA

Determinar las propiedades que se derivan de éstas pruebas requiere del uso de equipos poco comunes y de la aplicación de técnicas de ensaye muy elaboradas, ejecutadas por personal muy bien capacitado.

De todos los métodos de prueba con que se determinan las propiedades de los agregados, algunos tienen el propósito de verificar el cumplimiento con alguna especificación y otros, para conocer las propiedades que por no existir algún acuerdo generalizado que les marque límites, pero que se considera dan orientación sobre el comportamiento que tendrán en el concreto.

La identificación del tipo de roca al que pertenece un agregado, de la formación geológica en que se presenta y de los problemas que puede tener su utilización, requiere de técnicas más o menos complicadas.

- La más simple consiste en un examen visual, con una lupa
- Normalmente se usan microscopios Estereoscópios o Petrográficos
- Pueden aplicarse técnicas tan complejas como Distracción de Rayos X
- Lo más práctico es hacerlo examinar por un Geólogo.

EL ESTUDIO PETROGRAFICO GENERALMENTE CUBRE:

- 1) La identificación del material y de sus componentes
- 2) Una recomendación sobre su posible comportamiento, basada en los antecedentes del que se ha observado en materiales similares ó, en consideraciones puramente teóricas.

Los antecedentes de comportamiento de materiales similares en apariencia, no necesariamente constituyen índices confiables del comportamiento de algún material, salvo cuando se restringen a la misma area geológica. Los análisis petrográficos solo constituyen un buen índice y la mejor referencia del posible comportamiento es o puede basarse en la experiencia de su uso.

Cuando es posible hacer análisis petrográficos, se obtiene información valiosa relativa a la presencia de componentes potencialmente capaces de provocar desintegración por reactividad alcalina o por la presencia de arcilla expansiva, así como de la textura y estructura.

EL REQUERIMIENTO MAS IMPORTANTE QUE PUEDE EXIGIRSE DE UN AGREGADO PARA CONCRETO ES:

QUE SEA DURABLE Y QUIMICAMENTE INERTE EN LAS CONDICIONES DE TRABAJO A QUE ESTARA EXPUESTO.

La reactividad potencial de un agregado de características físicas aceptables, puede volverse inofensiva utilizando cemento con bajos contenidos de alcalis o sustituyendo una parte del cemento en el concreto por un tipo específico de puzolana.

En nuestro país, es poco común efectuar análisis petrográficos, ya que se requiere de laboratorios bien equipados, que solamente las grandes instituciones pueden mantener.

En la práctica común, la selección de agregados se basa en la observación de su comportamiento en las pruebas de laboratorio que se efectúan para determinar las resistencias a compresión y flexión de los concretos que con ellos se elaboran; así como en las pruebas que se conocen como de SANIDAD.

LOS DOS PROCESOS BASICOS PARA OBTENCION DE AGREGADOS SON:

- CRIBADO y
- TRITURACION

El más simple es el de clasificación por cribado. Normalmente en nuestro país se efectua en seco.

La trituración se hace para reducir trozos de roca, escoria volcánica, escoria de altos hornos o gravas de tamaños mayores al requerido y obtener una distribución granulométrica deseada. En cualquier proceso de trituración se corre el riego de que las partículas se produzcan en formas angulosas, alargadas ó planas, poco deseables para la elaboración del concreto.

La producción de agregados puede, efectuando los dos procesos, cribado y trituración para unirlos en una mezcla, lograr que se obtengan agregados de calidad excelente.

En algunos casos, durante la producción de agregados, ya sea por cribado o por trituración, se hace necesario aplicar agua durante el proceso, para separar partículas que pueden presentarse en exceso y estar adheridas a los tamaños mayores.

Comúnmente se afirma que la forma de las partículas de los agregados triturados depende del equipo de trituración empleado para procesarlo; la experiencia indica que ésto no puede considerarse como una regla general. Un mismo equipo de trituración puede producir partículas de forma "aceptable" con un tipo de roca e inaceptable con otro.

EN EL PROCESO DE OBTENCION-PRODUCCION Y MANEJO DE LOS AGREGADOS DEBE TENERSE EN CUENTA QUE HAY QUE EVITAR LA ALTERACION CONSIDERABLE DE CARACTERISTICAS IMPORTANTES COMO SON:

- GRANULOMETRIA
- CONTENIDO DE HUMEDAD
- LIMPIEZA
- FORMA DE LAS PARTICULAS

(Ver Anexo 4)

Puede decirse de manera general, que los agregados de buena calidad son, los que tienen partículas libres de fracturas, que no se desgastan facilmente, que están bien graduados y que su forma no es plana ni alargada; que no se fracturan al humedecerse, que tienen textura superficial rugosa, que no presenten capilaridad desfavorable y que además no contengan minerales que interfieran con el proceso de hidratación del concreto o reaccionen con el cemento causando expansión.

## MUESTRAS DE LOS AGREGADOS PARA PRODUCIR CONCRETO.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-30y NOM-C-170)

El reconocimiento de las propiedades características de los agregados para concreto se realiza comúnmente en dos etapas:

- 1/a Para identificar las características geológicas, al inicio de la explotación de un yacimiento (Banco).
- 2/a Para controlar los procesos de producción, durante la explotación del yacimiento.

Esto se cubre con la obtención de muestras representativas de los agregados que pretenden emplearse y se reducen a los tamaños suficientes para efectuar la determinación de las características, de acuerdo a las especificaciones de las normas aplicables.

Las especificaciones de las normas que marcan la forma de obtener y reducir las muestras a los tamaños que cada una de las determinaciones útiles para verificar las características que de los agregados se suponen y que, son necesarias para el diseño de las mezclas de concreto que deban elaborarse cumpliendo también con requisitos normalizados, marcan por lo general las cantidades mínimas adecuadas.

Cualquier muestra más grande que las especificadas, bien tomada, puede ser más representativa del material a probar.

**CONDICIONES DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS:**

Para conocer algunas de sus características o para manejarlos de manera adecuada en la producción de concreto, hay que conocer las cuatro condiciones de humedad en que pueden estar:

1. SECADOS EN HORNO.- Completamente secos y totalmente absorbentes.
2. SECADOS EN EL AIRE.- Secos en la superficie, con alguna cantidad de humedad interior menor a la que se requiere para saturar las partículas que los integran. En esta condición son algo absorbentes.
3. SATURADOS Y SUPERFICIALMENTE SECOS.- En esta condición, ni aportan ni absorben agua del concreto. Una condición ideal.
4. HUMEDOS O MOJADOS.- La superficie de las partículas presenta humedad en exceso.

Las condiciones descritas en 1. y 3., son útiles en el laboratorio para la determinación de las características de los agregados; siendo difícil que se presenten en la producción normal de concreto.

Las condiciones descritas en 2. y 3., son las que comúnmente presentan los agregados. Su conocimiento y control favorecen la producción de mezclas, minimizando variables.

## GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-77 y NOM-C-111)

La determinación se hace con juegos de mallas normalizadas que tienen orificios de diferentes dimensiones, para conocer las cantidades de agregado que se retiene o que pasa en cada malla empleada. Con esto se elabora una CURVA GRANULO METRICA.

## MALLAS PARA AGREGADOS GRUESOS:

3", 2", 1½", 3/4", ½", 3/8", Num 4 y en algunas ocasiones, la Num 8, debajo de las cuales se coloca una charola.

## MALLAS PARA AGREGADOS FINOS:

3/8", Nums. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y en algunos casos la Num 200, debajo de las cuales se coloca una charola. (Ver Anexo 5)

El tejido de las mallas normalizadas en nuestro país, es cuadrado. En algunos países se utilizan tamices con orificios redondos denominados PASADORES.

El cribado de materiales por las mallas se hace agitando manual o mecánicamente.

La determinación de la composición granulométrica de los agregados, es el primer trabajo que los tecnólogos del concreto requieren, ya que es muy útil en el diseño y obtención de las mejores mezclas de concreto, aplicables a trabajos específicos.

Las granulometrías se efectúan con materiales secados al horno.

## EJEMPLO TIPICO DE GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO.

Malla	Peso Retenido en Kg.	Retenido en %	Retenido Acumulado en %	% que pasa	% que debe pasar
1½"	0.210	0.73	1	99	95-100
1"	6.710	23.50	24	76	
¾"	5.500	19.29	43	57	35- 70
½"	6.050	21.22	64	36	
3/8"	3.700	12.98	77	23	10- 30
Num 4	5.150	18.06	95	5	0- 5
charola	1.190	4.17	100	0	
TOTAL	28.510	99.95			

Este agregado puede clasificarse como de T.M.N. 1½" (Ver Anexo 6)

Los porcentajes marcados en la columna % que debe pasar, configuran al colocarlos en forma gráfica, lo que tradicionalmente se ha denominado LIMITES GRANULOMETRICOS (inferior y superior). (Ver Anexo 15)

Quando al analizar la granulometría de un agregado, su grafica queda dentro de los límites y sigue la tendencia de los mismos, puede utilizarse sin problemas para producir concretos de buena manejabilidad.

Si el análisis muestra que queda fuera de esos límites, al emplearlo para fabricar concreto se deben tener cuidados especiales.

## DENSIDAD o GRAVEDAD ESPECIFICA.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-164 y 165 ).

De manera simple, la densidad se considera como la relación que existe entre el peso del volúmen solido de una material y el peso de un volúmen igual de agua.

$$\text{DENSIDAD} = \frac{B}{B - C}$$

B = Peso de una muestra saturada y superficialmente seca en el aire.

C = Peso de la misma muestra saturada y superficialmente seca en el agua.

Para agregados gruesos es común aplicar este procedimiento utilizando una "canasta de densidad", de malla de alambre en la que primero se pesa la muestra de material suspendida en el aire y luego suspendidas en agua. La diferencia en peso es igual al peso del agua desalojada.

Para agregados finos se utilizan picnómetros. La canasta no es aplicable a tamaños de agregado con granos pequeños.

UN PICNOMETRO PUEDE SER CUALQUIER FRASCO O RECIPIENTE EN EL QUE PUEDA REPRODUCIRSE EL VOLUMEN CONTENIDO, CON UNA APROXIMACION DE 0.1 cm<sup>3</sup>.

## UN PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR DENSIDAD.

Una muestra de 500 g de material saturado y superficialmente seco se introduce en un frasco que tenga una marca de referencia para un volúmen superior al que se pretende medir, se agrega agua hasta el 90% de la capacidad de la marca y se agita para eliminar el aire que queda atrapado; después se llena con agua hasta la marca de referencia y se determina su peso. Este se relaciona con el del mismo frasco lleno con agua hasta la marca de referencia:

$$\text{DENSIDAD} = \frac{500 \text{ g}}{B + 500 - C}$$

B = Peso del picnómetro llenado con agua hasta la marca de referencia.

C = Peso del picnómetro con la muestra saturada y superficialmente seca mas agua hasta la marca de referencia.

La obtención de la densidad de los agregados relacionando el peso de las muestras saturadas y superficialmente secas, con el volúmen del agua que desplazan, puede hacerse con canastas de densidades, picnómetros de frasco o de sifón o probetas.

La densidad de cada material es característica y sirve para estimar el volúmen que aportarán al elaborar el concreto. (Ver Anexo 10).

## PESO VOLUMETRICO COMPACTADO SECO Y PORCENTAJE DE VACIOS.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-73 y NOM-C-158)

De manera simplificada, para determinarlo se llena un recipiente calibrado de forma redonda, con diámetro aproximadamente igual a la altura, en capas de una tercera parte de su altura que se compactan con 25 penetraciones de una varilla sobre su superficie; la tercera capa se enrasa tanto como sea posible con el borde del recipiente. Después de esto, se determina el peso neto del agregado que contiene y dividiendolo entre el volúmen calibrado se obtiene el Peso Volumétrico Compactado Seco.

Con el P.V.C.S. y la Densidad o Peso Solido del agregado la cantidad de su volúmen por unidad de volúmen y con el recíproco la cantidad de vacios.

Algunos métodos de diseño de mezclas de concreto no contemplan como muy necesaria la determinación de la granulometría del agregado grueso y la piden fundamentalmente para identificar el tamaño máximo, especialmente cuando al producirlo se mantiene dentro de los límites considerados en las normas. En cambio, la determinación del peso volumétrico compactado seco, se considera como criterio importante para el diseño.

## EJEMPLO:

Un recipiente con capacidad calibrada de 13.995 l, que tiene una peso tarado de 6.505 kg, al llenarse con un agregado determinado siguiendo el procedimiento especificado, alcanza un peso total de 30.548 kg.

El peso neto del agregado es entonces  $(30.548 - 6.505) \text{kg} = 24.043 \text{ kg}$ , que al dividirlo entre el volúmen que ocupa se tiene:

$$\frac{24.043 \text{ kg}}{13.995 \text{ l}} = 1.717 \text{ kg/l (P.V.C.S.)}$$

Si su densidad (peso por litro en volúmen absoluto es de 2.540 kg, el volúmen de agregado grueso por unidad de volúmen sera:

$$\frac{1.717 \text{ kg/l}}{2.540 \text{ kg/l}} = 0.67 \text{ (litros por cada litro)}$$

y el porcentaje de vacíos de  $(1.0 - 0.67) = 0.33$  (litros por litro).

Esto quiere decir que en un metro cúbico de este agregado en condición compactada, se tiene 67% de volúmen sólido y por lo tanto, en ese mismo metro cúbico existe un 33% de vacíos.

Este procedimiento para determinar el peso volumétrico compactado seco del agregado grueso es práctico y aceptable cuando el tamaño máximo es hasta de 2 pulgadas.

## GRANULOMETRIA Y MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-73 y NOM-C-111)

Para estas determinaciones se emplea el juego de mallas descrito con anterioridad, siendo el módulo de finura la suma de los retenidos acumulados de la malla 3/8" a la Num.100 dividida entre 100.

EL MODULO DE FINURA ES:

- a). Un valor empírico que se relaciona en un sentido muy amplio con el área superficial del agregado.
- b). Una relación inversa con relación al área superficial del agregado. Mientras mas bajo sea el valor del módulo de finura mayor será el área de la superficie y por lo tanto, más fino el agregado.
- c). Un valor de importancia para el diseño de mezclas, muy útil para estimar las cantidades del agregado grueso que requieren.  
(Ver Anexo 16).

La determinación de la granulometría es útil para comparar el cumplimiento del material analizado con alguna especificación que deba cumplir y el módulo de finura una característica en que se apoyan algunos métodos de diseño para establecer la cantidad de agregado grueso que puede ser empleado en la elaboración de concreto de una manejabilidad deseada.

## MUESTRA DE UN ANALISIS GRANULOMETRICO TIPICO Y CALCULO DEL MODULO DE FINURA.

(Ver Anexo 14)

MALLA	PESO RETENIDO g	RETENIDO EN %	ACUMULADO % (ENTEROS)	% QUE PASA	% QUE DEBE (A) PASAR
3/8"	0	0	0	100	100
Num. 4	31.0	4.94	5	95	95 - 100
8	119.3	19.04	24	76	80 - 100
16	122.8	19.60	44	56	50 - 85
30	75.0	11.96	56	44	25 - 60
50	67.3	10.74	67	33	10 - 30
100	70.6	11.26	78	22	2 - 10
200	61.7	9.87	88		
CHAROLA	78.8	12.57 (b)	100		
TOTALES	626.5	99.99		274/100=2.74 (c)	

- (a) Límites marcados tradicionalmente en algunas especificaciones para arenas "sin deficiencias granulométricas".
- (b) Algunas especificaciones locales marcan tolerancias diferentes a las tradicionales, por las características particulares de los agregados finos, que alteran los límites de las tradicionales, como el Reglamento para las construcciones en el Distrito Federal en México que acepta que el material que pasa la malla Num.200 puede ser hasta 15%. (Ver Anexo 17).
- (c) El total de % retenido acumulado hasta la malla Num.100 es 2.74 que dividido entre 100 es igual a 2.74. módulo de finura correspondiente a una arena de granulometría media.

## A N E X O S

1. Resumen de las variables que se presentan en las pruebas de compresión. (ACI).
  - 18 provocadas por las variaciones naturales de los materiales componentes del concreto.
  - 3 por la temperatura de los materiales.
  - 9 por cambios en la proporción en que se dosifican los materiales.
  - 5 por la forma en que se mezclan los ingredientes o materiales.
  - 25 por la forma en que se obtienen las muestras, se moldean los especímenes, se curan, se cabecean y se prueban.
2. Gráfica de las proporciones en que comunmente intervienen los ingredientes en las mezclas de concreto. Varían ligeramente de acuerdo con el propósito con el que se diseña alguna mezcla específica.
3. Gráfica de correlación entre las características de los agregados para concreto y las propiedades del concreto que los contienen.
4. Gráficas ilustrativas de las formas correctas e incorrectas de manejar los agregados para concreto cuando se almacenan.
5. Gráfica ilustrativa de los tamaños de mallas y la secuencia en que se aplican a la determinación de granulometrías de arenas y gravas
6. Tabla de "requerimientos de granulometría" para agregados gruesos, basada en las cantidades que "deben" pasar por cada una de las mallas utilizadas en la determinación.

Se relacionan los tamaños nominales de las mallas que cubren por fracciones, o series completas, así como su designación en algunas especificaciones bajo NUMEROS NOMINALES.

7. Un formato para cálculo de granulometrías de gravas.
8. Gráficas de las granulometrías de 2 muestras de grava de tamaños diferentes.
9. Gráficas de las dos muestras de grava y la resultante de mezclarlas en proporciones definidas a partir de los resultados mostrados en esas gráficas.
10. Tabla que muestra la "clasificación" que comunmente se ha difundido de la densidad de los materiales que más se utilizan para elaborar concreto, en función del tipo de concreto resultante.
11. Un formato para el cálculo de granulometría de arenas.
12. Gráficas de dos muestras de arena con granulometrías de tamaños diferentes.
13. Gráficas de las dos arenas y la granulometría resultante de su mezcla en proporciones determinadas en base a las dos gráficas.
14. Tabla de la clasificación granulométrica de los agregados para concreto, expresando los límites comunmente establecidos para agregados "bien graduados en por ciento de material que pasa por una malla y en por ciento del que se retiene en la misma.
15. Ilustración de los límites granulométricos expresados en 14.
16. Tabla en que se muestra como se clasifica comunmente a las arenas por su MODULO DE FINURA.
17. Tabla que marca los requisitos que en el Distrito Federal se establecen para los agregados, que difieren de los límites establecidos comunmente.
18. Tabla que expresa los límites máximos de contaminación y requisitos de calidad que se aceptan comunmente en los agregados para concreto.
19. Resumen de límites máximos de sustancias nocivas y contaminantes comunmente aceptados.

20. Relación de pruebas aplicables a los agregados para concreto, según ASTM.

## R E S U M E N

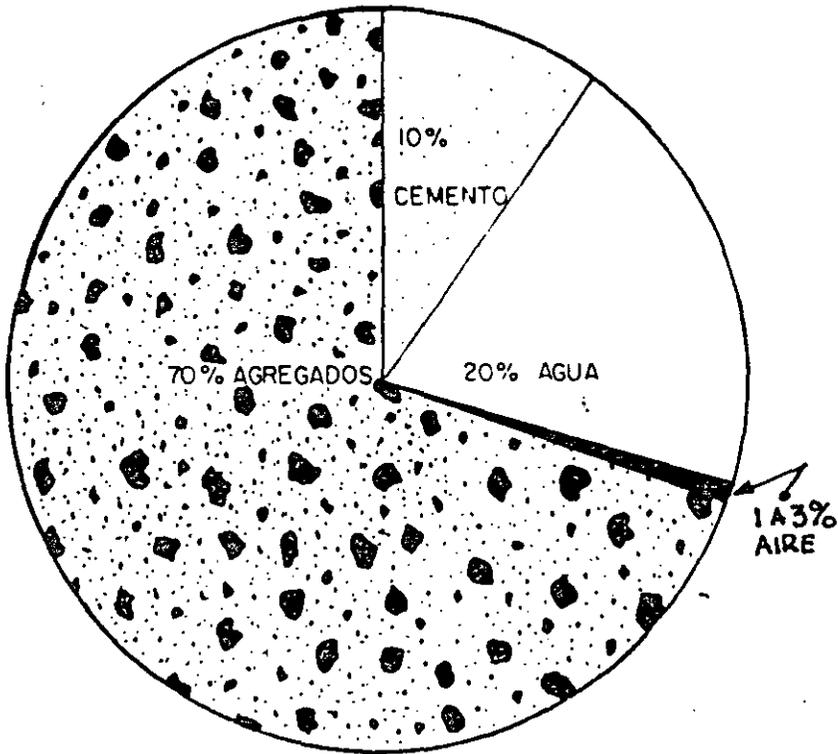
Cuando se seleccionan los agregados para la elaboración del concreto hidráulico, hay que tener presente que:

- En muy pocas ocasiones pueden obtener los agregados ideales.
- El principal problema para la relación de los agregados es, que se tenga bien determinado el nivel de comportamiento requerido para cada caso específico y decidir si cubrirlo es económicamente aceptable.
- Todas las pruebas para evaluar las propiedades de los agregados tienen limitaciones, por lo que, no se puede depender totalmente de sus resultados.
- Los antecedentes del comportamiento de un cierto tipo de agregados en la elaboración de concreto constituye una buena información, si se puede depender de ella y si se interpreta adecuadamente.
- Puede cometerse una grave equivocación al rechazar el uso de algún agregado tomando como base su presencia en algún defectuoso. Las causas que pueden producir que el concreto se deteriore son muchas y se observa comúnmente que los expertos, con resultados de algún caso específico, tienen opiniones que no son concordantes.

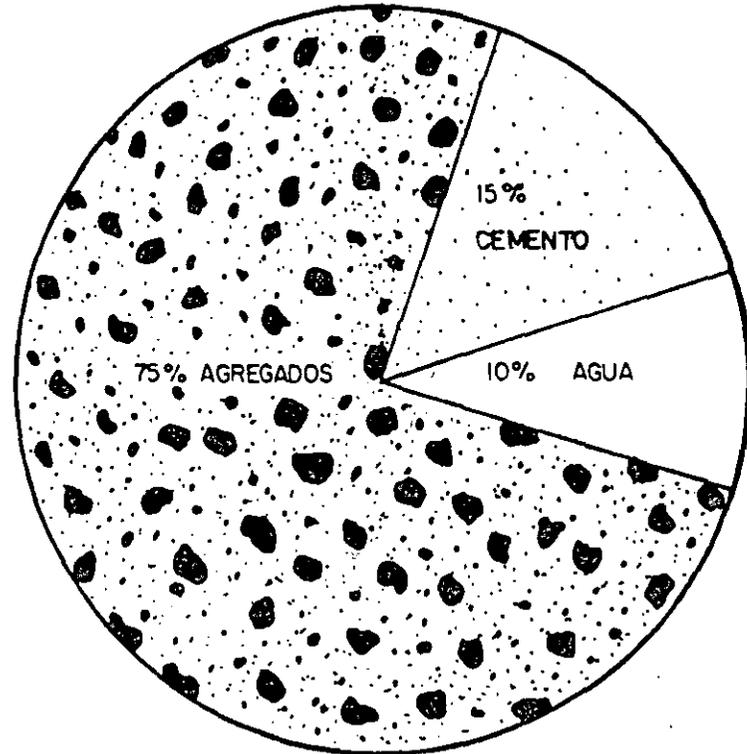
## -SUMMARY OF COMPRESSION STRENGTH TEST VARIABLES

No.	Basic cause	Cause of variation	Probable occurrence	Effect
1	Cement, material	Type and composition	With different brands	Considerable variation
2	Cement, material	Manufacturing control	Any one brand	Can be considerable
3	Cement, material	Age and condition	Always possible	Considerable variation
4	Water	Presence of salts	Infrequent	Not generally great
5	Water	Water-cement ratio	Dependent on control	Major effect
6	Sand, material	Chemically reactive	Common minor fault	Can be considerable
7	Sand, material	Unsound particles	Infrequent	Not general
8	Sand, material	Nonuniform properties	Infrequent	Not general
9	Sand, material	Clean	Common minor fault	Not generally great
10	Sand, material	Particle shape	Crusher and natural	Not within one type
11	Sand, material	Grading	Always present	Through workability
12	Stone, material	Chemically reactive	Uncommon	Not appreciable
13	Stone, material	Unsound particles	Dependent on source	Not generally great
14	Stone, material	Nonuniform properties	With porous material	Not generally experienced
15	Stone, material	Clean	Always possible	Can be considerable
16	Stone, material	Particle shape	Crusher and natural	Not within one type
17	Stone, material	Grading	Always present	Through workability
18	Stone, material	Maximum size	With different mixes	Through workability
19	Temperature	Cement	Hot cement	Not appreciable
20	Temperature	Water	Extremes of climate	Not generally experienced
21	Temperature	Aggregates	Extremes of climate	Not generally experienced
22	Mix	Paste-aggregate change	Deliberate variations	Through workability
23	Cement batching	Errors in weighing	Infrequent	Inconsiderable
24	Cement batching	Volumetric measurement	Frequent	Errors = 20 percent
25	Water measurement	Directly added water	Where rely on judgment	Not if measured
26	Water measurement	Contained with sand	Most common	Considerable
27	Water measurement	Sand bulking	Volumetric measurement	Can be considerable
28	Water measurement	With coarse aggregate	Over period	Can be considerable
29	Sand measurement	Material changes, bulking	Volumetric measurement	Errors = 20 percent
30	Stone measurement	Material changes, operation	Where control limited	Not generally great
31	Mixing	Order of charging	Dependent on operator	Generally unimportant
32	Mixing	Priming mix	Occasional only	Can be considerable
33	Mixing	Mixer speed	With different plants	Not general
34	Mixing	Overcharging	Infrequent	Not general
35	Mixing	Time of mixing	Frequent	Variation can exceed 30 percent
36	Handling, sampling	Segregation	Chutes, transportation	Planes of weakness
37	Handling, sampling	Constituent changes	Wherever retemper	Impossible to estimate
38	Handling, sampling	Sampling	Different locations	Can be appreciable
39	Handling, sampling	Bleeding	Mixes with water loss	Not generally great
40	Compaction	Hand tamping	Drier mixes	Considerable, exceed 50 percent
41	Compaction	Vibration	Over vibration	Segregation in specimens
42	Compaction	Shock	Handling after setting	Damage creates weakness
43	Compaction	Particle orientation	Planes of weakness	Flat particles—40 percent
44	Size and shape	Wet screening	Mass concrete	Increase with screening
45	Size and shape	Size of specimen	Nonstandard molds	Decrease strength with size
46	Size and shape	Height-diameter ratio	Nonstandard molds	Decrease as ratio increases
47	Size and shape	Shape	Cube or cylinder	Cube strength greater
48	Size and shape	Mold irregularities	Nonstandard molds	Nonaxial load
49	Curing	Drying out	First 24 hours	Not great
50	Curing	Moist curing	Not job curing	75 percent increase in 10 days
51	Curing	Initial temperature	Freezing conditions	Infrequent
52	Curing	Temperature	Job curing in winter	60 percent variation possible
53	Curing	Age	Compare at same age	Continuous increase
54	Curing	Moisture content	When specimens dry	40 percent difference
55	Capping	Plane ends	Most common fault	Concavity 30 percent, Convexity 50 percent
56	Capping	Capping material	Cement paste difficulty	Plaster of paris—12 percent
57	Capping	Axis of specimen	Technical problem	Not generally great
58	Testing machine	Bearing block	Dependent on laboratory	Can be considerable
59	Testing machine	Centering	Dependent on laboratory	Can be appreciable
60	Testing machine	Speed of loading	Dependent on laboratory	Not generally great

**CONTENIDO APROXIMADO POR :**



**VOLUMEN**



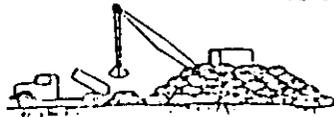
**PESO**

## INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.

PRUEBAS		PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS												
		CONTRACCION	RESISTENCIA MECANICA (COMPRESION Y TRASKEN)	RESISTENCIA A CONGELACION Y DESHIELO	RESISTENCIA A LA ABRACION	RESISTENCIA A CALENAMIENTO Y ENFRIAMIENTO	RESISTENCIA A LA TATINACION Y SECADO	PESO UNITARIO	RELACION ALCALI - AGREGADO	DURABILIDAD	MODULO ELASTICO	COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA	CONDUCTIVIDAD TERMICA	CALOR
MAS FRECUENTES	GRANULOMETRIA Y TAMAÑO MAXIMO	///	///	///				///						///
	GRAVEDAD ESPECIFICA						///							
	SOLIDEZ								///					
	FALTA DE LIMPIEZA	///	///											
	PRESENCIA DE SILICE							///						
	PRESENCIA DE ARCILLA	///		///										
MENOS FRECUENTES	RESISTENCIA MECANICA Y DUPEZA		///	///	///									
	MODULO ELASTICO	///					///			///				
	FORMA DE LAS PARTICULAS Y TEXTURA SUPERFICIAL	///	///				///							
	ESTRUCTURA Y TEXTURA			///										///
	GRADO DE SATURACION Y ESTRUCTURA DE LOS POROS			///										
	POROSIDAD Y SANDAD			///	///		///							
	COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA					///					///			
	CONDUCTIVIDAD TERMICA											///		
OTROS	CALOR ESPECIFICO												///	
	PROCESAMIENTO REQUERIDO													///
	DISPONIBILIDAD													///

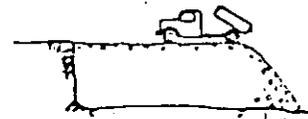
SELECTION AND USE OF AGGREGATES

INCORRECT METHODS OF STOCKPILING AGGREGATES  
CAUSE SEGREGATION AND BREAKAGE



PREFERABLE

Crane or other means of placing material in pile in units not larger than a truck load which remain where placed and do not run down slopes



OBJECTIONABLE

Methods which permit the aggregate to roll down the slope as it is added to the pile, or permit hauling equipment to operate over the same level repeatedly

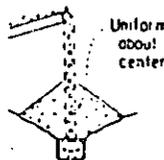


LIMITED ACCEPTABILITY—GENERALLY OBJECTIONABLE

Pile built radially in horizontal layers by bulldozer working from materials as dropped from conveyor belt. A rock loader may be needed in this setup

Bulldozer stacking progressive layers on slope not flatter than 3:1. Unless materials strongly resist breakage, these methods are also objectionable

STOCKPILING OF COARSE AGGREGATE WHEN PERMITTED  
(STOCKPILED AGGREGATE SHOULD BE FINISH SCREENED AT BATCH PLANT WHEN THIS IS DONE NO RESTRICTIONS ON STOCKPILING ARE REQUIRED)



Uniform about center

CORRECT

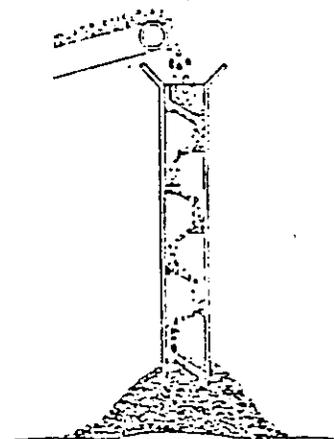
Chimney surrounding material falling from end of conveyor belt to prevent wind from separating fine and coarse materials (ceenings provided as required to discharge materials at various elevations on the pile)



INCORRECT

Free fall of material from high end of stacker permitting wind to separate fine from coarse material

UNFINISHED OR FINE AGGREGATE STORAGE  
(DRY MATERIALS)

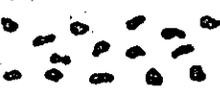


When stockpiling large sized aggregates from elevated conveyors, breakage is minimized by use of a rock ladder

FINISHED AGGREGATE STORAGE

Fig. 1—Correct and incorrect handling of Aggregates. (Reproduced from ACI 614-59, Reference 78)

.....MALLAS EMPLEADAS EN EL ANALISIS DE AGREGADOS.....

GRAVA	Y	ARENA
	3" (75 mm)	4" (4.75 mm)
	2" (50 mm)	8 (2.36 mm)
	3/2" (37.5 mm)	16 (0.8 mm)
	1" (25.0 mm)	30 (0.590 mm)
	3/4" (19.0 mm)	50 (0.297 mm)
	1/2" (12.5 mm)	100 (0.149 mm)
	3/8" (9.5 mm)	200 (0.074 mm)
	4 (4.75 mm)	Ch.

« REQUERIMIENTOS DE GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS GRUESOS »

TAMANO NOMINAL (Aberturas cuadradas de las mallas)	NUMERO NOMINAL	CANTIDADES MAS FINAS QUE CADA MALLA DEL LABORATORIO CON ABERTURAS CUADRADAS — % EN PESO												
		4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16
		(100 mm)	(90 mm)	(75 mm)	(63 mm)	(50 mm)	(37.5 mm)	(25 mm)	(19 mm)	(12.5 mm)	(9.5 mm)	(4.75 mm)	(2.35 mm)	(1.18 mm)

3 1/2" a 1 1/2" (90 a 37.5 mm)	1	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2 1/2" a 1 1/2" (63 a 37.5 mm)	2			100	90 a 100	55 a 70	0 a 15		0 a 5					
2" a 1" (50 a 25 mm)	3				100	90 a 100	55 a 70	0 a 15	0 a 5					
2" a No. 4 (50 a 4.75 mm)	357				100	95 a 100		55 a 70		10 a 30		0 a 5		
1 1/2" a 3/4" (37.5 a 19 mm)	4					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
1 1/2" a No. 4 (37.5 a 4.75 mm)	467					100	95 a 100		55 a 70		10 a 30	0 a 5		
1" a 1/2" (25 a 12.5 mm)	5						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
1" a 3/8" (25 a 9.5 mm)	56						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
1" a No. 4 (25 a 4.75 mm)	57						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
3/4" a 3/8" (19 a 9.5 mm)	6							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
3/4" a No. 4 (19 a 4.75 mm)	47							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
1/2" a No. 4 (12.5 a 4.75 mm)	7								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
3/8" a No. 8 (9.5 a 2.35 mm)	8									100	85 a 100	10 a 30	0 a 0	0 a 5

### Análisis Granulométricos

#### EJEMPLOS

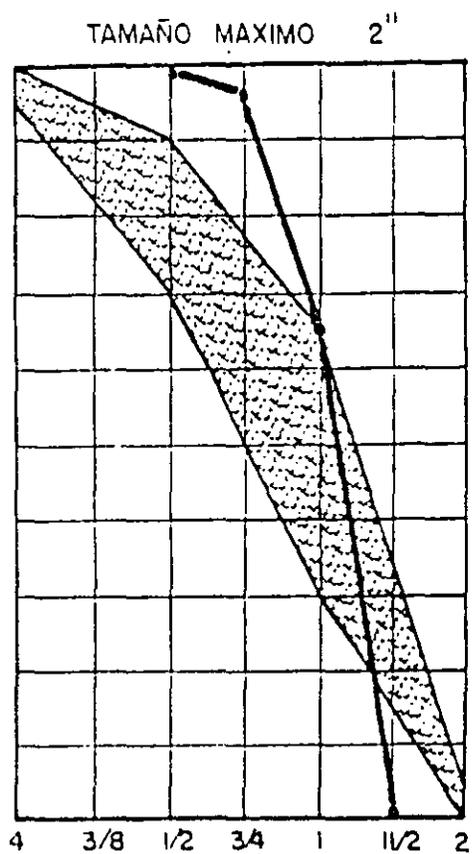
Malla	Peso. ( kgs.)	Porcientos	% Enteros	% Acum.
3/4"	8.46			
1/2"	20.71			
3/8"	21.51			
Nº 4	24.11			
Charola.	<del>25.68</del>	<del>          </del>	<del>          </del>	<del>          </del>
Sumas:				INFRATAHAÑO

Malla	Peso. ( kgs.)	Porcientos	% Enteros	% Acum.
1"	67.57			
3/4"	33.88			
1/2"	28.20			
3/8"	0.00			
Nº 4	0.00			
Charola.	0.00			
Sumas:				

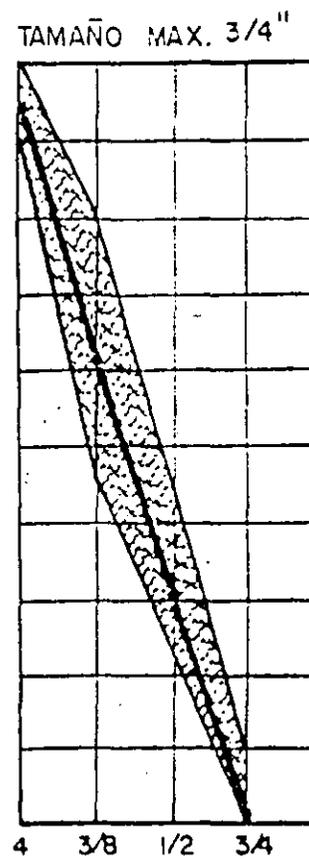
Malla	Peso. ( kgs.)	Porcientos	% Enteros	% Acum.
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
Nº 4				
Charola.				
Sumas:				

## CURVAS GRANULOMETRICAS DE GRAVA

---



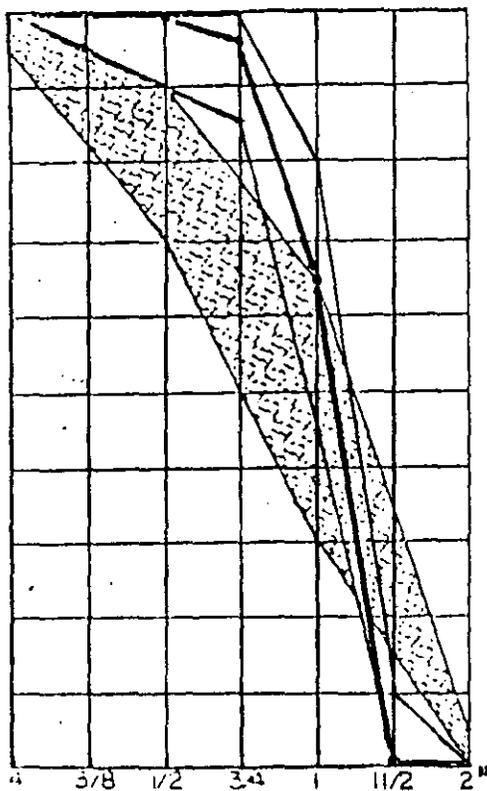
100  
 90  
 80  
 70  
 60  
 50  
 40  
 30  
 20  
 10  
 0  
 % RETENIDO ACUMULADO



## CURVAS GRANULOMETRICAS DE GRAVA

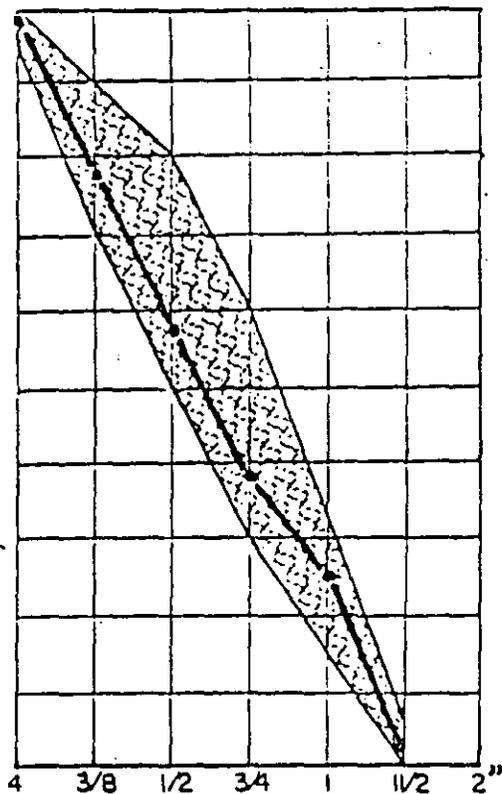
---

TAMAÑO MAXIMO 2"



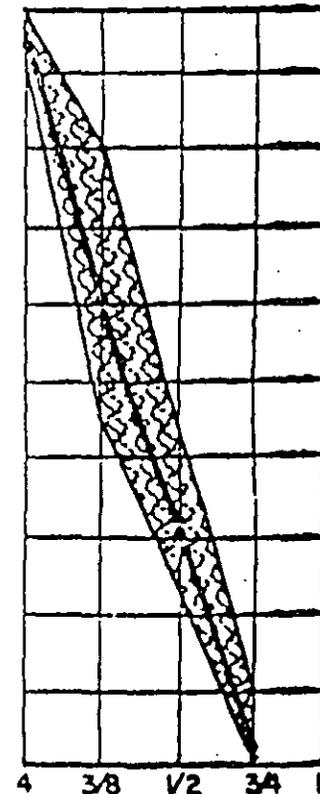
COMBINACION = 40 %

TAMAÑO MAXIMO 1 1/2"



GRANULOMETRIA RESULTANTE

TAMAÑO MAX. 3/4"



COMBINACION = 60 %

« CLASIFICACION DE MATERIALES Y DENSIDAD CARACTERISTICA »

MATERIAL	DENSIDAD	APLICACION
POMEZ ESCORIA VOLCANICA	1.2 — 1.8 1.6 — 2.2	CONCRETO LIGERO
CALIZA ARENISCA CUARZO GRANITO ANDESITA BASALTO	2.3 — 2.8 2.3 — 2.6 2.4 — 2.6 2.4 — 2.7 2.4 — 2.7 2.5 — 2.9	" CONCRETO NORMAL "
LIMONITA BARITA MAGNETITA	3.0 — 3.8 4.0 — 4.5 4.5 — 5.0	CONCRETO PESADO

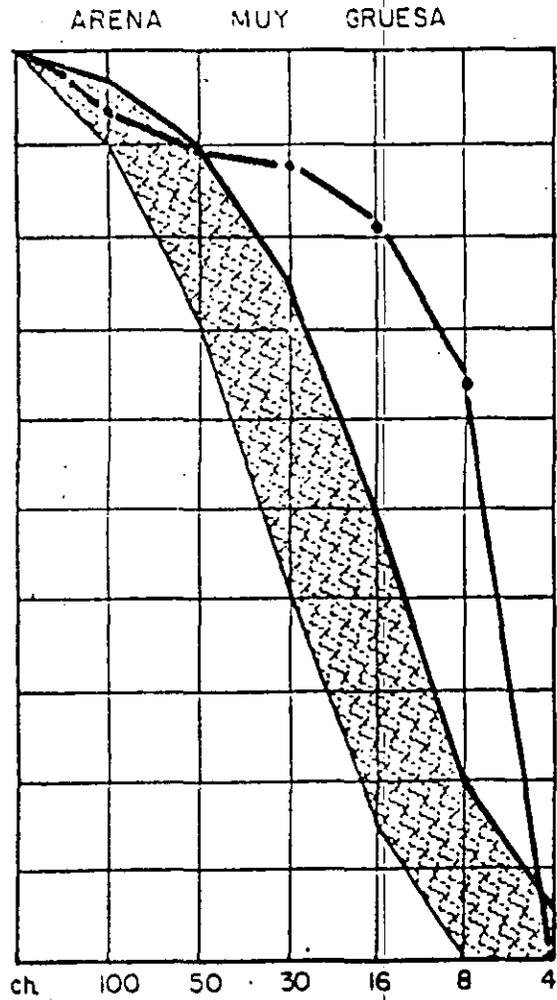
Analisis Granulométricos

MALLA	PESO (kg)	MATERIAL RETENIDO POR CIENTO EN PESO	PORCENTAJES ENTEROS	PORCENTAJES ACUMULATIVOS
NUM. 4	0.00			
" 8	8.00			
" 16	2.20			
" 30	0.60			
" 50	0.20			
" 100	0.77			
" 200	0.41			
CHAROLA	0.39			
SUMAS				

MALLA	PESO (kg)	MATERIAL RETENIDO POR CIENTO EN PESO	PORCENTAJES ENTEROS	PORCENTAJES ACUMULATIVOS
NUM. 4	11.4			
" 8	58.4			
" 16	119.5			
" 30	158.7			
" 50	110.0			
" 100	77.7			
" 200	129.4			
CHAROLA	195.6			
SUMAS				

MALLA	PESO (kg)	MATERIAL RETENIDO POR CIENTO EN PESO	PORCENTAJES ENTEROS	PORCENTAJES ACUMULATIVOS
NUM. 4				
" 8				
" 16				
" 30				
" 50				
" 100				
" 200				
CHAROLA				
SUMAS				

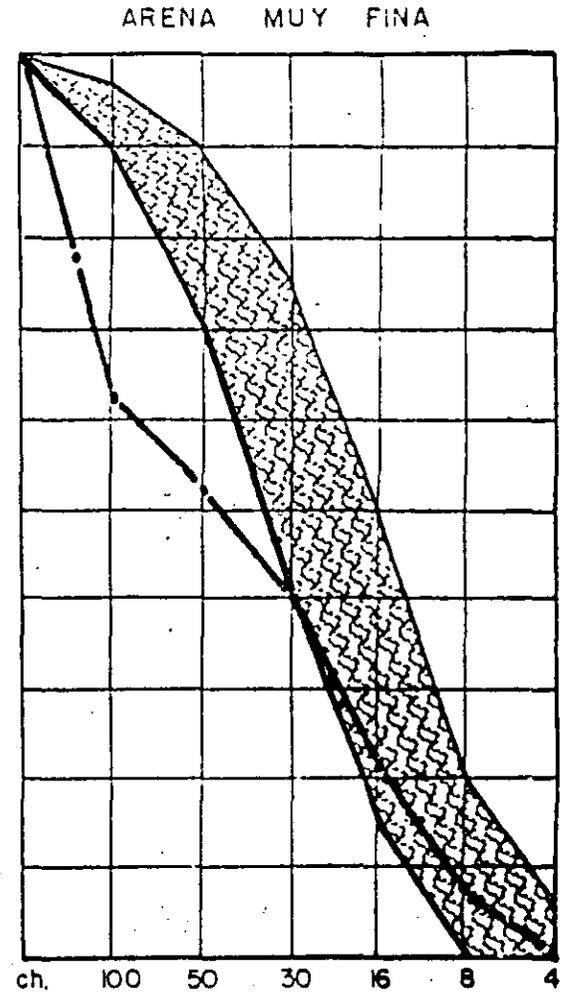
# LIMITES GRANULOMETRICOS EN ARENAS



M.F. 4.13

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

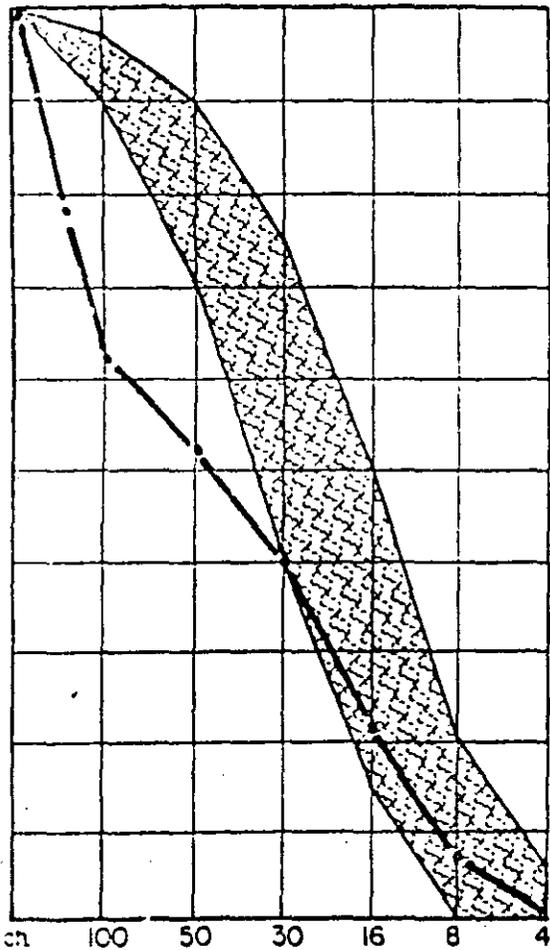
% RETENIDO ACUMULADO



M.F. 1.86

LIMITES GRANULOMETRICOS EN ARENAS

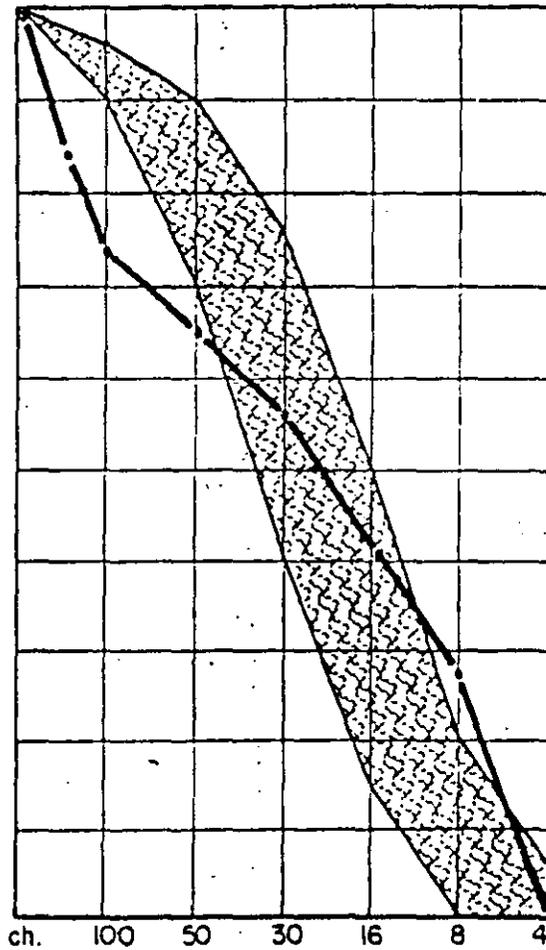
ARENA MUY FINA



M.F. 1.86

COMBINACION = 65%

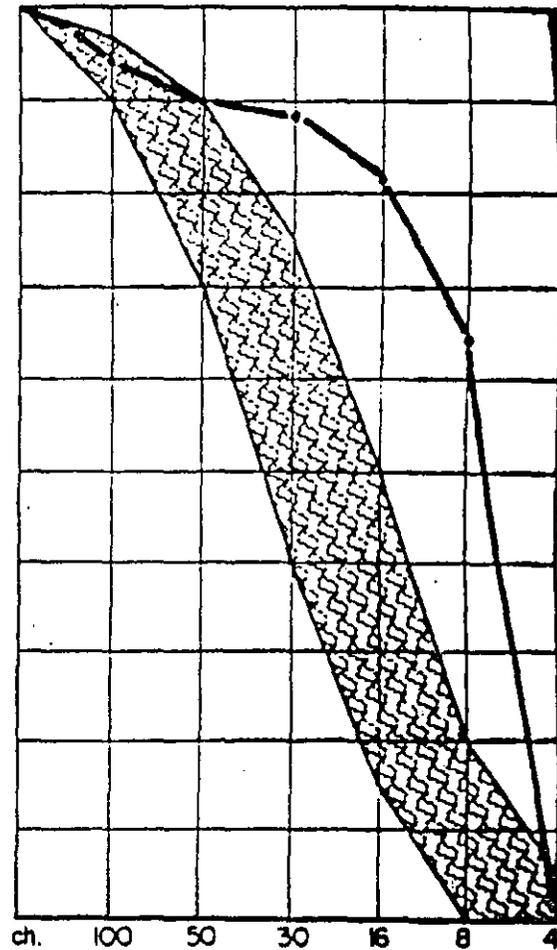
ARENA MEDIO FINA



M.F. 2.63

GRANULOMETRIA RESULTANTE

ARENA MUY GRUESA



M.F. 4.13

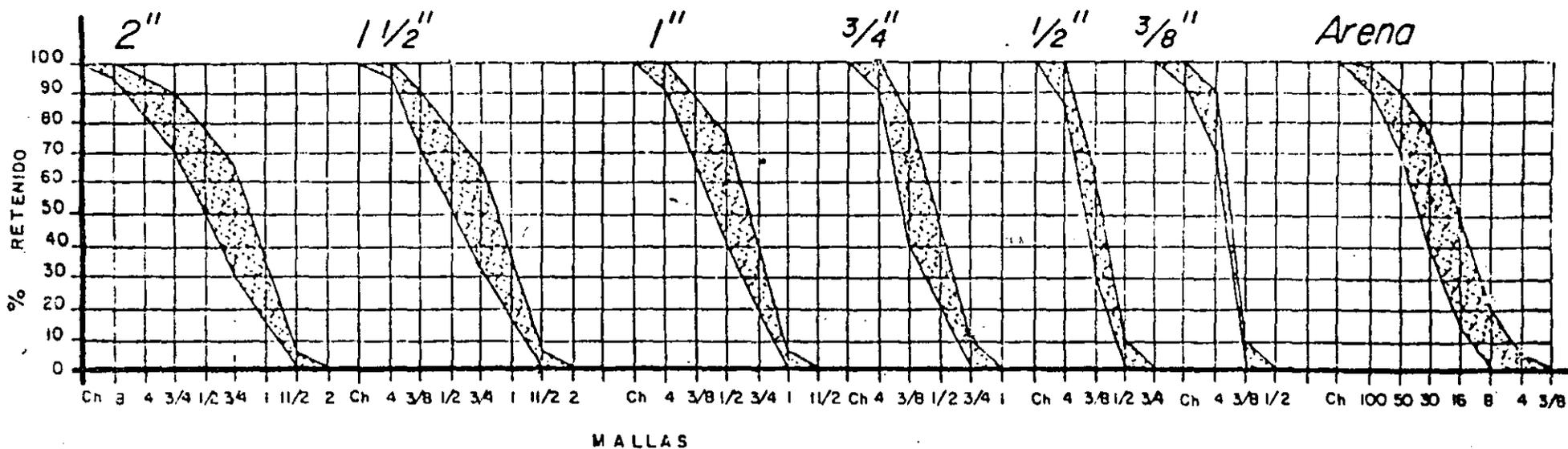
COMBINACION = 35%

**« CLASIFICACION GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS »**

NUMERO NOMINAL	357	457	57	67	7	8		357	467	57	67	7	8	
TAMANO NOMINAL	2	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	ARENA	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	ARENA

ABERTURAS DE MALLAS	% QUE PASA							% QUE RETIENE						
	95 - 100	100						5 - 0	0					
2"														
1 1/2"														
1"														
3/4"														
1/2"														
3/8"														
No. 4														
No. 8														
No. 16														
No. 30														
No. 50														
No. 100														
Ch														

## CURVAS GRANULOMETRICAS DE LOS AGREGADOS DETERMINADAS POR PESO



## CLASIFICACION DE ARENA POR MODULO DE FINURA

ARENA	M.      F.
MUY FINA	< — 2.0
FINA	2.0 — 2.3
MEDIO FINA	- 2.3 — 2.6
MEDIA	2.6 — 2.9
MEDIO GRUESA	2.9 — 3.2 -
GRUESA	3.2 — 3.5
MUY GRUESA	> — 3.5

EL MODULO DE FINURA EN LA ARENA PARA CONCRETO ESTA COMPRENDIDO ENTRE 2.3 o 3.2, ADEMAS NO DEBE TENER MAS DEL 45% RETENIDO ENTRE 2 MALLAS CONSECUTIVAS.

REQUISITOS PARA AGREGADOS SEGUN NORMAS TECNICAS  
COMPLEMENTARIAS DEL D. F.

CONCEPTO	CONCRETO	
	CLASE 1	CLASE 2
COEFICIENTE VOLUMETRICO EN GRAVA	0.20	—
MATERIAL MAS FINO QUE LA CRIBA 200 EN ARENA. (%)	15	15
CONTRACION LINEAL DE LOS FINOS EN ARENA Y GRAVA QUE PASAN LA CRIBA No. 40. (%)	2	3

---- LIMITES MAXIMOS DE CONTAMINACION Y REQUISITOS DE CALIDAD EN AGREGADOS ----

PRUEBAS	ELEMENTOS	TOTAL DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS FELEZNABLES (%)	PARTICULAS DE SILICE ALTERADA CON ME. MENOR DE 2.4 (%)	PRESENCIA DE LOS CONCEPTOS ANTERIORES (%)	MATERIAL MAS FINO QUE LA CRIBA No 200 (%)	CARBON Y LIMON (%)	PERDIDA POR ABRASION (%)	PERDIDA SANIDAD SULFATO SOLO EN CICLOS (%)	DE CON DE 5
NO EXPUESTOS A INTEMPERIE	ZAPATAS, COLUMNAS, VIGAS, PISOS INTERIORES CON RECUBRIMIENTO	10.0	—	—	2.0	1.0	50.0	—	
NO EXPUESTOS A INTEMPERIE	PISOS INTERIORES SIN RECUBRIMIENTO	5.0	—	—	2.0	1.0	50.0	—	
EXPUESTOS A INTEMPERIE	VIGAS, MUELLES, PLAS MURCS DE RETENCION	5.0	8.0	9.0	2.0	0.5	50.0	12.0	
EXPOSICION FRECUENTE DE HUMEDAD.	PAVIMENTOS, PUENTES, AUTOPISTAS, ANDADORES	4.0	5.0	6.0	2.0	0.5	50.0	12.0	
EXPUESTOS A INTEMPERIE	CONCRETOS ARQUITECTONICOS	2.0	3.0	4.0	2.0	0.5	50.0	12.0	
LOSAS SUJETAS A TRAFICO ABRASIVO	PISOS, PATIOS, ANDENES, PAVIMENTOS, CONCRETOS ARQUITECTONICOS	4.0	—	—	2.0	0.5	50.0	—	
LOSAS SUJETAS A TRAFICO ABRASIVO	OTRA CLASE DE CONCRETOS	8.0	—	—	2.0	1.0	50.0	—	

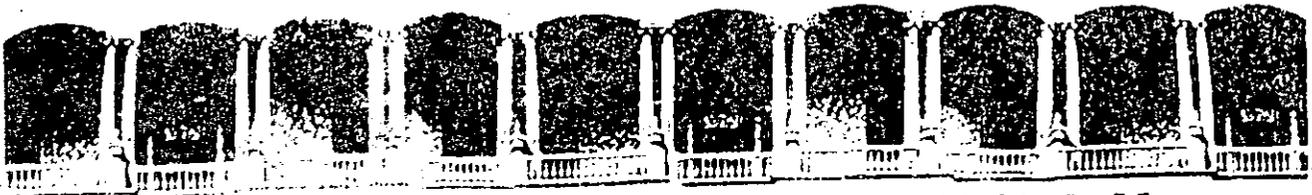
\* PARA CONSTRUCCIONES CUYA ALTITUD ES MAYOR DE 3000 m SOBRE EL NIVEL DEL MAR DEBEN REDUCIRSE AL 10%.

LIMITES MAXIMOS DE SUSTANCIAS NOCIVAS O CONTAMINANTES Y  
REQUISITOS DE PROPIEDADES FISICAS

CONCEPTO	% MAXIMO EN PESO	
	ARENA	GRAVA
CARBON Y LIGNITO:		
- CONCRETOS APARENTES.	0.5	0.5
- OTROS CONCRETOS.	1.0	1.0
GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES.	3.0.	5.0
CONTENIDO DE FINOS EN PRUEBA DE SEDIMENTACION.	3.0	—
PERDIDA POR ABRASION.	—	50.0
RETENIDO PARCIAL EN CUALQUIER CRIBA NO DEBE SER MAYOR.	45	45

American Society for Testing and Materials (ASTM)  
Standards

C 29-78	Unit Weight and Voids in Aggregate	Parts 14, 15*	C535-81	Admixtures in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to Alkali-Aggregate Reaction	Part 14
C 33-82	Concrete Aggregates	Parts 14, 15		Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine	Parts 14, 15
C 40-79	Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete	Part 14	C 566-78	Total Moisture Content of Aggregate by Drying	Part 14
C 70-79	Surface Moisture of Fine Aggregate	Part 14	C 586-69 (1980)	Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method)	Part 14
C 87-69 (1975)	Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar	Part 14	C 666-80	Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing	Part 14
C 88-76	Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate	Parts 14, 15	C 682-75 (1908)	Evaluation of Frost Resistance of Coarse Aggregates in Air-Entrained Concrete by Critical Dilation Procedures	Part 14
C 117-80	Material Finer Than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing	Parts 14, 15	C 779-81	Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces	Part 14
C 123-69 (1975)	Lightweight Pieces in Aggregate	Parts 14, 15	C 851-76	Scratch Hardness of Coarse Aggregate Particles	Part 14
C 125-82a	Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates	Parts 14, 15	C 944-80	Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method	Part 14
C 127-81	Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate	Parts 14, 15	D 75-82	Sampling Aggregates	Parts 14, 15, 19
C 128-79	Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate	Parts 14, 15	D 2419-74 (1979)	Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate	Parts 14, 15, 19
C 131-81	Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine	Parts 14, 15	D 2936-78	Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens	Part 19
C 136-82	Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates	Parts 14, 15	D 2938-79	Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens	Part 19
C 142-74	Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates	Parts 14, 15	D 3042-79	Insoluble Residue in Carbonate Aggregates	Parts 14, 15
C 227-81	Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)	Part 14	D 3319-81	Accelerated Polishing of Aggregates Using the British Wheel	Part 15
C 289-81	Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method)	Part 14	D 3398-81	Index of Aggregate Particle Shape and Texture	Part 15
C 295-79	Petrographic Examination of Aggregates for Concrete	Part 14	D 3665-78	Random Sampling of Paving Materials	Part 15
C 418-81	Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting	Part 14	D 3744-79	Aggregate Durability Index	Part 15
C 441-81	Effectiveness of Mineral				



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

Propiedades de Materias Primas y su influencia en el Concreto

- ADITIVOS

Objetivo:

El profesional de la construcción sabrá los fundamentos del empleo de aditivos y conocerá las propiedades de los aditivos mas empleados en la elaboración del concreto hidráulico, su manejo, colocación y control

Expositor:

MCI. José Antonio Tena Colunga

ADITIVOS	
----------	--

1) RESEÑA HISTORICA DE LOS ADITIVOS.

Sin duda alguna la investigación y desarrollo de los aditivos comenzó paralelamente al de los cementantes hidráulicos, pues estamos ciertos que desde entonces ya existía la inquietud de aumentar o modificar en número y cantidad las características de éstos agregando algo diferente a sus componentes tradicionales.

Con ese propósito en la antigüedad se utilizaba sangre de toro con el fin de aumentar la plasticidad y resistencia de los morteros hechos con cales o cementos naturales, con la misma intención usaron claras de huevo, baba de nopal, sal, alumbre y algunas otras cosas en distintas regiones del mundo, de hecho estos fueron los precursores de los aditivos. El descubrimiento del cemento Portland es relativamente reciente y su origen se sitúa alrededor de 1850, poco tiempo después y con el fin de resolver las irregularidades de sus tiempos de fraguado, los albañiles franceses añadian al cemento crudo a pie de obra, un poco de yeso en el momento de amasarlo; esta práctica que dió buenos resultados, fue adoptada por los fabricantes de cemento entre los años de 1875 a 1890, quienes optaron por adicionar el yeso en fábrica. En 1855 fue patentada la adición de cloruro cálcico a los concretos, Candlot, en 1888 hizo investigaciones acerca de este producto y demostró que según la dosis, podía ser utilizado como retardador del fraguado; también investigó el empleo de agua de mar para el mezclado del concreto.

Las primeras inquietudes de los usuarios del concreto fueron las de poder modificar el tiempo de fraguado y sobre todo poder acelerarlo, así como la de hacer concreto menos permeable ya que el cemento de aquella época era poco fino, aún no se habían desarrollado métodos para el cálculo de la composición y consolidación en obra eran bastante rudimentarios dado que el vibrado aún no se practicaba, sin embargo, la práctica de adicionar ciertas substancias, logró reducir la permeabilidad de los concretos razón por la que los acelerantes y los hidrófobos másicos se desarrollaron al mismo tiempo. Hacia 1895, Candlot en Francia y Dyckerhof en Alemania iniciaron la adición de cal grasa con el fin de mejorar la plasticidad; algo más tarde, en 1906, en los E.E.U.U. hicieron lo mismo para la

ADITIVOS	
----------	--

construcción de un depósito impermeable. Feret a principio de este siglo ensayó un gran número de productos finamente molidos e inertes, que al contacto con el agua se hinchaban y estudió la adición de aceites de linaza y minerales y en una publicación del año 1926, citaba la acción de productos, tales como: el alumbre, el jabón potásico, la caseína, la colofaina, las materias albuminosas y otras.

Igualmente, a principios de este siglo, se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad y se empezaba a añadir polvos finos para colorear el concreto (azul ultramar, ocre, ...). Los fluosilicatos se emplearon en 1905 como endurecedores de superficie y se investigó la acción retardadora del azúcar, de la cual en un artículo publicado en Marzo de 1909 en la "Revue des Materiaux de Construction", se habló de la influencia del azúcar sobre el fraguado. Sin duda, un estudio más profundo de la literatura de la época, nos revelaría que desde entonces, la mayor parte de las adiciones posibles fueron intentadas cuando menos en el laboratorio.

La comercialización de algunos productos para mejorar algunas de las cualidades del concreto data de 1910, se trataba de hidrofóbos, de acelerantes del fraguado o de hidrófugos-aceleradores del fraguado, que se añadían a los concretos destinados a la fabricación de depósitos de agua, tuberías, piscinas, etc.; así como a la confección de morteros destinados a la reparación de obras subterráneas de mampostería cuyas juntas se hubiesen deteriorado, entre las cuales se puede citar los trabajos de cinco túneles de la línea de San Gotardo. El Kieselguhr o tierra de infusorios se empleó por primera vez en 1925 en el concreto. En los E.E.U.U. los plastificantes fueron comercializados hacia 1935 en Chicago, los agentes inclusores de aire se descubrieron en los E.E.U.U. en 1939 y su utilización en Europa no empezó hasta después de la segunda guerra en 1947. En cuanto a los retardantes, aunque los efectos de ciertos productos ya eran conocidos, su comercialización tardó algún tiempo.

Rengade demostró en 1929, que mezclando un cemento sobre una lámina de zinc podían introducirse iones de Zn, que actuaban como un retardante de fraguado poderoso (1 por ciento de Zn respecto al peso del cemento, provoca un retardo importante), atribuyó a esta circunstancia, las diferencias de los tiempos de fraguado hallados en diferentes laboratorios, en los que el mezclado en unos y en otros no se hacía en mesas forradas en placas de zinc. Durante la última guerra mundial, los estudios hechos en Alemania condujeron a la utilización de un 1% de ácido fosfórico para retardar los concretos, ya que era necesario poder interrumpir los colados de las obras monolíticas de concreto durante los ataques aéreos, en esa misma época se presentó el caso de concreto que se inutilizó por la adición de azúcar en polvo que produjo un retardo indefinido.

Finalmente, de doce años a la fecha, como consecuencia de la expansión de la industria de la construcción, el número de aditivos y productos de los mismos se ha multiplicado, sus formulaciones cada vez son más adecuadas para la satisfacción de las necesidades de la construcción moderna y recientemente a esta tecnología se ha

ADITIVOS	
----------	--

incorporado la petroquímica con la inclusión de los polímeros, de tal suerte, que en la actualidad no hay país en el mundo que no los emplee.

#### CLASIFICACION Y NORMALIZACION DE LOS ADITIVOS

Hace veinte años, el Instituto Americano del Concreto (A.C.I.) publicó el primer reporte del Comité 212, sobre los estudios e investigaciones de miles de muestras de productos que se encontraban en el mercado de E.E.U.U. y en él se hizo un primer intento de agruparlos según sus propiedades; diez años después, en 1954 dicho Instituto publicó un nuevo informe del citado comité, donde se hacía referencia sobre la composición de los diferentes tipos de aditivos, lo cual redujo considerablemente la variedad de productos que se ofrecían en venta en el mercado de la construcción. En noviembre de 1963, el mismo organismo, publicó un tercer reporte mucho más completo, donde los aditivos se clasificaban con base en el tipo de sustancias que los constituyen o los efectos que producen en el concreto.

Durante mucho tiempo las opiniones de los técnicos estuvieron muy divididas respecto a la conveniencia del empleo de aditivos; hubo quienes se opusieron y encabezaron campañas en contra de ellos con cierta virulencia, sin embargo, en 1962 tanto la "American Society For Testing And Materials" (ASTM), como el "Bureau of Reclamation", establecieron las bases para la aprobación y uso de aditivos en el concreto.

Según la A.S.T.M. y el A.C.I., un aditivo es "un producto o sustancia distinto a los agregados, cemento o agua, que se usa como ingrediente del concreto y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante su mezclado".

#### CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS.

Dadas sus características, composición, aspecto y efecto en el concreto, los aditivos pueden clasificarse en muchas formas, razón por la cual hasta la fecha no existe en el mundo un criterio unificado. A continuación y a fin de ejemplificar este problema, se describen las clasificaciones más conocidas.

M. Joissel propone esta clasificación en la que los grupos se establecen tomando en cuenta su comportamiento respecto al agua de mezclado:

Aditivos insolubles.

Aditivos solubles.

Aditivos tensoactivos (que no son ni completamente solubles ni totalmente insolubles).

Para otras clasificaciones, se toma en cuenta el efecto o propiedades que los aditivos confieren al concreto fresco o endurecido, tal es el caso de la clasificación Alemana. En efecto, las directrices alemanas para el ensayo de aditivos para concreto de Enero de 1965 los divide en 6 grupos:

## ADITIVOS

Plastificantes (abreviatura ALEMANA: BV).  
Inclusores de aire (abreviatura ALEMANA: LP).  
Hidrófobos (abreviatura ALEMANA: DM).  
Retardantes (abreviatura ALEMANA: VZ).  
Acelerantes (abreviatura ALEMANA: BE).  
Aditivos para lechadas de inyección (abreviatura ALEMANA; EH).

En Francia existen actualmente dos clasificaciones: 1a. de la "Comisión Permanente Des Liants Hidráuliques Et Des Adjuvants Du Béton" (COPLA), y la del proyecto de norma francesa, no obstante, "El Syndicat National Des Adjuvants Et Mortiers" (SYNAD), ha clasificado a los aditivos de una manera un poco diferente a los organismos antes mencionados y establece los siguientes grupos:

### AGENTES QUE MODIFICAN EL CONTENIDO DE AIRE:

- Plastificantes-reductores de agua.
- Inclusores de aire.
- Excluidores de aire.
- Generadores de gas.
- Agentes de retención de agua.
- Fluidificantes-retardantes.

### AGENTES QUE MODIFICAN EL FRAGUADO O EL ENDURECIMIENTO:

- Acelerantes del endurecimiento.
- Acelerantes del fraguado.
- Fluidificantes retardantes.
- Fluidificantes acelerantes.

### PRODUCTOS PARA INYECCIONES DE DUCTOS DE POSTENSADO:

### AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS:

- Anticongelantes.
- Antihieladizos.
- Anticongelantes Bivalentes (Anticongelantes-Antihieladizos).
- Hidrófugos de masa.

### AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES MECANICAS:

Como se puede ver en estas clasificaciones de carácter híbrico se encuentran los mismo aditivos, razón por la cual sería útil poder establecer una clasificación común para todos los países, con este propósito un grupo de trabajo de la "Reunión Internationale Des Laboratoires D'Essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Les Construtions", (RILEM), en 1967 propuso la clasificación siguiente:

### AGENTES QUE MODIFICAN LA REOLOGIA DE LOS MORTEROS Y CONCRETOS FRESCOS:

- Reductores de agua.
- Inclusores de aire.
- Reductores de aire y de arrastre de aire.
- Polvos minerales finamente molidos para plastificar.
- Agentes flocculantes o espesantes.
- Agentes de retención de agua.

## ADITIVOS

### AGENTES QUE MODIFICAN EL CONTENIDO DEL AIRE EN MORTERO Y CONCRETOS:

- Incluidores de aire.
- Desaireadores o antiespumantes.
- Generadores de gases.
- Generadores de espuma.

### AGENTES QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y

- Retardantes de fraguado.
- Acelerantes de fraguado.
- Acelerantes de endurecimiento.

### AGENTES GENERADORES DE EXPANSION EN MORTEROS Y CONCRETOS: AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS:

- Mejorando la resistencia a las heladas.
- Mejorando la resistencia a la congelación (anticongelantes).
- Reduciendo la penetrabilidad del agua.
- Hidrófobos.

### AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES MECANICAS:

### AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES QUIMICAS:

### AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES BIOLÓGICAS:

En los Estados Unidos de Norteamérica el "American Concrete Institute" (ACI), en el Informe de su Comité No. 212 de 1963, da una lista de 20 razones importantes para las que se usan los aditivos, que es en efecto, una clasificación funcional de ellos. Dicha lista se consigna a continuación:

1. Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
2. Acelerar la velocidad de resistencia a edades tempranas.
3. Aumentar la resistencia.
4. Retardar o acelerar el fraguado inicial.
5. Retardar o reducir el desarrollo de calor.
6. Modificar la velocidad o aptitud de sangrado o ambos.
7. Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
8. Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.

ADITIVOS	
----------	--

9. Reducir el flujo capilar del agua.
10. Reducir la permeabilidad a los líquidos.
11. Para producir concreto celular.
12. Mejorar la penetración y el bombeo.
13. Reducir el asentamiento, especialmente en mezclado para rellenos.
14. Reducir o evitar el asentamiento o para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usados para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas, tabes, o para rellenar ductos de cables de concreto postensado o los vacíos en agregado precolado.
15. Aumentar la adherencia del concreto y el acero.
16. Aumentar la adherencia entre el concreto viejo y nuevo.
17. Producir concreto o mortero de color.
18. Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
19. Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.
20. Reducir el costo unitario del concreto.

Por otra parte, el comité C-9 de la "American Society for Testing and Materials" en Junio de 1963 produjo lo que actualmente es la especificación ASTM C 494 "Aditivos Químicos para Concreto"; en ella, se clasifican ciertos aditivos químicos en términos de su función y establecen los requisitos que deben satisfacer. Dicha clasificación es la siguiente:

- TIPO A: Reductor de agua.
- TIPO B: Retardante.
- TIPO C: Acelerante.
- TIPO D: Reductor de agua y retardante.
- TIPO E: Reductor de agua y acelerante.

Posteriormente, en 1982 esta norma fue modificada para incluir a los aditivos superfluidizantes o reductores de agua de alto rango, correspondiéndoles los siguientes tipos:

- TIPO F: Reductor de agua de alto rango.
- TIPO G: Reductor de agua de alto rango y retardante.

Aparte de las especificación antes mencionada, existen otras que son usadas ampliamente y cubren casi en su totalidad la mayoría de los productos comerciales que actualmente hay en el mercado. Dichas especificaciones son:

## ADITIVOS

ASTM C 98	Cloruro de calcio.
ASTM C 260	Aditivos inclusores de aire.
AASHO M 154	Aditivos inclusores de aire.
CRD C 13	Aditivos inclusores de aire.
ASTM C 618	"Fly-Ash" y puzolanas naturales o calcinadas
CRD-C 262	Puzolanas.
ASTM C 87	Aditivos químicos.
USBR	Aditivos reductores de agua y para controlar el fraguado.

En la Republica Mexicana hasta la fecha la clasificación aceptada es la que establece el "American Concrete Institute" ACI. sin embargo la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, para normar dichos productos, ha publicado las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM C - 54-71	Norma oficial de muestreo de aditivos para concreto.
NOM C - 90-81	Método de prueba para aditivos expansores y estabilizadores de volumen.
NOM C - 117-78	Aditivos estabilizadores de volumen de concreto.
NOM C - 140-78	Aditivos expansores de concreto.
NOM C - 199-71	Nomenclatura de aditivos químicos para concreto
NOM C - 200-78	Calidad para aditivos inclusores de aire para

### ADITIVOS MAS COMUNMENTE EMPLEADOS

#### Aditivos Reductores de Agua :

Permiten una reducción en la cantidad de agua de mezclado, manteniendo la misma trabajabilidad resultando en una mayor resistencia del concreto.

#### Aditivos Superfluidizantes o Reductores de Agua de Alto Rango :

Son compuestos orgánicos que transforman una mezcla seca en una masa de libre flujo. Se emplean ya sea para facilitar la colocación del concreto bajo condiciones difíciles o para reducir el contenido de agua en la mezcla de concreto para incrementar su resistencia o bien en concretos autonivelantes o de muy alta resistencia.

#### Aditivos Acelerantes :

Provocan un curado mas rápido del concreto.

#### Aditivos Retardantes :

Retardan el fraguado, permitiendo un mayor lapso para trabajar con el concreto en estado plástico.

#### Aditivos Inclusores de Aire :

Incrementan la trabajabilidad del concreto fresco, reducen el daño de la congelación y deshielo y empleado en altas concentraciones, la fabricación de concretos celulares.

**Cenizas Volantes (Fly-Ash) :**

Un polvo fino deshecho de plantas que consumen carbón, incrementa la resistencia del concreto, reduce su permeabilidad, aumenta la resistencia al ataque de sulfatos, reduce la temperatura de hidratación, el contenido de agua de mezclado y mejora la bombeabilidad y trabajabilidad del concreto.

**Humo de Sílice (Silica Fume) :**

También conocida como Microsílica, es un polvo que es aproximadamente 100 veces más fino que el cemento Portland, compuesto principalmente por dióxido de silicio. Al añadirse a la mezcla, se puede emplear para fabricar concreto de muy alta resistencia con una muy baja permeabilidad.

**Escoria de Alto Horno :**

Es un subproducto de la manufactura del acero que puede mejorar la trabajabilidad del concreto, aumentar la resistencia, reducir la permeabilidad, disminuir el calor de hidratación y mejorar la resistencia a los sulfatos.

**Puzolanas :**

Son varios materiales naturales o artificiales que pueden reaccionar con el Hidróxido de Calcio en el concreto fresco para formar compuestos cementantes; son empleados para propósitos tales como reducir el calor de hidratación, disminuir la reactividad del concreto con agregados que contienen sulfatos o para mejorar la trabajabilidad del concreto.

**Inhibidores de la Corrosión :**

Son empleados para reducir la corrosión del acero de refuerzo en estructuras expuestas a sales descongelantes u otros químicos que provocan la corrosión.

**Aditivos Fibrosos :**

Son fibras cortas, usualmente de vidrio, acero y polipropileno, que se añaden a la mezcla para actuar como microrefuerzo. Su empleo más común es para la reducción de la contracción plástica que ocurre durante el curado de losas. Las fibras de vidrio se añaden también para producir concreto reforzado con fibra de vidrio, en la fabricación de paneles de concreto.

**Agentes Colorantes :**

Son agentes y pigmentos empleados para alterar y controlar el color de concretos donde la apariencia es importante.

**BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA**

INFORME DEL COMITE 212 DEL ACI. ADITIVOS PARA CONCRETO  
GUIA PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS EN EL CONCRETO. IMCYC

# ADITIVOS

- . INTRODUCCION
- . TIPOS DE ADITIVOS
- . GUIA GENERAL EN EL EMPLEO DE ADITIVOS
- . CONCLUSION

# ADITIVOS

## TIPOS DE ADITIVOS

### CLASIFICACION :

- por su función
- por su composición

### A C I

#### 1 Acelerantes:

- (Fraguado/ Fraguado instantáneo)

#### 2 Retardantes:

- (Integrales/ De superficie)

#### 3 Incluidores de Aire.

#### 4 Generadores de Gas.

#### 5 Materiales Cementantes.

#### 6 Puzolanas:

- (Naturales (sin tratamiento o activadas)/ Sintéticas (fly-ash))

#### 7 Inhibidores de Expansión provocada por Alkalís y Materiales Reactivos.

#### 8 Reductores de Permeabilidad y Absorción:

- (Integrales (resistencia, compuestos insolubles, pérgolas finamente molidos) / De superficie (resistentes, csp. insolubles membranas) )

#### 9 Agentes Mejoradores de la Trabajabilidad:

- (Dispersantes/ Densificadores)

#### 10 Agentes de Empaque y Relleno:

- (Estabilizadores de volumen)

#### 11 Varios:

- (Combinaciones / Endurecedores de superficies (químicos, metálicos, minerales) / Membranas de curado (parafinas, plásticos) / Componentes adhesivos (asfaltos, plásticos, epoxídicos)

# ADITIVOS

## TIPOS DE ADITIVOS

### A S T M C 494: "ADITIVOS QUIMICOS PARA CONCRETO"

Tipo A: *Reductor de Agua*

Tipo B: Retardante

Tipo C: Acelerante

Tipo D: *Reductor de Agua y Retardante*

Tipo E: *Reductor de Agua y Acelerante*

Tipo F: Reductor de Agua de Alto Rango

Tipo G: Reductor de Agua de Alto Rango y Retardante

#### NORMAS OFICIALES MEXICANAS

NOM C - 54-71	Norma oficial de muestreo de aditivos para concreto.
NOM C - 90-81	Metodo de prueba para aditivos expansores y estabilizadores de volumen
NOM C - 117-79	Aditivos estabilizadores de volumen de concreto
NOM C - 140-78	Aditivos expansores de concreto
NOM C - 159-71	Nomenclatura de aditivos quimicos para concreto.
NOM C - 200-78	Cantidad para aditivos inclusores de aire para concreto.
NOM C - 225-78	Aditivos quimicos que reducen la cantidad de agua y modifican el tiempo de fraguado.
NOM C - 298-80	Aditivos minerales - Determinacion de la efectividad para prevenir una expansion excesiva del concreto debido a la reaccion alcali-agregados.
NOM C - 313-81	Colorantes para concreto

## TIPOS DE ADITIVOS

# Retardantes

### COMPUESTOS:

Gluconatos, ácidos lignosulfónicos y sus sales, ácidos carboxílicos hidroxilados, ciertos almidones, ácidos mucico y adipico.

### INCREMENTA O BENEFICIA

#### En estado plástico:

tiempo de fraguado y endurecimiento  
proceso de cristalización

#### En estado endurecido:

resistencia a altas edades  
cambios volumétricos  
resistencia a la congelación/deshielo a edades posteriores  
resistencia y durabilidad  
susceptibilidad a expansiones por reacciones Alcali-Agregado  
aumento notable en rigidez

### DECREMENTA O AFECTA

#### En estado plástico:

disminuye fraguado

#### En estado endurecido:

resistencia a cortas edades  
poca resistencia a congelación/deshielo a cortas edades

### USOS:

- a) Compensar efectos de temperatura en climas calientes; b) Hacer colados continuos sin juntas frías;
- c) Transportar concreto a distancias considerables sin pérdida de consistencia;
- d) Reducir peligro de agrietamiento en colados de concreto en grandes masas;
- e) Permitir el revibrado de concreto; f) Facilitar el bombeo con impulsor neumático;
- g) Acabados aparentes; h) Obtención de concretos más estables volumétricamente en estructuras.

### ALTERNATIVAS POSIBLES:

- 1) Empleo de cementos de bajo calor de hidratación (tipos II, IV, Puzolánicos, Escorias de Alto Horno)
- 2) Abatir temperatura del concreto dentro de ciertos límites; 3) Empleo de Aditivos 4) Combinaciones

TIPOS DE ADITIVOS

## Agentes Reductores de Agua y Mejoradores de la Trabajabilidad

### TIPOS:

- 1) **Densificadores**
- 2) **Inclusores de Aire**
- 3) **Fluidificantes**
- 4) **Superfluidizantes**

### COMPUESTOS:

- 1) **Acidos Carboxilicos Hidroxilados**
- 2) **Jabones de resina o de abietato alcalino (Na, K), lignosulfonato (Na, K) Sulfonatos de alquilarico**
- 3) **Sales de acidos lignosulfonicos, modificaciones o derivados de ellas.**
- 4) **Condensados de formaldehido (naften o melamina) sulfonados y lignosulfonatos modificados**

### INCREMENTA O BENEFICIA

#### En el estado plastico:

- trabajabilidad<sup>1</sup>
- disminucion de la friccion interna en la mezcla<sup>1</sup>
- inclusión de aire<sup>2,3</sup>
- desarrollo de resistencia<sup>1,3,4</sup>
- reduccion o eliminacion del sangrado<sup>2,4</sup>
- tiempo de fraguado<sup>1,2,3</sup>

#### En el estado endurecido:

- resistencia a la compresion<sup>1</sup>
- resistencia a la flexocompresion<sup>1,3,4</sup>
- resistencia a la congelacion/deshielo<sup>1,2,3</sup>
- resistencia a la abrasion<sup>1,4</sup>
- modulo de elasticidad<sup>4</sup>
- permeabilidad, durabilidad<sup>1,3,4</sup>

### DECREMENTA O AFECTA

#### En el estado plastico:

- sangrado<sup>1</sup>
- requerimiento de agua<sup>1</sup>
- tiempo de revenimiento<sup>4</sup>
- ligera disminucion en el calor de hidratacion

#### En el estado endurecido:

- resistencia menor a la 24 hrs<sup>1</sup>
- mayor contraccion<sup>1,3,4</sup>
- mayor flujo plastico (creep)<sup>1,3,4</sup>

### USOS:

- a) Aumentar trabajabilidad sin aumentar consumo de cemento, agua o relacion A/C.
- b) Reducir consumo de agua con incremento de resistencia<sup>1,3,4</sup>. c) Economizar cemento.
- d) Mejorar durabilidad<sup>3,4</sup>. e) Fabricar concretos Superfluidizados o de Alta resistencia y gran trabajabilidad<sup>4</sup>.
- f) Acelerar el desarrollo de resistencias a edades tempranas<sup>3,4</sup>.



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO**

**NORMAS OFICIAL MEXICANA  
NOM - C-122 - 1982  
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA PARA  
CONCRETO**



SECRETARIA DE PATRIMONIO  
Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-C-122-1982

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA PARA  
CONCRETO.

BUILDING. INDUSTRY - WATER FOR CONCRETE.

DIRECCION GENERAL DE NORMAS



NORMA OFICIAL MEXICANA  
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION -  
AGUA PARA CONCRETO.

NOM  
C-122-1982

BUILDING. INDUSTRY - WATER FOR CONCRETE

0 INTRODUCCION

La necesidad de conocer los parámetros ideales que deben cumplir las - aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables para emplearse en la elaboración y curado del concreto hidráulico ha hecho que se elabore esta Norma Oficial Mexicana de Agua para Concreto.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos para las aguas natura- les o contaminadas, diferentes de las potables que se pretendan emplear - en la elaboración o curado del concreto hidráulico.

También da a conocer la acción agresiva de los diferentes tipos de agua - que se enumeran en el inciso 4.

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las vigentes de las siguientes Normas Ofi- ciales Mexicanas.

- NOM-C-1                   Cemento Portland
- NOM-C-2                   Cemento Portland Puzolana
- NOM-C-88                 Determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino.
- NOM-C-175                Calidad para Cemento Portland de Escoria de Alto - Horno.
- NOM-C-255                Industria de la Construcción.- Aditivos Químicos que Reducen la Cantidad de Agua y/o Modifican el Tiempo de Fraguado del Concreto.
- NOM-C-277                Agua para Concreto.- Muestreo
- NOM-C-283                Agua para concreto.- Análisis

3 DEFINICIONES

Para mejor entendimiento de esta norma se establecen las definiciones si- guientes:

3.1 Aguas puras. (Lluvia, deshielo de glaciares, granizo o nieve de al- gunos manantiales y pozos).

Prohibida su reproducción sin autorización de la Dirección General de Normas

Referencias

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

Revisiones sucesivas:

7

Bajo un punto de vista práctico, son aquellas cuyo grado hidrotimétrico es inferior a 6 y cuyo pH es aproximadamente 7. En general son aguas que o no tienen sustancias disueltas o las tienen en cantidad mínima y en lo particular aquellas en las que el ión calcio se encuentra en cantidades ínfimas. Estas aguas generalmente provienen de la lluvia, del deshielo de glaciares, nieve o granizo o de manantiales y pozos, de terrenos montañosos cuyas rocas son resistentes al poder disolvente del agua, tales como las porfiríticas, basálticas, graníticas, etc.

### 3.2 Aguas ácidas naturales.

Son aquellas que contienen una cantidad notable de gas carbónico libre, agresivo, ácido nítrico o ácidos húmicos y cuyo pH es inferior a 6. Estas, en general son de lluvia que disuelven en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) u óxidos nítricos del aire o que provienen de turberas o pantanos que por descomposición de la materia vegetal son ricas en ácidos húmicos.

### 3.3 Aguas fuertemente salinas.

Son aquellas que tienen alta concentración de una o varias sales; tienen su origen en el alto poder disolvente de las aguas ácidas y de las puras, al atravesar diferentes terrenos.

#### 3.3.1 Aguas alcalinas.

Son aquellas que han disuelto sales alcalinas de ácidos débiles y que tienen sales de potasio, litio u otros metales monovalentes del tipo alcalino. Estas aguas provienen generalmente de los terrenos graníticos o porfiríticos en los que las aguas puras, y las ácidas descomponen los feldespatos alcalinos como la Albita y la Ortosa que tienen silicatos dobles de aluminio y de un metal alcalino.

#### 3.3.2 Aguas sulfatadas (Selenitosas).

Son las que contienen gran cantidad de sulfatos alcalinos de litio sodio, potasio, calcio o magnesio. Algunas de ellas tienen su origen en el ataque de terrenos dolomíticos y/o con yeso por las aguas puras o las ácidas.

#### 3.3.3 Aguas cloruradas.

Son las que contienen en mayor proporción cloruros de elementos alcalinos y alcalinoterreos, se originan por la acción disolvente de las aguas puras o las ácidas que atraviesan yacimientos de Sal Gema o antiguos lechos marinos.

#### 3.3.4 Aguas magnesianas.

Son aquellas que contienen cantidades apreciables de sales solubles, de magnesio, tales como, cloruros, sulfatos y principalmente bicarbonatos.

Estas aguas provienen de terrenos dolomíticos que por acción del gas carbónico disuelto en el agua los hacen solubles por la transformación de los

carbonatos en bicarbonatos; éstos últimos cuando reaccionan con el sulfato de calcio forman el sulfato de magnesio.

### 3.3.5 Aguas de mar.

Estas tienen una gran cantidad de sales disueltas (aproximadamente 35 000 p.p.m. o más), en la cual predominan el cloruro de sodio, el cloruro de magnesio, el sulfato de magnesio y el sulfato de calcio; su origen se remonta al período terciario.

### 3.4 Aguas recicladas.

Se consideran como tales las que se usan para el lavado de unidades revolventoras de concreto y que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplean en la fabricación del concreto hidráulico. Estas por lo general tienen en suspensión alto porcentaje de finos del cemento y de los agregados sales solubles del cemento, de aditivos cuando se emplean éstos.

### 3.5 Aguas industriales

Estas aguas provienen de los desechos de las industrias y dependiendo de su origen pueden ser ácidas, básicas o salinas. Las más perjudiciales para el concreto son aquellas que contienen sulfatos, sulfuros, sales amónicas, azúcares, ácido sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, ácido láctico, acético, fórmico u otros ácidos orgánicos y álcalis cáusticos.

### 3.6 Aguas negras

Proviene de los desagües de las poblaciones. Su composición es muy compleja y varía en función de la distancia de su punto de origen.

### 3.7 Cementos portland ricos en calcio.

Se consideran como tales los cementos portland I, II y III con contenido de cal libre en el límite tolerable y ricos en silicato tricálcico.

### 3.8 Cemento Sulforesistente

Se consideran como tales a los cementos portland puzolánico, portland de Escoria de Alto Horno, los portland tipos V y los tipos II y IV, siempre y cuando tengan bajo contenido de cal libre y aluminato tricálcico.

## 4 ACCION AGRESIVA DE LAS AGUAS

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto está en función de la ausencia de compuestos en ellas ó de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas ó en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados límites.

A continuación se describe la forma en que actúan.

### 4.1 Aguas puras

Son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos.

cálcicos del concreto.

#### 4.2 Aguas ácidas naturales

Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre ( $\text{CO}_2$ ) y/o ácidos húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del concreto.

#### 4.3 Aguas fuertemente salinas

Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, éstas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la saturación. Como aguas de mezclado, su acción sobre la cal es la que interrumpe las reacciones de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, pueden ejercer una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

##### 4.3.1 Aguas alcalinas

Estas producen la hidrólisis alcalina de ciertos compuestos del cemento - por los cationes alcalinos y pueden ser nocivas para toda una gama de cementos diferentes al aluminoso, los cuales sufren un ataque corrosivo con aguas de esta naturaleza ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

##### 4.3.2 Aguas sulfatadas (Selenitosas).

Estas aguas pueden considerarse las más agresivas, en lo particular para los cementos ricos en cal total y aluminato tricálcico y en lo general para aquellos concretos ó morteros fabricados con cementos de reacción básica tales como los portland. En general estas aguas propician la formación de una sal doble fuertemente hidratada, conocida como Sal de Candlot, que es un sulfato aluminato tricálcico bajo una forma pulverulenta y expansiva.

##### 4.3.3 Aguas cloruradas

Estas aguas en general deben considerarse agresivas puesto que la solubilidad de la cal y el yeso en ellas es mayor que en las aguas puras, y en particular este efecto se incrementa en las aguas fuertemente cloruradas, que con la presencia de los cloruros alcalinos favorecen la solubilidad de varias sales agresivas. Por otra parte en determinadas concentraciones - puede ejercer una acción disolvente sobre los componentes del cemento y del concreto, y su agresividad es aún mayor en el caso del concreto armado.

##### 4.3.4 Aguas magnesianas

Las aguas magnesianas que contienen sulfato de magnesio, son de las más agresivas por la gran solubilidad de éste y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble.

Cuando se encuentra disuelto en el agua de mezclado en fuertes dosis, su acción sobre la cal es la que interrumpe el fraguado y esta acción es mayor en el caso de los cementos portland con alto contenido de aluminato tricálcico.

#### 4.3.5 Agua de mar

La acción de las aguas de mar es muy compleja, se parece al de las aguas sellenitas naturales y aunque su contenido de sulfatos es superior al de éstos últimos su proceso de ataque es lento y menos agresivo debido a la acumulación superficial de calcita, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene el agua de mar.

Por otra parte el sulfato de calcio no está en el estado de saturación debido a la presencia de otros sulfatos tales como el de magnesio, que forma un depósito de magnesio insoluble en los poros del concreto, también contribuye a disminuir su agresividad, la acción inhibidora, no despreciable, de los cloruros sobre el ataque de los sulfatos. Sin embargo, el empleo del agua de mar en los concretos simples produce eflorescencias. En el concreto reforzado o prefabricado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse para estos fines.

#### 4.4 Aguas recicladas

Estas aguas pueden ser agresivas si contienen sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables (ver 3.3.1., 3.3.2., y 3.3.3.) Por otra parte si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión, y éstos no se toman en consideración, el concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos.

#### 4.5 Aguas industriales

Las aguas residuales de las instalaciones industriales, generalmente son perjudiciales para el concreto ya que contienen iones sulfato ( $SO_4^{=}$ ), ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de éstos los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal libre o no tienen posibilidad de liberarla, tales como: los aluminosos, los puzolánicos y los de escoria de alto horno con bajo contenido de clinker.

#### 4.6 Aguas negras

Dada la complejidad de la composición de las aguas negras no es recomendable el uso de ellas, ya que sus efectos son imprevisibles y solo podrían ser utilizadas aquellas que previamente han sido tratadas adecuadamente y que contengan sustancias perjudiciales para el concreto dentro de los límites que se especifican en esta norma.

9.

Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas  
Límites en p. p. m.

Impurezas	Cemento ricos en calcio	Cementos Sulfato- resistentes
<b>Sólidos en Suspensión</b>		
En aguas naturales (Limos y Arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas (Finos de Cemento y Agregados)	50000	35000
<b>Cloruros como Cl ( a )</b>		
Para concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puentes	400 ( c )	600 ( c )
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 ( c )	1000 ( c )
Sulfato como $SO_4 =$ ( a )	3000	3500
Magnesio como $Mg^{++}$ ( a )	100	150
Carbonatos como $CO_3 =$	600	600
Dióxido de Carbono disuelto, como $CO_2$	5	3
Alcalis totales como $Na +$	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 ( b )	150 ( b )
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6,5

Notas de la tabla 1.

a.) Las aguas que excedan los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrán emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no excede dichos límites.

b.) El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea inferior a 2 de acuerdo con el método de la NOM-C-88.

c.) Cuando se use cloruro de calcio ( $CaCl_2$ ) como aditivo acelerante, la cantidad de éste debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de esta tabla.

- Bureau of Reclamation, Concrete Manual 1979  
U.S. Department of the interior.
- Concrete and Constructional Engineering.  
Water for Mixina Concrete. 1947 London
- Concrete Technology  
D.F. Orchard  
Contractor "S Record Ltd.  
Printe in G.B. by F. J. Parsons  
limited of London 1958.
- Corps of Engineers US Army Hand Book for Concrete  
and Cement. Requeriments for Water for Use in Mixing or Curing  
Concrete CRD-C-400.
- Czerning W. La química del Cemento. Edición en Español. 1962.
- Duriez, M. y Arrambideu. Nouveauxtraite des Materiau de la  
Construction Vol. II
- Giesebe, F.E. and G.A. Parkinson effects of variors salts in the  
mixing on the compressive strength of mortar. Boletín No. 2730, -  
University of Texas Enginneering Research Series 1927.
- Hormigon y aditivos.  
Texas, Barcelona.
- Keinlogel, A. Influences on Concrete New York Frederik Ungar  
Publising Co.
- Lea y Desch. The Chemistry of Cement and Concrete 1937.
- L'Hermite. - Agua para Concreto. 1979.
- Liebs, W. Le Chance of Strength of Concrete by Using Sea Water  
for Mixing and making Addition Too Concrete. Bautechnik, 1949
- Me Coy, W.J. Special Technical Publication 169 B. Chapter 43-  
Mixing and Curing Water for Concrete. Philadelphia Pa. (c) 1979
- Normas de la Industria Alemana  
DIN 4030 y PGL 11357 - 1962.
- Portland Cement Association Design And Control of Concrete Mixtures  
Capítulo 3 Mixing Water for Concrete pag. 19 Onccava Edición 1968.  
E.U.A.

- Plum, N.H., Cristrani and Nielsen Concrete Manual Boletín No. 39 Copenague Dinamarca 1944.
- Secretaría de Obras Públicas. Especificaciones Generales de Construcción Parte VIII 1976.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. Manual de Concreto. - 1970
- Steinour, H.H. Concrete Mix Water How Impure Can it Be. 1960 Portland Cement Association Research and Development Laboratories.
- Testing And Inspection of engineering. Materials third edition. H.E. Davis, G.E. Troxell C.T. Wiskočil Me graw Hill book Company, Inc. N.Y. and London.

México, D. F., a

EL DIRECTOR GENERAL DE  
NORMAS COMERCIALES DE LA  
SECRETARIA DE COMERCIO.

EL DIRECTOR GENERAL DE  
NORMAS

LIC. HECTOR VICENTE BAYARDO  
MORENO.

DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS.

## 5 ESPECIFICACIONES

Las aguas a las que se refiere esta Norma que se pretenden usar para la elaboración y curado del concreto hidráulico, excluyendo de ellas el agua de mar, - deben cumplir los requisitos que aparecen en la tabla 1.

El agua de mar cuando sea imprescindible su empleo, se debe usar únicamente para la fabricación y curado de concretos sin acero de refuerzo.

El agua cuyo análisis muestre que excede alguno o algunos de los límites de la tabla 1, se puede utilizar si se demuestra que en concretos de características - semejantes elaborados con esta agua han acusado un comportamiento satisfactorio a través del tiempo en condiciones similares de exposición.

Nota. - Cuando se sospeche que la interacción de los componentes de los ingredientes del concreto, ( agua, cemento, agregados, aditivos), puede producir resultados adversos, se deben hacer los estudios y pruebas que se estimen necesarios con la debida anticipación.

## 6 MUESTREO

La toma de muestra para verificar si el agua en cuestión, cumple con los requisitos de esta norma, estará de acuerdo con la NOM-C-277 (véase 2).

## 7 METODOS DE PRUEBA

La determinación de las impurezas de las aguas a que se refiere esta norma - se debe hacer de acuerdo con los métodos que se describen en la NOM-C-283, (véase 2) o por cualquier otro método de prueba con el que se obtengan resultados con el mismo grado de confiabilidad.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- American Society for Testing and Materials 1980 Annual Book of.
- Standars Part. 14 C-94 Spec. for ready mixed concrete.
- Au Pied Du Mur  
Robert L ' Hermite
- Societe de Propagande et de Diffusion  
Des Technique du Batiment.

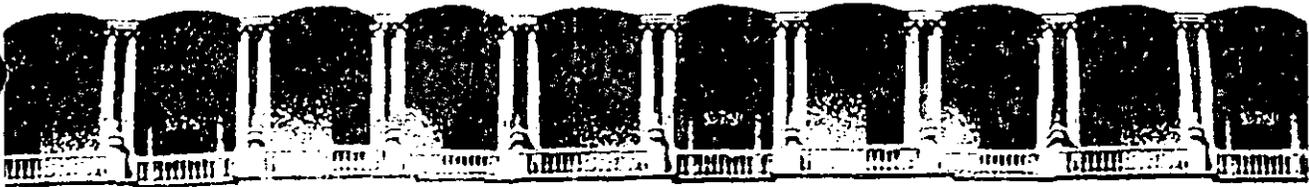
Biczok. Concrete Corrosion 1967

British Standard Institute

Rs 3148:80

Water for making concrete

(including notes on the suitability of the water).



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO**

**D I S E Ñ O**

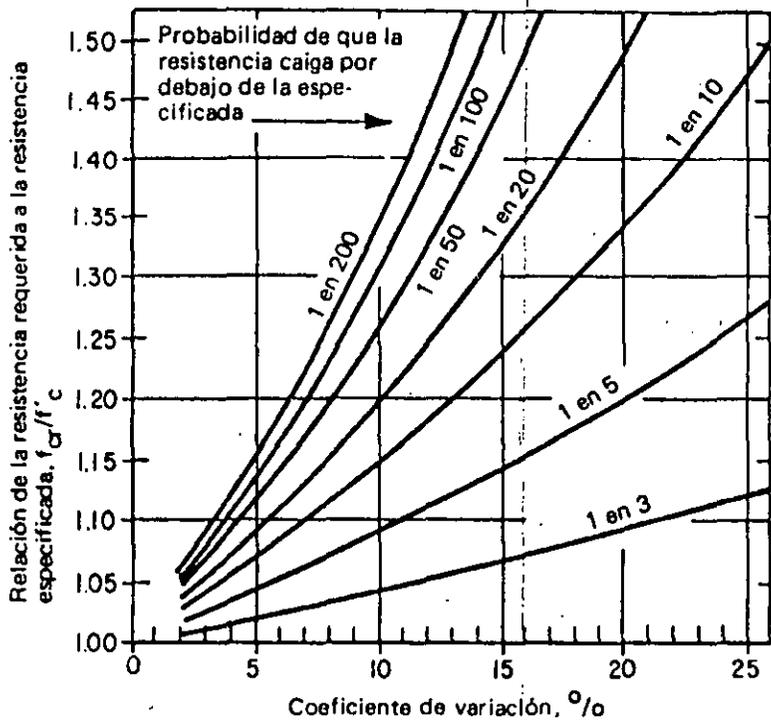


Fig. 4.1 (a).— Relación de la resistencia promedio requerida  $f_{cr}$  a la resistencia especificada  $f'_c$  para varios coeficientes de variación y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada

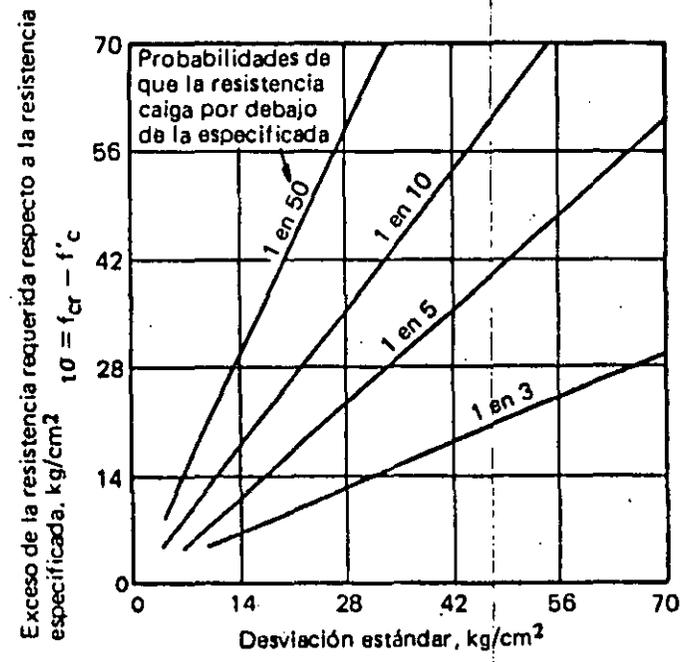


Fig. 4.1 (b).— Exceso de la resistencia promedio requerida  $f_{cr}$  respecto a la resistencia especificada  $f'_c$  para varias desviaciones estándar y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada



**TABLA 5.3.1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción**

<i>Tipos de construcción</i>	<i>Revenimiento, cm</i>	
	<i>Máximo *</i>	<i>Mínimo</i>
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	8	2
Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

\* Pueden incrementarse en 2.5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

**TABLA 5.3.4 (a) Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto**

<i>Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm<sup>2</sup> *</i>	<i>Relación agua/cemento por peso</i>	
	<i>Concreto sin aire incluido</i>	<i>Concreto con aire incluido</i>
420	0.41	--
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

\* Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no contiene más del porcentaje de aire que se indica en la tabla 5.3.3. Para una relación agua/cemento constante se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire.

La resistencia se basa en cilindros de 15 x 30 cm, curados con humedad a los 28 días, a 23 ± 1.7°C, de acuerdo con la sección 9 (b) de la norma ASTM C31.

La relación supone un tamaño máximo de agregado de 3/4 a 1"; para un banco dado, la resistencia producida por una relación agua/cemento dada se incrementará conforme se reduce el tamaño máximo de agregado. Consúltense las secciones 3.4 y 5.3.2.

**TABLA 5.3.4 (b) Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas\***

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo †</i>	<i>Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos</i>
Secciones esbeltas (barandales, guarniciones, umbrales, ménsulas, trabajos ornamentales) y secciones con menos de 3 cm de recubrimiento sobre el acero de refuerzo	0.45	0.40 ‡
Todas las demás estructuras	0.50	0.45 ‡

\* Basado en el informe del Comité ACI 201, "Durability of Concrete in Service", previamente citado.

† El concreto también debe tener aire incluido.

‡ Si se emplea cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o Tipo V de la norma ASTM C150), la relación agua/cemento permisible puede incrementarse en 0.05.



**TABLA 5.3.3** Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado

Revenimiento, cm	Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado, mm							
	10*	12.5*	20*	25*	40*	50†*	70††	150††
	<b>Concreto sin aire incluido</b>							
de 3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
de 8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
de 15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como un porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	<b>Concreto con aire incluido</b>							
de 3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
de 8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
de 15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	—
Promedio recomendado** del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición:								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***††	1.0***††
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5***††	3.0***††
Exposición severa ††	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***††	4.0***††

\* Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregados gruesos angulares, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites de especificaciones aceptadas.

† Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento después de la remoción de las partículas mayores de 40 mm, mediante tamizado húmedo.

‡ Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento para mezclas de prueba, cuando se utilizan agregados de tamaño máximo nominal de 70 ó 150 mm. Son promedios para agregados gruesos razonablemente bien formados y con buena granulometría de grueso a fino.

\*\* En varios documentos del ACI aparecen recomendaciones adicionales con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias de contenido de aire para control en el campo. Entre estos documentos están: ACI 201, 345, 318, 301 y 302. La norma ASTM C94 para concretos premezclados también proporciona los límites de contenido de aire. Los requerimientos que aparecen en otros documentos no siempre pueden concordar exactamente, por lo que al proporcionar concreto debe prestarse atención a la selección de un contenido de aire que se ajuste a las necesidades de la obra, así como a las especificaciones aplicables.

\*\*\* Para concretos que contienen agregados grandes que serán tamizados en húmedo a través de una malla de 1 1/2 pulgadas antes de someterse a la prueba de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material de tamaño inferior a 40 mm debe ser como el tabulado en la columna de 40 mm. Sin embargo, los cálculos iniciales de proporción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje del total.

†† Cuando se emplea agregado grande en concretos con bajo factor de cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos el requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente para mejorar la relación agua/cemento y, de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con inclusión de aire. Generalmente, sin embargo, para dichos tamaños máximos grandes de agregado los contenidos de aire recomendados en caso de exposición severa deben tomarse en consideración aunque pueda haber poca o ninguna exposición a la humedad o al congelamiento.

‡‡ Estos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9 % de aire en la fase de mortero del concreto. Si el volumen del mortero va a ser sustancialmente diferente del determinado en esta obra, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando un 9% del volumen real del mortero.

**TABLA 5.3.6 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto**

<i>Tamaño máximo de agregado, mm</i>	<i>Volumen de agregado grueso * varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena</i>			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

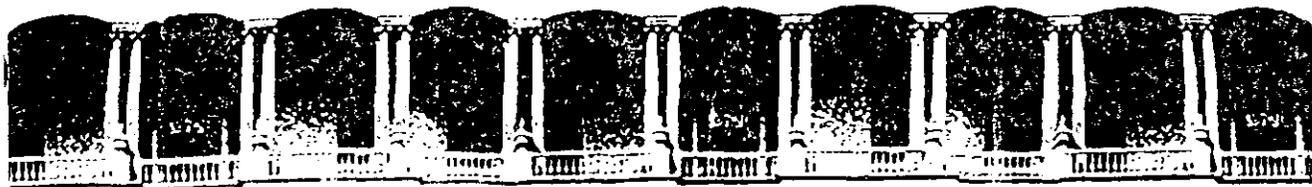
\* Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, pueden incrementarse en un 10% aproximadamente. Para concretos más trabajables, véase la sección 5.3.6.1.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author outlines the various methods used to collect and analyze the data. This includes both primary and secondary data collection techniques. The primary data was gathered through direct observation and interviews with key personnel. Secondary data was obtained from existing reports and databases.

The third section details the results of the data analysis. It shows a clear upward trend in the number of transactions over the period studied. This increase is attributed to several factors, including improved marketing strategies and a growing customer base.

Finally, the document concludes with a series of recommendations for future actions. It suggests that the company should continue to invest in its marketing efforts and maintain its focus on customer service. Additionally, it recommends regular audits to ensure the accuracy of the financial records.



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO**

**CONCRETO FRESCO**

## CONCRETO FRESCO

- 1.- DEBE SER FÁCILMENTE MEZCLADO Y TRANSPORTADO
- 2.- DEBE SER UNIFORME.
- 3.- DEBE TENER LA FLUIDEZ ADECUADA PARA QUE SEA CAPAZ DE LLENAR COMPLETAMENTE LAS CIMBRAS - PARA LAS QUE FUÉ DISEÑADO.
- 4.- DEBE TENER LA HABILIDAD DE COMPACTARSE COMPLETAMENTE SIN QUE SEA NECESARIO APLICAR -- UNA CANTIDAD EXCESIVA DE ENERGÍA.
- 5.- NO DEBE SEGREGARSE DURANTE EL COLOCADO Y LA COMPACTACIÓN.
- 6.- DEBE PODERSE TERMINAR ADECUADAMENTE.

## **TRABAJABILIDAD**

**ES DEFINIDA COMO LA CANTIDAD DE TRABAJO MECÁNICO  
O ENERGÍA, REQUERIDO PARA PRODUCIR UNA COMPACTA-  
CIÓN COMPLETA DEL CONCRETO SIN CAUSAR SEGREGACIÓN.**

CONSISTENCIA

FLUIDEZ

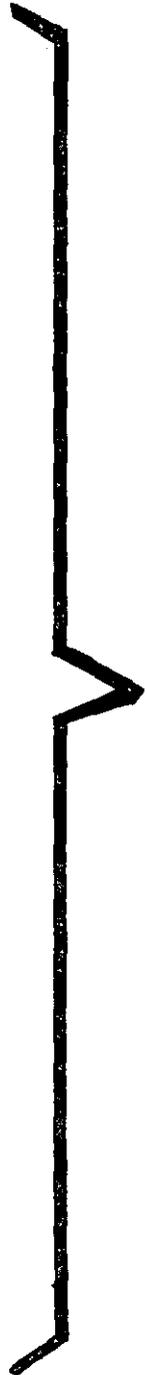
MOVILIDAD

BOMBEABILIDAD

COMPACTABILIDAD

FACILIDAD PARA TERMINAR

ASPEREZA



TRABAJABILIDAD

## FACTORES QUE AFECTAN LA TRABAJABILIDAD:

- CONTENIDO DE AGUA DE LA MEZCLA
- CANTIDAD DE AGREGADOS Y RELACIÓN GRAVA/ARENA
- PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS
- TIEMPO Y TEMPERATURA
- USO DE ADITIVOS

## PRUEBAS PARA MEDIR LA TRABAJABILIDAD

- PRUEBA DE REVENIMIENTO

- PRUEBAS DE COMPACTACION

- PRUEBAS DE FLUIDEZ

- PRUEBAS DE MOLDEO

- PRUEBAS DE PENETRACION

## INFLUENCIA DE MATERIAS PRIMAS EN EL CONCRETO

---

- a) Una de las características del cemento que influye en el comportamiento fresco es el de la prueba **blaine** o superficie específica, cuando existe un aumento de finura significa un mayor número de partículas en un peso determinado y, por tanto, mayor superficie de cemento disponible para estar en contacto con el agua. Consecuentemente, mayor finura representa, usualmente más requerimiento de agua y mayor rapidez de hidratación los efectos que provoca son: mejor manejabilidad en las mezclas de concreto, mayor poder de retención del agua (menor sangrado) y más rápida obtención de resistencia, así mismo provoca efectos indeseables como: mayores contracciones, desarrollo -- más rápido de calor y mayor facilidad para hidratarse cuando se almacena en ambiente húmedo.
- b) Una característica que llega a presentar el cemento es el fraguado falso, el cual se presenta a los pocos minutos de entrar en contacto con el agua, y el cual se rompe remezclando la pasta sin adición de agua y la pasta recobra su consistencia normal, su influencia en el concreto es solo un incidente molesto durante la aplicación, ya que no influye en sus propiedades.
- c) Otra característica del cemento que influye en el concreto fresco, es el tiempo de fraguado del cemento, dado que, conociendo dicha característica podemos ver cual es el comportamiento que tendrá el concreto para alcanzar tanto su fraguado inicial como el fraguado final.

## II. AGREGADOS.

- a) Tamaño máximo del agregado. Deberá estar de acuerdo a lo establecido por la esbeltez, armado y método de compactación -- que se aplicará a la estructura colada, además de que a medida que aumenta el tamaño máximo del agregado disminuye la cantidad de pasta requerida por volumen unitario de concreto -- fresco.
- b) Densidad. Esta característica es muy importante dado que en algunos casos, para diseñar mezclas es base, y en caso de que se manifestara una variación en el agregado y no se tomara en cuenta la producción de concreto por m<sup>3</sup>, aumentaría o disminuiría en volumen si la densidad bajara o subiera por lo cual es necesario tener controlados los agregados en cuanto a esta característica.

- c) Absorción. Esta característica influye en el concreto fresco de tal manera que afecta su trabajabilidad y esto va de acuerdo al estado de humedad en el que se encuentren los agregados al momento de elaborar el concreto. Esta característica es importante dado que sino se conoce el grado de absorción de los agregados podría alterarse la relación agua/cemento en la producción de concreto.
- d) Composición granulométrica. Esta característica resulta de la distribución de tamaños de las partículas que lo constituyen, es uno de los rasgos más peculiares en los agregados cuya influencia se hace sentir notablemente en el comportamiento de las mezclas de concreto fresco, muy ligada a esta característica tendremos el módulo de finura del agregado fino (arena) por medio del cual se va a poder definir si es gruesa o fina.
- f) Forma de las partículas. Es una característica muy especial - ya que de acuerdo a su forma el diseño de la mezcla será variado, así los agregados de formas angulosas y superficies ásperas usualmente requieren una mayor cantidad de pasta de cemento en su combinación óptima que los de formas redondeadas y superficies lisas, existen ocasiones en que las partículas trituradas muy alargadas y las excesivamente esféricas son igualmente indeseables: las primeras por sus efectos adversos sobre la manejabilidad del concreto y las segundas porque por falta de adherencia limitan la posibilidad de obtener resistencias muy altas.

## MOLDEABLE

Para que un concreto sea moldeable se requiere la combinación de las siguientes condiciones.

1. Suficiente pasta de cemento y agua para llenar las cavidades del agregado y mantenerlos en suspensión.
2. Una buena granulometría de los agregados fino y grueso.
3. Un adecuado porcentaje del agregado fino con respecto al total de los agregados.
4. Que las partículas del agregado tengan la forma y característica de superficie apropiadas.

El concreto debe ser homogéneo dentro del rango medio del revenimiento, fácil de emparejar con la llana.

Aunque se empleen agregados de buena calidad con suficiente pasta de cemento y agua, si la relación agua/cemento es desproporcionada, el concreto pierde trabajabilidad y esto provoca un sangrado, el productor de concreto debe diseñar su concreto para que cumpla con los requisitos de resistencia, para que sea durable y trabajable y de ser posible para que no se segregue bajo condiciones de alto revenimiento.

El tamaño de las partículas del agregado grueso estarán de acuerdo a la esbeltez y armado de la estructura a colar y el método de compactación por emplear.

\* En la práctica la relación agua/cemento es el factor único -- más grande que afecta la resistencia del concreto totalmente compactado.

Segregación. Se puede definir como la separación de los diferentes elementos que constituyen una mezcla heterogénea en el concreto, lo que causa la segregación es ante todo la diferencia en el tamaño de las partículas y la densidad de los componentes que lo forman, existen dos tipos de segregación: en el primero de ellos las partículas más gruesas tienden a desplazarse hacia fuera, puesto que las partículas más finas tienden a deslizarse por las pendientes o a asentarse, esto es que cuando se usa una mezcla pobre se puede presentar la primera clase de segregación si la mezcla está demasiado seca, el aumento de agua mejoraría la cohesión de la mezcla, pero, cuando ésta se hace demasiado húmeda, se puede presentar la segunda clase de segregación. El grado de segregación -

- 2 -

que se presente dependerá del método de manejo y colado del concreto por ejemplo: si el concreto se deja caer de una altura considerable, si tiene que pasar por un tobogán con cambios de dirección. Así pues, es necesario poner énfasis en que el concreto se debe colocar siempre directamente en la posición en la que ha de permanecer y nunca se debe permitir que fluya o se trabaje a lo largo de la cimbra. Esta prohibición incluye el uso de un vibrador para esporar un montón de concreto sobre un área grande.

Sangrado. Se conoce también como ganancia de agua, es un tipo de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colado. Esto se debe a que los componentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua de mezclado cuando se asientan en el fondo, el sangrado depende mucho de las propiedades del cemento, las mezclas ricas -- son menos propensas al sangrado este no siempre es dañino; si no se interrumpe (y el agua se evapora) la relación efectiva agua/cemento puede disminuir, dando como resultado un aumento en la resistencia.

## B I B L I O G R A F I A

---

Curso de Control de Calidad del Concreto.  
IMCYC 1985.

Manual del Concreto. Parte I.  
Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Tecnología del Concreto.  
A.M. Neville. Tomo 2.  
IMCYC.

1



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

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

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**CONSOLIDACION Y CURADO DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**ING. FELIPE GOMEZ SANCHEZ**

## CONSOLIDACION

### MANUALES:

- \* AUTOCOMPACTACION POR EFECTO DE GRAVEDAD (M. FLUIDAS).
- \* VARILLADO.
- \* PALEADO.
- \* APISONAMIENTO (PIE-PIZON).
- \* MEZCLAS RIGIDAS.

### MECANICAS:

- \* VIBRADO.
- \* COMPACTADORES DE POTENCIA.
- \* CENTRIFUGACION (GIRADO).
- \* MESAS DE IMPACTO.

CURADO  
METODOS UTILIZADOS

1.- APLICACION DE:

AGUA POR:

- \* ANEGAMIENTO.
- \* ASPERSION.
- \* VAPOR.

MATERIALES SATURADOS:

- \* CARPETAS DE YUTE.
- \* ALGODON.
- \* ALFOMBRAS.
- \* TIERRA.
- \* AREÑA.
- \* ASERCIO.
- \* PAJA O HENO.

2.- USO DE MATERIALES:

- \* HOJAS DE PLASTICO.
- \* PAPEL IMPERMEABLE.
- \* MEMBRANAS DE CURADO.

## DURABILIDAD DEL CONCRETO EN MEXICO

Por Manuel Mena Ferrer

### ASPECTO GENERAL

La durabilidad de un material es el atributo que lo identifica con el tiempo que puede prestar el servicio requerido en forma satisfactoria. Refiriéndose al concreto, es posible considerar su durabilidad bajo dos diferentes aspectos:

1. La durabilidad intrínseca del concreto como material de construcción, que depende de la calidad individual y compatibilidad de sus componentes, de las proporciones en que éstos se combinan, y de los diversos factores relacionados con su elaboración, incluyendo el control de la producción.
2. La durabilidad del concreto en la estructura, que no sólo depende de la durabilidad intrínseca del concreto que se emplea, sino también de otros factores tales como el rigor de las condiciones de exposición y servicio, la adecuación del proyecto estructural y funcional a dichas condiciones, la cumplida ejecución de la obra en todos sentidos, incluyendo el control y la supervisión de las actividades inherentes, y el adecuado mantenimiento operativo de la estructura en servicio.

Como resulta evidente, el tema de la durabilidad del concreto requiere ser tratado bajo el segundo aspecto, es decir conforme a su desempeño en la estructura, porque toma en cuenta todos los factores directa o indirectamente involucrados.

#### ACTUALIDAD DEL TEMA

La preocupación por la durabilidad del concreto es un asunto de permanente actualidad, a lo cual contribuyen significativamente las siguientes causas:

1. Crece continuamente el número de estructuras de concreto cuya vida útil de proyecto llega a su término, y existe interés por conocer cuánto tiempo más podrán permanecer "en activo".
2. Se tiende a diversificar los usos del concreto para competir con otros materiales.
3. Se exige más y mejor capacidad de trabajo del concreto en muchas de las nuevas aplicaciones.
4. Los avances tecnológicos en cuanto a materiales, equipos y procedimientos relacionados con el uso del concreto, denotan con frecuencia más interés por la economía que por la calidad.
5. Surgen constantemente casos impredecibles de estructuras de concreto deterioradas prematuramente, para cuya justificación no siempre existen explicaciones satisfactorias.

Dado que estas causas no son privativas de algún país o región en particular, sus efectos han dado motivo para un creciente interés global por la durabilidad del concreto, que se ha manifestado por la frecuente realización de reuniones internacionales para examinar este asunto.

#### COMPLEJIDAD DEL TEMA

Para abordar el tema de la durabilidad de las estructuras de concreto en toda su amplitud, es necesario considerar todos los fac-

tores que intervienen en el proceso de planeación, proyecto y construcción, y posteriormente en el curso de su vida de servicio. Los requisitos mínimos que deben cumplirse en las diferentes etapas de este proceso, a fin de lograr estructuras de concreto duraderas, en términos generales son:

1. Evaluación anticipada y justa de las condiciones de exposición y servicio previstas para el concreto en la estructura.
2. Proyecto estructural y funcional de la estructura acorde con las condiciones evaluadas.
3. Redacción de especificaciones de construcción adecuadas al proyecto y características de la estructura y a las condiciones de obra.
4. Selección de componentes, diseño de la mezcla y fabricación del concreto con la calidad requerida y especificada. (Uso de concreto de durabilidad intrínseca apropiada).
5. Ejecución correcta de la obra conforme al proyecto y las especificaciones, con el empleo de personal, equipos y procedimientos de construcción idóneos, y con un eficiente sistema de control y supervisión.
6. Protección y conservación eficaz de las estructuras en servicio, mediante actividades rutinarias de inspección y reparación. (Mantenimiento preventivo y correctivo).
7. Establecimiento de programas de seguimiento operativo de las estructuras y retroalimentación de datos a proyecto y construcción, con el propósito de aprovechar experiencias para mejorar la durabilidad de las estructuras en obras posteriores.

En lo que compete al alcance de estas notas, sólo procede hacer una breve exposición de los principales factores de riesgo que se hallan involucrados en los puntos 1, 4 y 5 de la relación precedente, y en particular de los que tienen mayores posibilidades de ocurrir en el medio local. Es decir, se pretende señalar las condiciones más riesgosas de exposición y servicio, los principales aspectos que determinan la durabilidad intrínseca del concreto, y ciertas prácticas constructivas que si no se realizan adecuadamente pueden incidir negativamente en la durabilidad del concreto en la estructura.

#### CONDICIONES DE EXPOSICION Y SERVICIO

Una de las primeras actividades que deben llevarse a cabo en la etapa de los estudios previos a la construcción de una estructura, consiste en evaluar las condiciones a que permanecerá expuesto y en que prestará servicio el concreto. Si estas condiciones no se identifican como riesgosas, es lícito suponer que la durabilidad intrínseca natural del concreto, que posea la resistencia a compresión especificada, deberá ser suficiente para soportarlas convenientemente; de lo contrario, en condiciones que impliquen riesgo, deberán adoptarse medidas para mejorar la durabilidad intrínseca del concreto que se utilice, en función de la índole de las acciones perjudiciales que se prevean.

A continuación se hace un repaso de las condiciones de exposición y servicio que con más frecuencia afectan la durabilidad del concreto y las medidas de prevención y/o protección que en cada caso son recomendables.

#### Bajas temperaturas ambientales

Las bajas temperaturas ambientales pueden causar daño al concreto, si son lo suficientemente bajas como para producir la congelación del agua que se halla en su interior: el agua al congelarse incre-

menta alrededor de 10 por ciento su volumen, lo que genera tensiones internas capaces de deteriorar el concreto. Esta condición adversa puede afectar tanto al concreto recién colado como ya endurecido, si bien sus efectos se manifiestan con distinta prontitud e intensidad. Si el concreto se congela recién fraguado (tierno) no posee resistencia para soportar los esfuerzos de tensión que se producen y sufre de inmediato un daño considerable. En el caso del concreto endurecido, que ya posee alguna resistencia a tensión, es posible que el daño no se haga evidente sino al cabo de cierto número de ciclos de congelación y deshielo, cuyos efectos al acumularse terminan por deteriorar el concreto.

Consecuentemente con ello, las medidas de prevención que se recomiendan en ambos casos tienen diferente función: en el caso del concreto recién colado lo que se requiere es protegerlo para evitar su congelación, en tanto que en el concreto ya endurecido lo que se pretende es que, aunque el agua interna se congele, no le produzca deterioro al concreto. Para lo primero existen recomendaciones específicas aplicables a los colados que se efectúan en clima frío,<sup>(1)</sup> mientras que para proteger al concreto endurecido ya en servicio contra los efectos de la congelación y el deshielo, el medio más común consiste en utilizar un aditivo inclusor de aire durante su elaboración.

El Comité ACI 306<sup>(1)</sup> define como clima frío, para fines de la ejecución de colados de concreto, cuando durante tres días consecutivos se presentan estas dos condiciones: 1) la temperatura media diaria del aire es menor de 5° C, y 2) la temperatura del aire no excede a 10° C durante más de la mitad del tiempo en un lapso de 24 horas. De acuerdo con las características climatológicas del territorio nacional, estas condiciones sólo se conjugan transitoriamente durante el invierno en algunas zonas del norte del país,<sup>(2)</sup> a diferencia de regiones más septentrionales, en otros países, en que dichas condiciones prevalecen durante gran parte del invierno.

Mediando esta circunstancia, y considerando que las acciones para proteger al concreto que se cuela en clima frío son laboriosas y relativamente costosas, en las condiciones del medio local puede optarse por evitar la ejecución de colados cuando ocurran las bajas temperaturas dichas, ya que normalmente son pasajeras, lo cual puede representar la necesidad de diferirlo sólo unos cuantos días. En todo caso lo que sí es conveniente en estos colados, aunque la temperatura no descienda a los valores indicados, es considerar el uso de agua caliente (alrededor de 60° C) para el mezclado del concreto y/o de un aditivo acelerante del fraguado y de la adquisición de resistencia.

Por otra parte, el uso de un aditivo inclusor de aire durante la elaboración del concreto, es una práctica obligada en la construcción de estructuras que prestan servicio a la intemperie en regiones donde ocurren nevadas, a fin de darles protección contra los efectos de los ciclos de congelación y deshielo, en cuyo caso se hallan los pavimentos, puentes y otras estructuras de concreto hidráulico de las zonas más frías del norte del país. En estos casos, particularmente en puentes, existe el riesgo adicional de degradación del concreto cuando se utilizan sales para inducir la descongelación en la superficie de rodamiento, pues dichas sales (frecuentemente cloruros de calcio o sodio) al cristalizar coadyuvan al deterioro del concreto, y al penetrar en éste propician la corrosión del acero de refuerzo.

Para que el aire incluido proporcione una adecuada protección al concreto en este aspecto, es necesario que constituya un sistema de vacíos con determinadas características, en cuanto a la proporción que dichos vacíos representan en el volumen del concreto y en cuanto a la esfericidad, diámetro medio, granulometría, superficie específica, separación y distribución de las burbujas que constituyen el sistema. A fin de comprobar si un aditivo inclusor de aire es capaz de producir un apropiado sistema de vacíos en el concreto, debe ser sometido previamente a las pruebas necesarias (ASTM C 260/NOM C-200). En lo que se refiere al diseño de las mezclas de concreto con aire

incluido, es conveniente ajustarse a los conceptos de la práctica recomendada por el Comité ACI 211.<sup>(3)</sup>

### Altas temperaturas ambientales

En relación con la durabilidad del concreto, las altas temperaturas ambientales no son propiamente dañinas en la etapa de servicio de las estructuras sino más bien en la etapa de su construcción e inmediata posterior a ésta, por cuanto afectan la hidratación del cemento y propician cambios volumétricos en la estructura.

La hidratación del cemento, como toda reacción química, se hace más lenta al disminuir la temperatura y se vuelve más rápida cuando ésta aumenta, de modo que en tiempo frío el concreto fragua y adquiere resistencia más lentamente, en tanto que en tiempo caluroso sucede lo contrario. De esta manera, al representar la adquisición de resistencia a compresión del concreto a diferentes temperaturas, se obtienen curvas como las que se muestran en la Fig 1.<sup>(4)</sup>

Es pertinente observar en esta figura que el concreto cuyo cemento se hidrata a mayor temperatura (en este caso 49° C) adquiere mayor resistencia en las primeras edades, pero al cabo de 28 días es el que menos resistencia manifiesta, lo cual se atribuye a la falta de uniformidad de los productos de hidratación que se producen en alta temperatura de curado, tal como se indica esquemáticamente en la Fig 2.<sup>(5)</sup> La consecuencia práctica de ello es que buena parte del cemento no logra hidratarse y el concreto no alcanza a desarrollar todas sus propiedades potenciales, incluyendo la de ser durable.

En cuanto a los cambios volumétricos, el comportamiento del concreto endurecido no es diferente al de otros materiales: al calentarse se expande y al enfriarse se contrae. En este aspecto, conviene hacer notar que la temperatura que alcanza el concreto en la estructura a raíz de su construcción, es consecuencia de la temperatura inicial del concreto fresco al ser colocado y del calor que a con-

tinuación se desarrolla por efecto de la hidratación del cemento. La temperatura inicial de la mezcla de concreto depende de las temperaturas de sus componentes, y éstas a su vez están en función directa de la temperatura del medio ambiente. Por lo que se refiere a la elevación de temperatura debida al calor de hidratación del cemento, depende de las características y consumo del cemento y de las dimensiones y condiciones de exposición de la estructura, aunque también recibe cierta influencia de las condiciones térmicas ambientales.

De acuerdo con lo anterior cabe esperar que si el concreto se cuela en condiciones de alta temperatura ambiental, sin tomar medidas modificativas de ninguna especie, al cabo de cierto tiempo el concreto en el interior de la estructura debe manifestar una temperatura más elevada que la media del ambiente; de tal modo que, conforme ambas temperaturas tiendan a igualarse, el concreto deberá tender a contraerse dando lugar a esfuerzos de tensión que pueden provocar agrietamientos en la estructura, y con ello afectar su durabilidad potencial.

La definición de clima cálido para fines de colado es menos precisa que la de clima frío; así, por ejemplo, el Comité ACI 305<sup>(6)</sup> prefiere ser pragmático al definirlo, pues considera como clima caluroso "cualquier combinación de alta temperatura del aire, baja humedad relativa y velocidad del viento, que tiende a perjudicar la calidad del concreto fresco o endurecido, o bien conduce a propiedades anormales"; aunque también admite que en cada caso particular debe haber una temperatura máxima permisible para el concreto colocado en la estructura, posiblemente a un nivel comprendido entre 24 y 38° C.

A diferencia de las condiciones de clima frío que sólo resultan críticas en forma pasajera durante el invierno en algunas zonas del norte del país, las que pueden identificarse con el clima caluroso prevalecen durante el resto del año en gran parte del territorio nacional.<sup>(2)</sup> En este aspecto resulta particularmente riesgoso el clima

semidesértico, cálido y seco, que se manifiesta en varias zonas del norte del país durante el verano, pues al efecto de las altas temperaturas se suma el de la baja humedad relativa ambiental que resulta muy perjudicial cuando se cuegan pavimentos de concreto hidráulico, porque propicia el resecamiento del concreto recién colocado y la aparición de grietas por contracción plástica.

Para la ejecución de colados en clima caluroso existen una serie de medidas aplicables, que van desde reducir la temperatura del concreto al mezclarlo hasta enfriar el concreto colocado en la estructura, y cuya utilización depende normalmente de las características dimensionales y de exposición de las estructuras. Para el caso de estructuras ordinarias de concreto (no masivas) el informe del Comité ACI 305<sup>(6)</sup> contiene las principales recomendaciones básicas para los colados que deben realizarse en clima cálido, las cuales se resumen, adaptadas a las condiciones y facilidades locales, en el suplemento mexicano<sup>(2)</sup> al informe del Comité ACI 201.<sup>(7)</sup>

#### Ataque de los sulfatos

Las estructuras de concreto, tales como pavimentos, pilas de puentes y otras, que prestan servicio en contacto con el terreno y eventualmente con aguas freáticas o superficiales, corren riesgo de sufrir deterioro prematuro si el medio de contacto posee un elevado contenido de sulfatos. Aun cuando no hay límite preciso para distinguir las concentraciones de sulfatos que son dañinas o inocuas para el concreto de cemento portland, normalmente se supone que son riesgosas a partir de 0.1 por ciento de sulfatos solubles ( $SO_4^{2-}$ ) en el suelo y de 150 ppm en el agua de contacto.

El ataque de los sulfatos al concreto obedece a un mecanismo principalmente químico, aunque también contiene cierto componente físico. El proceso químico puede resumirse diciendo que los sulfatos externos en solución penetran en el concreto y reaccionan con el aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) del cemento portland para terminar formando sul-

foaluminato de calcio, cuya formación se acompaña de un aumento de volumen que genera tensiones internas capaces de agrietar primero y desintegrar después el concreto. El proceso físico se manifiesta cuando el concreto se satura y seca sucesivamente, pues durante el secado las sales que penetran en solución se cristalizan y aumentan de volumen, contribuyendo a las tensiones destructivas.

De lo anterior resulta que para dar protección al concreto contra el ataque de los sulfatos, lo que procede es evitar las condiciones que permiten el desarrollo del proceso destructivo, y así, existen tres maneras principales de suministrar dicha protección al concreto, cuando es inevitable que preste servicio en contacto con un medio agresivo de esta naturaleza:

- a) Utilizar un cemento que no reaccione en grado detrimental con los sulfatos, ya sea porque posee un bajo contenido de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) o porque contiene un material (como ciertas puzolanas) capaz de inhibir la reacción o sus efectos.
- b) Producir un concreto que sea compacto e impermeable, empleando una baja relación agua/cemento, a fin de restringir la penetración de los sulfatos en solución. (Ver Fig 3).
- c) Aplicar un recubrimiento superficial al concreto, o colocar un elemento separador, con objeto de evitar que se produzca contacto directo entre el concreto y el medio agresivo.

En la Tabla 1, reproducida del informe del Comité ACI 201,<sup>(7)</sup> se relacionan los diferentes grados de agresividad del suelo y el agua de acuerdo con su concentración de sulfatos, y se indican los tipos y clases de cemento y las relaciones agua/cemento que en cada caso son recomendables. Es pertinente observar que el agua de mar, en función de su contenido de sulfatos, es considerada como un medio moderadamente agresivo; sin embargo, en zonas pantanosas y albuferas, en donde el agua de mar tiene poco movimiento o se halla estan-

cada y expuesta a la evaporación, su contenido de sulfatos puede incrementarse considerablemente hasta convertirla en un medio muy agresivo. Por otra parte, debido al elevado contenido de cloruros en el agua de mar, siempre hay que considerarla como un medio de contacto potencialmente dañino para el concreto reforzado, por el riesgo que representa para la corrosión del acero de refuerzo.

En la República Mexicana existen numerosas zonas en donde las estructuras de concreto deben protegerse contra el ataque de los sulfatos, por la elevada concentración de éstos en el medio de contacto. A manera de algunos ejemplos pueden mencionarse las zonas costeras de ambos litorales, en especial las tierras bajas pantanosas y las lagunas inmediatas al Golfo de México en los Estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán; la zona de influencia de las aguas del Río Colorado en su desembocadura en el Golfo de California; las zonas desérticas y semidesérticas en los Estados de Baja California, Sonora y Chihuahua, principalmente; el lecho seco del Lago de Texcoco en el Estado de México, etc.

Tomando en cuenta la gran probabilidad que existe en el territorio nacional de que el concreto se deteriore prematuramente por el ataque de los sulfatos, debe considerarse como una práctica obligada entre los estudios preliminares a la construcción de cualquier estructura, efectuar el análisis químico del suelo y/o del agua freática o superficial de contacto, en el sitio destinado a la cimentación.

#### Corrosión del acero de refuerzo

La corrosión del acero de refuerzo es una de las causas más frecuentes de deterioro prematuro de las estructuras de concreto, y aunque parece resconder a un mecanismo deteriorante de naturaleza interna, los agentes que promueven el fenómeno proceden del exterior por lo que es procedente incluirlo entre las condiciones de exposición que afectan la durabilidad del concreto.

El acero normalmente sufre corrosión en presencia de agua y oxígeno, de modo que ambos elementos son indispensables para que se produzca el fenómeno; pero además su desarrollo puede verse acelerado si el agua contiene ciertas sales (como los cloruros) que pueden convertirla en un medio favorable para la corrosión electrolítica, y por otra parte el aire, que es la fuente del oxígeno, puede contener ciertos gases productos de la contaminación atmosférica (como el bióxido de carbono) que contribuyen a incrementar la corrosión. De este modo, tratándose del acero que sirve de refuerzo al concreto, puede suponerse que su corrosión sólo debe ocurrir cuando hasta él tienen acceso el agua y el oxígeno, con sus correspondientes agentes corrosivos adicionales.

El concreto endurecido que envuelve al acero de refuerzo, de ordinario le proporciona una adecuada protección contra la corrosión, debido a que es un medio alcalino con un pH normalmente mayor de 10. Sin embargo, hay ocasiones en que no ocurre así, por diversas causas entre las que cabe destacar las siguientes:

- a) El concreto es demasiado permeable al agua y al aire
- b) Existen grietas superficiales en la estructura
- c) El recubrimiento de concreto es de poco espesor
- d) El medio húmedo de contacto es muy corrosivo

El concreto hidráulico no es absolutamente impermeable ni al agua ni al aire, pero cuando es compacto y posee una baja relación agua/cemento, exhibe una reducida permeabilidad (ver Fig 3) que suele ser suficiente para proteger al acero de refuerzo contra la corrosión, a menos que concurren otros factores ajenos. Bajo tal consideración, cuando el riesgo de corrosión es alto, se acostumbra recomendar el uso de una baja relación agua/cemento, independientemente de que no sea necesaria por razones de resistencia mecánica, como es el caso de las estructuras que deben prestar servicio en contacto intermitente o esporádico con agua de mar. Sin embargo, se ha dicho<sup>(8)</sup> que una causa frecuente de falta de durabilidad en las

estructuras de concreto es precisamente el hecho de no emplear la relación agua/cemento apropiada, porque se acostumbra especificar y admitir la calidad del concreto con base únicamente en su resistencia a compresión.

Pero además, si el concreto es muy permeable al aire y este contiene una anormalmente alta proporción de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se favorece el llamado efecto de carbonatación del concreto. Según éste, el bióxido de carbono se combina con el hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del cemento para formar carbonato de calcio, cuyas consecuencias adversas son: 1) disminución en el grado alcalino del concreto y en su capacidad de protección al acero de refuerzo contra la corrosión, y 2) aumento en la contracción del concreto y en la posibilidad de agrietamiento por este concepto.

Las grietas en las estructuras constituyen vías que facilitan el acceso del agua y el oxígeno (y eventualmente otros agentes corrosivos) hasta el acero de refuerzo, por lo que su presencia representa mayor riesgo de que éste sufra corrosión. Las grietas pueden considerarse divididas en estructurales e intrínsecas; las primeras dependen del funcionamiento de la estructura y deben poder evitarse mediante un diseño acorde con las cargas y sollicitaciones previstas. En cuanto a las grietas intrínsecas o no estructurales pueden ser de tres diferentes tipos, que normalmente se manifiestan a las siguientes edades: <sup>(9)</sup>

<u>Tipo de grietas</u>	<u>Tiempo de manifestación</u>
De contracción plástica	En las primeras horas después del colado
De contracción térmica temprana	Desde un día hasta dos o tres semanas
De contracción por secado a largo plazo	Después de varias semanas, e incluso meses

En la aparición de estas líneas de grietas influyen mucho las caracte-

terísticas y propiedades intrínsecas del concreto que se emplea y las prácticas constructivas que se utilizan, que son responsabilidad de quien selecciona los componentes y diseña la mezcla de concreto, y de quien elabora y utiliza el concreto en el curso de la construcción de la obra.

El espesor del recubrimiento de concreto juega un papel muy importante en la protección del acero de refuerzo, por cuyo motivo se le especifica en función del grado de riesgo de corrosión que en cada caso existe. En la Tabla 2, reproducida de la Referencia 2, se indican los espesores mínimos y las relaciones agua/cemento máximas que son recomendables en el concreto para tres diferentes niveles estimados de riesgo de corrosión.

El proceso de corrosión del acero de refuerzo, particularmente en presencia de un medio de contacto de alto grado de corrosividad, es un mecanismo que suele presentar dos fases, una pasiva y otra activa, tal como se representa en la Fig 4. En la fase pasiva la corrosión se mantiene en un grado de avance reducido y puede pasar inadvertida, pero llega un momento ( $T_0$ ) en que el proceso se acelera instantáneamente y conduce en corto tiempo a la inhabilitación del acero de refuerzo y posiblemente de la estructura. De ahí la importancia de la inspección rutinaria y del mantenimiento oportuno como elementos indispensables para asegurar una cierta durabilidad mínima en las estructuras de concreto.

Para los casos en que las condiciones de exposición y servicio se consideran críticas para efectos de la corrosión del acero de refuerzo, es posible adoptar ciertas medidas preventivas adicionales tales como aplicar un recubrimiento protector a las varillas de refuerzo antes de colar el concreto y/o revestir la superficie de la estructura en contacto con el medio corrosivo con una substancia o material que impermeabilice el concreto e impida la penetración de los agentes corrosivos. En este aspecto se han logrado avances importantes con el desarrollo de nuevos productos que inhiben la pe-

netración del ion cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) a través del concreto, y cuya investigación se ha enfocado básicamente hacia la protección contra la corrosión del acero de refuerzo en puentes de concreto.<sup>(10)</sup>

### Acciones abrasivas

Una condición de servicio en la que con más frecuencia se pone a prueba la durabilidad del concreto es la que corresponde a las estructuras que se hallan expuestas a los efectos de la abrasión, sea ésta de origen hidráulico o mecánico. En apoyo de esta aseveración cabe considerar el hecho de que las estructuras de concreto que mayor mantenimiento demandan son de ordinario las hidráulicas que conducen agua con alta velocidad y los pisos y pavimentos de concreto hidráulico sujetos a intenso tráfico vehicular.

Debido a que la principal defensa del concreto contra la erosión por abrasión es la que oponen los agregados, la alta calidad de éstos en cuanto a dureza y resistencia al desgaste es un requisito indispensable para lograr concretos que sean duraderos en esta clase de servicio. Sin embargo, esto requiere complementarse con el uso de una pasta con baja relación agua/cemento y de una mezcla de concreto bien diseñada y con una consistencia relativamente dura que no propicie el asentamiento y el sangrado durante su colocación, a fin de que no se forme en la superficie libre del concreto una costra de inferior calidad, fácilmente degradable.

En el colado de revestimientos, pisos y pavimentos de concreto hidráulico, hay dos prácticas constructivas que merecen especial consideración por su significativa influencia en la resistencia a la abrasión de las superficies de concreto resultantes, y que son el acabado y el curado. Hay investigaciones<sup>(11)</sup> cuyos resultados muestran un claro beneficio en este aspecto, cuando el acabado de las superficies libres se realiza con llana mecánica en vez de las tradicionales llanas de madera o metálica aplicadas a mano, con la posibilidad de incrementar aun más la resistencia a la abrasión si la

llana mecánica se aplica dos veces en forma consecutiva, con un lapso adecuado de espera entre ambas aplicaciones.

En cuanto al curado, hay también información<sup>(11),(12)</sup> en el sentido de que un buen curado es esencial para conseguir superficies de concreto resistentes a la abrasión, y que para esta finalidad el mejor curado se obtiene por tres procedimientos opcionales: humedecimiento continuo, colocación de una tela plástica (usualmente polietileno) sobre la superficie, o aplicación de una membrana de curado de alta calidad (generalmente a base de resinas), pero con el requisito de que el procedimiento elegido se ponga en práctica inmediatamente a continuación de dar el acabado.

Cabe señalar que en el medio local, de igual modo que suele ocurrir en otras partes,<sup>(12)</sup> hay tendencia a restarle importancia a los beneficios que se obtienen con un buen curado, por lo que es pertinente incluir la Fig 5<sup>(13)</sup> en la que se pone de manifiesto la cuantía de la pérdida de resistencia potencial que se ocasiona cuando el concreto no se cura adecuadamente. De este modo, no parece aventurado suponer que esta deficiencia sea una de las principales causas del deterioro prematuro en las estructuras, como los pisos y pavimentos de concreto hidráulico, en que el curado es más importante; y en particular cuando estas estructuras se vuelan en las críticas condiciones representadas por la conjunción de alta temperatura, baja humedad relativa y presencia de viento, que durante el verano acontecen en algunas zonas del país.

#### CONDICIONES INTRINSECAS

La durabilidad intrínseca del concreto, como material de construcción ya puesto en la estructura, depende básicamente de cuatro factores principales, con sus correspondientes aspectos específicos, según se indican en la siguiente relación.

Factores que influyen en la durabilidad intrínseca del concreto colocadoAspectos específicos

Calidad de los agregados

Características físicas y químicas.

Calidad de la pasta de cemento

Tipo y clase de cemento, calidad del agua, relación agua/cemento, uso de aditivos.

Comportamiento pasta-agregado

Compatibilidad física (adherencia) y química (reacciones adversas).

Prácticas de ejecución (comportamiento del concreto integral)

Concreto fresco: proporcionamiento y manejabilidad de la mezcla.  
Concreto endurecido: homogeneidad, compactación, acabado, curado.

Cualquiera de estos aspectos en que ocurra deficiencia, puede conducir a una disminución de la durabilidad intrínseca del concreto en la estructura, cuyo deterioro prematuro puede ocurrir ó no, dependiendo de la importancia de la deficiencia y de la naturaleza e intensidad de las acciones deteriorantes que se deriven de las condiciones de exposición y servicio.

En orden de frecuencia, las deficiencias más comunes se suscitan en las prácticas de ejecución y en la calidad de la pasta de cemento, quedando en segundo término las deficiencias imputables a la calidad de los agregados y al comportamiento pasta-agregado. Sin embargo, también es necesario jerarquizar estas deficiencias en función de la importancia y trascendencia de los efectos adversos que producen, pues algunos corresponden a deterioros localizados que pueden ser corregidos con relativa facilidad, en tanto que otros pueden representar una afectación generalizada de la estructura, difícil de remediar.

En este último caso se ubican las reacciones químicas detrimentales

que eventualmente se producen entre ciertos agregados y los álcalis en el concreto, y que dan por resultado el deterioro gradual y generalizado del concreto afectado. Debido a que esta reacción álcali-agregado ha sido causa comprobada de la incapacitación precoz de importantes estructuras de concreto en diversos países (presas, puentes, etc.) se considera necesario referirse a ella en particular por el riesgo que representa cuando no se le previene; cuya deficiencia en este aspecto puede tener muy serias consecuencias adversas, técnicas, económicas y sociales, especialmente en las grandes y costosas obras de concreto.

#### Reacciones álcali-agregado

En toda mezcla de concreto siempre existe un cierto contenido de álcalis (óxidos de sodio y de potasio,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  respectivamente) que en su mayoría provienen del cemento, aunque también pueden ser aportados en menor escala por algunos agregados, el agua de mezcla y determinados aditivos (como algunas puzolanas). Todo cemento portland contiene invariablemente una reducida proporción de álcalis, cuyo intervalo de variación en los cementos de producción local suele abarcar aproximadamente desde 0.2 hasta 1.5 por ciento, expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ . En las especificaciones que regulan la fabricación de los cementos portland (ASTM C 150/NOM C-1) se establece que el cemento es de bajo contenido de álcalis cuando no excede a 0.60 por ciento, y ésta es una característica que se considera como requisito opcional que sólo puede volverse obligatorio mediante acuerdo específico entre el comprador y el fabricante, en el suministro de cemento para una determinada aplicación.

Existen algunas rocas y minerales, que se hallan presentes con relativa frecuencia en los agregados para concreto y que son capaces de reaccionar químicamente con los álcalis, formando un gel que al absorber agua se expande y genera presiones internas que tienden a agrietar primero y a desintegrar después el concreto en estado endurecido. De acuerdo con la identidad de estas rocas y minerales, se

distinguen tres tipos de reacciones con los álcalis, como a continuación se indican:

<u>Tipo de reacción</u>	<u>Identidad de las rocas y minerales participantes</u>	<u>Probabilidad de existencia local</u>
Alcali-sílice	Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas que contienen diversas formas de sílice reactiva (vítrea, criptocristalina, microcristalina, o cristalina pero intensamente deformada).	Alta
Alcali-carbonato	Rocas sedimentarias carbonatadas que contienen dolomita y minerales arcillosos.	Mediana
Alcali-silicato	Rocas metamórficas que contienen filosilicatos, de estructura foliada-reticular.	Baja

En la primera reacción intervienen principalmente diversas rocas que contienen ópalo, rocas volcánicas vítreas y ciertas rocas cuarzosas que poseen sílice en su forma reactiva; en la segunda participan básicamente las rocas calizas dolomíticas y arcillosas y finalmente en la tercera se involucran algunas rocas que contienen hidromica. En orden de abundancia, las primeras son muy frecuentes, las segundas son poco frecuentes y las terceras son escasas. Tal vez por este motivo, los casos de reacciones dañinas detectados a nivel mundial se han manifestado en ese mismo orden de frecuencia; consecuentemente con ello, la reacción álcali-sílice es la que ha recibido más atención y sobre la cual existe mayor información en cuanto a su génesis, forma de manifestación y medios comunes de prevención.

Conforme al estado actual del conocimiento, para que se produzca en el concreto una reacción deletérea álcali-agregado, del tipo álcali-

sílice, se requiere la conjunción simultánea de tres condiciones necesarias:

1. Existencia de rocas y minerales con sílice reactiva en el conjunto de rocas que conforman los agregados, y en proporciones que resulten específicamente dañinas de acuerdo con su naturaleza y grado de reactividad. Por ejemplo, hay rocas muy reactivas como las que contienen ópalo y cuya presencia en proporción tan baja como 1 por ciento puede ser riesgosa.

2. Existencia de suficiente cantidad de álcalis en la mezcla de concreto, para que su reacción con la sílice reactiva disponible en los agregados se traduzca en expansiones dañinas al concreto endurecido. Como ya se ha dicho, el cemento es la principal fuente de aportación de álcalis al concreto, y debido a ello en la práctica americana se considera que un buen medio para prevenir la reacción consiste en utilizar un cemento portland con bajo contenido de álcalis (menos de 0.60 %, como  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Sin embargo en la práctica europea se establece que, además de restringir los álcalis en el cemento, debe limitarse el contenido total de álcalis en la mezcla de concreto a un valor que no exceda a  $3 \text{ kg/m}^3$ , incluyendo la eventual aportación de los álcalis provenientes de los agregados el agua de mezclado y los aditivos.

3. Existencia de suficiente humedad en el interior del concreto, a fin de que el gel silico-alkalino pueda absorberla y expandirse. En este aspecto suele considerarse que no es indispensable que la estructura preste servicio en contacto con agua, pues en ocasiones basta con la humedad natural del concreto en contacto con el medio ambiente a la intemperie. Sin embargo, hay información que atribuye las peores condiciones de humedad a los ciclos de humedecimiento y secado, y/o al paso de la humedad a través del concreto; de tal modo que la interposición de una barrera impermeabilizante en el lugar adecuado para evitar estas condiciones, puede constituir un medio auxiliar para prevenir, o por lo menos diferir los efectos de la

reacción, en el caso de estructuras ya construidas en las que exista el riesgo latente de que dicha reacción se produzca en grado detrimental.

Dado que los efectos de esta reacción, una vez iniciada, son progresivos e irreversibles, la manera correcta de proceder consiste en tomar las precauciones necesarias antes de construir las estructuras. Para este objeto existen tres opciones posibles, cuya selección depende de las circunstancias particulares de cada caso:

1. Evitar el empleo de agregados que contengan sílice reactiva, identificada por medio del examen petrográfico de los mismos, a menos que se defina mediante las pruebas reseñadas en la Referencia 2, que tales agregados no producen expansiones deletéreas con los álcalis. Esta opción es tal vez la menos accesible, debido a que pocas veces existe la posibilidad de contar con una fuente alternativa de suministro de agregados que sean probadamente inócuos; además, la definición mediante pruebas directas del grado de reactividad de unos ciertos agregados identificados petrográficamente como potencialmente reactivos, responde a un proceso que suele durar alrededor de 6 meses, por lo menos. En tales circunstancias, lo más probable es que resulte necesario optar por alguna de las dos siguientes medidas.

2. Limitar el contenido unitario de álcalis en el concreto a un máximo de  $3 \text{ kg/m}^3$ , cuantificando los álcalis que puedan aportar el cemento, los agregados, el agua de mezcla y los aditivos, de acuerdo con sus respectivos consumos unitarios en la mezcla de concreto de uso previsto. Esta medida, para que alcance cabal eficacia, debe complementarse con el requisito de que el cemento portland que se utilice posea bajo contenido de álcalis (0.60 % máximo).

3. Emplear en el concreto una puzolana que sea probadamente eficaz para inhibir las expansiones detrimentales debidas a la reacción álcali-agregado que se trata de prevenir. En otros países existe la posibilidad de adquirir puzolanas que se ofrecen como materiales in-

dependientes del cemento, y que se incorporan individualmente a las mezclas de concreto en la revolvedora. En el caso de México no existe actualmente esta posibilidad, de manera que la opción consiste en utilizar un cemento portland-puzolana, de los cuales hay un gran número que se fabrican en el país. Sin embargo, es oportuno mencionar que no todas las puzolanas son eficaces para inhibir adecuadamente los efectos de la reacción álcali-agregado, por lo cual antes de emplear un cemento portland-puzolana con esta finalidad, es recomendable verificar su aptitud en este sentido mediante las pruebas que se describen en la Referencia 14.

Tal como se comentó previamente, existe información publicada acerca de numerosas estructuras de concreto que se han deteriorado prematuramente en diversas partes del mundo como consecuencia de reacciones deletéreas álcali-agregado, principalmente del tipo álcali-sílice. En el caso específico de México, hasta hace pocos años no se conocían datos comprobados de estructuras de concreto afectadas por este fenómeno dañino;<sup>(14)</sup> sin embargo, en el curso de un reciente seminario local sobre durabilidad del concreto en las obras viales, se mencionó el caso de durmientes de concreto prefabricado en los que se detectaron agrietamientos atribuidos a una reacción detrimental álcali-sílice,<sup>(15)</sup> y el cual aparentemente representa el primer caso documentado de esta reacción, ocurrido en el país.

Debido a la frecuencia con que en México se utilizan agregados que contienen el tipo de sílice que se identifica como potencialmente reactiva con los álcalis, existe la posibilidad de que el caso anterior no constituya un ejemplo aislado de dicha reacción, y puedan aparecer otros a medida que exista mayor seguimiento e información acerca del comportamiento de las estructuras de concreto en servicio. Se opina que esto debe servir como una señal de alerta para que se efectúen oportunamente los estudios preliminares necesarios y se adopten las medidas preventivas que en cada caso procedan, a fin de evitar el riesgo de sufrir deterioro prematuro del concreto por este concepto, en las futuras grandes obras de concreto cuya realización se vislumbra.

## REFERENCIAS CITADAS

- (1) ACI Committee 306. Report ACI 306R-88. "Cold Weather Concreting". ACI Manual of Concrete Practice. Part 2. (1991)
- (2) ACI Sección México-Capital. "Guía para la Durabilidad del Concreto. Suplemento Mexicano del Informe del Comité ACI 201". México, D.F. (1989)
- (3) ACI Committee 211. Report 211.1-81. "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete". ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. (1991)
- (4) Portland Cement Association. "Design and Control of Concrete Mixtures". Bulletin PCA No. T-12. (1952)
- (5) Verbeck, G. and Copeland, L.E. "Some Physical and Chemical Aspects of High Pressure Steam Curing". ACI Special Publication No. 32. Paper SP-32-1. (1972)
- (6) ACI Committee 305. Report 305R-89. "Hot Weather Concreting". ACI Manual of Concrete Practice. Part 2. (1991),
- (7) ACI Committee 201. Report 201.2R-77(82). "Guide to Durable Concrete". ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. (1991)
- (8) Neville, A.M. "Why we Have Concrete Durability Problems". ACI Special Publication No. 100. Paper SP-100-3. (1987)
- (9) The Concrete Society. "Non-Structural Cracks in Concrete". Technical Report No. 22. (1982)
- (10) Transportation Research Board. "Concrete Sealers for Protection of Bridges Structures". National Cooperative Highways Research Program Report No. 244. National Research Council. (1981)

- (11) Kettle, R. and Sadegzadeh, M. "The Influence of Construction Procedures on Abrasion Resistance". ACI Special Publication No. 100. Paper SP 100-71. (1987)
- (12) Senbetta, E. and Malchow, G. "Studies on Control of Durability of Concrete Through Proper Curing". ACI Special Publication No. 100. Paper SP 100-7. (1987)
- (13) Portland Cement Association. "Basic Concrete Construction Practices". John Wiley and Sons, Inc. (1975)
- (14) Mena Ferrer, M. "Reacción Alkali-Sílice en el Concreto: Causas, Efectos y Medios de Prevención". Revista IMCYC No. 148. (1983)
- (15) López Vicente, J. "La Reacción Alkali-Agregados". Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres. 6o. Seminario Técnico. (1992)

GRADO DE ATAQUE	CONTENIDO DE SULFATOS, $SO_4^{=}$		CEMENTO RECOMENDABLE	RELACION A/C máx. (a)
	SUELO (%)	AGUA (ppm)		
Benigno	0.00 - 0.10	0 - 150	---	---
Moderado	0.10 - 0.20	150 - 1500 <sup>(b)</sup>	Portland tipo II, portland-puzolana, o portland-escoria de alto horno (MS según ASTM C 595)	0.50
Severo	0.20 - 2.00	1500 - 10000	Portland tipo V	0.45
Muy severo	Más de 2.00	Más de 10000	Portland tipo V + puzolana <sup>(c)</sup>	0.45

Notas:

- (a) Puede ser necesario en ciertos casos utilizar una relación agua/cemento más baja, para prevenir la corrosión de elementos metálicos ahogados en el concreto.
- (b) El agua de mar también se encuentra en esta categoría.
- (c) Debe utilizarse una puzolana que haya demostrado su capacidad para mejorar la resistencia a los sulfatos del concreto hecho con cemento tipo V.

Tabla 1. Medidas recomendables para proteger al concreto contra el ataque de sulfatos con diverso grado de concentración en el medio de contacto. (Ref. 7)

Riesgo de corrosión en el acero de refuerzo. (+)	Agua/cemento máxima, por durabilidad.	Espesor del recubrimiento (mm)	
		Mínimo requerido	Especificable
(1) Bajo	0.55	40	50
(2) Mediano	0.45	50	60
(3) Alto	0.40	75	90

(+) Ejemplos de las condiciones de riesgo:

(1) Bajo riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto al ambiente húmedo no marino, o en contacto con agua o suelo no corrosivos.

(2) Mediano riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto al ambiente húmedo marino, o inmerso total y continuamente en agua de mar, o en contacto con agua o suelo moderadamente corrosivos.

(3) Alto riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto a la acción del oleaje marino, y/o sujeto a periodos de humedecimiento y secado con agua de mar, o en contacto con agua o suelo altamente corrosivos.

Nota: El grado de corrosividad del agua o del suelo de contacto puede determinarse conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM C-346.

Tabla 2. Espesores recomendables del recubrimiento de concreto, en función de las condiciones de corrosividad del medio de contacto con la estructura. (Ref. 2)

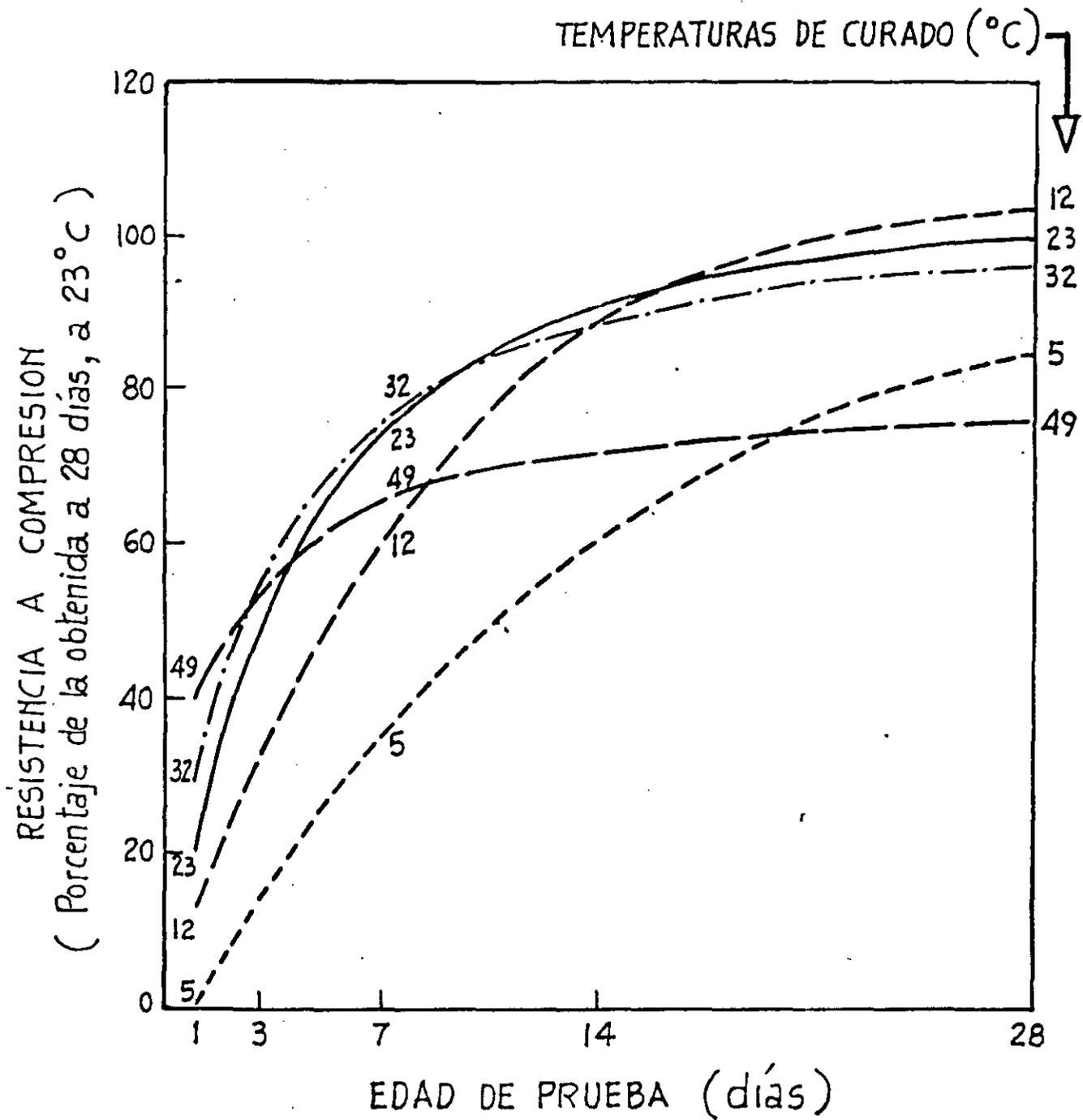


FIG. 1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE CURADO EN LA EVOLUCION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO CON LA EDAD.  
(Ref. 4)

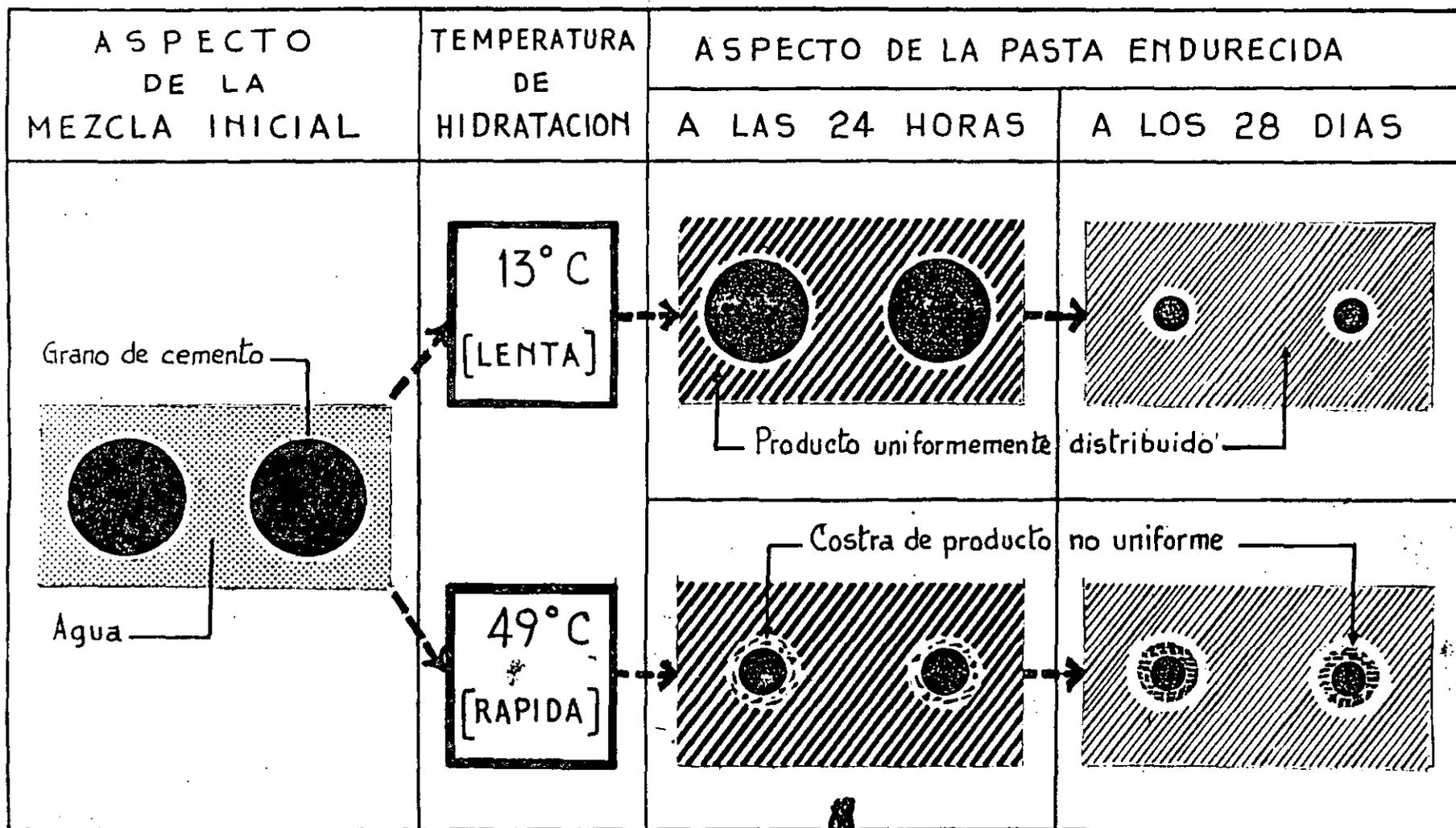


Fig 2. Efecto de la temperatura sobre la cantidad y distribución de los productos de hidratación en la pasta de cemento (\*)

(\*) Referencia: Verbeck, G. y Copeland, L.E. "Some physical and chemical aspects of high pressure steam curing". American Concrete Institute, Publication SP-32. Paper SP 32-1, Detroit, Mich. (1972)

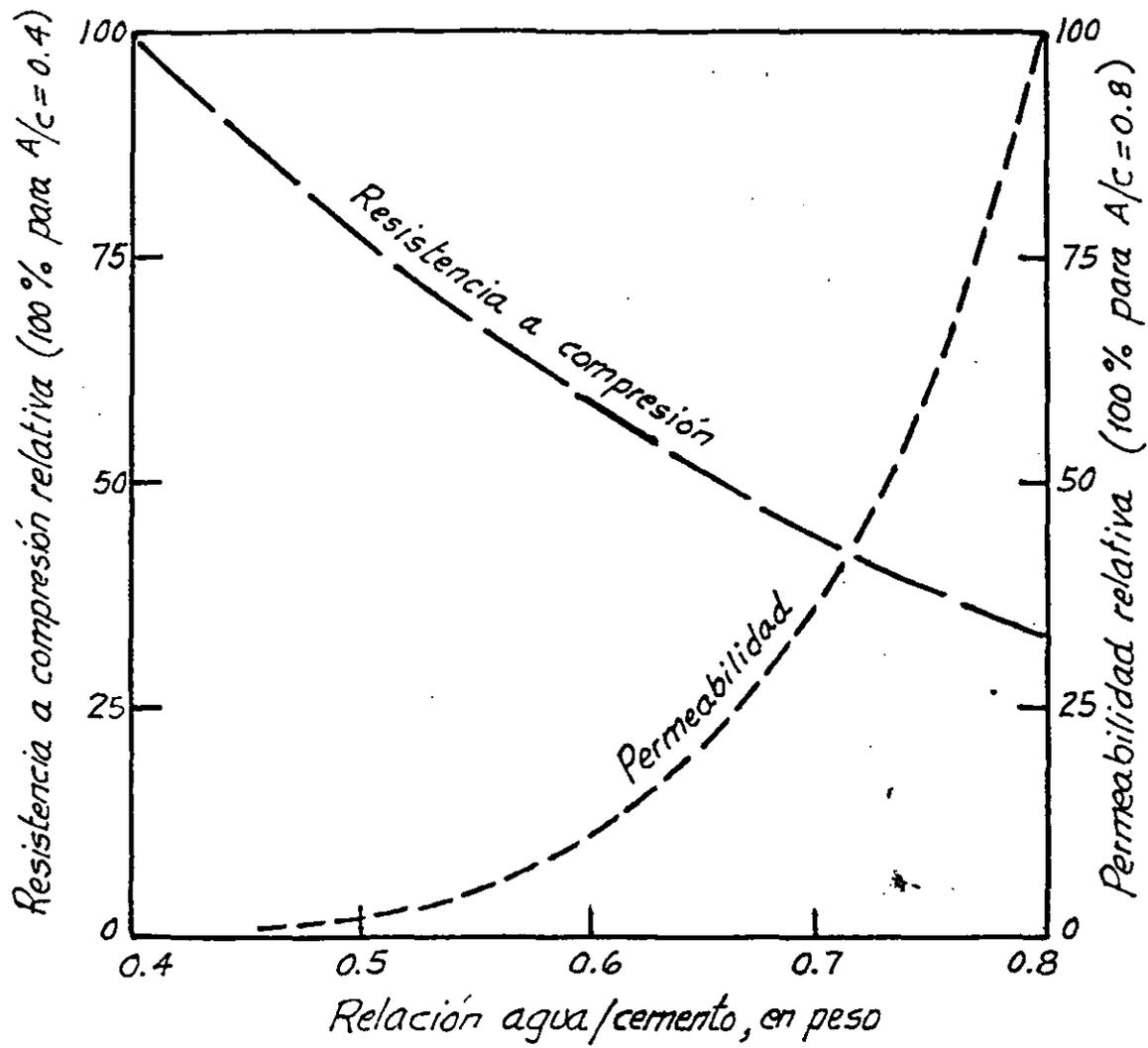
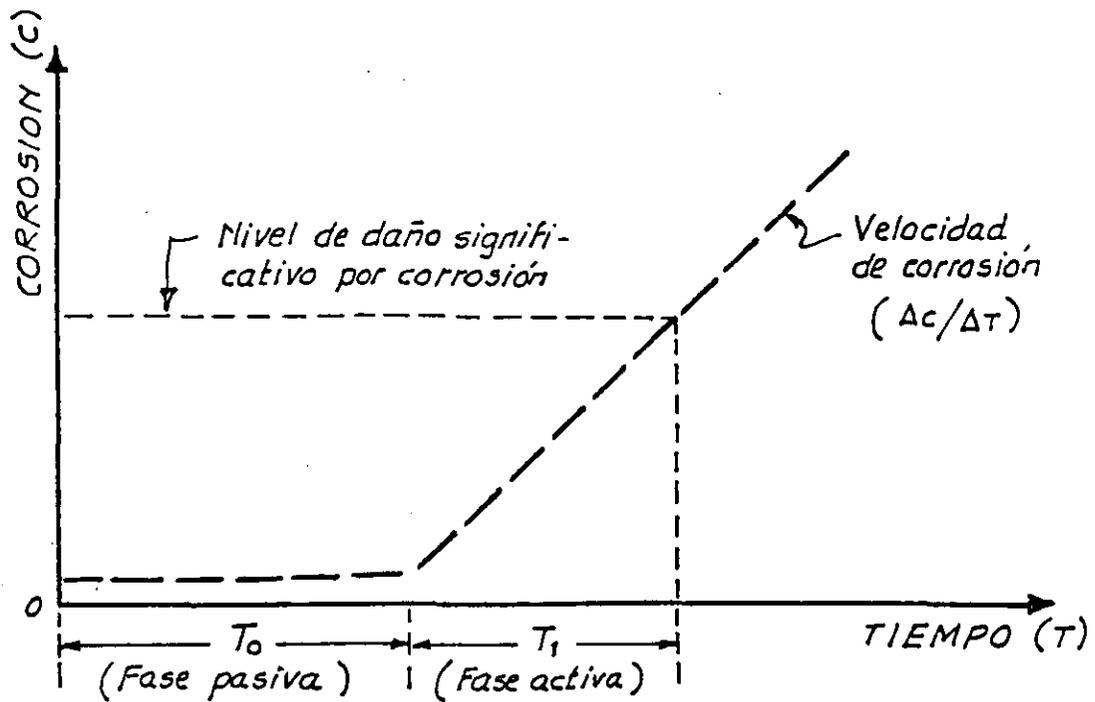


Fig 3. Variación de la resistencia a compresión y la permeabilidad del concreto, de acuerdo con su relación agua/cemento.



Nota:

Factores que pueden acortar el tiempo " $T_0$ " para anticipar el inicio de la fase activa de la corrosión:

1. Concreto permeable a fluidos líquidos (agua) o gaseosos (aire).
2. Concreto en contacto con medios altamente corrosivos; por ejemplo, agua de mar o agua con alto contenido de  $CO_2$  disuelto.
3. Espesor insuficiente del recubrimiento de concreto sobre el acero de refuerzo.
4. Agrietamientos en el concreto por diversas causas.

Fig 4. Mecanismo de dos fases de la corrosión del acero de refuerzo por efecto de la penetración de agentes corrosivos en el concreto.

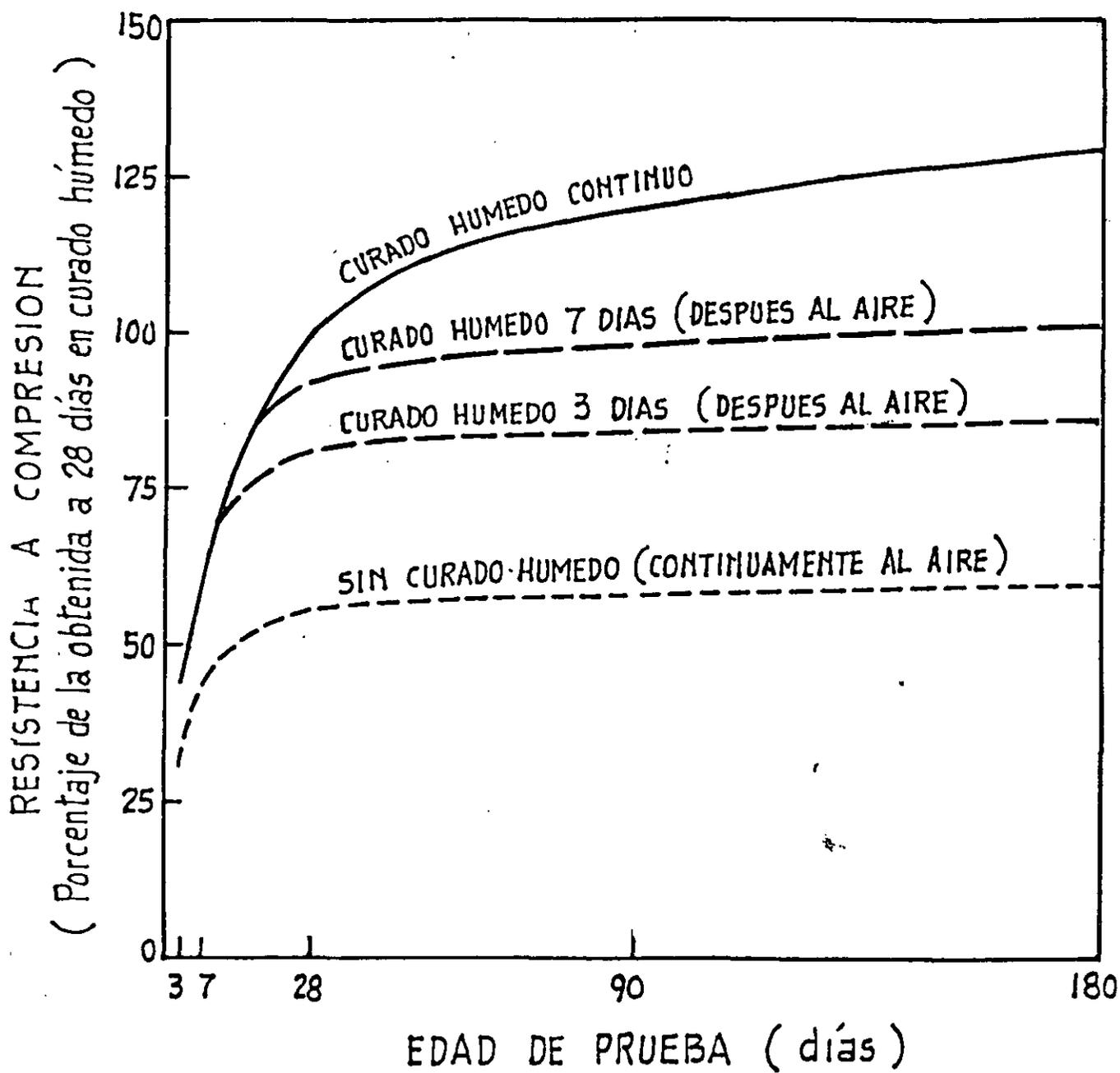


FIG. 5 INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DE CURADO DEL CONCRETO EN SU ADQUISICION DE RESISTENCIA CON LA EDAD.  
(Ref. 13)

Control y Verificación de la Calidad del  
Concreto Hidráulico

## ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Objetivo:

Ofrecer los criterios para la consideración de un Sistema de Aseguramiento de la calidad en la verificación y control del concreto de acuerdo a la normalización internacional.

Expositor:

MCI. José Antonio Tena Colunga

## ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Para garantizar que todos los productos que salgan de las líneas de producción sean de la calidad especificada, se debe de establecer un sistema de control de la calidad que se inicia desde el momento en que se reciben las materias primas para procesarlas hasta que el producto terminado sale al mercado, pudiendo decir que un producto es bueno solamente si las magnitudes de sus especificaciones, caen dentro del límite de tolerancia establecido para cada uno de ellos.

El aseguramiento de la calidad en cualquier rama de la industria y de cualquier producto o bien de servicio depende directamente de la gestión que se haga para que un producto cumpla con la calidad requerida .

Entenderemos por gestión al proceso o disposiciones que se realizan a nivel dirección de empresa para que se lleve a cabo el aseguramiento de la calidad del producto.

En la gestión de la calidad intervienen primordialmente los altos ejecutivos, los cuales proveen de los mecanismos necesarios para que el aseguramiento de la calidad se cumpla satisfactoriamente, esto es importante recalcar ya que el aseguramiento de la calidad puede contar con programas de máxima eficiencia para el control de la calidad, pero si no se cuenta con el respaldo de la directiva de la empresa, estos programas que trabajarían se verán afectados por la falta de recursos para su óptimo funcionamiento. Teniéndose como resultado que el funcionamiento del aseguramiento de la calidad vería afectado o bien disminuido y reflejándose todo esto en el control de la calidad del producto y en consecuencia la calidad del producto mismo también.

NIVEL	ETAPA DE LA CALIDAD	PERSONAL QUE IMPLICA
1	GESTION	EMPRESARIAL O ADMINISTRATIVO
2	ASEGURAMIENTO	GERENCIAS
3	CONTROL DE CALIDAD	TRABAJADOR

El aseguramiento de la calidad es una política que debe de tener cualquier tipo de empresa.

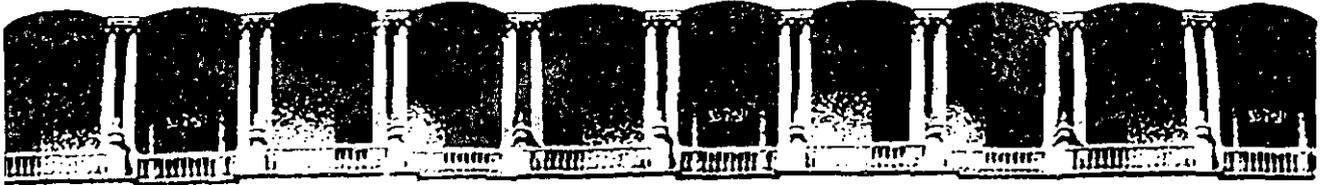
En el aseguramiento de la calidad del concreto en cualquier obra y de cualquier tipo se verán involucrados tanto el dueño (comprador), como el diseñador (arquitecto/ingeniero) y el contratista o constructor, en consecuencia el laboratorio de prueba, las agencias gubernamentales y los proveedores deberán también de ser incorporados.

Las especificaciones de concreto definen entre otras cosas la calidad que es necesario cumplir para garantizar el buen comportamiento de la estructura. En busca de la economía, estos requisitos, por lo general, se reducen al mínimo aceptable y, por consiguiente también los márgenes de seguridad se ven reducidos al

mínimo tolerable. En estas circunstancias las variaciones excesivas de calidad son peligrosas; si se excede de las especificadas, se incurre en mayor costo; si se reduce demasiado, se aproxima rápidamente a la falla. Por consiguiente, el control y la verificación de la calidad adquieren una importancia especial en las obras.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

NORMAS DE CALIDAD NOM-C-1 A 13  
NORMAS ISO



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO**

**NORMAS DEL FOMENTO INDUSTRIAL**

**SECRETARIA DE COMERCIO  
Y FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA**

**NOM – CC – 1 – 1990**

**"SISTEMAS DE CALIDAD – VOCABULARIO"  
"QUALITY SYSTEMS – VOCABULARY"**

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

## **PREFACIO**

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes Instituciones y empresas:

ADRIANS DE MEXICO  
AMP DE MEXICO, S.A.  
ASOCIACION MEXICANA DE MANTENIMIENTO, A.C.  
BABCOCK AND WILCOX DE MEXICO  
CAMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELECTRICAS  
CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE PERFUMERIA Y COSMETICA  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION  
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA  
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO  
CROUSE HINDS DOMEX  
GRUPO INDUSTRIAL NACOBRE  
INSTITUTO NACIONAL DE TUBERIAS PLASTICAS  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES  
INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA  
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
SICARTSA  
SQUARE - D DE MEXICO, S.A.  
PETROLEOS MEXICANOS  
REFRACTARIOS H.W. FLJR DE MEXICO  
TELEFONOS DE MEXICO  
TELEPROCESOS MEXICANOS  
TELMAG, S.A. DE C.V.  
VIDRIO PLANO DE MEXICO

# INDICE

	PAGINA
PREFACIO _____	3
INTRODUCCION _____	7
1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION _____	7
2 TERMINOS Y DEFINICIONES _____	8
3 BIBLIOGRAFIA _____	11
4 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES _____	11
APENDICE A _____	12

# "SISTEMAS DE CALIDAD – VOCABULARIO" "QUALITY SYSTEMS – VOCABULARY"

## INTRODUCCION

La presente Norma Oficial Mexicana de vocabulario de calidad, se elaboró con el fin de establecer los términos y definiciones empleadas en el campo del aseguramiento de calidad.

Muchos de los términos y definiciones contenidas en esta publicación tienen significados específicos y aplicaciones más amplias que las definiciones genéricas encontradas en los diccionarios.

En consecuencia las definiciones contenidas en esta Norma Oficial Mexicana, tienen como finalidad facilitar la comunicación entre el personal involucrado con el aseguramiento de la calidad; así como facilitar la comprensión de los términos generales que se emplean en el campo del aseguramiento de calidad y de los términos usados específicamente en la Normativa Nacional de Sistemas de Calidad.

## 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana proporciona los términos y definiciones fundamentales relativos a los conceptos de aseguramiento de calidad que se aplican a productos y/o servicios, para la elaboración y uso de Normas y Especificaciones de Aseguramiento de Calidad y para facilitar el entendimiento mutuo y comprensión de las mismas.

Los términos y definiciones establecidos en esta Norma tienen una aplicación directa en las normas siguientes:

- |              |  |
|--------------|--|
| NOM – CC – 2 | "Sistemas de Calidad – Gestión de Calidad. Guía para la selección y el uso de Normas de Aseguramiento de Calidad."                             |
| NOM – CC – 3 | "Sistemas de Calidad – Modelo para el Aseguramiento de la Calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio." |
| NOM – CC – 4 | "Sistemas de Calidad – Modelo para el Aseguramiento de la Calidad aplicable a la fabricación e instalación."                                   |
| NOM – CC – 5 | "Sistemas de Calidad – Modelo para el Aseguramiento de la Calidad aplicable a la inspección y pruebas finales."                                |

M - CC - 6	"Sistemas de Calidad - Gestión de la Calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales.
NOM - CC - 7	"Sistemas de Calidad - Auditorías de calidad."
NOM - CC - 8	"Sistemas de Calidad - Calificación y certificación de auditores."

## TERMINOS Y DEFINICIONES

En la presente Norma Oficial Mexicana, por producto o servicio se pueden entender:

El resultado de actividades o procesos (productos materiales o tangibles; productos no materiales o intangibles, tales como un programa de computadora, un diseño, proyecto, un instructivo).

Actividades o procesos (tales como la prestación de un servicio o la ejecución de un proceso de producción).

### 2.1 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Conjunto de actividades planeadas y sistemáticas, que lleva a cabo una empresa, con el objeto de brindar la confianza apropiada, de que un producto o servicio cumple con los requisitos de calidad especificados.

### 2.2 AUDITOR

Es aquel individuo que ejecuta cualquier actividad dentro de una auditoría.

### 2.3 AUDITOR EN ENTRENAMIENTO

Es aquel individuo aspirante a obtener la calificación de auditor, el cual acompaña y auxilia al grupo auditor durante todas las etapas de una auditoría y recibe la orientación y entrenamiento adecuado para tal fin, mediante la coordinación y dirección de un auditor líder.

### 2.4 AUDITOR LIDER

Es aquel individuo calificado y certificado cuya experiencia y entrenamiento le permite organizar y dirigir una auditoría. Reportar deficiencias o desviaciones, así como evaluar y orientar acciones correctivas. En el caso de auditorías efectuadas por un grupo de auditoría, el auditor líder administra, supervisa y coordina a los miembros del grupo además de ser el responsable de la auditoría.

### 2.5 AUDITORIA DE CALIDAD

Examen sistemático e independiente para determinar si las actividades de calidad y sus resultados cumplen

con las disposiciones preestablecidas y si estas son implantadas eficazmente y son adecuadas para alcanzar los objetivos.

## **2.6 AUDITORIA EXTERNA**

Es aquella que es efectuada en una organización, por un grupo ajeno a ésta.

## **2.7 AUDITORIA INTERNA**

Es aquella auditoría que es efectuada dentro de la misma organización, bajo control directo de ésta.

## **2.8 CALIDAD**

Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades explícitas o implícitas preestablecidas.

## **2.9 CICLO DE CALIDAD**

Modelo conceptual de las actividades interdependientes que influyen sobre la calidad de un producto o servicio a lo largo de todas sus fases, desde la identificación de las necesidades del cliente, hasta la evaluación del grado de satisfacción de éstas.

## **2.10 CONTROL DE CALIDAD**

Conjunto de métodos y actividades de carácter operativo, que se utilizan para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos.

## **2.11 DEFECTO**

El no cumplimiento de los requisitos de uso propuestos o señalados. (Véase no conformidad).

## **2.12 DEONTOLOGIA**

Doctrina que trata la moral de la práctica profesional.

## **2.13 ESPECIFICACION**

Documento que establece los requisitos o exigencias que el producto o servicio debe cumplir.

## **2.14 FIABILIDAD**

Capacidad de un producto, elemento o dispositivo para cumplir una función requerida bajo las condiciones dadas y para un período de tiempo establecido.

El término de fiabilidad también se utiliza como una característica de fiabilidad que designa una probabilidad de buen funcionamiento (éxito) o un porcentaje de éxitos.

## **2.15 GESTION DE CALIDAD**

Función general de la gestión que determina e implanta la política de calidad que incluye la planeación estratégica. La asignación de recursos y otras acciones sistemáticas en el campo de la calidad, tales como la planeación de la calidad, desarrollo de las actividades operacionales y de evaluación relativas a la calidad.

## **2.16 GRADO/CLASE**

Indicador de categoría o de rango referido a las propiedades o características de un producto o servicio, para cubrir diversas necesidades destinadas a un mismo uso funcional.

## **2.17 GRUPO AUDITOR**

Es el conjunto de individuos que se integran para realizar una auditoría bajo la dirección de un auditor líder.

## **2.18 INSPECCION**

Actividades tales como medir, examinar, probar o ensayar una o más características de un producto o servicio y comparar a éstas, con las exigencias y requisitos especificados para determinar su conformidad.

## **2.19 NO CONFORMIDAD**

El no cumplimiento de los requisitos establecidos. (Ver defecto).

## **2.20 POLITICA DE CALIDAD**

Conjunto de directrices y objetivos generales de una empresa relativos a la calidad y que son formalmente expresados, establecidos y aprobados por la alta dirección.

## **2.21 PLAN DE CALIDAD**

Documento que establece las prácticas operativas, los procedimientos, los recursos y la secuencia de las actividades relevantes de calidad, referentes a un producto, servicio, contrato o proyecto en particular.

## **2.22 RASTREABILIDAD**

Capacidad de reencontrar o reconstruir la historia, la aplicación o la localización de un elemento o de una actividad, de elementos o actividades similares, por medio de registros de identificación.

## **2.23 RESPONSABILIDAD LEGAL DE LA CALIDAD DE UN PRODUCTO Y/O SERVICIO**

Término genérico usado para describir la responsabilidad y obligación de una organización (o de otros). Para efectuar una reparación o restitución por pérdidas debidas a lesiones personales, daños materiales o cualquier otro daño causado por un producto o servicio.

## **2.24 REVISION DEL DISEÑO/PROYECTO**

Es el examen formal, documentado, completo y sistemático de un diseño, con el fin de evaluar los requisitos iniciales del diseño y la capacidad del mismo para alcanzar estos requisitos, identificar problemas y proponer soluciones.

## **2.25 REVISION DEL SISTEMA DE CALIDAD**

Evaluación formal efectuada por la alta dirección de una organización del estado y la adecuación del sistema de calidad en relación a la política de calidad y a los nuevos objetivos resultado del cambio y evolución de las circunstancias.

## **2.26 SISTEMA DE CALIDAD**

Estructura organizacional, conjunto de recursos, responsabilidades y procedimientos establecidos para asegurar que los productos, procesos o servicios cumplan satisfactoriamente con el fin a que están destinados y que están dirigidos hacia la gestión de la calidad.

## **2.27 VIGILANCIA DE LA CALIDAD/SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD**

Verificación y seguimiento permanente del estado de los procedimientos, los métodos, las condiciones de ejecución, los procesos, los productos y servicios, así como el análisis de los registros en relación a las referencias establecidas con el fin de asegurar que se cumplan los requisitos de calidad especificados.

# **3 BIBLIOGRAFIA**

ISO – 8402 QUALITY – VOCABULARY.

# **4 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta Norma es básicamente equivalente con la Norma Internacional ISO – 8402 QUALITY – VOCABULARY.

## APENDICE A

### CORRESPONDENCIA DE TERMINOS EN ESPAÑOL CON TERMINOS EN INGLÉS

TERMINO EN ESPAÑOL	NOM CC - 1	TERMINO EN INGLES	ISO 8402
Aseguramiento de calidad	2.1	Quality assurance	3.6
Auditor	2.2	auditor	(1)
Auditor en entrenamiento	2.3	Training auditor	(1)
Auditor líder	2.4	Lead auditor	(1)
Auditoría de calidad	2.5	Quality audit	3.10
Auditoría externa	2.6	External audit	(1)
Auditoría interna	2.7	Internal audit	(1)
Calidad	2.8	Quality	3.1
Ciclo de calidad	2.9	Quality loop/quality spiral	3.3
Control de calidad	2.10	Quality control	3.7
Defecto	2.11	Defect	3.21
Deontología	2.12	Deontology	(1)
Especificación	2.13	Specification	3.22
Fiabilidad	2.14	Reliability	3.18
Gestión de calidad	2.15	Quality management	3.5
Grado/clase	2.16	Grade	3.2
Grupo auditor	2.17	Audit team	(1)
Inspección	2.18	Inspection	3.14
No conformidad	2.19	Nonconformity	3.20
Plan de calidad	2.20	Quality plan	3.9
Política de calidad	2.21	Quality policy	3.4
Rastreabilidad	2.22	Traceability	3.15
Responsabilidad de la calidad de un producto y/o servicio	2.23	Product liability/ service liability	3.19
Revisión del diseño/proyecto	2.24	Design review	3.13
Revisión del sistema de calidad	2.25	Quality system review	3.12
Sistema de calidad	2.26	Quality system	3.8
Vigilancia de la calidad /seguimiento de la calidad	2.27	Quality surveillance	3.11

México, D.F. a 3 de diciembre de 1990

**SECRETARIA DE COMERCIO  
Y FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA**

**NOM – CC – 2 – 1990**

**"SISTEMAS DE CALIDAD – GESTIÓN DE CALIDAD.  
GUIA PARA LA SELECCION Y EL USO DE NÓRMAS DE  
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD".**

**"QUALITY SYSTEMS – QUALITY MANAGEMENT.  
GUIDE FOR SELECTION AND USE OF QUALITY  
ASSURANCE STANDARDS".**

**DIRECCION GENERAL DE NÓRMAS**

## **PREFACIO**

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana, participaron las siguientes empresas:

ADRIANS DE MEXICO  
ASOCIACION MEXICANA DE MANTENIMIENTO, A.C.  
BABCOCK AND WILCOX DE MEXICO  
CAMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELECTRICAS  
CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE PERFUMERIA Y COSMETICA  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION  
COMITE CONSULTIVO DE NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA  
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO  
CROUSE HINDS DOMEX  
GRUPO CONDUMEX  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES  
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA  
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
PETROLEOS MEXICANOS  
TELEFONOS DE MEXICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (ENEP - ACATLAN)  
UNIVERSIDAD LA SALLE  
VIDRIO PLANO DE MEXICO

# INDICE

	PAGINA
PREFACIO _____	3
INTRODUCCION _____	7
1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION _____	7
2 REFERENCIAS _____	8
3 DEFINICIONES _____	8
4 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE CALIDAD _____	9
5 TIPOS DE NORMAS EN SISTEMAS DE CALIDAD _____	10
6 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA GESTION DE LA CALIDAD _____	10
7 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA PROPOSITOS CONTRACTUALES _____	11
8 BIBLIOGRAFIA _____	14
9 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES _____	16

**"SISTEMAS DE CALIDAD – GESTION DE CALIDAD.  
GUIA PARA LA SELECCION Y EL USO DE NORMAS DE  
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD".**

**"QUALITY SYSTEMS – QUALITY MANAGEMENT.  
GUIDE FOR SELECTION AND USE OF QUALITY  
ASSURANCE STANDARDS".**

## INTRODUCCION

Un factor primordial en la operación de una empresa, es la calidad de sus productos y/o servicios. Además, en los últimos años existe una orientación mundial por parte de los clientes, hacia mayor exigencia de los requisitos y expectativas con respecto a la calidad. Conjuntamente con esta orientación hay una creciente comprensión y toma de conciencia de que el mejoramiento continuo en la calidad, es necesario para alcanzar y sostener un buen desarrollo económico.

Las organizaciones industriales, comerciales o gubernamentales, proveen productos o servicios que pretenden satisfacer las necesidades o requisitos del usuario. Tales requisitos son muchas veces presentados como "especificaciones"; sin embargo, las especificaciones técnicas no pueden por sí mismas garantizar que los requisitos del usuario fueron alcanzados consistentemente, si se presentan desviaciones, deficiencias en las especificaciones o en el mismo sistema de organización, establecido para la obtención del producto y/o prestar el servicio. Consecuentemente, esto ha conducido al desarrollo de normas de sistemas de calidad que complementen los requisitos del producto o servicio dados en las especificaciones técnicas.

La serie de normas (NOM - CC - 1 a NOM - CC - 8) y otras que sobre este tema se emitan posteriormente por la DGN, pretenden establecer una racionalización de los numerosos y variados enfoques en este campo

El sistema de calidad de una empresa, está influenciado por los objetivos de la organización, por el tipo de producto o servicio, por las prácticas específicas de la organización y por lo tanto, estos sistemas de calidad varían de una empresa a otra.

Esta serie de normas no tiene como fin establecer un sistema normalizado de la calidad para su implantación en una determinada empresa. Es decir, cada organización usuaria debe establecer sus requisitos específicos sobre sistemas de calidad, de acuerdo con las normas aplicables.

## 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana cubre los objetivos principales siguientes:

- A) Establecer claramente las diferencias e interrelaciones entre los principales conceptos de calidad.
- B) Proporcionar la guía para la selección y uso de las normas de sistemas de calidad que pueden ser

empleadas para propósitos de la gestión interna de calidad (NOM – CC – 6) y para propósitos externos de aseguramiento de calidad (NOM – CC – 3, NOM – CC – 4 y NOM – CC – 5).

## 2 REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

NOM – CC – 1	Sistemas de Calidad – Vocabulario.
NOM – CC – 3	Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la Calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio.
NOM – CC – 4	Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable a la fabricación e instalación.
NOM – CC – 5	Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable a la inspección y pruebas finales.
NOM – CC – 6	Sistemas de Calidad – Gestión de la calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales.
NOM – CC – 7	Sistemas de Calidad – Auditorías de calidad.
NOM – CC – 8	Sistemas de Calidad – Calificación y certificación de auditores.

## 3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma, son aplicables las definiciones dadas por la NOM – CC – 1 "Sistemas de Calidad – Vocabulario". Por su importancia y para el uso apropiado de la presente norma, han sido tomadas cinco definiciones de la norma NOM – CC – 1.

### 3.1 POLITICA DE CALIDAD

Conjunto de directrices y objetivos generales de una empresa, relativos a la calidad y que son formalmente expresados, establecidos y aprobados por la alta dirección.

### 3.2 GESTION DE CALIDAD

Función general de dirección que determina e implanta la política de calidad e incluye la planeación

estratégica. la asignación de recursos y otras acciones sistemáticas en el campo de la calidad, tales como planeación de la calidad, desarrollo de actividades operacionales y de evaluación relativas a la calidad

### **3.3 SISTEMA DE CALIDAD**

Estructura organizacional, conjunto de recursos, responsabilidades y procedimientos para asegurar que los productos, procesos o servicios, cumplan satisfactoriamente con el fin al que están destinados y que están dirigidos hacia la gestión de la calidad.

### **3.4 CONTROL DE CALIDAD**

Conjunto de métodos y actividades de carácter operativo, que se utilizan para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos (inspección, pruebas y ensayos).

### **3.5 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD**

Conjunto de actividades planeadas y sistemáticas, que lleva a cabo una empresa, con el objeto de brindar la confianza apropiada de que un producto o servicio cumple con los requisitos de calidad especificados.

#### **NOTAS.**

- 1) El aseguramiento de calidad no está completo si los requisitos preestablecidos de calidad, no reflejan totalmente los requisitos del usuario.
- 2) Para que el aseguramiento de calidad sea efectivo, generalmente se exige la evaluación permanente de los factores que influyen en la adecuación del diseño y las especificaciones, a las condiciones técnicas bajo las que se va a emplear el producto o servicio, así como la verificación y auditorías de las áreas de proceso, producción, montaje e inspección. Probar la confianza puede significar presentar evidencias objetivas.
- 3) En una empresa, el aseguramiento de la calidad representa una herramienta de dirección. En el cierre de un contrato, el aseguramiento de la calidad crea una atmósfera de confianza en el proveedor.

## **4 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE CALIDAD**

Una empresa debe estar orientada a cumplir, entre otros, los siguientes objetivos con respecto a la calidad:

- A) Alcanzar y sostener la calidad real del producto o servicio producido, de tal manera que se satisfagan continuamente las necesidades explícitas del cliente.
- B) Proporcionar la confianza a su misma dirección, de que la calidad propuesta está siendo alcanzada y es mantenida.

- C) Proporcionar la confianza al cliente de que la calidad propuesta es cumplida en el producto entregado, proporcionando cuando el contrato lo requiera, la demostración de concordancia con los requisitos.

La relación de los conceptos y las definiciones citadas en la Sección 3, se presentan en el Apéndice A "Correspondencia entre los elementos de un sistema de Calidad". Este apéndice no debe ser interpretado como un modelo rígido.

La serie de Normas Oficiales Mexicanas sobre sistemas de calidad, se proponen para ser utilizadas en: Situaciones contractuales y situaciones no contractuales.

En ambas situaciones, la organización del fabricante debe establecer y mantener un sistema de calidad que refuerce por sí mismo su competitividad y alcance los requisitos de calidad de sus productos en forma rentable.

En adición, en la situación contractual, el cliente está interesado en ciertos elementos del sistema de calidad del proveedor, los cuales afectan la capacidad del fabricante para producir consistentemente un producto o servicio que se ajuste a sus requisitos y que minimice los riesgos que pueden derivarse de su uso. Por lo tanto, el cliente requiere que contractualmente ciertos elementos del sistema de calidad, sean parte del sistema de calidad del proveedor.

Un proveedor a menudo está involucrado en situaciones de ambos tipos. El proveedor puede comprar algunos componentes o materiales por lote o inventario, sin requisitos contractuales de aseguramiento de calidad. El mismo proveedor puede vender algunos productos apegándose a requisitos contractuales de aseguramiento de calidad y otros sin el cumplimiento de éstos.

## TIPOS DE NORMAS EN SISTEMAS DE CALIDAD

Como se indica en el Capítulo 1, existen dos tipos de normas, las cuales incluyen las necesidades para las situaciones señaladas en el Capítulo 5, y son presentadas como una serie de normas de sistemas de calidad.

- A) NOM-CC-2 Y NOM-CC-6 proporcionan las directrices generales a todas las empresas, para propósitos de la gestión de calidad.
- B) NOM-CC-3; NOM-CC-4 Y NOM-CC-5 se aplican para fines externos de aseguramiento de calidad en situaciones contractuales.

## 6 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA GESTION DE LA CALIDAD

Antes de desarrollar e implantar un sistema de calidad, se debe consultar la presente norma para adquirir un conocimiento amplio de los conceptos generales y después según lo indicado en la NOM-CC-6, determinar la extensión con la que debe aplicarse cada elemento del sistema de calidad.

La NOM-CC-6 proporciona las directrices generales sobre los factores técnicos, administrativos y humanos que afectan la calidad y la detección de las necesidades para satisfacer al cliente. La NOM-CC-6 enfatiza especialmente en la satisfacción de las necesidades del cliente, el establecimiento de las responsabilidades funcionales y la importancia de evaluar (tan amplio como sea posible), los riesgos y beneficios potenciales. Todos estos aspectos deben ser considerados en el establecimiento y mantenimiento de un sistema de calidad efectivo.

## **7 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA PROPOSITOS CONTRACTUALES**

### **7.1 GENERALIDADES**

Cuando el cliente no tenga establecidos sus requisitos para sistemas de calidad congruentes con las normas NOM-CC-2, el cliente y/o el proveedor, para satisfacer sus requisitos específicos, debe referirse a NOM-CC-3, NOM-CC-4 Y NOM-CC-5 con el fin de determinar cuál de estas normas es la más apropiada al contrato y qué adaptaciones específicas se requieren.

La selección y la aplicación de un modelo de aseguramiento de calidad apropiado para una situación determinada, debe proporcionar beneficios mutuos, tanto al cliente como al proveedor. Examinando los riesgos, costos y beneficios para ambas partes, se determina la extensión y naturaleza de la información y la confianza adecuada de que la calidad propuesta es alcanzada.

### **7.2 SELECCION DEL MODELO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD**

#### **7.2.1 GENERALIDADES**

Como se indica en la introducción de cada una de estas normas, ciertos elementos de calidad, están agrupados en tres modelos diferentes, basados en "la capacidad funcional y organizacional", requeridas de un proveedor de productos o servicios.

- A) NOM-CC-3. Para emplearse cuando la conformidad con los requisitos especificados es asegurada por el proveedor durante diversas etapas, los cuales incluyen proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio.
- B) NOM-CC-4. Para emplearse cuando la conformidad con los requisitos especificados es asegurada por el proveedor durante la fabricación y la instalación.
- C) NOM-CC-5. Para emplearse cuando la conformidad con los requisitos especificados es asegurada por el proveedor solamente en la inspección y pruebas finales.

El cliente al establecer sus requisitos sobre sistemas de calidad, puede adoptar completamente las normas NOM-CC-3, NOM-CC-4 o NOM-CC-5. O bien, de acuerdo con sus propias necesidades, sus requisitos se pueden establecer combinando las normas mencionadas.

## **7.2.2 PROCEDIMIENTO DE SELECCION**

El modelo debe ser seleccionado por la consideración y análisis sistemático de los factores descritos en 7.2.3 con la debida atención al factor económico.

## **7.2.3 FACTORES DE SELECCION**

- A) Complejidad del proceso del proyecto/diseño. Este factor trata de la dificultad o complejidad del proyecto/diseño del producto o servicio y si tal producto o servicio no ha sido diseñado.
- B) Madurez del diseño. (Grado de desarrollo/experimentación del proyecto/diseño). Este factor trata de la extensión en que el diseño completo es conocido y probado, ya sea por pruebas de funcionalidad o por experiencia de uso en campo
- C) Complejidad de proceso – producción. Este factor trata de la disponibilidad de un proceso de producción comprobada la necesidad del desarrollo de nuevos procesos. el número y variedad de procesos implicados y el impacto del proceso o procesos en la operación del producto o servicio.
- D) Características del producto o servicio. Este factor toma en cuenta la complejidad propia del producto o servicio, el número de características interrelacionadas y la influencia crítica de cada una de estas características para el funcionamiento.
- E) Seguridad del producto o servicio. Este factor trata del riesgo y probabilidad de que ocurran fallas y las consecuencias de éstas.
- F) Económica. Este factor está relacionado con los costos económicos de los factores anteriores y que afectan tanto al proveedor como al cliente. Se deben valorar comparándolos contra los costos debidos a las no conformidades del producto o servicio.

## **7.3 DOCUMENTACION Y EVIDENCIAS**

Los elementos del sistema de calidad, deben ser documentados y comprobarse de manera consistente con los requisitos del modelo seleccionado.

La comprobación o presentación de evidencias de los elementos del sistema de calidad se refiere a:

- A) La adecuación del sistema de calidad (por ejemplo: el diseño, la fabricación, la instalación y el servicio).
- B) La capacidad para alcanzar la conformidad del producto o servicio con los requisitos establecidos.

La naturaleza y el grado de la comprobación puede variar de una situación a otra, de acuerdo con criterios tales como:

- 1) Las consideraciones económicas, uso y condiciones de uso del producto o servicio.

- 2) La complejidad y la innovación requeridas para diseñar el producto o servicio.
- 3) La complejidad y la dificultad de fabricación del producto o de la presentación del servicio.
- 4) La capacidad para juzgar la calidad y aptitud para el uso de un producto sobre la base de efectuar solo la inspección y prueba final del producto.
- 5) Los requisitos de seguridad aplicables al producto o servicio.
- 6) Evidencias históricas del desempeño del proveedor, con respecto a los productos o servicios suministrados

La documentación puede incluir manuales de aseguramiento de calidad, manual de procedimientos de calidad, informes de calidad relacionados con los procedimientos, reportes de auditorías del sistema de calidad y otros registros de calidad.

#### **7.4 EVALUACION PREVIA AL CONTRATO**

Las evaluaciones del sistema de calidad del proveedor, son empleadas antes del contrato para determinar la capacidad de un proveedor, para satisfacer los requisitos de una de las normas NOM – CC – 3, NOM – CC – 4 o NOM – CC – 5 y cuando sea conveniente, los requisitos suplementarios. En muchos casos, las evaluaciones son sujetas directamente por el cliente y/o su representante autorizado.

Por acuerdo entre el cliente y el proveedor, la evaluación previa al contrato, puede ser delegada a una organización reconocida por la DGN., e independiente de ambas partes. El número y extensión de las evaluaciones pueden ser reducidas por medio del empleo de las normas NOM – CC – 3, NOM – CC – 4 o NOM – CC – 5 y por el reconocimiento de evaluaciones anteriores efectuadas de acuerdo a estas normas, por el comprador a través de su área de aseguramiento de calidad, o por una organización independiente reconocida por la DGN.

#### **7.5 ASPECTOS DE PREPARACION DEL CONTRATO**

##### **7.5.1 Adecuación**

La experiencia ha mostrado que con un pequeño número de normas disponibles, una de éstas puede ser seleccionada para que se cumplan adecuadamente las necesidades de casi cualquier situación. Sin embargo, en ocasiones, ciertos elementos del sistema de calidad mencionados en una norma, podrán ser adecuados a las necesidades particulares y en otras ocasiones, algunos elementos específicos podrán ser eliminados y/o adicionados. Si esto resultase necesario, deberá ser acordado entre el cliente y el proveedor, debiéndose especificar en el contrato.

##### **7.5.2 Revisión de elementos contractuales**

Ambas partes deberán revisar el contrato propuesto para asegurarse de que se han entendido los requisitos del sistema de calidad y que éstos son mutuamente aceptados, considerando los factores e implicaciones económicas y los riesgos que cada parte debe asumir.

##### **7.5.3 Requisitos suplementarios**

Entre otros, puede ser necesario añadir requisitos suplementarios en el contrato, tales como planes o programas de calidad, planes de auditoría de calidad.

## 7.5.4 Requisitos técnicos

Los requisitos técnicos del producto o servicio, son definidos en las especificaciones técnicas del contrato.

## 8 BIBLIOGRAFIA

ISO - 9000 - 87 "Quality management and quality assurance standards. Guidelines for selection and use".

**TABLA A.1 CORRESPONDENCIA ENTRE ELEMENTOS**

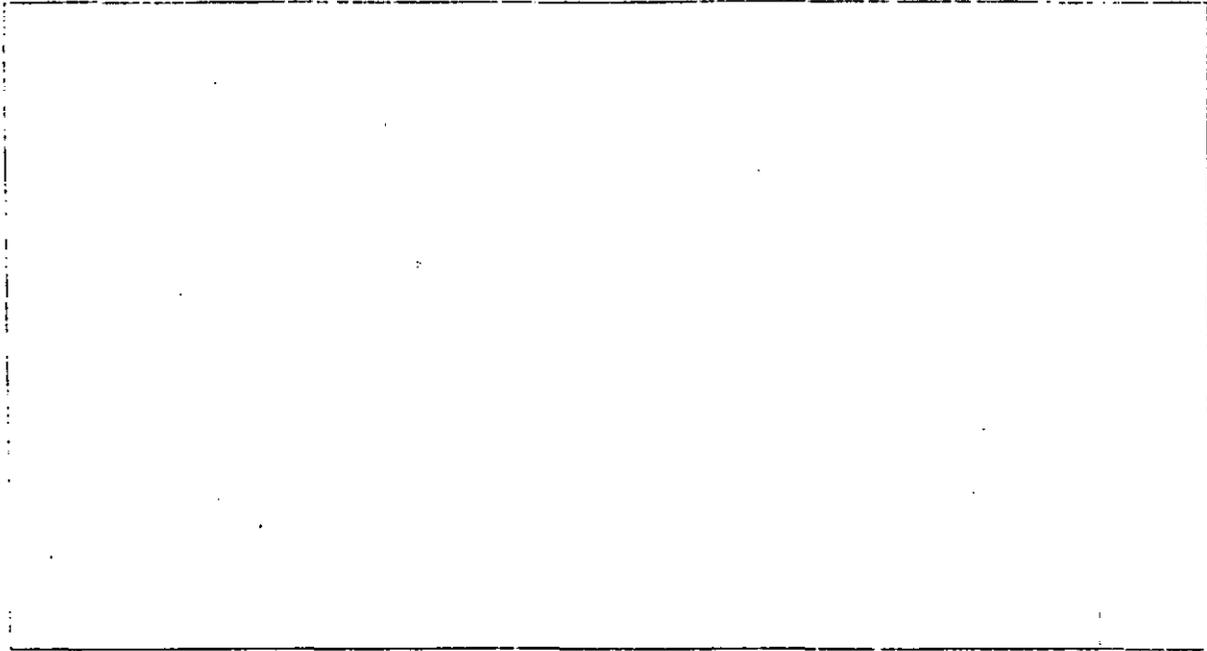
CAPITULO DE NOM - CC - 6	NOM - CC - 3	CAPITULOS CORRESPONDIENTES	
		NOM - CC - 4	NOM - CC - 5
4 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION	5.1 ●	5.1°	5.1□
5 PRINCIPIOS DEL SISTEMA DE CALIDAD	5.2 ●	5.2 ●	5.2°
5.4 AUDITORIAS INTERNAS DEL SISTEMA DE CALIDAD	5.18 ●	5.17 ●	X
7 CALIDAD EN RELACION CON EL MERCADO (REVISION DEL CONTRATO)	5.3 ●	5.3 ●	5.3 ●
8 CALIDAD EN ESPECIFICACION Y DISEÑO (CONTROL DEL PROYECTO Y/O DISEÑO)	5.4 ●	X	X
9 CALIDAD EN ADQUISICIONES (CONTROL DE LAS ADQUISICIONES)	5.6 ●	5.5 ●	X
10 CALIDAD EN LA PRODUCCION (CONTROL DEL PROCESO)	5.9 ●	5.8 ●	X
11 CONTROL DE LA PRODUCCION (CONTROL DEL PROCESO)	5.9 ●	5.8 ●	X
11.2 CONTROL Y RASTREABILIDAD DE LOS COMPONENTES (IDENTIFICACION Y RASTREABILIDAD DEL PRODUCTO)	5.8 ●	5.7 ●	5.5°
11.7 CONTROL DEL ESTADO DE LA VERIFICACION (ESTADO DE INSPECCION Y PRUEBA)	5.13 ●	5.12 ●	5.8°
12 VERIFICACION DEL PRODUCTO (INSPECCION Y ENSAYO)	5.11 ●	5.10 ●	5.6°
13 CONTROL DE EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBA (EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBA)	5.12 ●	5.11 ●	5.7°

14	NO CONFORMIDADES (CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME)	5.14●	5.13●	5.9°
15	ACCIONES CORRECTIVAS	5.15●	5.14●	X
16	MANEJO Y FUNCIONES POSTERIORES A LA PRODUCCION (MANEJO ALMACENAMIENTO, EMBARQUE Y ENTREGA)	5.12●	5.15▢	5.10▢
CAPITULOS CORRESPONDIENTES				
	CAPITULO DE NOM - CC - 6	NOM - CC - 3	NOM - CC - 4	NOM - CC - 5
16.2	SERVICIO POSTERIOR A LA VENTA	5.20●	X	X
17	DOCUMENTACION Y REGISTROS SOBRE LA CALIDAD (CONTROL DE LA DOCUMENTACION)	5.5●	5.4●	5.4°
17.3	REGISTROS DE CALIDAD	5.17●	5.16●	5.11°
18	PERSONAL (CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO)	5.19●	5.18°	5.12▢
19	SEGURIDAD Y RESPONSABILIDAD LEGAL DERIVADA DEL PRODUCTO	X	X	X
20	USO DE METODOS ESTADISTICOS (TECNICAS ESTADISTICAS)	5.21●	5.19●	5.13°
-	PRODUCTOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE	5.7●	5.6●	X
6	CONSIDERACIONES SOBRE LOS COSTOS DE CALIDAD	X	X	X

### SIMBOLOGIA

- REQUISITO COMPLETO
- ° REQUISITO MENOS EXIGENTE QUE NOM - CC - 3
- ▢ REQUISITO MENOS EXIGENTE QUE NOM - CC - 4
- X ELEMENTO NO EXISTENTE

## **APENDICE A CORRESPONDENCIA ENTRE ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CALIDAD**



### **NOTAS:**

1. Los elementos que comprenden un sistema de calidad son listados en la tabla A.1.
2. Las actividades orientadas a proporcionar al comprador y a la dirección de una empresa la confianza de que la calidad propuesta ha sido alcanzada, son a menudo llamadas "Aseguramiento de Calidad Interno".
3. Las actividades orientadas a proporcionar al comprador la confianza de que un proveedor o fabricante de un producto o servicio, pueda satisfacer los requisitos establecidos por el comprador, son llamadas a menudo "Aseguramiento de calidad Externo".

## **9 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta Norma concuerda básicamente, con la Norma ISO-9000-87 "Quality Management and Quality Assurance Standards. Guidelines for Selection and Use", incluida en la bibliografía.

México, D.F. a 3 de diciembre de 1990

El Director General de Normas.

**SECRETARIA DE COMERCIO  
Y FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA**

**NOM – CC – 5 – 1990**

**"SISTEMA DE CALIDAD – MODELO PARA EL  
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD APLICABLE  
A LA INSPECCION Y PRUEBAS FINALES".  
"QUALITY SYSTEMS – MODEL FOR QUALITY  
ASSURANCE IN FINAL INSPECTION AND TEST".**

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

## **PREFACIO**

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana, participaron las siguientes instituciones y empresas:

ADRIANS DE MEXICO

ASOCIACION MEXICANA DE MANTENIMIENTO, A.C.

BABCOCK AND WILCOX DE MEXICO

CAMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELECTRICAS

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE PERFUMERIA Y COSMETICA

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

CROUSE HINDS DOMEX

GRUPO CONDUMEX

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

PETROLEOS MEXICANOS

TELEFONOS DE MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (ENEP – ACATLAN)

UNIVERSIDAD LA SALLE

VIDRIO PLANO DE MEXICO

# INDICE

	pag
PREFACIO _____	3
INTRODUCCION _____	7
1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION _____	7
2 REFERENCIAS _____	8
3 DEFINICIONES _____	9
4 RESPONSABILIDADES _____	9
5 REQUISITOS DEL SISTEMA DE CALIDAD _____	11
6 BIBLIOGRAFIA _____	18
7 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES _____	18

## INTRODUCCION

El propósito de la presente Norma es el de orientar la integración de los elementos que conforman el sistema de aseguramiento de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de asegurar la conformidad de los productos y/o servicios, mediante la inspección y pruebas de aceptación.

Esta Norma forma parte de un conjunto de tres normas referidas a los sistemas a utilizarse para el aseguramiento de calidad. Los modelos descritos en las tres normas representan modelos distintos de capacidad funcional y organizativa que pueden ser utilizadas para regular las relaciones contractuales entre las partes (proveedor y cliente), así como para la evaluación de dichos sistemas. Las dos normas restantes se citan a continuación:

NOM - CC - 3 "Sistemas de Calidad - Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio".

NOM - CC - 4 "Sistemas de Calidad - Modelo para el aseguramiento de la calidad, aplicable a la fabricación e instalación".

Es preciso destacar que los requisitos del sistema de calidad de esta Norma y los de las normas NOM - CC - 3, y NOM - CC - 4 son complementarios, no constituyen una alternativa de los requisitos específicos del producto y/o servicio a que se refiere.

Aunque se pretende que esta Norma sea aplicable directamente, puede darse el caso de que, sea necesario establecer condiciones especiales para adecuar el sistema a una situación contractual específica. La norma NOM - CC - 2, facilita una guía para el establecimiento de las mencionadas condiciones especiales, así como para seleccionar el modelo más adecuado entre los establecidos en las normas NOM - CC - 3, NOM - CC - 4, y NOM - CC - 5.

## 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

### 1.1 OBJETIVO

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema de aseguramiento

de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de inspeccionar y efectuar las pruebas finales de aceptación correspondientes al producto.

Los requisitos establecidos en esta Norma, tienen el objetivo de evitar desviaciones en las etapas de investigación y pruebas finales, en el caso de productos no conformes se busca su detección, identificación y segregación. Esta Norma se sustenta en los conceptos de aseguramiento de calidad.

## 1.2 CAMPO DE APLICACION

Esta Norma se aplica cuando:

- A) Los requisitos del producto y/o servicio ya se encuentran establecidos por referencia a un proyecto, diseño o una especificación y consecuentemente, el proveedor se responsabiliza de la gestión de la calidad en las etapas de inspección y pruebas finales correspondientes.
- B) La conformidad de los productos puede ponerse de manifiesto con suficiente confianza si el proveedor demuestra, en forma fehaciente, su aptitud para inspeccionar y efectuar las pruebas finales correspondientes.
- C) La guía para evaluar la aplicación de la presente Norma es la norma NOM – CC – 7 parte 3, sistemas de calidad: guía cuestionario para la aplicación de la norma NOM – CC – 5.

## 2 REFERENCIAS

NOM – CC – 1

Para la correcta aplicación de esta Norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

"Sistemas de calidad – vocabulario"

NOM – CC – 2

"Sistemas de calidad – gestión de calidad. Guía para la selección y el uso de normas de aseguramiento de calidad."

NOM – CC – 6

"Sistemas de calidad – gestión de la calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales."

NOM – CC – 7

"Sistemas de calidad – auditorías de calidad."

NOM – CC – 8

"Sistemas de calidad – calificación y certificación de auditores."

### **3 DEFINICIONES**

Para el uso de esta Norma, son aplicables la terminología y las definiciones contenidas en la norma NOM – CC – 1.

NOTA: El término "contrato" debe entenderse en su sentido más amplio, como un acuerdo entre las partes.

### **4 RESPONSABILIDADES**

#### **4.1 RESPONSABILIDADES DEL CLIENTE**

Las responsabilidades del cliente son las de evaluar y seleccionar a sus proveedores, fundamentándose en la capacidad de éstos para cumplir con los requisitos siguientes:

##### **4.1.1 UNA EVALUACION DE:**

- A) Manual de aseguramiento de calidad.
- B) Implantación del programa de aseguramiento de calidad.
- C) Planes de inspección y prueba.
- D) Otros medios y recursos de fabricación o proceso requeridos.

##### **4.1.2 ESPECIFICAR EN EL CONCURSO, REQUISICION O PEDIDO Y EL CONTRATO:**

- A) El alcance de los requisitos del trabajo.
- B) La norma y especificaciones sobre el sistema de aseguramiento de calidad que el proveedor debe cumplir para satisfacer los requisitos al respecto.
- C) La rastreabilidad deseada.
- D) La norma del programa de aseguramiento de calidad aplicada a los productos o servicios requeridos por el cliente.
- E) Las disposiciones legales que se aplican a los productos o servicios objeto del contrato
- F) La documentación que será entregada al cliente y la retenida por el proveedor, así como el periodo de tiempo de conservación de estos documentos

4.1.3 Efectuar auditorias de producto y/o de sistema, de acuerdo a procedimientos establecidos para comprobar que el proveedor trabaja conforme a lo establecido (ver NOM – CC – 8)

4.1.4 Evaluar el sistema de aseguramiento de calidad en función de los productos que normalmente fabrica, tomando en consideración las características del producto solicitado.

4.1.5 Convenir con el proveedor las normas y especificaciones requeridas para el producto al formalizar el contrato y antes del inicio de los trabajos.

## **4.2 RESPONSABILIDADES DEL PROVEEDOR.**

LAS RESPONSABILIDADES DEL PROVEEDOR SON:

- A) Satisfacer los requisitos especificados en el contrato.
- B) Desarrollar, implantar y mantener el programa de aseguramiento de calidad especificado por esta norma, así como, lo especificado en el contrato.
- C) Dar facilidades al cliente para que evalúe los recursos y el sistema de calidad de la empresa, sin haber necesidad de tener establecido formalmente contrato alguno. También para que verifique la calidad y audite el sistema de acuerdo con lo establecido en el contrato y la especificación sobre el sistema de calidad correspondiente.
- D) En el caso en que el cliente suministre insumos para el proceso, el proveedor debe certificar que éstos cumplen los requisitos establecidos, que son consistentes con los requisitos de calidad del producto o servicio final y avisar al cliente que las no conformidades encontradas han sido convenientemente tratadas.

## **4.3 REQUISITOS REGULATORIOS**

Los productos o servicios deben cumplir con todos los requisitos y disposiciones legales, que le sean aplicables, aún si éstos no se mencionan en el contrato.

## **5 REQUISITOS DEL SISTEMA DE CALIDAD**

### **5.1 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION DE LA EMPRESA**

#### **5.1.1 POLITICA DE CALIDAD**

La dirección de la empresa proveedora, debe definir y establecer por escrito su política de calidad y sus objetivos en este campo. Debe asegurarse de que su política es entendida, aplicada, mantenida y actualizada en todos los niveles de la organización.

#### **5.1.2 ORGANIZACION:**

##### **5.1.2.1 RESPONSABILIDADES Y AUTORIDAD**

El proveedor debe definir de manera documentada, las responsabilidades, la autoridad y las relaciones entre todo el personal que gestiona, realiza y verifica cualquier actividad que influye sobre la realización de la inspección y pruebas finales.

##### **5.1.2.2 Recursos y personal de verificación**

El proveedor debe establecer la condiciones adecuadas y proporcionar los recursos suficientes para llevar a cabo las verificaciones, (véase 5.12).

Las actividades de verificación deben incluir la inspección y pruebas finales. Las verificaciones y auditorías del sistema de aseguramiento de calidad, deben llevarse a cabo por personal independiente del que tiene responsabilidad de realizar cada etapa

##### **5.1.2.3 Representante de la dirección**

La dirección de la empresa proveedora debe designar a un responsable que de manera independiente a otras responsabilidades, posea la autoridad y responsabilidad suficiente para asegurar que los requisitos de la presente norma son implantados, mantenidos y actualizados.

##### **5.1.2.4 Representante del cliente**

El cliente debe designar un representante propio o externo, éste último debe estar acreditado por la Dirección

General de Normas, con el fin de asegurarse que es efectivo el sistema de calidad establecido para el cumplimiento de esta norma. El proveedor dará al representante del cliente las facilidades que se requieran para cumplir su cometido.

### **5.1.3 Revisión del sistema de calidad por la dirección**

El sistema de calidad adoptado para satisfacer los requisitos de esta norma, debe ser revisado sistemáticamente por la dirección, a intervalos apropiados y preestablecidos por la misma para asegurar que mantiene constantemente su eficacia y adecuación. Los informes de cada revisión deben ser archivados convenientemente.

## **5.2 SISTEMAS DE CALIDAD**

El proveedor debe establecer, mantener y actualizar un sistema de aseguramiento de calidad documentado y eficiente, como una manera de constatar que el producto cumple con los requisitos establecidos en las etapas de inspección y pruebas finales.

La documentación del sistema de aseguramiento de calidad debe contemplar: El plan general de calidad, los procedimientos del programa de aseguramiento de calidad y los procedimientos operativos, especificaciones, instructivos y dibujos, para que se ejecuten las actividades correctamente en las áreas de la empresa.

El sistema de aseguramiento de calidad debe incluir:

- A) Los procedimientos y las instrucciones documentadas del sistema de calidad, en concordancia con los requisitos de esta norma.
- B) La aplicación efectiva de los procedimientos y de las instrucciones documentadas del sistema de calidad.

**Nota:** Para satisfacer los requisitos establecidos en esta norma, se deben considerar las actividades siguientes:

- Preparación de los planes de calidad y del manual de aseguramiento de calidad.
- Contar con los equipos de control, de proceso y de inspección, así como de las instalaciones o recursos de producción necesarios para conseguir la calidad requerida.
- Cuando sea conveniente, actualizar las estrategias de administración y de prueba, inclusive el uso de nuevos instrumentos y herramientas.
- Contratación y capacitación de los recursos humanos necesarios.
- El reconocimiento con antelación de las limitaciones de capacidad de medición.
- La definición de los criterios de aceptación y rechazo.
- La compatibilidad entre el proceso de producción, las actividades de inspección y prueba y la documentación aplicable.
- La preparación y establecimiento de los documentos y registros de calidad (véase 5.11).

### **5.2.1 Manual de aseguramiento de calidad**

El plan general de calidad debe ser descrito dentro de un manual de aseguramiento de calidad, cuya emisión y modificaciones posteriores deben ser controladas.

Incluir como mínimo dentro del manual de aseguramiento de calidad, los siguientes puntos:

- A) Identificación de la organización, los recursos y los productos cubiertos por el plan general de calidad
- B) Las responsabilidades de la dirección, la organización y los requisitos especificados en la sección 5.1 incluyendo las responsabilidades y relaciones entre los departamentos involucrados con la inspección y prueba final del producto.
- C) Descripción breve y clara de las políticas y principios de aseguramiento de calidad que serán aplicados por el proveedor y que cubran los requisitos básicos de esta norma.
- D) Un cuadro de referencia con todos los procedimientos especificados en la sección 5.2.2
- E) Una sección para la autorización, la revisión y el control del manual de aseguramiento de calidad y del manual de procedimientos (véase 5.2.2)

### **5.2.2 Manual de procedimientos del programa de aseguramiento de calidad.**

El programa de aseguramiento de calidad debe documentar, implantar y mantener los procedimientos para planear y controlar como mínimo, los siguientes elementos

- A) Revisión del contrato.
- B) Control de documentación.
- C) Identificación y rastreabilidad.
- D) Inspección y pruebas
- E) Equipo de inspección, medición y prueba.
- F) Estado de inspección y prueba.
- G) Productos no conformes.
- H) Manejo, almacenamiento, embarque y entrega
- I) Registros de calidad.
- J) Capacitación y entrenamiento.
- K) Técnicas estadísticas

Documentar todos los procedimientos indicando su propósito, alcance y la información necesaria, para desarrollar la actividad, incluyendo los formatos a utilizar.

Integrar el conjunto de procedimientos e instrucciones en documentos que faciliten su manejo y que en conjunto conformen el manual de procedimientos del programa de aseguramiento de calidad.

Mantener actualizado el manual de procedimientos del programa y conforme sea necesario, efectuar las modificaciones a los procedimientos que lo ameriten.

#### 5.2.3 Manual operativo (instrucciones, procedimientos, especificaciones y dibujos)

Se deben establecer controles documentados para asegurar que las actividades descritas en la sección 5 de esta norma, se efectúan de acuerdo con la edición más reciente de instrucciones, especificaciones, procedimientos, planos y dibujos.

**Nota:** Esta documentación no debe integrarse en el manual de aseguramiento de calidad.

Las instrucciones, procedimientos, planos y dibujos, deben ser controlados para asegurar que éstos, incluso sus modificaciones, estén aprobados, se encuentren disponibles en el lugar de trabajo y se apliquen adecuadamente.

La asignación de la responsabilidad para la aprobación de estos documentos, se debe especificar en el manual de aseguramiento de calidad.

#### 5.2.4 Plan de inspección, verificación y pruebas

El proveedor debe planear y documentar las actividades de inspección, verificación y pruebas. Cuando el cliente lo solicite, el plan de inspección, verificación y pruebas, se realizará para cada contrato, definiéndose la participación del cliente para verificar la calidad.

### 5.3 REVISION DE CONTRATO

El proveedor debe establecer y mantener actualizados los procedimientos para la revisión de contratos y la coordinación de las actividades que de ellos se derivan, cada contrato debe ser revisado por el proveedor para asegurar que:

- A) Los requisitos están definidos y documentados.
- B) Cualquier requisito del contrato que difiera de los que figuran en la oferta, sea resuelto.
- C) Está en condiciones de cumplir con los requisitos del contrato.

**Nota:** Se deben coordinar las actividades de revisión de contrato, las relaciones y comunicaciones entre el proveedor y el cliente. En cada revisión de contrato se emitirá un informe que será archivado y conservado para referencia.

## **5.4 CONTROL DE LA DOCUMENTACION**

### **5.4.1 Aprobación y distribución de documentos**

El proveedor debe establecer y mantener actualizados los procedimientos para controlar los documentos y datos que se relacionen con los requisitos de esta norma. Para asegurar que son idóneos y adecuados, estos documentos deben ser revisados y aprobados por el personal autorizado antes de su emisión y distribución. Este control debe asegurar que:

- A) Se realiza la distribución oportuna de los documentos, de manera que éstos se encuentren disponibles en todos los puntos fundamentales de las operaciones para el funcionamiento efectivo del sistema de calidad.
- B) La documentación obsoleta se retira en el menor tiempo posible, especialmente de los puntos mencionados en el inciso anterior.

## **5.5 IDENTIFICACION Y RASTREABILIDAD DEL PRODUCTO**

La inspección y pruebas finales se identificarán mediante el uso de etiquetas, marcas o cualquier otro método que se crea conveniente. Esta identificación quedará asentada en los registros de calidad correspondientes (véase 5.11).

## **5.6 INSPECCION Y PRUEBAS**

El programa de aseguramiento de calidad y/o los procedimientos establecidos para la inspección y pruebas finales, deben exigir que se hayan realizado con resultados satisfactorios, tanto la inspección de recibo, como las inspecciones de proceso preestablecidas, antes de realizar la inspección final

El proveedor debe llevar a cabo todas las inspecciones y pruebas finales, de acuerdo con el programa de aseguramiento de calidad y/o procedimientos documentados, hasta completar la evidencia de que el producto final cumple los requisitos especificados

Ningún producto debe ser despachado hasta que todas las actividades descritas en el programa de aseguramiento de calidad y en los procedimientos, hayan sido satisfactoriamente terminadas y los datos y documentos asociados estén disponibles y aprobados

El proveedor debe identificar y retener los productos no conformes

### **5.6.1 REGISTROS DE INSPECCION Y PRUEBAS**

El proveedor establecerá y mantendrá actualizados los registros que comprueben que el producto ha pasado la inspección y/o pruebas de acuerdo con el criterio de aceptación establecido (véase 5.1).

## **5.7 EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBAS**

Para demostrar la conformidad de los productos el proveedor debe identificar, verificar, calibrar y realizar el mantenimiento de los equipos de medición, inspección y pruebas, ya sean propios o ajenos.

Todo el equipo de inspección, medición y prueba utilizado en la inspección y pruebas finales, debe calibrarse y ajustarse con referencia a patrones certificados que tengan una relación válida y directa con patrones nacionales o internacionales.

Los informes y certificados de calibración de los equipos de inspección, medición y prueba, se archivarán y conservarán durante un periodo establecido.

## **5.8 ESTADO DE INSPECCION Y PRUEBAS**

El estado de la inspección y prueba, debe ser identificado mediante el uso de etiquetas, estampillas, marcas, hojas de ruta, registros de inspección, registros informáticos, zonas físicas señaladas o cualquier otro medio adecuado, el cual indique la conformidad o no-conformidad del producto, derivada de las inspecciones y pruebas efectuadas.

En los registros y documentos se identificará al responsable de las inspecciones y de la liberación de los productos conformes.

## **5.9 CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME**

El proveedor debe establecer y mantener actualizados los procedimientos para asegurar que el producto no conforme, no sea utilizado o instalado indebida o inadvertidamente. Estos procedimientos deben establecer el control, la identificación, la documentación, la evaluación, la segregación y el tratamiento de los productos no conformes, así como la notificación de la decisión tomada a los departamentos y/o subcontratistas a los que pudiera afectar.

## **5.10 MANEJO, ALMACENAMIENTO, EMPAQUE, EMBARQUE Y ENTREGA**

El proveedor debe establecer, documentar, mantener y actualizar los procedimientos para manejar, almacenar, empaquetar y entregar el producto, después de cumplidas la inspección y pruebas finales.

El proveedor debe establecer los procedimientos de protección necesarios, para asegurar que se mantiene, hasta la entrega, la calidad de los productos después de inspeccionados y probados. Si así lo especifica el contrato, la protección debe extenderse hasta la entrega en su destino.

## **5.11 REGISTROS DE CALIDAD**

El proveedor establecerá y mantendrá procedimientos para la identificación, la clasificación, la codificación, así como para archivar, conservar y mantener disponibles los documentos o informes referentes a la calidad.

Todos los registros de calidad deben ser reproducibles, legibles e identificables con el producto al que se refieren. Los registros de calidad estarán a disposición del cliente o de su representante y de las autoridades competentes, durante un periodo de tiempo convenido.

## **5.12 CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO**

El proveedor debe establecer y actualizar los procedimientos para detectar las necesidades relativas a la formación del personal que realiza actividades que afecten a la calidad, así como definir la forma en que se cubrirán estas necesidades.

El personal que realiza tareas específicas dentro del sistema de calidad (producción, verificación, o administración), debe estar calificado con base en su educación, entrenamiento y/o experiencia, de acuerdo a lo establecido en sus procedimientos, códigos y normas. Los documentos relativos a la formación (adoctrinamiento, capacitación y adiestramiento) y calificación del personal, deben ser conservados y archivados adecuadamente (véase 5.11).

El proveedor establecerá y proporcionará el adoctrinamiento que asegure que el personal está consciente de sus responsabilidades específicas en el programa de aseguramiento de calidad.

## **5.13 TECNICAS ESTADISTICAS**

El proveedor debe identificar y clasificar las características del producto, proceso o servicio, para los cuales utilizara las técnicas estadísticas. Así como seleccionar aquellas que sean apropiadas en cuanto a los niveles de confianza para verificar y monitorear la inspección y pruebas finales, indicando las bases de selección.

## 6 BIBLIOGRAFIA

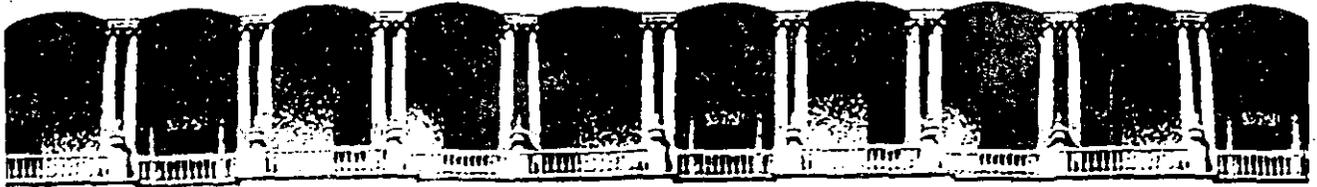
A)	API SPEC Q1 – 1986	"SPECIFICATION FOR QUALITY PROGRAMS"
B)	ISO 8402 – 1986	"QUALITY – VOCABULARY"
C)	ISO 9003 – 1987	"QUALITY SYSTEMS – MODEL FOR QUALITY ASSURANCE IN FINAL INSPECTION AND TEST."
D)	CAN 3 – Z 299.1 – 1985	"QUALITY ASSURANCE PROGRAM CATEGORY 4"
E)	UNE 66903 – 86	"SISTEMAS DE CALIDAD. MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD APLICABLE A LA INSPECCION Y ENSAYOS FINALES."
F)	BS 5750 PART 3 1987	"SPECIFICATION FOR FINAL INSPECTION AND TEST."

## 7 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta Norma concuerda básicamente con la norma ISO 9003 – 1987, "QUALITY SYSTEMS. MODEL FOR QUALITY ASSURANCE IN FINAL INSPECTION AND TEST."

México D F a 3 de diciembre de 1990

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO**

**PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA EVALUACION DE LOS  
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA  
DEL CONCRETO**

**INST. MEXICANO DEL CEMENTO  
Y DLE CONCRETO A.C.**

# CONTENIDO

PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO (ACI 214-77)\*

SINOPSIS	11
CAPITULO 1.- INTRODUCCION	13
CAPITULO 2.- VARIACIONES EN LA RESISTENCIA	15
2.1. Aspectos generales	15
2.2. Propiedades del concreto	15
2.3. Métodos de prueba	17
CAPITULO 3.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA	19
3.1. Notación	19
3.2. Aspectos generales	20
3.3. Funciones estadísticas	21
3.3.1. Promedio, $\bar{X}$	21
3.3.2. Desviación estándar, $\sigma$	22
3.3.3. Coeficiente de variación, $V$	22
3.3.4. Intervalo, $R$	22
3.4. Variaciones en la resistencia	22
3.4.1. Variación inherente a la prueba	23
3.4.2. Variaciones de mezcla a mezcla	24
3.5. Normas de control	27
CAPITULO 4.- CRITERIOS	29
4.1. Aspectos generales	29
4.2. Criterios para los requerimientos de resistencia	33
4.2.1. Criterio No. 1	34
4.2.2. Criterio No. 2	35
4.2.3. Criterio No. 3	36
4.2.4. Criterio No. 4	37
4.3. Información adicional	39
4.4. Cartas de control de calidad	39
4.5. Pruebas y cilindros requeridos	40
4.6. Rechazo de cilindros dudosos	44
CAPITULO 5.- REFERENCIAS	45

\* Adoptada como norma del American Concrete Institute en agosto de 1977 para substituir a la ACI 214-65, de acuerdo con los procedimientos de estandarización del Instituto.

## SINOPSIS

Los procedimientos estadísticos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia y ese enfoque también resulta de valor para reafirmar los criterios y las especificaciones del diseño. El informe discute brevemente las numerosas variaciones que se manifiestan en la resistencia del concreto y presenta procedimientos estadísticos que son útiles para la interpretación de estas variaciones.

*Palabras clave:* coeficiente de variación; pruebas de compresión; resistencia a la compresión; construcción en concreto; concretos; cilindros; evaluación; control de calidad; muestreo; desviación estándar; análisis estadístico; variaciones.

## INTRODUCCION

Los propósitos de las pruebas de resistencia del concreto son para determinar el cumplimiento de una especificación de resistencia y para medir la variabilidad del concreto.

El concreto, que es una masa endurecida de materiales heterogéneos, está sujeto a la influencia de numerosas variables. Dependiendo de su propia variabilidad, las características de cada uno de los ingredientes del concreto pueden ocasionar variaciones en la resistencia de éste. Las variaciones también pueden ser el resultado de las prácticas seguidas durante la dosificación, el mezclado, la transportación, la colocación y el curado. Además de las variaciones presentes en el concreto mismo, las variaciones en las pruebas de resistencia también serán el resultado de la fabricación, de las pruebas y del tratamiento de las muestras de prueba. Deben aceptarse las variaciones en la resistencia del concreto, pero con toda confianza se puede producir concreto de la calidad adecuada si se mantiene un control apropiado, si se interpretan correctamente los resultados de las pruebas y si se toman en consideración sus limitaciones.

El control apropiado se alcanza por medio de la utilización de materiales satisfactorios, la dosificación y el mezclado correctos de dichos materiales para obtener concreto de la calidad deseada, y la buena práctica en la transportación, la colocación, el curado y la realización de pruebas. Aunque la compleja naturaleza del concreto elimina una completa homogeneidad, una variación excesiva en la resistencia del concreto significa una falla en el adecuado control de éste. El mejoramiento del control puede permitir una reducción en los costos del concreto, puesto que la resistencia promedio se puede acercar más a los requisitos de las especificaciones.

La resistencia no es, necesariamente, el factor más crítico en el proporcionamiento de las mezclas de concreto ya que otros factores, tales como la durabilidad, pueden imponer relaciones agua/cemento más bajas que aquellas que son necesarias para cumplir con los requisitos de resistencia. En esos casos la resistencia será, por necesidad, superior a las exigencias estructurales. No obstante, en esas circunstancias, las pruebas de resistencia son valiosas puesto que, con el proporcionamiento de mezclas establecido, las variaciones en la resistencia indican variaciones de otras propiedades.

Las muestras de prueba indican la resistencia potencial más que la resistencia real del concreto en una estructura. Para ser significativas, las conclusiones sobre la resistencia del concreto deben derivarse de un patrón de pruebas del cual se pueden calcular, con razonable exactitud, las características del concreto. Es fácil llegar a conclusiones poco confiables cuando no se han efectuado las pruebas suficientes.

Los procedimientos estadísticos nos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia, y la información que se deriva de dichos procedimientos también sirve para reafirmar los criterios y las especificaciones del diseño. Este informe discute brevemente las variaciones que se presentan en la resistencia del concreto y presenta los procedimientos estadísticos que son útiles para la interpretación de estas variaciones, en relación con los criterios y las especificaciones requeridas. Para que estos procedimientos estadísticos sean válidos, los datos deben derivarse de muestras obtenidas en el curso del desarrollo de un plan de muestreo al azar, diseñado para reducir la posibilidad de que aquél que haya de hacer la prueba, escoja las muestras. El "muestreo al azar" significa que existe la posibilidad de elegir cualquiera de las muestras. Para que esta condición sea segura, la elección debe hacerse por medio de algún mecanismo objetivo, tal como una tabla de números al azar. Si el preparador de muestras selecciona las muestras de prueba basándose sólo en su propio criterio, es probable que su inclinación invalide los resultados que se analizan en los procedimientos aquí considerados. La Referencia 1 incluye una discusión sobre el muestreo al azar y una tabla, corta y útil, de números aleatorios.

En la publicación *Realism in the Application of ACI Standard 214-65<sup>2</sup>* (Realismo en la aplicación de la Norma ACI 214-65) se proporciona información adicional acerca del significado y el uso de esta práctica recomendable. Este volumen es una recopilación de la información acerca del ACI 214-65<sup>2</sup>, que se presentó en un simposio efectuado en Buffalo, N. Y. en 1971. Además de los trabajos presentados en el simposio, se incluyen reimpressiones de unos trabajos relacionados con dicha práctica, que previamente se habían publicado en el ACI Journal y de la discusión que surgió de su publicación. Aunque la información proporcionada se basaba en la Norma ACI 214-65, la mayor parte de ella aún está vigente. Una fuente adicional de material acerca de la evaluación de las pruebas de resistencia, es la Bibliografía No. 2 del ACI publicada en 1960.<sup>3</sup>

## CAPITULO 2

# VARIACIONES EN LA RESISTENCIA

### 2.1. Aspectos generales

La magnitud de las variaciones en la resistencia de las muestras de prueba de concreto depende de lo adecuado del control de los materiales, de la fabricación del concreto y de la realización de las pruebas. Se puede encontrar el origen de las diferencias en la resistencia, en dos fuentes fundamentalmente distintas, tal como lo muestra la Tabla 2.1: (a) las variaciones en las propiedades de la mezcla de concreto y de sus ingredientes, y (b) las diferencias aparentes en la resistencia ocasionadas por las variaciones inherentes a la prueba.

### 2.2. Propiedades del concreto

Ha quedado perfectamente establecido que la resistencia está regida, en gran medida, por la relación agua/cemento. Por lo tanto, el primer criterio a considerar para producir concreto de resistencia constante, es una relación agua/cemento constante. Ya que la cantidad de cemento y agua adicionada se pueden medir con toda exactitud, el problema de mantener una relación agua/cemento constante es, principalmente, el de corregir la cantidad variable de humedad libre en los agregados.

La homogeneidad del concreto está influida por la variabilidad de los agregados, del cemento y de los aditivos empleados, puesto que estos contribuirán a las variaciones en la resistencia del concreto. La temperatura del concreto

fresco influye en la cantidad de agua necesaria para lograr la consistencia adecuada y, por consiguiente, también contribuye a la variación en la resistencia del concreto. Las prácticas de construcción pueden ocasionar variaciones en la resistencia debido a un mezclado inadecuado, a una mala compactación, a los retrasos y a un curado incorrecto, las cuales no se reflejan en las muestras que se fabrican y almacenan en condiciones estándar.

El empleo de aditivos añade un factor más, ya que cada aditivo incorpora otra variable al concreto. La dosificación de los acelerantes, los retardantes, las puzolanas y los agentes inclusores de aire deben ser cuidadosamente controlados.

TABLA 2.1.— PRINCIPALES FUENTES DE VARIACION EN LA RESISTENCIA

Variaciones en las propiedades del concreto	Discrepancias en los métodos de prueba
<p>Cambios en la relación agua/cemento: Deficiente control de agua Excesiva variación de humedad en el agregado Retemplado</p> <p>Variaciones en el requerimiento de agua: Granulometría del agregado, absorción, forma de la partícula Propiedades del cemento y del aditivo Contenido de aire Tiempo de entrega y temperatura</p> <p>Variaciones en las características y proporciones de los ingredientes: Agregados Cemento Puzolanas Aditivos</p> <p>Variaciones en la transportación, la colocación y la compactación</p> <p>Variaciones en la temperatura y en el curado</p>	<p>Procedimientos incorrectos en el muestreo</p> <p>Variaciones debidas a técnicas de fabricación Manejo y curado de cilindros recién fabricados Moldes de calidad deficiente</p> <p>Cambios en el curado: Variaciones en la temperatura Humedad variable Retrasos en el acarreo de los cilindros al laboratorio</p> <p>Deficientes procedimientos de prueba: Cabeceado de los cilindros Pruebas de compresión</p>

### 2.3. Métodos de prueba

Las pruebas del concreto pueden incluir o no, todas las variables en la resistencia del concreto colado en el lugar, dependiendo de cuáles variables se han introducido después de haber elaborado las muestras de prueba. Por otra parte, las discrepancias en el muestreo, la fabricación, el curado y la prueba de las muestras pueden ocasionar indicaciones de variaciones en la resistencia que no existen en el concreto de la estructura. Sin necesidad alguna se penaliza el proyecto cuando son excesivas las variaciones que se originan en esta situación. Estas variaciones se reducirán por medio de buenos métodos de prueba, y los procedimientos estándar, tales como los descritos en las normas ASTM, deben seguirse con toda precisión.

No es necesario hacer hincapié en la importancia que tiene utilizar máquinas de prueba exactas y elaborar cabeceados delgados, planos, paralelos y de alta resistencia, ya que los resultados de las pruebas no pueden ser más exactos que el equipo y los procedimientos utilizados en ellas. *Los resultados uniformes en las pruebas no significan necesariamente, resultados correctos en las pruebas.* Periódicamente deben calibrarse y revisarse, tanto el equipo de laboratorio, como los procedimientos utilizados.

# ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA

## 3.1. Notación

$d_2$ y $1/d_2$	=	factores para el cálculo de la desviación estándar en el intervalo promedio, dentro de la prueba.
$f_{\sigma}$	=	resistencia promedio requerida para asegurarse de que sólo aquella proporción permisible de pruebas caerá por debajo de la resistencia especificada.
$f'_c$	=	resistencia especificada
$n$	=	número de pruebas
$R$	=	intervalo
$\bar{R}_m$	=	máximo para el intervalo promedio utilizado en las cartas de control para cambiar el promedio del intervalo
$\bar{R}$	=	intervalo promedio
$\sigma$	=	desviación estándar
$\sigma_1$	=	desviación estándar dentro de la prueba
$\sigma_2$	=	desviación estándar de muestra a muestra
$t$	=	multiplicador constante para la desviación estándar ( $\sigma$ ) que depende del número de pruebas que se espera caigan por debajo de $f'_c$
$V$	=	coeficiente de variación

- $V_1$  = coeficiente de variación dentro de la prueba
- $X_i$  = un resultado individual de la prueba
- $\bar{X}$  = promedio de los resultados de la prueba

3.2. Aspectos generales

Para obtener el máximo de información, debe efectuarse una cantidad suficiente de pruebas, con lo cual se indica la variación en el concreto elaborado y permite la utilización de los procedimientos estadísticos apropiados que serán empleados en la interpretación de los resultados de las pruebas. Los procedimientos estadísticos proporcionan la mejor herramienta para que, de tales resultados, se determine la resistencia y la calidad potencial del concreto y se expresen los resultados de la manera más útil.

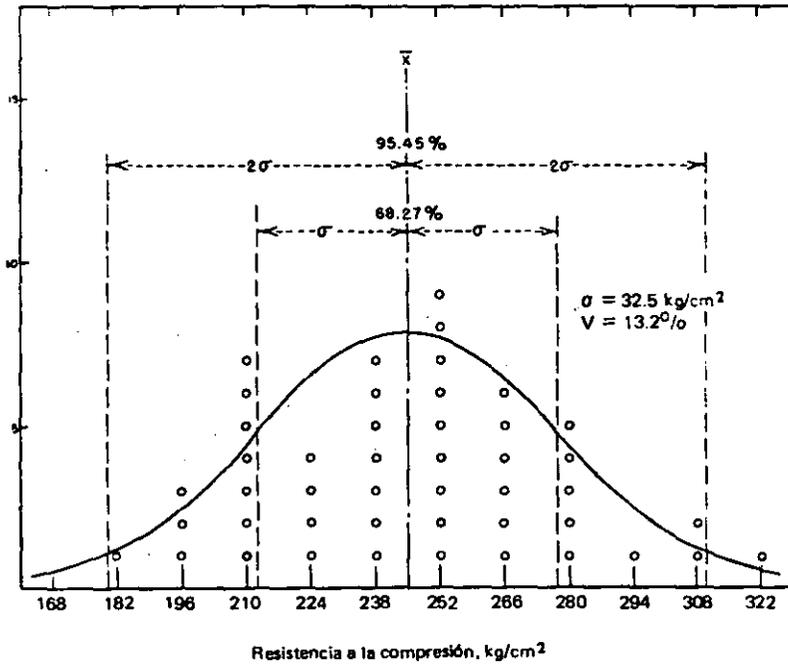


Fig. 3.3 (a).- Distribución de frecuencia de resultados de resistencia y la correspondiente distribución normal

3.3. Funciones estadísticas

Se puede suponer que, en proyectos controlados, la resistencia de las muestras de prueba de concreto asumirá un patrón similar a la curva de distribución normal de frecuencia ilustrada en la Fig. 3.3. (a). Donde existe un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca de la media y la curva será alta y estrecha. Conforme aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se apartan y la curva se vuelve baja y alargada, tal como se muestra en la Fig. 3.3. (b). Como las características de esas curvas se pueden definir matemáticamente, es posible calcular ciertas funciones útiles de la resistencia de la siguiente manera:

3.3.1. Promedio,  $\bar{X}$ . La resistencia promedio de todas las pruebas individuales

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (3-1)$$

Donde  $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$  son los resultados de la resistencia de las pruebas individuales y  $n$  es el número total de pruebas efectuadas. Una prueba se define como la resistencia promedio de todos los cilindros de la misma edad elaborados de una muestra tomada de una única mezcla de concreto.

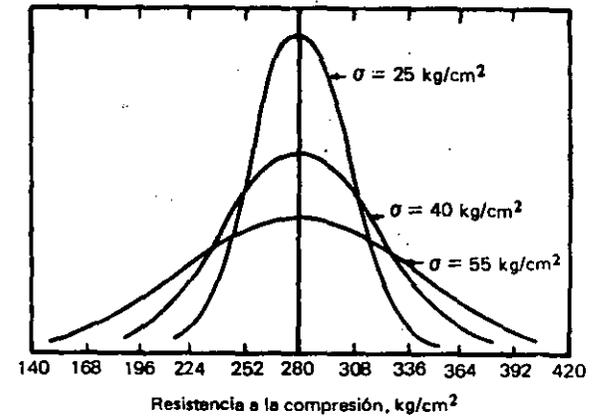


Fig. 3.3 (b).- Curvas normales de frecuencia para diferentes desviaciones estándar

3.3.2. *Desviación estándar,  $\sigma$* . La medida de dispersión más generalmente reconocida es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, respecto a la resistencia promedio, dividido entre el número de resultados menos uno. Esta estadística es conocida como la desviación estándar y puede considerarse como el radio de giro alrededor de la línea de simetría del área bajo la curva de distribución de frecuencia de los datos de resistencia, tal como se muestra en la Fig. 3.3. (a). El mejor cálculo de  $\sigma$ , basado en una cantidad finita de datos, se obtiene mediante la ecuación (3-2), o mediante su equivalente algebraico, la ecuación (3-2a). Esta última ecuación es preferible para propósitos de cálculo, porque no sólo es más sencilla y más adaptable a las calculadoras de oficina, sino que evita los posibles problemas debidos a errores por aproximación.

$$\sigma = \left\{ \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1} \right\}^{1/2} \quad (3-2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum \bar{X}_i)^2}{n}}{n - 1}} \quad (3-2a)$$

3.3.3. *Coefficiente de variación, V*. La desviación estándar, expresada como un porcentaje de la resistencia promedio, se llama coeficiente de variación:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \quad (3-3)$$

3.3.4. *Intervalo, R*. El intervalo es la estadística que se obtiene restando el menor de un conjunto de números del más alto del grupo. El intervalo dentro de la prueba se obtiene restando la menor de las resistencias del conjunto de cilindros promediada para formar una prueba a partir de la más alta del grupo. El intervalo dentro de la prueba es útil en el cálculo de la desviación estándar inherente a la prueba que se discute en la siguiente sección.

3.4. Variaciones en la resistencia

Como previamente se mencionó, las variaciones en los resultados de las pruebas de resistencia tienen su origen en dos fuentes diferentes: (a) variaciones en los métodos de prueba y (b) propiedades de la mezcla de concreto y de los ingredientes. Mediante el análisis de la varianza es posible calcular las variaciones que se pueden atribuir a cada una de estas dos fuentes.

3.4.1. *Variación inherente a la prueba*. La variación en la resistencia del concreto dentro de una prueba única se obtiene calculando la variación de un grupo de cilindros elaborados de una muestra de concreto tomada de una mezcla determinada. Es razonable suponer que una mezcla de prueba de concreto es homogénea y que cualquier variación entre dos cilindros compañeros, elaborados de una muestra determinada es ocasionada por las variaciones en la fabricación, el curado y la prueba.

TABLA 3.4.1.— FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACION ESTANDAR INHERENTE A LA PRUEBA\*

Número de cilindros	$d_2$	$1/d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

\* Tomada de la Tabla B2 del Manual on Quality Control of Materials (Manual sobre el control de calidad de los materiales) de la ASTM. Referencia 4.

No obstante, una única mezcla de prueba de concreto no proporciona los datos suficientes para el análisis estadístico y se requieren cilindros compañeros de, por lo menos, diez muestras de concreto a fin de establecer valores confiables para  $\bar{R}$ . La desviación estándar dentro de la prueba y el coeficiente de variación pueden calcularse convenientemente como sigue:

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R} \quad (3-4)$$

$$V_1 = \frac{\sigma_1}{\bar{X}} \times 100 \quad (3-5)$$

donde

- $\sigma_1$  = desviación estándar dentro de la prueba
- $1/d_2$  = una constante dependiente de la cantidad de cilindros promedio para producir una prueba (Tabla 3.4.1.)
- $\bar{R}$  = intervalo promedio dentro de grupos de cilindros compañeros
- $V_1$  = coeficiente de variación dentro de la prueba
- $\bar{X}$  = resistencia promedio

3.4.2. *Variaciones de mezcla a mezcla.* Estas variaciones reflejan diferencias en la resistencia, que se pueden atribuir a variaciones en:

- a) Las características y las propiedades de los ingredientes
- b) La dosificación, el mezclado y el muestreo
- c) Las pruebas cuyo resultado no se ha deducido de cilindros compañeros ya que existe la tendencia a tratarlos de manera más semejante, que a otros cilindros probados en momentos distintos.

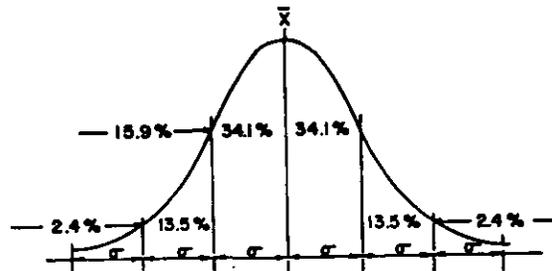


Fig. 3.4.2 (a).-- División aproximada del área bajo la curva de distribución normal de frecuencia

dentro de  $\pm 2\sigma$ , etc. Esto permite hacer una estimación de los resultados de las pruebas que se espera caigan dentro de múltiplos dados de  $\sigma$  del promedio, ó de cualquier otro valor específico. La Tabla 3.4.2 ha sido adaptada de la integral normal de probabilidad de la curva de distribución normal de frecuencia teórica y muestra la probabilidad de que los resultados de las pruebas caigan por debajo de  $f'_c$  en términos de la resistencia promedio de la mezcla  $\bar{X} = f'_{cr} = (f'_c + t\sigma)$ . Las curvas de distribución acumulativas también se pueden graficar acumulando la cantidad de pruebas con resultados inferiores a cualquier resistencia dada, expresada como porcentaje de la resistencia promedio, para distintos coeficientes de variación o desviaciones estándar. Las Figs. 3.4.2. (b) y 3.4.2. (c) muestran dicha información.

Las fuentes de variación de mezcla a mezcla y dentro de la prueba están relacionadas con la variación total [ Ec. (3-3) ] por la expresión siguiente:

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \quad (3-6)$$

donde

- $\sigma$  = desviación estándar total
- $\sigma_1$  = desviación estándar dentro de la prueba
- $\sigma_2$  = desviación estándar de mezcla a mezcla

Una vez que estos parámetros se han calculado y suponiendo que los resultados siguen una curva de distribución normal de frecuencia, se conoce una gran cantidad de información acerca de los resultados de las pruebas. La Fig. 3.4.2 (a) indica una división aproximada del área bajo la curva de distribución normal de frecuencia. Por ejemplo, aproximadamente el 68% del área (equivalente al 68% de los resultados de las pruebas) cae dentro de  $\pm 1\sigma$  del promedio, 95%

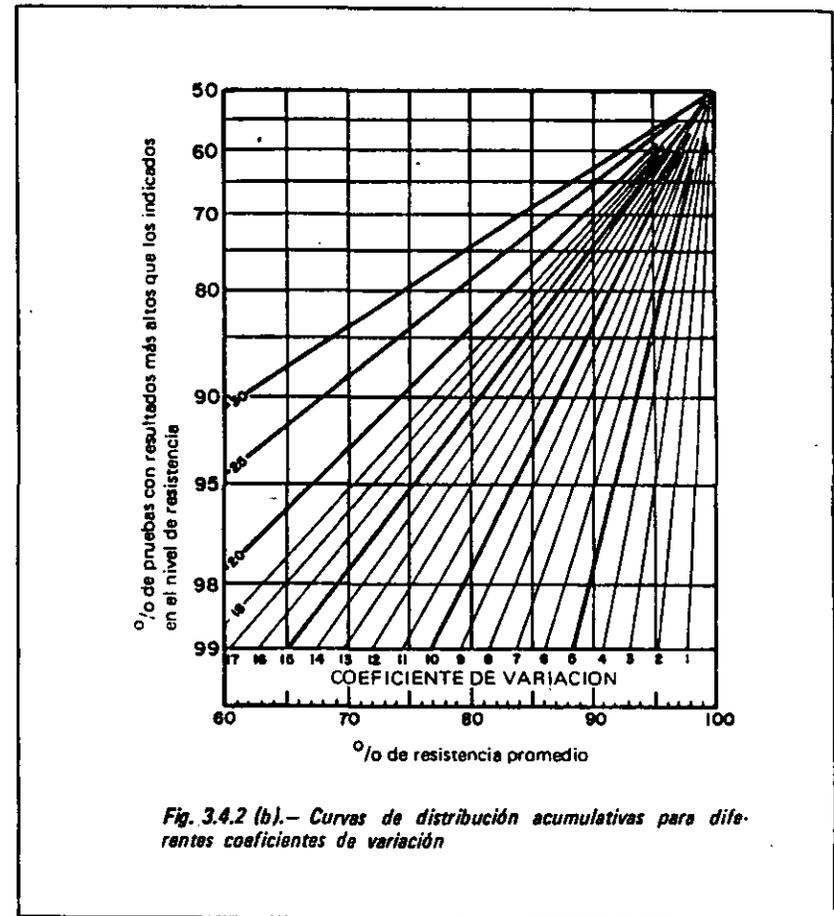
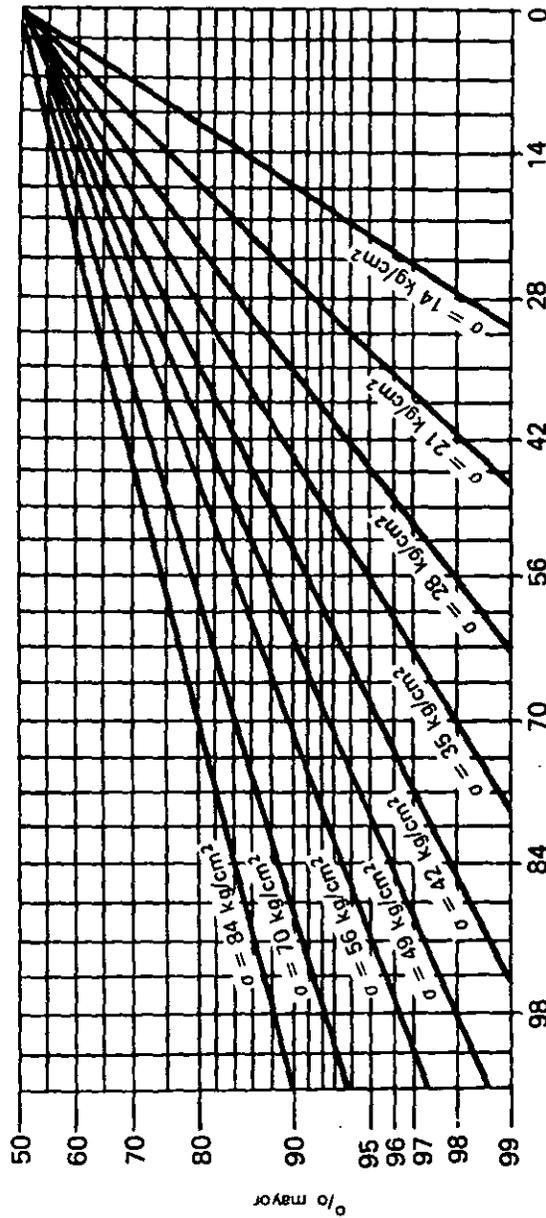


Fig. 3.4.2 (b).-- Curvas de distribución acumulativas para diferentes coeficientes de variación



Resistencia a la compresión kg/cm², por debajo del promedio

Fig. 3.4.2 (c).— Curvas de distribución acumulativas para diferentes desviaciones estándar

TABLA 3.4.2.— PORCENTAJES PREVISTOS DE LAS PRUEBAS CON RESULTADOS POR DEBAJO DE  $f'_c$ , EN LOS CUALES  $\bar{X}$  SOBREPASA A  $f'_c$  POR LA CANTIDAD SEÑALADA

Resistencia promedio, $\bar{X}$	Porcentaje previsto de pruebas con resultados por debajo del nivel de resistencia	Resistencia promedio, $\bar{X}$	Porcentaje previsto de pruebas con resultados por debajo del nivel de resistencia
$f'_c + 0.10\sigma$	46.0	$f'_c + 1.6\sigma$	5.5
$f'_c + 0.20\sigma$	42.1	$f'_c + 1.7\sigma$	4.5
$f'_c + 0.30\sigma$	38.2	$f'_c + 1.8\sigma$	3.6
$f'_c + 0.40\sigma$	34.5	$f'_c + 1.9\sigma$	2.9
$f'_c + 0.50\sigma$	30.9	$f'_c + 2.0\sigma$	2.3
$f'_c + 0.60\sigma$	27.4	$f'_c + 2.1\sigma$	1.8
$f'_c + 0.70\sigma$	24.2	$f'_c + 2.2\sigma$	1.4
$f'_c + 0.80\sigma$	21.2	$f'_c + 2.3\sigma$	1.1
$f'_c + 0.90\sigma$	18.4	$f'_c + 2.4\sigma$	0.9
$f'_c + \sigma$	15.9	$f'_c + 2.5\sigma$	0.6
$f'_c + 1.10\sigma$	13.6	$f'_c + 2.6\sigma$	0.45
$f'_c + 1.20\sigma$	11.5	$f'_c + 2.7\sigma$	0.35
$f'_c + 1.30\sigma$	9.7	$f'_c + 2.8\sigma$	0.25
$f'_c + 1.40\sigma$	8.1	$f'_c + 2.9\sigma$	0.19
$f'_c + 1.50\sigma$	6.7	$f'_c + 3.0\sigma$	0.13

En estas figuras, la ordenada indica el porcentaje de la población de valores de resistencia que puede esperarse sobrepase la resistencia indicada por cualquier valor de la abscisa, para un coeficiente de variación o para una desviación estándar seleccionada.

3.5. Normas de control

La decisión relativa a si la desviación estándar o el coeficiente de variación es la medida apropiada de dispersión que debe utilizarse en determinada situación, depende de cuál de las dos medidas es la constante más cercana a las características de resistencia, a través de un intervalo de resultados, de esa situación en particular. La presente información indica que la desviación estándar permanece como una constante más aproximada, en especial en resistencias superiores a 200 kg/cm². Se considera más aplicable el coeficiente de variación para las variaciones dentro de la prueba (Ver las Referencias 5 - 10).

La Tabla 3.5 muestra la variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a la compresión en proyectos sujetos a diferentes grados de control. Estos valores no se aplican a otras pruebas de resistencia.

TABLA 3.5.- NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO

Variación total					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes normas de control kg/cm <sup>2</sup>				
	excelente	muy buena	buena	aceptable	pobre
Pruebas de control en el campo	por debajo de 25	de 25 a 35	de 35 a 40	de 40 a 50	sobre 50
Mezclas de prueba de laboratorio	por debajo de 15	de 15 a 17	de 17 a 20	de 20 a 25	sobre 25

Variación en las pruebas					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes normas de control, en porcentaje				
	excelente	muy bueno	bueno	aceptable	pobre
Pruebas de control en el campo	por debajo de 3	de 3 a 4	de 4 a 5	de 5 a 6	arriba de 6
Mezclas de prueba de laboratorio	por debajo de 2	de 2 a 3	de 3 a 4	de 4 a 5	arriba de 5

## CAPITULO 4

# CRITERIOS

### 4.1. Aspectos generales

La resistencia de los cilindros de control, por lo general es la única evidencia palpable de la calidad del concreto utilizado en la construcción de una estructura. Con motivo de la posible disparidad entre la resistencia de los cilindros de prueba y la capacidad de carga de una estructura, no es prudente confiar en datos de resistencia incorrectos.

El número de pruebas con resistencias inferiores a la deseada es más importante en el cálculo de la capacidad de carga de las estructuras de concreto, que la resistencia promedio obtenida. No obstante, no resulta práctico especificar una resistencia mínima ya que, aún cuando existe un buen control, siempre cabe la posibilidad de resistencias todavía más bajas. También se ha reconocido que los cilindros pueden no representar al concreto en cada porción de la estructura, con la exactitud deseada. En las ecuaciones del diseño se proporcionan factores de seguridad que permiten obtener resistencias específicas, sin poner en peligro la seguridad de la estructura. Estos se han desarrollado con base en las prácticas de construcción, los procedimientos de diseño y las técnicas de control de calidad utilizadas dentro de la industria de la construcción. También debe recordarse que para una resistencia media dada, si un pequeño porcentaje de los resultados de prueba cae por debajo de la resistencia de diseño, el gran porcentaje correspondiente a los resultados de las pruebas será superior a la resistencia de diseño, con una probabilidad semejante de estar localizado en un área crítica. Los orígenes de una zona de concreto de baja resistencia en una estructura depende de muchos factores, entre los cuales se

encuentran la probabilidad de una sobrecarga a temprana edad, la ubicación y la magnitud de la zona de baja calidad en la unidad estructural, el grado de confianza depositado en la resistencia de diseño y la causa inicial de la baja resistencia. Las consecuencias de la falla estructural son de índole económica al igual que de otros tipos.

El criterio final que concede la probabilidad de que las pruebas caigan por debajo de la  $f'_c$ , utilizada en el diseño, es la decisión del diseñador, que se basa en el conocimiento íntimo de las condiciones que tienen la mayor probabilidad de ocurrir durante la construcción. El Reglamento de las construcciones de concreto reforzado (ACI 318-71), proporciona directrices a este respecto, al igual que otros reglamentos de construcción y otras especificaciones.

Para satisfacer los requisitos del comportamiento de la resistencia, expresados de esta manera, la resistencia promedio del concreto debe ser superior a  $f'_c$ , o sea la resistencia de diseño. La cantidad excesiva de la resistencia depende de la variabilidad esperada en los resultados de las pruebas, tal como se expresa mediante un coeficiente de variación o una desviación estándar, y de la proporción permisible de pruebas con resultados menores que los indicados en el nivel de resistencia.

Los valores de resistencia para determinar la desviación estándar o el coeficiente de variación deben representar un grupo de, por lo menos, 30 pruebas consecutivas hechas a una producción de concreto en condiciones semejantes a las previstas en el proyecto. Se considerará que se ha cumplido con el requerimiento para 30 pruebas consecutivas de resistencia, si las pruebas, o un grupo de 30 mezclas consecutivas representan la misma clase de concreto, o el promedio estadístico de dos grupos que sumen 30 o más mezclas. Será difícil definir condiciones "similares" y pueden estar mejor documentadas recolectando varios grupos de 30 o más pruebas. En general, los cambios de materiales y de procedimientos tendrán un efecto más grande en el nivel de resistencia promedio, que en la desviación estándar o en el coeficiente de variación. Comúnmente, los cambios significativos incluyen cambios de tipo y marca de cemento Portland, de los aditivos, de la fuente de los agregados, del proporcionamiento de las mezclas, de la dosificación, del mezclado, de la entrega o de las pruebas. Los datos deben ser representativos del concreto producido para cumplir con una resistencia específica cercana a la especificada para la obra en cuestión, ya que la desviación estándar puede variar conforme varía la resistencia promedio. La resistencia promedio  $f_{cr}$  requerida para cualquier diseño puede ser calculada por medio de la Ec. (4-1) o la (4-1a), (Tabla 3.4.2), o aproximada mediante la Fig. 4.1.(a) o la 4.1.(b), dependiendo de si se utiliza el coeficiente de variación, o la desviación estándar.

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{(1 - tV)} \quad (4-1)$$

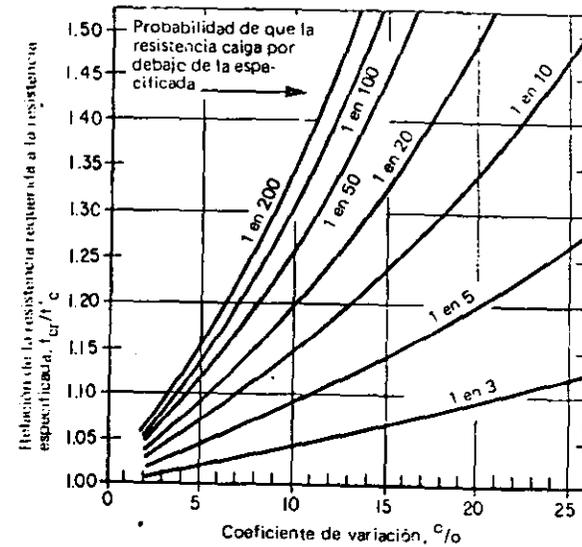


Fig. 4.1 (a).— Relación de la resistencia promedio requerida  $f_{cr}$  a la resistencia especificada  $f'_c$  para varios coeficientes de variación y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada

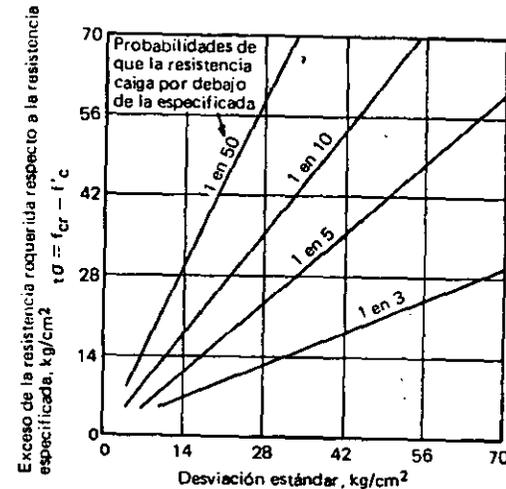


Fig. 4.1 (b).— Exceso de la resistencia promedio requerida  $f_{cr}$  respecto a la resistencia especificada  $f'_c$  para varias desviaciones estándar y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada

$$f_{\sigma} = f'_c + t\sigma \quad (4-1a)$$

donde

- $f_{\sigma}$  = resistencia promedio requerida
- $f'_c$  = resistencia especificada de diseño
- $t$  = una constante dependiendo de la proporción de pruebas que puede caer por debajo de  $f'_c$  (Tabla 4.1)
- $V$  = valor preestimado del coeficiente de variación expresado en decimal
- $\sigma$  = valor preestimado de la desviación estándar

Siempre que el promedio de un cierto número de pruebas  $n$  esté involucrado en la especificación, la Ec. (4-1) se modifica de la manera siguiente:

$$f_{\sigma} = \frac{f'_c}{1 - \frac{tV}{\sqrt{n}}} \quad (4-1b)$$

y

$$f_{\sigma} = f'_c + \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4-1c)$$

La Fig. 4.1 (c) demuestra que conforme aumenta la variabilidad, también debe aumentar  $f_{\sigma}$  y con eso se demuestra la importancia, desde el punto de vista económico, de un buen control.

El requerimiento de por lo menos 30 resultados de prueba mencionado con anterioridad se basa en el dato de que los resultados de 25 o 30 pruebas seleccionados al azar, de una población distribuida normalmente, proporcionan cálculos del promedio de población y la desviación estándar que se puede utilizar como valor de la población. Si sólo está disponible un número reducido de resultados en el cual basar los cálculos, entonces los valores, en especial para la desviación estándar, no son confiables y no hay manera de determinar  $f_{\sigma}$ , por lo cual un porcentaje específico de pruebas futuras será superior a  $f'_c$ , suponiendo que los resultados de prueba actuales constituyan la única información disponible.

Si existe información previa relativa a concreto de la misma planta, que cumple con los requerimientos de similitud antes descritos, ésta se puede utilizar en la decisión de un valor de prueba de  $\sigma$ , que se utilizará para determinar la  $f_{\sigma}$  requerida.

Para obras pequeñas recién iniciadas, de las cuales no existe información previa disponible, debe diseñarse el concreto para producir una resistencia promedio  $f_{\sigma}$  de por lo menos 85 kg/cm<sup>2</sup> mayor que  $f'_c$ . Conforme avanza la obra y se puede disponer de más pruebas de resistencia, éstas se pueden analizar de manera simultánea para obtener un cálculo más confiable de la desviación

estándar y las Ecs. (4-1), (4-1a), (4-1b) y (4-1c) se pueden utilizar para calcular un valor de  $f_{\sigma}$  menos conservador.

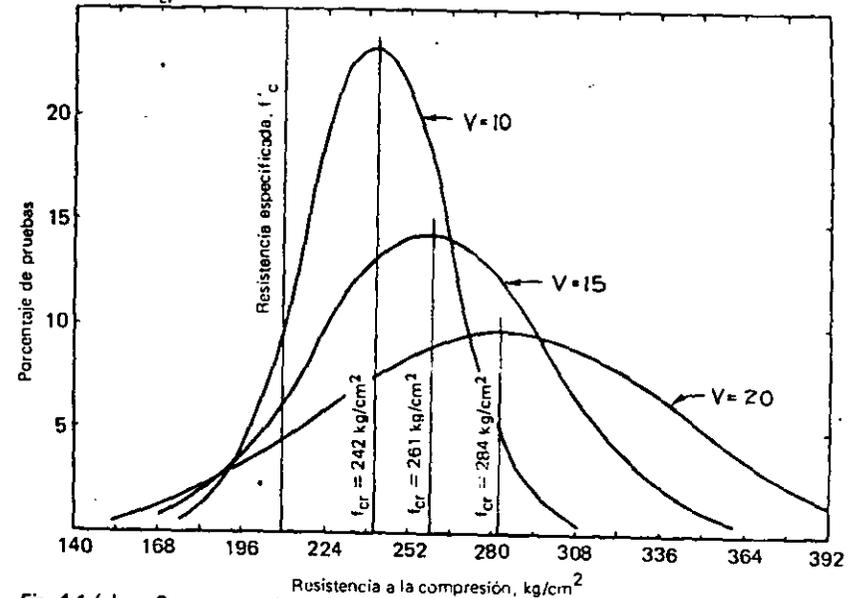


Fig. 4.1 (c).— Curvas normales de frecuencia para coeficientes de variación de 10, 15 y 20%

TABLA 4.1.— VALORES DE  $t$

Porcentajes de pruebas que caen dentro de los límites $X \pm t\sigma$	Probabilidades de que caigan por debajo del límite inferior	$t$
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.65
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

#### 4.2. Criterios para los requerimientos de resistencia

La cantidad en la cual la resistencia promedio de una mezcla de concreto  $f_{\sigma}$  debe exceder de  $f'_c$  depende de los criterios que se utilicen en las especifica-

ciones de un proyecto en particular. Los siguientes son ejemplos de cálculo que tendrían que hacerse para seleccionar las resistencias de diseño de una mezcla que cumpliera con los requerimientos de algún reglamento, o alguna especificación en particular.

4.2.1. *Criterio No. 1.* Una proporción máxima definida de pruebas de resistencia individuales aleatorias, a las cuales se les permite caer por debajo de  $f'_c$  en promedio.

La norma ASTM C94-74 utiliza un criterio similar. Para el concreto en estructuras diseñado mediante el método de resistencia última, la ASTM recomienda que no más del 10% de las pruebas de resistencia contengan valores menores a la resistencia especificada  $f'_c$ .

Como ejemplo, considérese la situación en la cual a no más de 1 en 10 de las resistencias individuales seleccionadas al azar se les permitirá caer por debajo de un valor  $f'_c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Método de la desviación estándar

Considérese un control de calidad óptimo tal como se indica mediante una desviación estándar de 30 kg/cm<sup>2</sup>. Utilizando la Ec. (4-1a) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'_c + t\sigma \\ &= 300 + 1.28 \times 30 \\ &= 338 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Como resultado, para un diseño estructural de resistencia  $f'_c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla de concreto debería estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 338 kg/cm<sup>2</sup>. Nótese que el coeficiente de variación es:

$$\left(\frac{30}{338}\right) \times 100 = 8.8$$

#### Método del coeficiente de variación

Considérese un buen control de calidad tal como se indica mediante un coeficiente de variación del 10%. Utilizando la Ec. (4-1) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{1 - tV}$$

$$\begin{aligned} f_{cr} &= \frac{f'_c}{1 - 1.28(0.10)} \\ &= 1.15 f'_c \quad \left[ \text{véase también la Fig. 4.1 (a)} \right] \\ &= 345 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Utilizando este enfoque y estos datos, la mezcla de concreto debería estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 345 kg/cm<sup>2</sup>.

4.2.2. *Criterio No. 2.* Una cierta probabilidad de que un promedio de  $n$  pruebas de resistencia consecutivas caerá por debajo de  $f'_c$ .

El Comité ACI 318-71 sugiere que una vez que se encuentren disponibles suficientes resultados de pruebas de un proyecto determinado, la frecuencia de ocurrencia de los promedios de tres pruebas consecutivas por debajo de  $f'_c$  no deberá exceder 1 en 100.

Como ejemplo, considérese la situación en la cual a no más de 1 en 100 de los promedios de tres pruebas de resistencia consecutivas se les permitirá caer por debajo de un valor  $f'_c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Método de la desviación estándar

Considérese una desviación estándar de 50 kg/cm<sup>2</sup>. Utilizando la Ec. (4-1c) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'_c + \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \\ &= 300 \text{ kg/cm}^2 + \frac{2.33 (50)}{\sqrt{3}} \\ &= 367 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Como resultado, para un diseño estructural de resistencia  $f'_c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 367 kg/cm<sup>2</sup>.

## Método del coeficiente de variación

Si se considera un coeficiente de variación del 15% y se utiliza la Ec. (4-1b) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f'_c}{1 - tV} \\
 &= \frac{300}{1 - \frac{2.33 (0.15)}{\sqrt{3}}} \\
 &= 376 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Utilizando este enfoque, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 376 kg/cm<sup>2</sup>.

4.2.3. *Criterio No. 3.* Una cierta probabilidad de que una prueba de resistencia individual al azar sea más baja que una cantidad fijada por debajo de  $f'_c$ .

Este enfoque también se utiliza en las especificaciones del Comité ACI 318-71 al estipular que la probabilidad de que un resultado de prueba aleatorio inferior a  $f'_c - 35$  kg/cm<sup>2</sup>, debe ser de 1 en 100.

Como ejemplo, considérese una probabilidad de 1 en 100 de que una prueba de resistencia será más baja de 35 kg/cm<sup>2</sup> por debajo de una  $f'_c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

## Método de la desviación estándar

Si se considera una desviación estándar de 50 kg/cm<sup>2</sup> y se utilizan la Ec. (4-1a) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f'_c - 35 + t\sigma \\
 &= 300 - 35 + 2.33 (50) \\
 &= 381 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Como resultado, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 381 kg/cm<sup>2</sup>.

## Método del coeficiente de variación

Si se utilizan la Ec. (4-1) y la Tabla 4.1 y un coeficiente de variación del 15%, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f'_c - 35}{1 - tV} \\
 f_{cr} &= \frac{300 - 35}{1 - 2.33 (0.15)} \\
 &= 407 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Utilizando este enfoque, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 407 kg/cm<sup>2</sup>.

4.2.4. *Criterio No. 4.* Una cierta probabilidad de que una prueba de resistencia individual al azar sea menor que un determinado porcentaje de  $f'_c$ .

Como ejemplo, considérese una probabilidad de 1 en 100 de que una prueba de resistencia será menor del 85% de un valor  $f'_c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

## Método de la desviación estándar

Si se utilizan la Ec. (4-1a) y la Tabla 4.1 y una desviación estándar de 50 kg/cm<sup>2</sup>, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= 0.85 f'_c + t\sigma \\
 &= 0.85 (300) + 2.33 (50) \\
 &= 372 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Como resultado, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 372 kg/cm<sup>2</sup>.

**TABLA 4.3.— EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE PRUEBAS CONSECUTIVAS DE BAJA RESISTENCIA**

1	2	3	4	5
Número de pruebas consecutivas promediadas	Los promedios inferiores a los indicados requieren investigación*			Probabilidad de promedios inferiores a $f'_{cr}$ %
	Criterios para la selección original de $f_{cr}$			
	1 prueba de 10 por debajo de $f'_c$		1 prueba en 100 menor a $[f'_c - 35 \text{ kg/cm}^2]$	1 prueba en 10 por debajo de $f'_c$
	Para $V = 15\%$	Para una $\sigma$ dada	Para una $\sigma$ dada	
1	$0.86 f'_c$	$f'_c - 0.77 \sigma$	$f'_c - 35 + 0.76 \sigma$	10.0
2	$0.97 f'_c$	$f'_c - 0.17 \sigma$	$f'_c - 35 + 0.88 \sigma$	3.5
3	$1.02 f'_c$	$f'_c + 0.10 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.14 \sigma$	1.3
4	$1.05 f'_c$	$f'_c + 0.26 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.30 \sigma$	0.5
5	$1.07 f'_c$	$f'_c + 0.36 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.41 \sigma$	0.2
6	$1.08 f'_c$	$f'_c + 0.44 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.49 \sigma$	0.1

\* La probabilidad de porcentajes inferiores a los niveles indicados es aproximadamente del 2 por ciento si el promedio de población es igual a  $f_{cr}$  y la desviación estándar o el coeficiente de variación está en el nivel supuesto.

\*\* Si el promedio de población es igual a  $f_{cr}$  y la desviación estándar o el coeficiente de variación está en el nivel supuesto.

#### Método del coeficiente de variación

Si se utilizan la Ec. (4-1) y la Tabla 4.1 y un coeficiente de variación del 15%, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f'_{cr} &= \frac{0.85 f'_c}{1 - tV} \\
 &= \frac{0.85 (300)}{1 - 2.33 (0.15)} \\
 &= 392 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.3. Información adicional

La Tabla 4.3 proporciona información adicional. Los valores en el cuerpo de la tabla correspondientes a las columnas 2, 3 y 4 son los niveles de resistencia por debajo de los cuales, las pruebas individuales o los promedios de diferentes números de pruebas, normalmente no deben caer. Estos valores se basan en la premisa de que el concreto está proporcionado para producir una resistencia promedio igual a  $f_{cr}$ . Los valores de la columna 2 teóricamente son correctos sólo para concreto con un coeficiente de variación del 15%. Los de las columnas 3 y 4 se aplican a cualquier desviación estándar conocida. En cualquier caso, la probabilidad de que sean excedidos estando bien controlado el concreto es aproximadamente de 0.02. De este modo, la falta de cumplimiento con los límites calculados en una mayor proporción de casos que la estipulada, puede ser un indicio de que la resistencia promedio presente es menor a  $f_{cr}$  o de que  $\sigma$  o  $V$  han aumentado. Esto puede ser el resultado de una resistencia más baja o de un control más deficiente que el previsto, o de ambos. No se debe ignorar la posibilidad de que los resultados bajos de las pruebas pueden ser ocasionados por errores de muestreo o durante la prueba más que por deficiencias del concreto en sí. En cualquier caso se impone una acción correctiva.

La columna 5 ilustra la probabilidad de que el promedio de cualquier número determinado de pruebas consecutivas no iguale a  $f'_c$ , o lo exceda si el concreto está proporcionado para obtener una resistencia promedio igual a  $f_{cr}$ . Se puede ver que al aumentar el número de pruebas por promediar se incrementa la posibilidad de que se exceda  $f'_c$ , ya que las variaciones tienden a equilibrarse mediante un número mayor de pruebas en un grupo dado. Para poner esto en vigor, es correcto y lógico seleccionar el número de pruebas consecutivas por promediar, de tal manera, que el nivel de aceptación sea igual a  $f'_c$ . Esto significaría un promedio de tres pruebas consecutivas de concreto entre las cuales a una de cada diez pruebas se le permitiría caer por debajo de  $f'_c$ . No obstante, debe recordarse que, según la teoría estadística supuesta en la derivación de los valores, sólo una vez de cada 50 pueden esperarse fallas ocasionales como ésta, aun si el concreto está sujeto a un control exactamente igual al previsto y está sobrediseñado para obtener una resistencia promedio igual a  $f_{cr}$ .

La mayoría de las especificaciones para la resistencia del concreto requieren que una prueba comprenda dos o tres cilindros de la misma mezcla de concreto. Los cilindros son necesarios para obtener un promedio confiable de una mezcla dada y para proporcionar datos de intervalo  $R$  y así determinar las variaciones inherentes a dicha mezcla.

#### 4.4. Cartas de control de calidad

Durante muchos años las industrias manufactureras han utilizado las cartas de control de calidad, como una ayuda para reducir la variabilidad e incrementar la eficiencia en la producción. En el Manual de control de calidad de

los materiales de la ASTM<sup>4</sup> están perfectamente establecidos los métodos para regular dichas gráficas y están delineados de manera conveniente. Con base en los patrones de resultados previos y de límites en él establecidos, tan pronto como se tienen los nuevos resultados, surgen las nuevas tendencias. Aquellos puntos que sobrepasan los límites calculados indican que algo ha afectado al control del proceso. Estas cartas se recomiendan donde quiera que exista una producción continua de concreto a lo largo de períodos considerables de tiempo.

En la Fig. 4.4 se ilustran tres cartas simplificadas específicamente preparadas para el control del concreto. Aun cuando éstas no contienen todas las características de las cartas de control acostumbradas, pueden resultar útiles al ingeniero, al arquitecto y al superintendente de la planta. A continuación se describen dichas cartas:

- a) *Carta para pruebas individuales de resistencia* en la cual se trazan los resultados de las pruebas de resistencia conforme se reciben. La línea de la resistencia promedio requerida se establece de acuerdo con la Ec. (4-1a) o la Tabla 4.3 y la línea de la resistencia de diseño especificada.
- b) *El promedio variable para la resistencia a la compresión*, en la cual se traza el promedio de los cinco grupos previos de dos cilindros compañeros para cada día o cada turno y, en este caso, la resistencia especificada constituye el límite inferior. Esta carta sirve para indicar las tendencias y mostrará la influencia de los cambios climatológicos, los cambios de materiales, etc. Se puede variar el número de pruebas promediadas para trazar los promedios variables con un límite inferior apropiado para adaptarse a cualquier obra.
- c) *El promedio variable para un intervalo* en la cual el intervalo promedio de los diez grupos previos de cilindros compañeros se traza cada día o cada turno. También se traza el máximo intervalo promedio permisible para un buen control de laboratorio. El intervalo máximo promedio se determina tal como se estableció en la Sección 4.5.

La Fig. 4.4 ilustra las cartas (a), (b) y (c) para 46 pruebas. Para que las cartas sean completamente efectivas, deben mantenerse a lo largo de toda la obra.

**4.5. Pruebas y cilindros requeridos**

Para cualquier trabajo en particular debe hacerse un número suficiente de pruebas a fin de asegurar la exacta representación de las variaciones del concreto. Las pruebas del concreto se pueden realizar, ya sea con base en el tiempo transcurrido, o en el volumen de concreto colocado, y las condiciones prevaletientes en cada obra determinarán el método más práctico para obtener el número necesario de pruebas. Una prueba se define como la resistencia promedio de

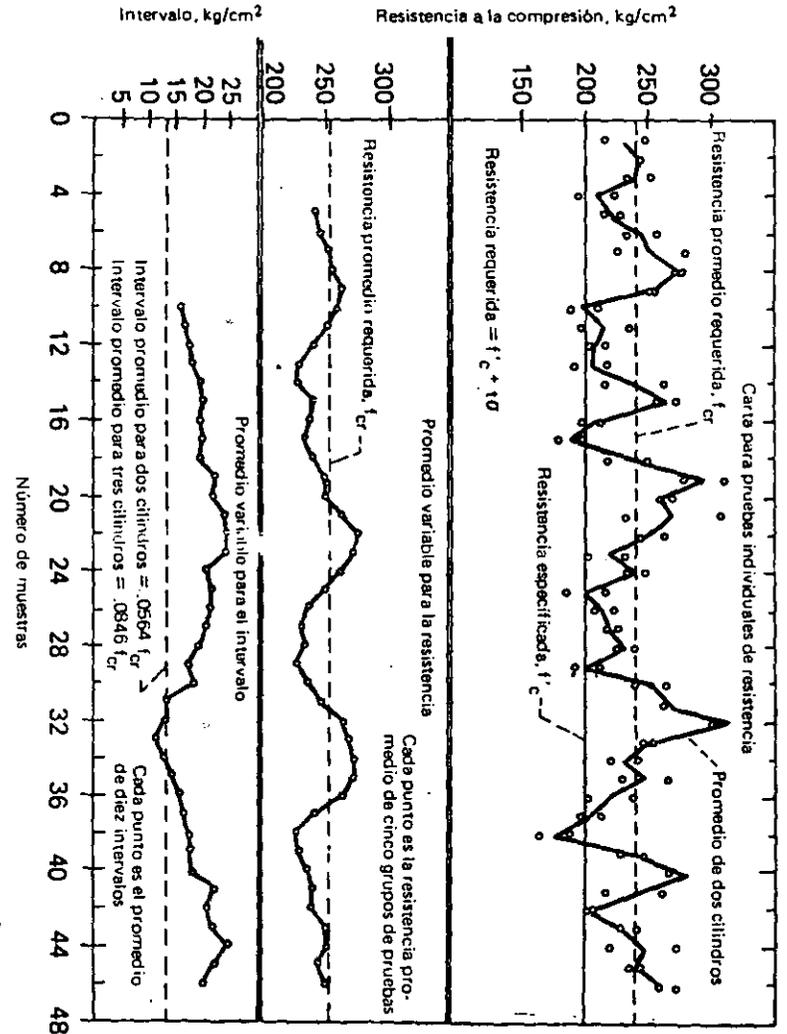


Fig. 4.4.- Cartas de control de calidad para el concreto

todos los cilindros de la misma edad, fabricados de una sola muestra tomada de un volumen de concreto.

Un proyecto en el cual todas las operaciones del concreto están bajo la supervisión de un ingeniero, proporciona una excelente oportunidad para ejercer control y para obtener cálculos correctos de confiabilidad, con un mínimo de pruebas. Una vez que las operaciones se están llevando a cabo sin tropiezos, es suficiente con efectuar pruebas a diario o en cada turno, dependiendo del volumen de concreto producido, para obtener los datos que reflejan las variaciones en el concreto de la estructura. En términos generales, es aconsejable efectuar el suficiente número de pruebas para que cada distinto tipo de concreto colocado en el curso de un día determinado, esté representado por lo menos en una prueba que constituya el promedio de dos cilindros estándar de 15 x 30 cm, que hayan sido probados a la edad requerida. Los cilindros aislados tomados de dos volúmenes diferentes cada día proporcionarán más información confiable acerca de las variaciones totales, pero por lo general, es deseable hacer cilindros compañeros del mismo muestreo, para obtener una rectificación de las variaciones durante la prueba.

El número de cilindros que puede requerir el ingeniero o el arquitecto debe estar basado en normas establecidas, pero puede reducirse conforme se estabiliza la confianza del productor, del laboratorio y del contratista.

El laboratorio tiene la responsabilidad de efectuar pruebas precisas y el concreto se penalizará innecesariamente si las pruebas muestran variaciones mayores o niveles de resistencia promedio más bajos que los que en realidad existen. Puesto que puede suponerse que la determinación del intervalo entre cilindros compañeros del mismo muestreo, es responsabilidad del laboratorio, éste debe mantener una gráfica de control de intervalos, para rectificar la uniformidad de sus operaciones (Fig. 4.4). Debe hacerse notar que estos intervalos no revelarán las diferencias de día en día en las pruebas, el curado y el procedimiento de cabeceado o el método de prueba, los cuales afectan los niveles de resistencia a lo largo de extensos períodos. El intervalo entre cilindros compañeros depende del número de especímenes en el grupo y de la variación dentro de la prueba. Esta relación se expresa mediante la siguiente ecuación Véanse las Ecs. [(3-4) y (3-5)]

$$\bar{R}_m = f_{cr} V_1 d_2 \quad (4-2)$$

donde  $\bar{R}_m$  es el intervalo promedio en la carta de control (c) de la Fig. 4.4. El coeficiente de variación  $V_1$  dentro de la prueba no debe ser superior al 50%, para un buen control (Tabla 3.5), y el cálculo del intervalo promedio correspondiente será:

$$\bar{R}_m = (0.05 \times 1.128) f_{cr} = 0.05640 f_{cr}$$

para grupos de dos cilindros compañeros

$$\bar{R}_m = (0.05 \times 1.693) f_{cr} = 0.08465 f_{cr}$$

para grupos de tres cilindros compañeros.

A un cilindro de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura que ha sido curado con humedad durante 28 días a 21°C, por lo general se le considera como espécimen estándar de tamaño nominal para control y resistencia del concreto si el agregado grueso no excede de 50 mm. En muchas ocasiones, especialmente en las etapas iniciales de una obra, se hace necesario calcular la resistencia del concreto que se está produciendo, antes de que los resultados de la resistencia a los 28 días de edad estén disponibles. Los cilindros tomados del mismo volumen de concreto deben fabricarse y probarse a los 7 días, o antes, utilizando procedimientos de pruebas aceleradas. Se puede calcular la resistencia a los 28 días mediante la extrapolación de valores de las pruebas mencionadas.

Es más realista la resistencia del concreto a edades más avanzadas, en especial en donde se utiliza un cemento puzolánico o uno de lenta ganancia de resistencia, que la resistencia estándar a los 28 días. Algunas estructuras no se cargarán sino hasta que al concreto se le haya permitido madurar durante un lapso de tiempo más largo y se puede obtener ventaja de la ganancia de resistencia después de los 28 días. Se ha encontrado que algunos concretos producen menos del 50 por ciento de su resistencia última a los 28 días de edad. Si el diseño se basa en la resistencia a edades avanzadas, es necesario correlacionar estas resistencias con las de cilindros de 28 días, ya que no es práctico utilizar cilindros de edad más avanzada para la aceptación del concreto. De ser posible, la correlación debe establecerse mediante pruebas de laboratorio antes de iniciar la construcción. Si las plantas de mezclado están localizadas en un lugar determinado es aconsejable establecer esta correlación para períodos de tiempo lo suficientemente largos, como referencia, aunque la resistencia del concreto de edad avanzada no sea de inmediato necesaria.

En algunas ocasiones se recomienda el curado de los cilindros de prueba en el lugar y en las condiciones de la obra, puesto que los resultados se consideran más representativos del curado aplicado a la estructura. Estas pruebas especiales no reemplazan a las pruebas de control estándar ni tampoco debe confundirse con ellas. Las pruebas de cilindros curados en el lugar de la obra pueden ser altamente deseables y son necesarias cuando se debe determinar el momento para descimbrar, especialmente en clima frío y cuando hay que establecer la resistencia de tubos, bloques y elementos estructurales de concreto curado con vapor.

La resistencia potencial y la variabilidad del concreto se pueden establecer con cilindros estándar de 15 x 30 cm fabricados y curados en condiciones estándar. Los cilindros para determinar la resistencia del concreto fabricados o curados en condiciones diferentes a las normales, proporcionan información adicional, pero deben analizarse y reportarse por separado.

## 4.6. Rechazo de cilindros dudosos

La práctica del rechazo arbitrario de los cilindros de prueba que parecen estar "fuera de línea" no se recomienda, ya que el patrón normal de probabilidades establece la posibilidad de esa clase de resultados. El descartar las pruebas de manera indiscriminada podría distorsionar seriamente la distribución de la resistencia, haciendo menos confiable el análisis de resultados.

Ocasionalmente llega a suceder que la resistencia de un cilindro perteneciente a un grupo de cilindros de una misma muestra, se desvía tanto de la media, que resulta altamente improbable. Se recomienda descartar un cilindro de una prueba de tres o más de ellos, si su desviación respecto de la media de la prueba es superior a  $3\sigma$  y debe considerársele sospechosa si su desviación es superior a  $2\sigma$ . Si durante la fabricación, el curado, o la prueba de un cilindro se han observado variaciones dudosas, dicho cilindro debe ser descartado. El promedio de la prueba debe calcularse a partir de los cilindros restantes.

Una prueba (promedio de todos los cilindros de una muestra) no debe ser rechazada jamás, a menos que se sepa que los cilindros están defectuosos, puesto que representa la mejor estimación disponible para esa muestra.

## CAPITULO 5

## REFERENCIAS

1. Natrella, M. G., "Experimental Statistics", Handbook No. 91, U.S. Department of Standards, *National Bureau of Standards*, Washington, D.C., 1963, pp. 1-4 a 1-6.
2. Realism in the Application of ACI Standard 214-65, SP-37, *American Concrete Institute*, Detroit, 1973, 215 pp.
3. "Evaluation of Strength Tests of Concrete", ACI Bibliography No. 2, *American Concrete Institute*, Detroit, 1960, 13 pp.
4. ASTM Manual on Quality Control of Materials, STP 15-C, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, Ene. 1951, 127 pp.
5. Neville, A.M., "The Relation Between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete Test Cubes", *Magazine of Concrete Research* (Londres), V. 11, No. 32, Julio 1959, pp. 75-84.
6. Metcalf, J. B., "The Specification of Concrete Strength, Part II, The Distribution of Strength of Concrete for Structures in Current Practice", RRL Report No. LR 300, *Road Research Laboratory*, Crawthorne, Berkshire, 1970, 22 pp.
7. Murdock, C. J., "The Control of Concrete Quality", *Proceedings, Institution of Civil Engineers* (Londres), V. 2, Part I, Julio 1953, pp. 426-453.
8. Erntrøy, H. C., "The Variation of Works Test Cubes", Research Report No. 10, *Cement and Concrete Association*, Londres, Noviembre 1960, 28 pp.
9. Rüsck, H., "Statistical Quality Control of Concrete", *Materialprüfung* (Düsseldorf), V. 6, No. 11, Noviembre 1964, pp. 387-394.
10. "Tentative Recommended Practice for Conducting and Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods for Construction Materials", (ASTM C 802-74T), 1975 Annual Book of ASTM Standards, Part 13, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, pp. 414-443.



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

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-C-155-1987  
CONCRETO HIDRAULICO. ESPECIFICACIONES.**

**ING. GUILLERMO TORRES GONZALEZ**

**NOVIEMBRE/92.**

## INTRODUCCION

El concreto hidráulico es un producto cuyas características en cuanto a componentes puede ser muy variada, es por eso que para su producción y posterior manejo, deben existir procedimientos que nos indiquen su forma correcta de tratamiento.

Una Norma Oficial Mexicana representa un punto de vista común de aquellas partes que se involucran con la producción, uso y calificación de cualquier producto comercial.

Estas Normas son elaboradas para ayudar a la industria, productores, usuarios (públicos y privados) y grupos de interés general.

El uso de una Norma es puramente voluntario y en la medida en que exista una mayor difusión de sus usos, aplicaciones y restricciones se tendrá una relación de concordia entre los productores y el usuario. Sin embargo para ciertos trabajos o en ciertas regiones, las especificaciones de las Normas pueden ser más o menos restrictivas, -- por lo que se deberá complementar con los reglamentos y Normas locales o en ausencia de éstas llegar a un acuerdo entre productor y usuario, ya sea estableciendo condiciones mediante un contrato o recurriendo a documentos internacionales.

Dentro de las Normas que rigen la industria de la Construcción, existe la Norma Oficial Mexicana NOM-C-155-CONCRETO HIDRAULICO ESPECIFICACIONES, la cual establece los requisitos que debe cumplir el concreto hidráulico, utilizados en la Construcción.

Los puntos relevantes de esta Norma son: Los requisitos de calidad para el concreto hidráulico, tanto en estado fresco como endurecido: Los requisitos de los materiales que componen al concreto; requisitos para el equipo de dosificación de materiales; requisitos de mezclado; su transporte y entrega; muestreo; método de prueba y las bases para la contratación del producto.

Los puntos tratados en esta Norma de relevancia significativa son los siguientes:

- \* Requisitos de los materiales que componen al concreto.
- \* Requisitos de los materiales que componen al concreto.
- \* Requisitos para el equipo de dosificación de materiales.
- \* Requisitos de mezclado.
- \* Transporte y Entrega.
- \* Muestreo.
- \* Métodos de prueba.
- \* Bases para la contratación del producto.

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

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO

CALIDAD Y COSTO

ING. FELIPE GOMEZ SANCHEZ

## CALIDAD Y COSTO

### I.- PRUEBAS FISICAS.

- a) CEMENTO.
- b) ADITIVOS.
- c) AGREGADOS.

### II.- ESTUDIOS DE EFICIENCIA.

- a) CEMENTO.
- b) ADITIVOS.
- c) AGREGADOS.

### III.- ANALISIS DE COSTO MATERIA PRIMA DE ACUERDO A LAS PRUEBAS FISICAS Y ESTUDIOS DE EFICIEN CIA.

- a) CEMENTO.
- b) ADITIVOS.
- c) AGREGADOS.

### IV.- SELECCION MATERIA PRIMA DE ACUERDO AL ANALI SIS DE COSTO.

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CONCRETO

ING. FRANCISCO SANTOS O.

NOVIEMBRE - DICIEMBRE

## CONSIDERACIONES ESPECIALES DE LA PRACTICA DE LA CONSTRUCCION ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

### FACTORES QUE AFECTEN LA CALIDAD DEL CONCRETO:

- 1.- Factores que deben satisfacerse para la obtención de un concreto de buena calidad uniforme y controlar todos ellos para no afectarla, véase figura 1. y 2.

Satisfechos estos factores y obtenido un concreto sano, esto es satisfechas las tres condiciones que se indican en el cuadro, podemos considerarlo como el alumbramiento de un ser, que si se tomaron y cumplieron todas las recomendaciones de los doctores, se obtendrá un producto sano y robusto, pero si ese ser no recibe posteriormente a su alumbramiento venturoso los cuidados en la alimentación, en su aseo y mimos en general, crecerá un ser raquítico no sano y deberá tener atenciones fuera de lo normal porque indudablemente tendrán que efectuarse gastos que hubieran sido innecesarios si se hubieran atendido a las necesidades que requería en su tierna edad, siguiendo esta comparación se exportarán los requerimientos a seguir en el concreto elaborado y recibido en condiciones optimas de buena calidad, <sup>para que</sup> conserve esa calidad hasta siempre, ya que como se expuso en el cuadro anterior, el concreto debe diseñarse no únicamente para satisfacer el requisito de Resistencia Estructural si no que debe ser Económico y Durable.

### 2.- CONDICIONES EN QUE DEBE ENCONTRARSE EL SITIO DE LA OBRA

#### LIMPIEZA GENERAL.

El sitio de la obra deberá estar, saturado pero sin encharcamiento de agua, limpio esto es, sin contener materiales extraños que pueden alterar la composición del concreto y con ello variar la resistencia y alterarlo disminuyendo su durabilidad. Los materiales extraños que deben eliminarse son varios y dependen del tipo de estructura que se vaya a construir, por ejemplo, si se trata de una losa de cimentación, deberán eliminarse, maderas de desperdicio, tierra suelta, grasas, aceites terrones de arcilla, serrín, papel etc. En el caso de trabes columnas, muros y en general elementos cerrados, debe hacerse una revisión exhaustiva eliminando cualquier material extraño y dejar drenes que posteriormente se obturen para que antes de ello, efectuar un lavado y eliminar sobre todo tierra, serrín, y en general cualquier contaminante que altere la calidad del concreto, disminuyendo resistencia, durabilidad y en algunas ocasiones alterar su apariencia, sobre todo cuando se trata de concreto aparente.



### Acero de refuerzo. -

Cuando se haya efectuado la limpieza de los elementos estructurales donde se va a depositar el concreto, deberá hacerse una revisión exhaustiva del acero de refuerzo pues cuando no satisfaga las exigencias requeridas para él, puede originar efectos que aunque no se puedan considerar estrictamente que sean causa de la alteración de la calidad del concreto, originan efectos que pueden alterar considerablemente el comportamiento de la estructura, llegando en algunos casos a originar la falla de ella y que generalmente esto se lo atribuyen a la mala calidad del concreto.

### Analicemos algunos casos:

Principalmente mala colocación del acero que en este caso si pueden alterar la buena calidad del concreto, puntualizando, cuando por la alta área de acero - sobre todo en columnas y trabes se tiene que poner una cantidad excesiva de varillas de refuerzo lo que por el espacio que acepta el proyecto en la sección al colocarlo se tiene que poner varillas con luz entre ellas muy cerradas de tal manera que funcione como malla e impida que el concreto pase a través de ellas reteniendo gran parte del agregado grueso y pasando únicamente tamaños más pequeños, que imaginándonos un corte transversal de elementos se observa un concreto muy heterogéneo, dando como consecuencia que la transmisión de esfuerzos no sea continua y por lo consiguiente se originen concentraciones en algunas zonas resultando fallas en la estructura que generalmente consideran su origen a la mala calidad del concreto, lo que puede ser cierto, pero esa baja no es sobre el concreto original y lo que probablemente sí, por la alteración sufrida en este caso, por la colocación deficiente de él.

Existe para eliminar esta probable falla especificaciones que limitan la luz mínima de la varilla de refuerzo y la misma entre las paredes de la cimbra y la varilla mas cercana que en la luz entre varilla de refuerzo y pared de cimbra se acepta que el tamaño máximo del agregado no sea mayor de  $3/4$  de la luz entre varillas de refuerzo. Foto 3. -

El acero de refuerzo no debe tener escamas de oxidación y en caso de existir, se eliminarán frotándolas con cepillo con elementos cepillante de acero y además que este no tenga oxidación con incrustaciones, en este último caso, deberá pedirse el proyectista que afine la sección de acero en caso de que lo estime necesario, también debe evitarse que tengan adherido grasas aceites, arcilla y todo elemento que altere la adherencia con el concreto. El primer defecto, o sea el que tenga escamas de oxidación su efecto en el funcionamiento del elemento estructural es pérdida de adherencia con el concreto y posible falla del mismo; desde luego que este fenómeno no es atribuible directamente a la alteración de la buena calidad del mismo, pero generalmente y mas bien al fallar el elemento por ese concepto se lo atribuyen a la mala calidad del concreto y en este caso es -

13 complicado y costoso poder comprobar que el origen de ello fué por la falla de adherencia del acero en el concreto. Foto 3.-

En general en el segundo caso, cuando se aprecien oxidaciones con incrustaciones, el elemento estructural puede fallar por disminución de área de refuerzo, lo que atribuyen a la mala calidad del concreto, por lo que si al efectuarse la revisión se detectara este defecto, es necesario consultar con el proyectista si es indispensable aumentar la sección del acero de refuerzo.

Revisar con los planos estructurales si el número de varillas de refuerzo en cada elemento está correcto, si los cortes en ellas y doblado en su caso, es el indicado en los planos y si la fijación del refuerzo no es firme, pues fallas por estos conceptos, puede originar la aparición de fisuras, agrietamientos y aun fallas del elemento lo que no debe considerarse como deficiencia en la calidad del concreto empleado.

Moldes o formas.-

Las formas deben colocarse correctamente esto es que puedan soportar sin deformarse la presión que ejerce el concreto sobre ellas, sobre todo tratándose de columnas trabes o concreto en masa pues la falla de ellas puede originar alteración en las secciones de los elementos o de volúmenes grandes, ya que la falla o deformaciones de ellas puede originar segregación del concreto y si estas formas no son estancas se presentan fugas de lechada y mortero cuya ausencia evita el acomodo correcto de los agregados dando lugar a la formación de "Panales de abeja", ocasionando fallas estructurales por la discontinuidad de refuerzos, concentración de los mismos y falla del concreto, pero no originada por ser de mala calidad sino es por la alteración de su estructura ocasionada por lo antes expuesto, o sea por su colocación defectuosa.

Las presiones que se ejercen sobre las formas al colocar el concreto son originadas por que se supone que el concreto actúa como un semifluido y esta presión puede ser afectada por los siguientes factores:

- a) Factor de forma del agregado grueso
- b) Consistencia y proporciones de la mezcla.
- c) Velocidad de colocación del concreto.
- d) Procedimiento de colocación del concreto, ya sea a mano o por vibración.
- e) Temperatura del concreto.
- f) Tamaño y forma de la cimbra y cantidad y separación del acero de refuerzo, en la transparencia 4 y 5 se grafican los resultados de una serie de pruebas, estas presiones actuando sobre las paredes que las forman deben calcularse

correctamente, y revisarse antes de la colocación del concreto para evitar deformaciones de ellas y no se alteren las secciones y si se presentan fugas de lechada o mortero que puede originar fallas o fisuras en los elementos que no deben ser atribuibles a la calidad del concreto.

Las paredes que las formas deben impermeabilizarse si son de madera, pues cuando no se haga al colocar el concreto absorberán agua del mismo originando la aparición de fisuras por contracciones y además dan un mal aspecto en el concreto que se apoyó en ellas.

Todo esto lo atribuyen generalmente a la mala calidad del concreto posiblemente argumentado que fue originado por la heterogeneidad en su composición.

El concreto de origen no es homogéneo, entonces esto origina que al estar endurecido, se forme un material más heterogéneo a diferencia de la estructura interna del acero y algunas rocas de materiales que se obtienen de una fusión de sus componentes que si son de constitución homogénea como las rocas volcánicas.

Al tenerse un material como el que se aprecia en un corte de un cilindro de concreto, transparencia 6 y 7 se observa que está constituido por una sucesión de partículas de diferentes tamaños y formas y muchas veces de materiales de diferente origen, por ejemplo basalto, andesita, granito, calizas, estos con diferentes características, módulo de elasticidad y algunas veces diferentes formas las que al serle aplicada alguna fuerza externa, esta se transmite no uniforme en toda la masa, por lo que puede cambiar de dirección en el seno del material y originar concentración de dicha fuerza en determinada zona y ello originar falla del elemento. Ahora bien al manejar el concreto por procedimientos no adecuados se puede originar segregación de los materiales que lo constituyen, originando en el concreto endurecido alteraciones en la transmisión de fuerzas las que pueden resultar mayores por concentración de ellas y originar la falla del elemento.

La falla de un elemento de concreto se puede originar además por lo anteriormente expuesto, por contaminación, colocación y otras causas que se tratarán a continuación, fallas que generalmente son atribuidas a una mala calidad del concreto entregado cosa que no debe ser así.

### 3.- Recepción del Concreto.

Deben tomarse todas las precauciones necesarias al recibir el concreto, para evitar segregación del mismo o bien su contaminación lo que traería como consecuencia alterar su calidad que se traduce en disminución de resistencia y pérdida de durabilidad, también debe evitarse adicionar cualquier sustancia no prevista, y por ningún motivo debe adicionarse agua si no es autorizada por el fabricante, ya que ello alterará la relación agua cemento, factor principal para

adquirir la resistencia y durabilidad proyectada. Al recibirse el concreto tampoco debe agregarse ningún aditivo que no esté autorizado por el fabricante y debe recibirse el concreto en un recipiente adecuado como artesas o tolvas y evitar en su descarga que se origine segregación y contaminación del mismo. Se debe determinar el revenimiento y con ello su aceptación por este concepto, aceptándose las siguientes tolerancias para los revenimientos que se encuentran en la tabla.

<u>Revenimientos especificado</u>	Tolerancia en cm.
Menos de 5 cm. - - - - -	+ 1.5
de 5 cm. - - - - -	+ 2.5
Más de 10 cm. - - - - -	+ 3.5

En caso de que el revenimiento no quede dentro de estas tolerancias, no debe adicionarse agua a menos de que el fabricante lo autorice e indicará la cantidad.

En las transparencias 8, 9 y 10 se aprecia descarga de concreto de una revolvedora, obsérvese que la descarga nunca se hace libremente de la revolvedora al elemento receptor sino que se coloca un elemento intermedio de manera que la descarga al recipiente sea vertical y con deflectores para evitar separación de los materiales que originaría como ya se ha dicho, segregación obteniéndose un concreto heterogéneo dentro de la misma heterogeneidad del mismo por naturaleza y que altera su calidad.

#### 4.- Transporte.-

Dependiendo de tipo de obra que se ejecute y del equipo disponible, se pueden emplear varios métodos para el transporte o manejo del concreto seleccionando el más eficiente para evitar, avaporación de agua, movimiento de las partículas que lo constituyen, contaminación con materiales extraños a fin de que al llegar al sitio de su colocación conserve la consistencia adecuada no perdiendo las cualidades que para ello fué diseñada y elaborada.

Los sistemas a emplear pueden ser con, carretillas con rueda de diámetro grande y con llanta ahulada para evitar vibración en su transporte, canalones, cangilones, bandas transportadoras, equipo para lanzar concreto (neumático) y transporte por bombeo. Los sistemas o métodos que se indican se proponen para evitar principalmente la lateración de la calidad por segregación, pérdida de humedad, contaminación con materiales extraños, vibraciones, ya que todo esto contribu-

ye a la alteración de la calidad del concreto original y por consiguiente disminución en la resistencia y alterar la durabilidad, en suma que el concreto original se convierta en otro y al presentarse fallas, que en este caso por diferencia en su transportación generalmente se les atribuyen a mala calidad del concreto original.

Además de los procedimientos para transporte ya mencionados se debe considerar el que se hace mediante cable - vía y botes de gran capacidad, también deben considerarse en camiones revolvedoras.

- 11 En la transparencia 11. se observa un dispositivo para transportar por cablevia y ("Buchets") botes de gran capacidad de 6 a 8 m<sup>3</sup> de una sola vez, obsérvese
- 12 que no se aprecia segregación, transparencia 12, el mismo concreto después de
- 13 haber sido compactado por vibración transparencia 13. Este sistema de transporte de concreto se emplea en obras de grandes volúmenes por colocar, como presas canales para irrigación, túneles, etc.
  
- 14 En la transparencia 14 se aprecia transporte por camión revolvedor y transporte y colocación por bomba.
  
- 15 En la transparencia 15 se observa camiones mezcladoras en batería para alimentar continuamente a una bomba.
  
- 16 La transparencia 16 muestra el transporte y colocación por bombeo a una cimentación para un sistema de compuertas en una torre de toma de una presa.

17-18 Edificio de los Angeles Cal. de una altura de 316 m, donde se bombeó concreto de una sola vez, transparencia 17 y en la 18 se aprecia el concreto ligero transportado por bomba

## 5 - Colocación

La colocación y compactación adecuada tal vez sea de las condiciones a satisfacer más importante para conservar la homogeneidad del concreto, por lo tanto debe evitarse en estas operaciones y en cualquier otra de su manejo, segregación puesto que lo convierte en un material más heterogéneo de lo que de origen ya es.

En la transparencia 19, se aprecia la colocación de concreto en un sifón circular mediante bandas transportadoras y caída por canalones.

Cuando la colocación de concreto se haga sobre superficies inclinadas siempre debe hacerse de abajo hacia arriba, colocando en la parte inferior un retén que impida que el concreto se deslice fuera del límite de vaciado de la zona por colar, además que esto permite efectuar una buena compactación (vease transparencia 23 y 24). En este caso no deben diseñarse mezclas muy fluidas y más bien deben ser secas con revenimientos no mayores de 5 cm, si no se cumple con esta exigencia originará indudablemente alteración en su homogeneidad y consecuentemente alteración en la calidad original del mismo, con sus fallas de resistencia y durabilidad consiguientes, que sin lugar a duda van a ser atribuidas a la mala calidad del concreto original.

25 En la transparencia 25 se muestra el procedimiento correcto e incorrecto para colocación de concreto en formas o cimbras de luces cortas y altura regular. En la transparencias 26, 27, 28 y 29 se observa segregación.

Concreto ligero bombeado a una altura de 316 m., transparencia 18 en un edificio de las afueras de los Angeles Cal., en el que la última losa se hizo con concreto ligero transportado a 316 m. de altura de una sola vez.

En la colocación de un "Coferdam" para desplantar pilas de puente; en el que se necesitaron 14,500 m<sup>3</sup> de concreto y se emplearon 3 bombas terminándose el colado en 47 horas continuas con un promedio de 103 m<sup>3</sup> por hora y por unidad.

30 En la transparencia 30 se observa transporte de concreto por cable vía para la fabricación de tubos de concreto.

31 y 32 Transporte de concreto en camiones de volteo en losas de pavimento en aeropuerto, transparencia 31; en la transparencia 32 se observa transporte y colocación por cable vía en una presa.

## 6.- COMPACTACION.

Colocado ya el concreto evitando que se presente alguna alteración en su calidad, se procede a su compactación, fase muy importante para un buen comportamiento de la estructura, esto es que se tenga confianza en que satisfará la resistencia para que fué proyectada, que será económica y durable.

Para compactar el concreto se pueden seguir varios métodos y su finalidad es la de obtener un concreto compacto con el mínimo de vacíos, sin segregación, lo que se puede hacer por:

1.- Varillado

2.- Vibrado.

El varillado se recomienda para concretos de revenimientos altos y que sean plásticos, los revenimientos con los cuales se puede aplicar este procedimiento son como mínimo 5 o 6 cm., y para el concreto vibrado de 2 a 5 cm., concretos con revenimientos menores se recomienda la vibración y en casos especiales complementada con aplicación de carga sobre la superficie, como se practica en bases para pavimentos asfálticos compactados con planchas para pavimentación y vibrado a la vez. (vibro - compacto).

La compactación del concreto por cualquiera de estos métodos, evita la formación de "panales de abeja", que son zonas que afectan la resistencia mecánica y la durabilidad.

Existen bombas de varias capacidades, pues en los años de 1960 las bombas existentes tenían una capacidad de bombeo de aproximadamente 75 m. vertical y horizontal de 300 m., con una presión máxima de 700 lbs/pulg.<sup>2</sup>, con una producción máxima de 35 m<sup>3</sup>/h., actualmente ha evolucionado este procedimiento y se puede alcanzar los siguientes valores, transporte vertical 425 m, presión máxima 3,300 lbs/pulg.<sup>2</sup> y producción máxima de 130 m<sup>3</sup>/h; estos rendimientos se han alcanzado con bombas:

PUTZMEISTER TTS 14000, que emplea un motor diesel de 400 hp.

La finalidad de aplicar compactación por varillado o vibrado es fluidificar la masa de concreto por las vibraciones que se le transmiten y se consigue con ello un acomodamiento fácil y correcto de las partículas que hace que las fuerzas aplicadas sobre el elemento, se se transmitan siguiendo aproximadamente la misma trayectoria que tiene la fuerza aplicada, de no suceder así, se presentará una falla prematura que generalmente es atribuida al concreto cuya calidad original ha sido alterada por un proceso de compactación defectuoso. Este proceso defectuoso se origina por lo siguiente, para vibración interna:

- 1.- Introducir la barra del vibrador inclinada y deslizarla hacia el operador lo que ocasiona segregación, transparencia. (33).
- 2.- Demasiado tiempo de vibrado en un solo lugar, origina segregación.
- 3.- Pegar el elemento vibratorio a las varillas de refuerzo, esto origina movimiento en las mismas y por consiguiente falla de adherencia.

Además de la vibración interna, se puede aplicar vibración externa en moldes rígidos metálicos, este procedimiento se aplica para elementos prefabricados, trabes, columnas, tubos, etc., transparencia (33), este método puede fallar por mala distribución de los vibradores en la forma, molde, y por fugas de lechada y mortero y presentando zonas sin compactar correctamente por falta de vibración, "panales de abeja".

Los vibradores pueden ser accionados por corriente eléctrica o por aire a presión, que tengan una frecuencia oscilatoria de 3,000 a 7,000 r.p.m.

33 Los vibradores de inmersión deben insertarse verticalmente, como se indica -  $\lambda$   
34 en la transparencia (33) y aproximadamente a una distancia de 45 cm. y extraerlo lentamente. En la transparencia 34 se aprecia la transportación y colocación por bombeo y vibración de concreto, y se puede ver que no son necesarios revenimientos altos para su transporte por bombeo. -  $\times$

La suspensión del vibrado se hace cuando la superficie del concreto, aparezca tersa y apenas desaparezca el agregado grueso; la duración del vibrado más o menos debe ser de 5 a 15 segundos para cada penetración.

En algunos casos, cuando el residente de la obra lo ordene, se podrá efectuar vibrado y revibrado pero a un tiempo que no exceda de 2 horas desde el momento en que se inició a colocar el agua al iniciar el mezclado.

Cuando se tenga expuesto el concreto durante más de 2 horas, todavía puede mezclarse el concreto a fin de evitar juntas frías, las que pueden presentar una zona de discontinuidad de esfuerzo y por consiguiente, concentración de los mismos en esa zona, originando fallas prematuras.

5,36,37,38,39  
40 Transparencias 35, 36, 37, 38, y 39  
40 Transparencia 40

El concreto se puede colocar bajo agua y ser lanzado acomodándose por impacto, en ambos casos es problema controlar su calidad por su misma naturaleza.

## 7.- TERMINADO.

La mayoría de las imperfecciones que pueden presentarse en un concreto nuevo, indudablemente que son atribuidas a una mala colocación que incluye hasta su vibración y no a una mala calidad del concreto como en la mayoría de los casos considerados.

41,42 El colado de concreto en superficies abiertas y de grande extensión, como para pavimentos, para carreteras, pistas para aeropuertos y obras similares, puede presentarse una fuerte evaporación que origina un resecamiento de la mezcla - que origina dificultad en su acomodo y posteriormente aparición de fisuras en su superficie por contracción por secado, lo que es originado por vientos de alta velocidad, temperaturas altas en el aire y concreto, y humedad relativa, en la transparencia (43) se expone un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h., debe tomarse las precauciones necesarias para evitar la aparición de grietas plásticas. -  $\times$

En este caso se recomienda colocar mamparas deflectoras, techos de lana etc

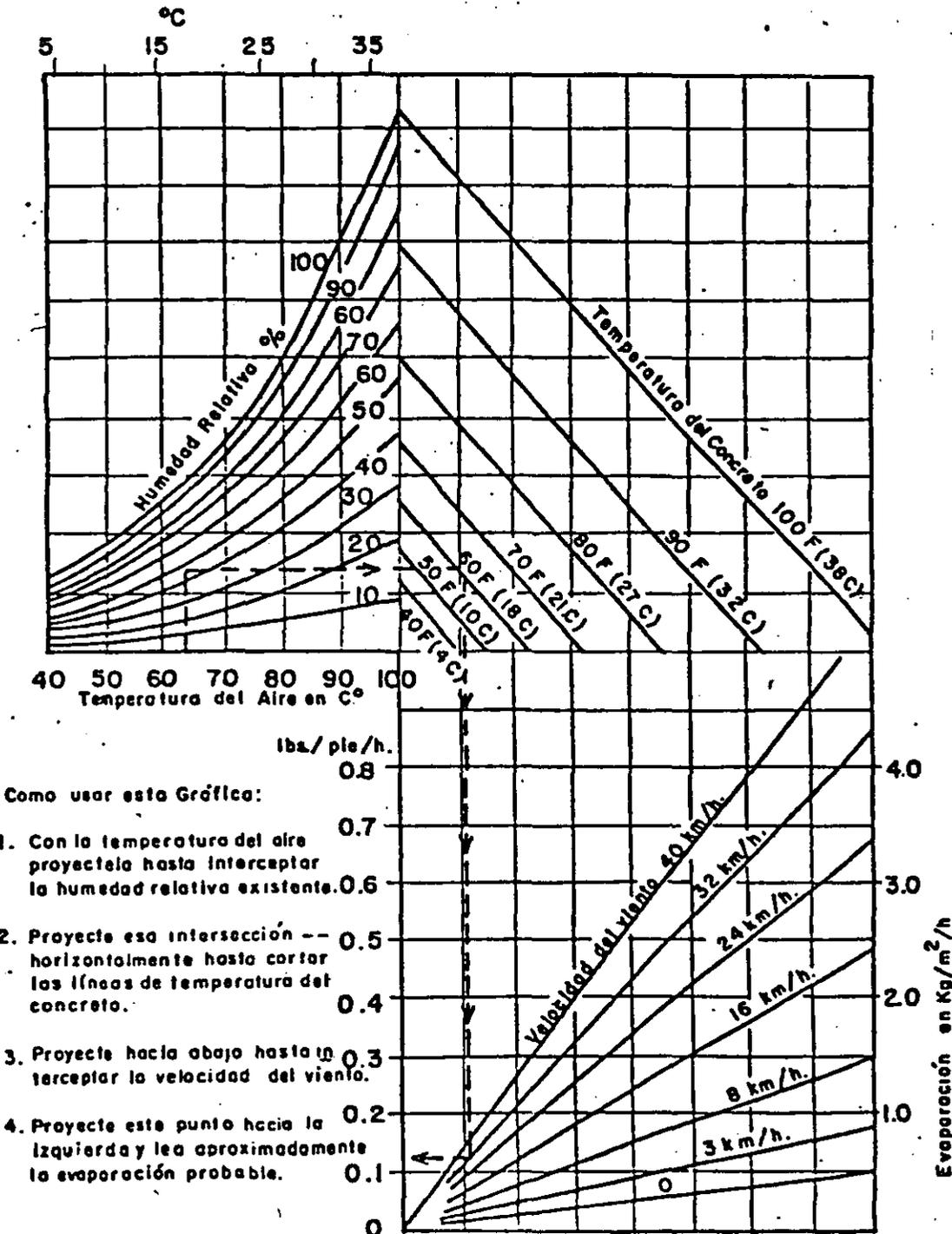


FIGURA 1.- Efecto de las temperaturas del aire y el concreto, humedad relativa y velocidad del viento en la evaporación de la humedad superficial del concreto. La gráfica nos da un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, que son las que se mencionan. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar las grietas de construcción plásticas.

FA 43

## 7.- CURADO

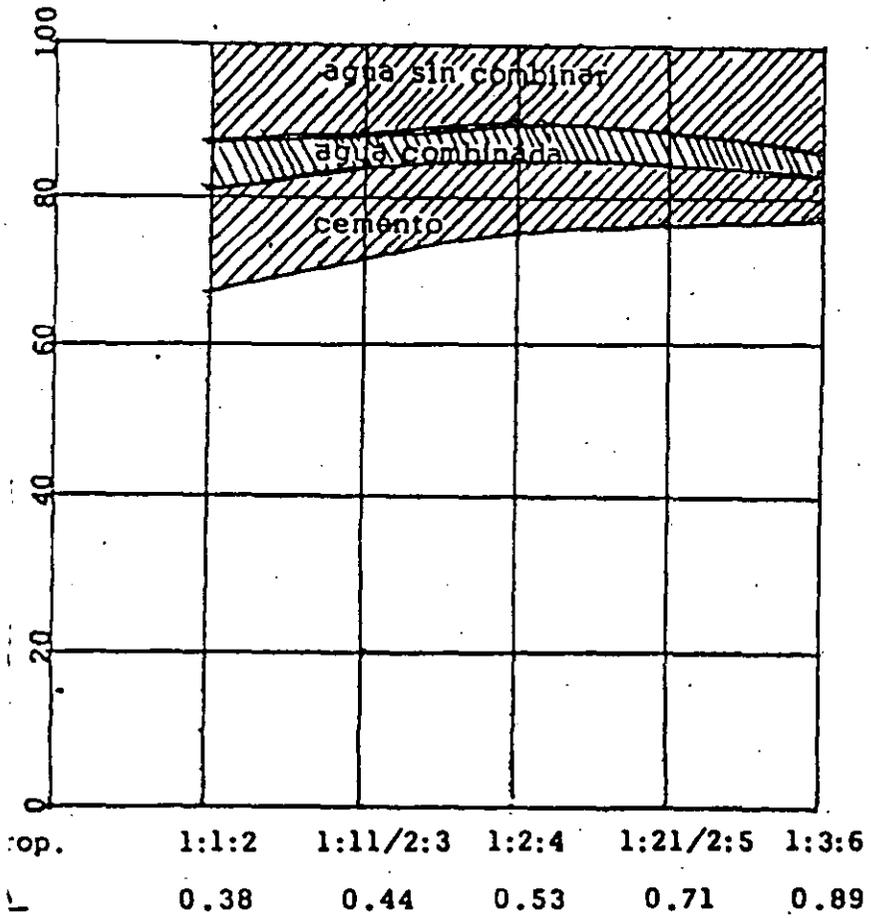
El curado del concreto, tal vez sea la etapa o fase más importante para obtener finalmente un concreto de buena calidad uniforme y satisfacer las características exigidas de resistencia, durabilidad y economía, se dice tal vez para no justificar la omisión de alguna de las condiciones expuestas y desarrolladas, pues todas son importantes y necesarias.

Cabe hacer la aclaración que en la generalidad de las obras que se ejecutan -- esta etapa se desatiende y se olvidan de efectuar el curado del concreto colocado, el no efectuar el curado a su tiempo trae consecuencias irreversibles que alteran la calidad del concreto y que generalmente se le atribuye a que fue -- originada por la mala calidad del concreto entregado, cosa falsa como se explicará más adelante. Transparencia 54.

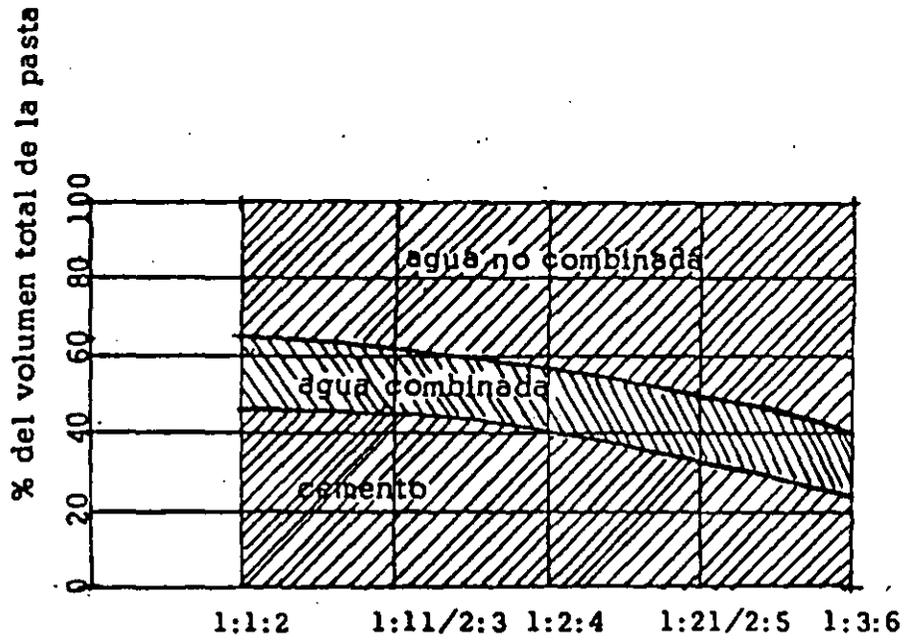
El material de unión en el concreto, pasta de cemento-agua, es el componente -- activo en el concreto y tiene dos funciones principales.

- 1.- En estado plástico llenar los huecos entre las partículas de materiales pétreos que forman el concreto comunicándoles lubricación y acomodo -- fácil entre ellas.
- 2.- En su estado endurecido darle resistencia y durabilidad.
  - a.- La resistencia está fijada aproximadamente por las características del cemento.
  - b.- Relación agua-cemento
  - c.- Reacciones químicas del cemento con el agua, esto es que se desarrollen totalmente o parcialmente por suspensión de ellas, a este proceso se le llama hidratación.
  - d.- La durabilidad del concreto depende de la porosidad del mismo, -- entre mayor poros tenga menos será la durabilidad y resistencia. La porosidad depende de la cantidad de agua no combinada que tenga y forma parte del agua que se pone para hacer la mezcla, siendo la otra parte del agua combinada. Transparencia. 55

En promedio el agua combinada representa el 30% y la no combinada el 70%, entonces esta última al no combinarse, su acción es la de comunicar manejabilidad y -- una vez conseguida queda ocupando espacios en el concreto y cuando se evapora -- estos están vacíos originando poros y canales por lo que si la cantidad de agua total necesaria para obtener una resistencia y manejabilidad determinada se -- aumenta, se alterará la resistencia el contenido del concreto y otras características ya contempladas, como la cantidad de agua combinada en función de la total no se altera, entonces los cambios en la calidad se deben a un exceso de poros -- y canales capilares, originados por el agua en exceso existente por no combinarse con el cemento. Los resultados de esta agua no combinada se manifiestan como:



Mezclas de concreto



Mezclas de mortero

15-a

- 1.- Disminución de resistencia
- 2.- Mayor porosidad, que origina menos durabilidad por el fácil acceso de los agentes destructivos existentes en el medio ambiente que lo rodea.

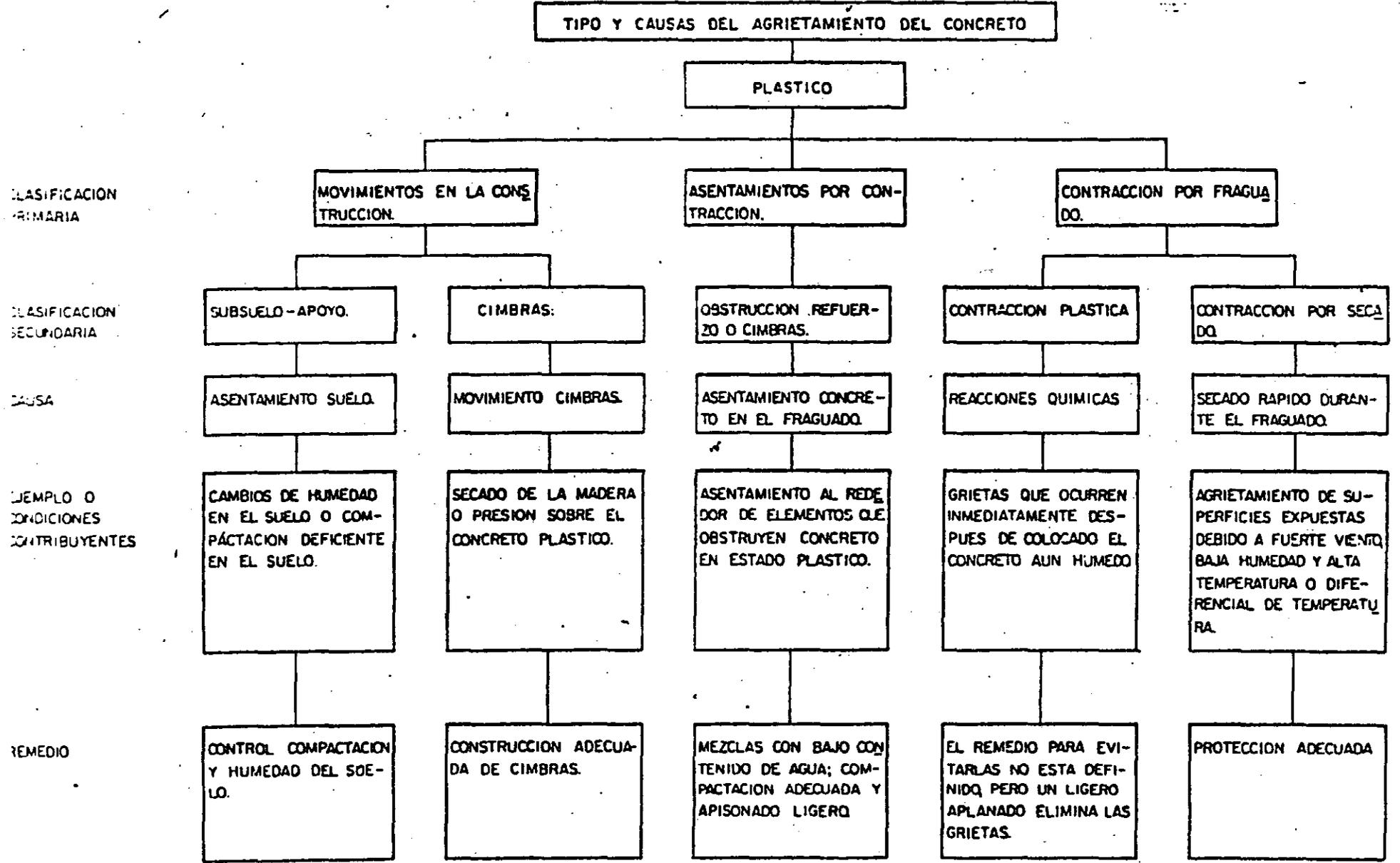
Como se dijo anteriormente el elemento de unión y digamos cementación, está representado por la pasta agua-cemento que al combinar se producen reacciones químicas dando lugar a la hidratación del cemento, momento en el cual se desarrollan geles que son ávidos de agua para su formación y después se traduce en la cementación de las partículas pétreas que posteriormente, cuando el concreto va perdiendo agua por estas reacciones endurece comunicándole la resistencia requerida. Esto que se expone es la descripción mucho muy sencilla y -- super extractada del fenómeno real que se desarrolla al hidratarse el cemento, por lo anteriormente expuesto es necesario que la mezcla de materiales se conserve siempre húmeda, esto es que no se permita la pérdida de humedad en la mezcla, entonces debe conservarse la humedad externa lo que manifiesta que no pierde agua de combinación en su interior, además de evitar la pérdida de agua en este proceso de curado, es indispensable mantener una temperatura normal, -- si es diferente a 25°C debe mantenerse más o menos a esta temperatura por procedimientos especiales que no se van a considerar en este desarrollo.

Cuando el curado no se aplica correctamente y en el momento oportuno, puede -- originarse la formación de fisuras o grietas por un desecamiento temprano de la superficie ocasionando cambios de volumen en la masa que se traducen en el desarrollo de esfuerzos de tensión que el concreto, debido a su poca edad, no -- es capaz de soportar, originando entonces las fisuras o grietas, que se pue -- den profundizar si no se evitan mediante la reposición de humedad. 45, 46, 47; 48, 49, 50, 51

En colados de grandes superficies expuestas, se presentan con frecuencia estos -- fenómenos que generalmente atribuyen a la mala calidad del concreto, siendo en -- realidad culpa del constructor que no toma las providencias necesarias para -- evitarlo.

Estos fenómenos se originan por efectos de las temperaturas del aire y concreto, 42 humedad relativa del ambiente y velocidad del viento. Transparencia 43, ocasionando evaporación superficial en el concreto. La gráfica nos proporciona un -- método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones -- atmosféricas, si el valor de la evaporación obtenida por este método es superior a 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h, deben tomarse las precauciones para evitarlo y que no aparezcan grietas de contracción plástica. ✓

43, 53  
54  
55  
56



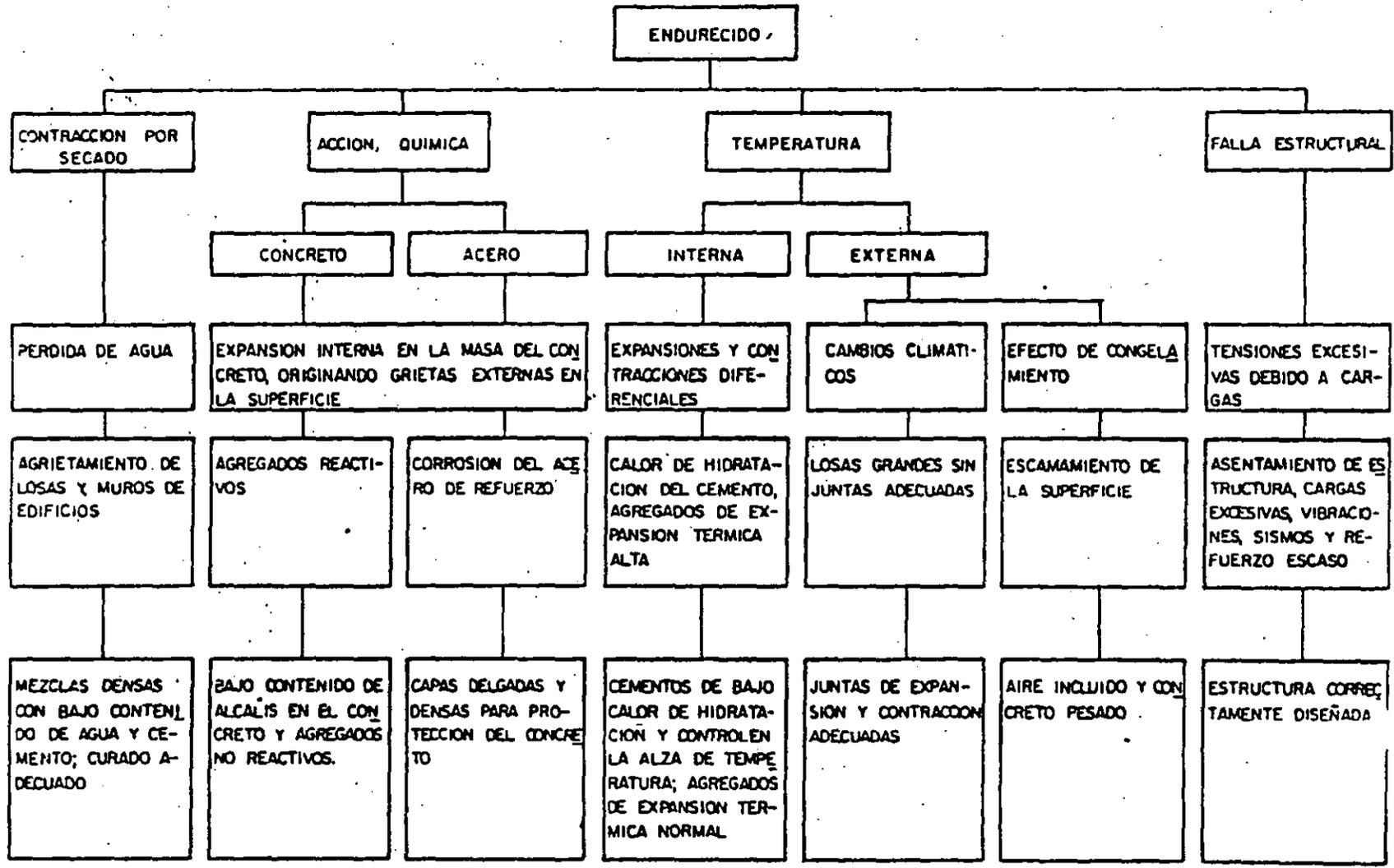
CLASIFICACION PRIMARIA

CLASIFICACION SECUNDARIA

CAUSA

EJEMPLO O CONDICIONES CONTRIBUYENTES

REMEDIO



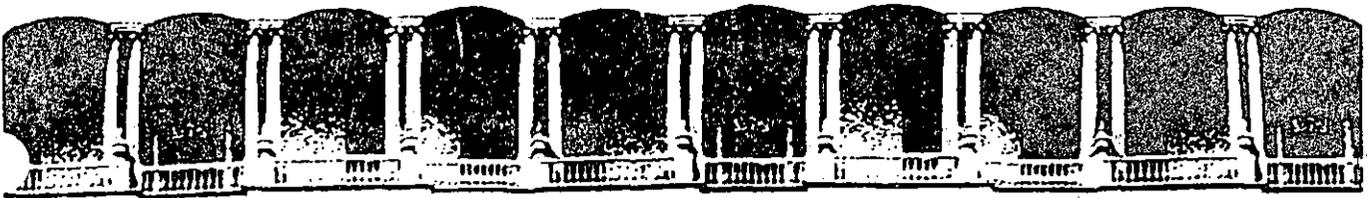
CLASIFICACION PRIMARIA

CLASIFICACION SECUNDARIA

ELECCIÓN DE MEDIDAS

EMPLO O CONDICIONES CONTRIBUYENTES

REMEDIOS



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
HIDRAULICO**

**PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA MEDICION MEZCLANDO  
TRANSPORTE Y COLORACION DEL CONCRETO**

<b>Sinopsis</b> .....	13
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	15
1.1 Alcance .....	15
1.2 Objetivo .....	15
1.3 Otras consideraciones .....	16
<b>Capítulo 2. Control, manejo y almacenamiento de materiales</b> .....	17
2.1 Agregados .....	17
2.1.1 Agregado grueso .....	17
2.1.1.1 Tamaños .....	17
2.1.1.2 Control de material de menor tamaño .....	18
2.1.2 Agregado fino (arena) .....	18
2.1.3 Almacenamiento .....	19
2.1.4 Control de humedad .....	19
2.1.5 Muestras para pruebas .....	21
2.2 Almacenamiento del cemento .....	21
2.3 Almacenamiento de materiales puzolánicos .....	22
2.4 Aditivos .....	22
<b>Capítulo 3. Medición</b> .....	23
3.1 Requisitos generales .....	23
3.1.1 Objetivo .....	23
3.1.2 Tolerancias .....	23
3.2 Silos de almacenamiento y tolvas pesadoras .....	24
3.3 Tipo de planta .....	26
3.3.1 Dosificación manual .....	26
3.3.2 La dosificación semiautomática .....	26
3.3.3 Dosificación automática .....	26
3.3.3.1 Dosificación automática acumulada .....	27
3.3.3.2 Dosificación individual automática .....	27
3.4 Materiales cementantes .....	27
3.4.1 Dosificación de materiales cementantes .....	27
3.4.2 Descarga de materiales cementantes .....	28
3.5 Medición del agua .....	28
3.5.1 Equipo de dosificación .....	28
3.5.2 Determinación y compensación de la humedad del agregado .....	29
3.5.3 Agua de mezcla total .....	29

3.6	Medición de los aditivos .....	29
3.7	Medición de materiales para trabajos pequeños .....	30
3.8	Otras consideraciones .....	30
<b>Capítulo 4. Mezclado .....</b>		<b>31</b>
4.1	Requisitos generales .....	31
4.2	Diseño y mantenimiento de las mezcladoras .....	31
4.3	Carga de la mezcladora .....	32
4.4	Rendimiento de la mezcladora .....	32
4.5	Tiempo de mezclado para mezcladoras fijas .....	33
4.6	Temperatura de la mezcla .....	33
4.7	Remezclado .....	33
4.8	Descarga de la mezcladora .....	34
4.9	Concreto premezclado .....	34
<b>Capítulo 5. Transporte del concreto .....</b>		<b>37</b>
5.1	Consideraciones generales .....	37
5.2	Mezclado y transporte en camiones de tambor giratorio .....	37
5.2.1	Concreto mezclado en camión .....	38
5.2.2	Concreto mezclado parcialmente en planta fija y terminado en tránsito .....	38
5.2.3	Concreto dosificado en seco .....	38
5.3	Transporte de concreto mezclado en planta .....	39
5.3.1	Tambor giratorio .....	39
5.3.2	Camión de caja fija, con o sin agitador .....	39
5.3.3	Recipientes para concreto montados en camiones o carros de ferrocarril .....	39
5.3.4	Otros métodos .....	40
5.4	Objetivo final .....	40
<b>Capítulo 6. Colocación del concreto .....</b>		<b>41</b>
6.1	Consideraciones generales .....	41
6.2	Separación del agregado y mortero .....	42
6.3	Equipo de colocación .....	46
6.3.1	Tolvas de sección circular y rectangular .....	46
6.3.2	Carros manuales o motorizados "buggies" .....	46
6.3.3	Canalones y tubos de caída .....	46
6.3.4	Bandas transportadoras .....	47
6.3.5	Equipos de pavimentación .....	48
6.3.6	Cimbras deslizantes .....	49
6.4	Consolidación .....	49
6.5	Previsiones para manejar concreto de consistencia apropiada .....	50

<b>Capítulo 7. Concreto de agregado precolocado .....</b>		<b>51</b>
7.1	Consideraciones generales .....	51
7.2	Descripción de lechadas .....	51
7.3	Materiales .....	52
7.3.1	Cemento .....	52
7.3.2	Agregado grueso .....	52
7.3.3	Agregado fino .....	52
7.3.4	Puzolanas .....	52
7.3.5	Aditivos para la lechada .....	53
7.4	Dosificación de la lechada .....	54
7.5	Cimbras .....	55
7.6	Sistemas para tubería de lechada .....	55
7.6.1	Tuberías de entrega .....	55
7.6.2	Tubos de inserción de lechada .....	56
7.6.3	Pozos de sondeo .....	57
7.6.4	Tubos respiraderos .....	57
7.7	Colocación de agregado grueso .....	57
7.7.1	Cimientos .....	57
7.7.2	Colocación del agregado .....	58
7.7.3	Contaminación .....	59
7.8	Mezclado y bombeo de lechada .....	59
7.8.1	Mezcladoras .....	59
7.8.2	Bombas .....	60
7.8.3	Inyección de lechada .....	60
7.9	Construcción de juntas .....	61
7.10	Acabados .....	62
7.11	Control de calidad .....	62
<b>Capítulo 8. Concreto vaciado por tuvo-embudo (Tremie) .....</b>		<b>63</b>
8.1	Consideraciones generales .....	63
8.2	Equipo y requisitos para el mezclado .....	63
8.3	Procedimiento .....	64
8.4	Características estructurales .....	65
8.5	Inspección .....	66
<b>Capítulo 9. Bombeo de concreto .....</b>		<b>67</b>
9.1	Consideraciones generales .....	67
9.2	Equipo de bombeo .....	67
9.2.1	Bombas de pistón .....	67
9.2.2	Bombas neumáticas .....	68
9.2.3	Bombas de presión "squeeze" .....	68
9.3	Tuberías y accesorios .....	68
9.3.1	Tuberías .....	68
9.3.2	Acoplamientos .....	70
9.3.3	Accesorios .....	70

9.3.4 Resistencia de la línea .....	70
9.4 Proporcionamiento de concreto bombeado .....	71
9.4.1 Consideraciones básicas .....	71
9.4.2 Agregados de peso normal .....	71
9.4.3 Agregados ligeros estructurales .....	72
9.4.3.1 Humedecimiento previo del agregado ligero .....	74
9.4.3.2 Saturación al vacío y térmica .....	75
9.4.3.3 Granulometría y peso unitario de agregados de peso ligero .....	76
9.4.4 Agua y revenimiento .....	76
9.4.5 Contenido de cemento .....	77
9.4.6 Aditivos .....	78
9.4.7 Mezclas de pruebas .....	79
9.4.8 Pruebas para bombeo .....	79
9.5 Prácticas de campo .....	79
9.6 Bombeo en revestimiento de túneles .....	80
9.7 Control de campo .....	81
<b>Capítulo 10. Cimbra, limpieza y acabado .....</b>	<b>83</b>
10.1 Cimbras .....	83
10.2 Limpieza—Preparación de juntas horizontales de construcción .....	84
10.3 Acabado de superficies .....	85
<b>Capítulo 11. Fuentes de información .....</b>	<b>87</b>
11.1 Normas del Cuerpo de Ingenieros y de la ASTM .....	87
11.1.1 Normas ASTM .....	87
11.1.2 Normas del Cuerpo de Ingenieros .....	88
11.2 Referencias .....	88
<b>Comentarios .....</b>	<b>93</b>

## SINOPSIS

Se presentan métodos y procedimientos recomendados para la medición, mezclado, transporte y colocación de concreto. Se describen los mejores métodos en lugar de las prácticas comunes. Asimismo, las recomendaciones se hacen tomando como base lo que "debe hacerse", dejando al usuario la responsabilidad de adecuarlas al nivel que exijan las especificaciones de un determinado trabajo. Aunque muchas de estas recomendaciones pueden aplicarse a concretos especiales, se utilizan principalmente en concreto de peso normal.

Entre los temas tratados, figuran: control, manejo y almacenamiento de materiales, incluyendo puzolanas y aditivos; medición de los ingredientes; equipo de medición; tolerancias de dosificación; mezclado, incluyendo concreto premezclado; remezclado; tiempo de mezclado; y mezcladoras.

Se incluyen métodos de colocación, tales como: tolvas, cucharones, carritos, bandas transportadoras, canalones y tubos de caída. También se examina lo relativo al equipo para pavimentos.

Hay secciones dedicadas a las áreas especiales de: transporte de concreto en mezcladoras de tambor giratorio; transporte de concreto mezclado en planta; concreto con agregados precolocados; concreto y equipo de tolva tubería "tremie"; equipo y proporcionamiento para concreto bombeado; cimbras; limpieza y preparación de juntas; acabado de superficies.

Se presenta una extensa lista de referencias.

**Palabras clave:** aditivos; granulometría de los los agregados; agregados; aire incluido; dosificación; contenido de cemento; almacenamiento de cemento; agregados gruesos; construcción de concreto; acabado del concreto (concreto fresco); concretos; consolidación; juntas de construcción; transporte; transportadores; curado; agregados finos; cimbra (construcción); lechada de cemento; lechadeado; inspección, concreto de agregados de peso ligero, agregados ligeros; saturación de líquido; concreto masivo; manejo de materiales; instrumentos de medición; proporcionamiento de mezclas; mezcladoras; mezclado; plantas mezcladoras; tiempo de mezclado; contenido de humedad; medidores de humedad; pavimentos; equipo para pavimentos; colocación; puzolanas; concreto con agregado precolocado; concreto bombeado; bombas; control de calidad; concreto premezclado; remezclado; segregación; construcción con cimbra deslizante; almacenaje; temperatura; tolerancias (mecánicas); camión-revolvedor; concreto de tolva y tubería "tremie"; construcción bajo el agua; vibrado; agua; relación agua/cemento; contenido de agua; humedecimiento; trabajabilidad.

## INTRODUCCION

### 1.1 Alcance

Esta práctica recomendada, bosqueja métodos y procedimientos para lograr buenos resultados en la medición y mezcla de ingredientes para el concreto, su transporte y colocación en la obra. Se presentan secciones sobre el transporte, bombeo "tremie" y concreto con agregado precolocado. Se revisan también equipos y métodos desarrollados recientemente. Las recomendaciones que se presentan, se aplican sobre todo al concreto de peso normal empleado en la construcción usual, aunque muchas de éstas también pueden aplicarse a concreto ligero, de alta densidad, poroso, tratado al vacío, y concreto pretensado o postensado.

### 1.2 Objetivo

Al hacer estas recomendaciones, el comité se guió por la siguiente filosofía:

1. Que el adelanto en el mejoramiento de la construcción con concreto, dará un mejor resultado mediante la presentación de altos estándares de uso, en lugar de "prácticas comunes". En este aspecto, algunos consideran que los sistemas inferiores son suficientes para sus propósitos, pero estas recomendaciones se proponen tomando como base lo que "debería hacerse", y por lo tanto, es responsabilidad del usuario considerar lo que "debe" aplicar, según las especificaciones de su trabajo y ver los resultados específicos que se obtengan.

2. Es evidente que los sistemas empleados para producir y colocar concreto de alta calidad, pueden ser tan económicos como aquellos que nos dan un concreto de baja calidad. Muchos de los sistemas recomendados en este estudio mejoran tanto la uniformidad como la calidad del concreto, de manera que el esfuerzo e inversión son recompensados con una mayor facilidad de operación y con porcentajes más altos de producción; ambos equilibran el costo potencial adicional.

3. Se supone que cualquiera que proyecte emplear estas recomendaciones, tiene un conocimiento básico de las prácticas generales en trabajos de concreto. Sin embargo, si el lector desea información específica sobre la medi-

ción, mezclado, transporte y colocación del concreto, debe consultar la lista de referencias que se halla al final de esta publicación, y especialmente las referencias del 1 al 8. En términos generales, el Comité 304 está de acuerdo con la información presentada en estas referencias, aunque se notarán algunas excepciones al hacerse hincapié en ciertos detalles. Para demostrar con mayor claridad ciertos principios tendientes a obtener un máximo de uniformidad, homogeneidad y calidad del concreto ya colocado, se incluyen ilustraciones de las prácticas, las que deben seguirse y las que deben evitarse.

### 1.3 Otras consideraciones

Todos aquellos que se ocupan en trabajos de concreto, deben tomar en cuenta la importancia de mantener el contenido unitario de agua tan bajo como lo permitan los requisitos de colocación.<sup>2-6, 8</sup> Aunque la relación agua/cemento se mantenga constante, un aumento del agua por unidad también aumenta potencialmente el agrietamiento por contracción durante el secado, y con este agrietamiento el concreto pierde parte de su durabilidad y otras características deseables, por ejemplo: su acción monolítica y baja permeabilidad. Cuando se aumenta arbitrariamente agua, se incrementa la relación agua/cemento, y tanto la resistencia como la durabilidad se afectan adversamente. A medida que la cimbra se llena con la correcta combinación de sólidos y la menor cantidad posible de agua, mejor será el concreto resultante. Debe practicarse un uso moderado en la cantidad de agua, cemento y agregado fino, junto con el uso del agregado graduado al tamaño máximo permitido por las aberturas de la cimbra y el espacio entre el refuerzo. También debe emplearse la estricta cantidad de cemento que se requiera para obtener la resistencia adecuada y otras propiedades esenciales. Únicamente se empleará la cantidad de agua y agregado fino que se requiera para hacer fácil su manejo, y obtener así una buena colocación y consolidación por medio de la vibración.

## CONTROL, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

### 2.1 Agregados

Los agregados fino y grueso, al descargarse en la tolva dosificadora por peso, deben ser de buena calidad, uniformes en granulometría y contenido de humedad. La producción de un concreto uniforme será difícil si no se siguen las especificaciones relativas a la selección, preparación y manejo adecuado de los agregados (fig. 2.1).<sup>9</sup>

#### 2.1.1 Agregado grueso

##### 2.1.1.1 Tamaños

La segregación en un agregado grueso se reduce prácticamente al mínimo, mediante la separación del material en fracciones de varios tamaños y la dosificación de estas fracciones por separado. A medida que la variedad de tamaños de cada fracción disminuye y el número de separaciones por tamaño aumenta, la segregación disminuye aún más. El control eficaz de segregación y de materiales de menor tamaño que lo normal se logra adecuadamente cuando la proporción de medidas máximas a mínimas en cada fracción se mantiene a no más de cuatro, para agregados menores de 25.4 mm (1 pulgada) de diámetro, y de dos, para los tamaños mayores.

Ejemplos de algunas maneras de agrupar fracciones de agregados:

#### Ejemplo 1

4.76	hasta	20 mm ( $\frac{3}{16}$ *)	hasta	$\frac{3}{4}$	de pulgada )
20	hasta	40 mm ( $\frac{3}{4}$	hasta	1½	pulgada )
40	hasta	75 mm (1½	hasta	3	pulgadas)
75	hasta	150 mm ( 3	hasta	6	pulgadas)

\* Malla No. 4.

## Ejemplo 2

4.76 hasta	13 mm ( $3/16$ *)	hasta 1 pulgada )
13 hasta	25 mm ( $1/2$ )	hasta 1 pulgada )
25 hasta	50 mm ( 1 )	hasta 2 pulgadas)
50 hasta	100 mm ( 2 )	hasta 4 pulgadas)

**2.1.1.2 Control de material de menor tamaño**

Se define por esta práctica recomendada el material de menor tamaño de una fracción dada de agregados, como aquel material que pasa un análisis granulométrico con aberturas de 5/6 del tamaño mínimo especificado de la fracción de agregados.<sup>2</sup> Para un control eficaz de granulometría, es esencial que las operaciones de manejo no aumenten significativamente la cantidad de los materiales de menor tamaño en los agregados, antes de su uso en concreto (figs. 2.1a, 2.1b, 2.1c). La granulometría de los agregados al entrar en la mezcladora debe ser uniforme y dentro de los límites especificados.<sup>3</sup> Los análisis de mallas del agregado grueso deben practicarse con frecuencia, para asegurarse que cumple con los requisitos de granulometría. Cuando se emplean dos o más tamaños de agregado, deben hacerse cambios en las proporciones de los tamaños las veces que sea necesario, para mejorar la granulometría total del agregado combinado. En casos en que los límites especificados de granulometría no puedan lograrse convenientemente, deben seguirse métodos de manejo especial. Cuando los métodos usuales de manejo no son satisfactorios, se eliminarán eficazmente los materiales de menor tamaño no deseables mediante recribado del agregado grueso en la planta de mezclado. Los materiales de tamaño menor en las fracciones de agregados menores pueden reducirse efectivamente hasta en un dos por ciento, mediante un recribado inmediatamente antes del almacenamiento en las tolvas de la planta de dosificación.

**2.1.2 Agregado fino (arena)**

El agregado fino debe controlarse para reducir al mínimo las variaciones en la granulometría, manteniendo uniformes las fracciones más finas y teniendo cuidado de evitar la excesiva eliminación de los finos durante el proceso.

Si la relación de agregado fino a grueso se ajusta a las recomendaciones ACI para el proporcionamiento de mezclas,<sup>10, 11</sup> puede utilizarse una amplia gama de granulometría de agregados finos.<sup>13</sup> Sin embargo, las variaciones en granulometría durante la producción de concreto deben ser reducidas al mínimo y ésta debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C33,<sup>13</sup> de tal forma que el módulo de finura del agregado fino se mantenga entre el valor de diseño,  $\pm 0.20$ .

\* Malla No. 4.

La cantidad y naturaleza del material más fino que la malla Núm. 200 ha de recibir atención especial. Como se reconoce en la norma ASTM C33,<sup>12</sup> si este material es "polvo de piedra o fluorita" esencialmente libre de arcilla, esquisto y de partículas suaves o livianas, se permiten porcentajes mayores de partículas más finas que la malla Núm. 200. Sin embargo, si se tiene lo contrario, las cantidades permisibles deben reducirse significativamente. La prueba californiana de equivalentes de arena se usa frecuentemente para determinar cuantitativamente el tipo, cantidad y actividad de este material fino.<sup>14</sup> Las cantidades excesivas de finos menores que la malla Núm. 200, aumentan el requerimiento de agua de mezclado, la velocidad de pérdida por revenimiento, la contracción por secado y reducen la resistencia.

No se debe tratar de combinar dos tamaños de agregado fino alternando su colocación en depósitos o al cargar carros o camiones. Los resultados satisfactorios se obtienen cuando fracciones de diferentes tamaños se combinan al fluir en una corriente desde compuertas o alimentadores regulados. Sin embargo, el método más positivo de control para una amplia gama de condiciones de planta y trabajo consiste en el almacenamiento, manejo y dosificación por separado de las fracciones gruesas y finas.

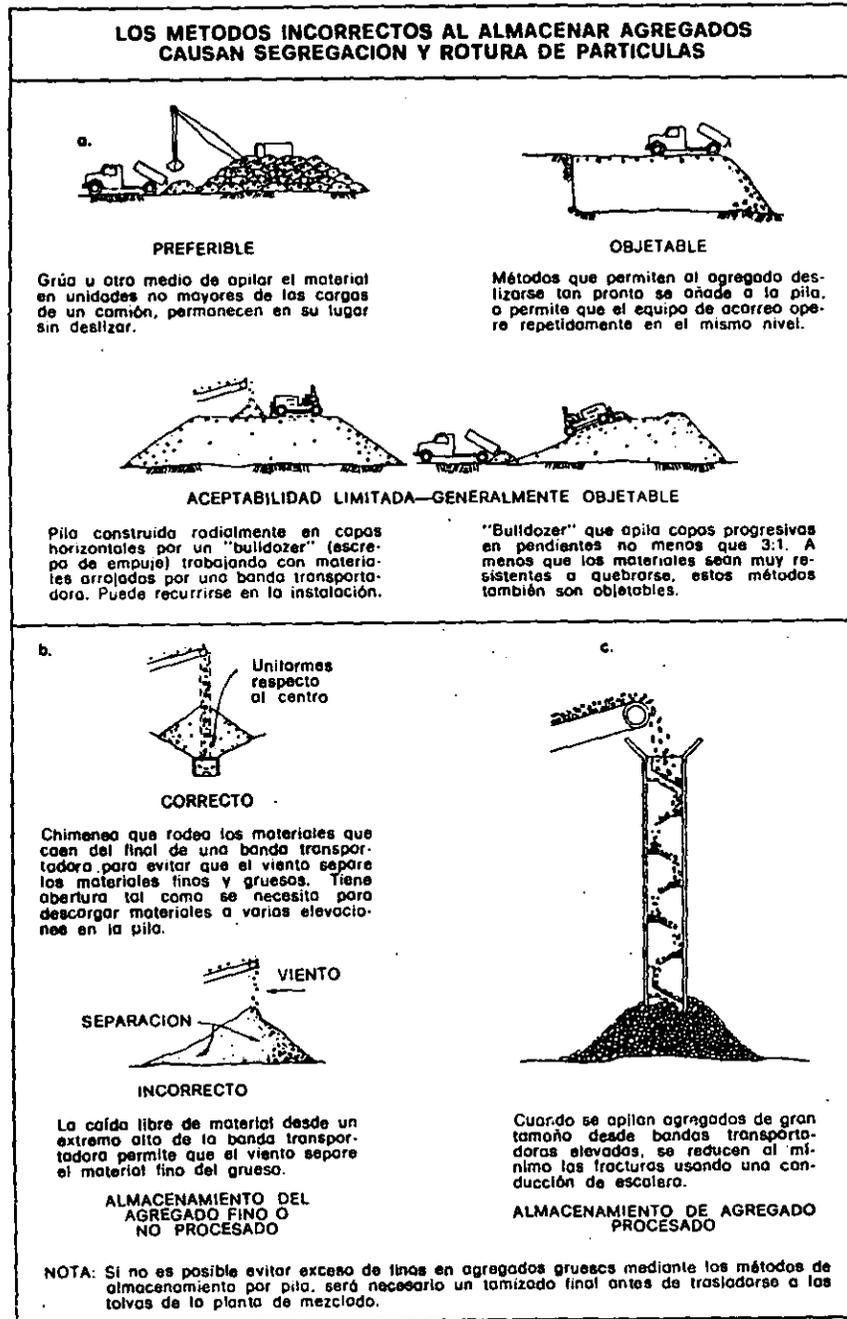
**2.1.3 Almacenamiento**

El almacenaje en montones de agregado debe mantenerse al mínimo, pues aun bajo condiciones ideales los finos tienden a acumularse. Sin embargo, cuando es necesario almacenar en montones, el uso de métodos incorrectos acentúa problemas con los finos y también causa segregación, rompimiento del agregado y una excesiva variación en la granulometría. Los montones deben construirse en capas horizontales o suavemente inclinadas, no por volteo. Sobre los montones no deben operarse camiones, bulldozers, u otros vehículos, puesto que, además de quebrar el agregado, a menudo dejan tierra sobre los depósitos (fig. 2.1 a). Debe tenerse una base dura para evitar la contaminación del material con el del fondo, y el traslape de los diferentes tamaños debe evitarse mediante muros apropiados o amplios espacios entre los montones. No debe permitirse que el viento separe los agregados finos secos (fig. 2.1b), y los depósitos no deben contaminarse oscilando cucharones o cangilones sobre los diferentes tamaños de agregados almacenados en montones.

Las tolvas de agregados deben mantenerse tan llenas como sea práctico, para reducir al mínimo el resquebrajamiento y los cambios de granulometría al extraer los materiales. Los materiales deben depositarse verticalmente en las tolvas y directamente sobre el orificio de salida (véase fig. 3.2b).

**2.1.4 Control de humedad**

Hay que hacer un esfuerzo para asegurar un contenido de humedad estable en el agregado cuando sea dosificado. El uso de agregados que tienen



cantidades variables de agua libre, es una de las causas más importantes de la pérdida de control de la consistencia del concreto (revenimiento). En algunos casos puede ser necesario mojar el agregado grueso en los montones de almacenamiento o en las bandas transportadoras, para compensar el alto grado de absorción, o suministrar enfriamiento. En estos casos, los agregados deben pasarse sobre cribas secadoras apropiadas, para impedir que el exceso de agua libre vaya a las tolvas.

Debe darse tiempo suficiente para el drenaje del agua libre del agregado fino, antes de trasladarlo a las tolvas de la planta de dosificación. El tiempo de almacenaje que se necesita depende sobre todo de la granulometría y forma de las partículas del agregado. La experiencia ha demostrado que un contenido de humedad libre hasta del 6 por ciento, y de vez en cuando hasta del 8 por ciento, se mantendrá estable en el agregado fino. Sin embargo, algunas empresas que se dedican a la colocación de concreto a gran escala exigen que la variación de humedad en el agregado fino no sea mayor del 2% en 8 horas, o del 0.5% en 1 hora.<sup>9</sup>

La insistencia en un contenido de humedad estable en el agregado, el uso de medidores de humedad para indicar variaciones en la humedad del agregado fino al dosificarlo, y el uso de compensadores de humedad para el rápido ajuste de peso en la dosificación, pueden reducir al mínimo la influencia de la variación de humedad en el agregado fino.<sup>15, 10</sup>

### 2.1.5 Muestras para pruebas

Las muestras representativas de los diferentes tamaños de agregado que se dosifican deben tomarse lo más cerca posible del punto de su mezcla con el concreto. La dificultad en conseguir muestras representativas aumenta de acuerdo con el tamaño del agregado. Por lo tanto, los aparatos de muestreo que se utilizan requieren un cuidadoso diseño si han de obtenerse resultados de pruebas significativos.

Es buena práctica mantener un promedio registrado de 5 a 10 pruebas de granulometrías anteriores, eliminando los resultados de las más antiguas y agregando las más recientes al total sobre el cual se calcula el promedio. Esta granulometría promedio puede emplearse tanto para el control de calidad como para dosificar la mezcla.

### 2.2 Almacenamiento del cemento

Todo el cemento debe almacenarse en estructuras protegidas contra la intemperie; apropiadamente ventiladas, para impedir la absorción de humedad.

Las facilidades de almacenamiento para cemento a granel deben incluir compartimientos separados para cada tipo de cemento que se utiliza. El interior de un silo de cemento debe ser liso, con una inclinación mínima de 50 grados respecto a la horizontal en el fondo, para un silo circular, y desde 55 a 60 grados para un silo rectangular. Los silos que no sean de construc-

Fig. 2.1. Métodos correctos e incorrectos de manejo y almacenamiento de agregados.

## MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

ción circular deben estar provistos de cojines de deslizamiento que no se atasquen, por los cuales se puedan introducir a intervalos pequeñas cantidades de aire a baja presión de hasta 5 psi (aproximadamente 0.2 - 0.4 kgf/cm<sup>2</sup>), para soltar el cemento que se haya compactado dentro de los silos. Se ha de tener cuidado de emplear cantidades mínimas de aire, puesto que en algunas áreas de clima seco el empleo de aire ha dado al cemento características anormales de fraguado. Los silos de almacenamiento deben ser vaciados con frecuencia, preferentemente una vez por mes, para impedir la formación de costras de cemento.

Cada compartimiento del silo desde el cual se dosifica el cemento debe tener su propia entrada de tornillo sinfin, deslizador de aire, alimentador rotatorio u otra condición que combine eficazmente las características de flujo constante con corte preciso, para lograr un exacto pesado automático del cemento.

Debe tenerse cuidado de evitar el traslado del cemento a un silo que no le corresponda, y emplear métodos eficaces para eliminar la incomodidad del polvo durante la carga y traslado.

El cemento envasado en sacos debe ser apilado sobre plataformas, para permitir la apropiada circulación de aire. Para un período de almacenamiento de menos de 60 días, se recomienda evitar que se superpongan más de 14 sacos de cemento, y para períodos mayores no deben superponerse más de 7 sacos. Como precaución adicional, se recomienda que se utilice primero —hasta donde sea posible— el cemento más viejo.

### 2.3 Almacenamiento de materiales puzolánicos

Las puzolanas y otros materiales cementantes deben manejarse, trasladarse y almacenarse de la misma manera que el cemento.

### 2.4 Aditivos

Los aditivos fabricados en forma líquida deben almacenarse en tambores o tanques herméticos, protegidos de la congelación. La agitación de estos materiales durante su uso debe hacerse de acuerdo con las indicaciones dadas por el fabricante.

Con frecuencia es también conveniente licuar aditivos fabricados en forma de polvo para disolverse. Cuando esto se hace, los tambores o tanques de almacenaje, desde los cuales se suministrarán los aditivos, deben estar provistos de equipo de agitación o mezclado, para mantener los sólidos en suspensión.

Los requisitos para el almacenaje de aditivos en polvo deben ser los mismos que para el almacenaje de materiales cementantes. Las recomendaciones detalladas para el almacenaje y manejo de aditivos las proporciona el comité 212 del ACI en su informe "Guide for use of admixtures in concrete" ("Guía para el uso de aditivos en concreto").<sup>21</sup>

## CAPITULO 3 MEDICION

### 3.1 Requisitos generales

#### 3.1.1 Objetivo

Durante las operaciones de medición, los agregados deben manejarse de tal manera que mantengan la granulometría deseada, pesándose todos los materiales a la tolerancia requerida para mantener homogéneas las reproducciones de la mezcla de concreto escogida. Además del peso exacto, otro objetivo importante para el éxito del mezclado es la apropiada secuencia y combinación de los ingredientes durante la carga de las mezcladoras.<sup>7, 17</sup> El objetivo final es obtener uniformidad y homogeneidad en el concreto producido, como lo indican propiedades físicas tales como: peso unitario, revenimiento, contenido de aire, resistencia, y el contenido del mortero libre de aire en las sucesivas cargas de las mismas proporciones de mezcla.<sup>2, 8-9, 17</sup>

#### 3.1.2 Tolerancias

La mayoría de las organizaciones de ingeniería, tanto públicas como privadas, emiten especificaciones que contienen requisitos detallados para el equipo de dosificación manual, semiautomático y automático de concreto.<sup>2, 4, 8, 9</sup>

El equipo de dosificación, de los que hay actualmente en el mercado, operará dentro de las tolerancias de peso de carga usualmente especificadas, mientras se mantenga mecánicamente en buen estado.

El documento "Concrete Plant Standards of the Concrete Plant Manufacturer's Bureau" es frecuentemente utilizado para determinar la exactitud de la báscula y la dosificación.<sup>18, 19</sup> The National Bureau of Standards Handbook 44, "Specifications, Tolerances, and other Technical Requirements for Commercial Weighing and Measuring Devices",<sup>19</sup> también se utiliza en muchas agencias de especificación para propósitos de exactitud de báscula. Las tolerancias frecuentemente usadas en la medición se proporcionan en la tabla 3.1.2.

Otros requisitos comúnmente utilizados abarcan básculas de balancín o graduaciones de escala de 0.1% de la capacidad total e intercierre de dosi-

M. JON, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

ficación de  $\pm 0.3\%$  de la capacidad total al cero de la balanza;<sup>19, 20</sup> la cantidad de aditivo pesado nunca ha de ser más pequeña que un  $0.4\%$  de la capacidad total de la báscula excedida en  $3\%$  del peso requerido;<sup>21</sup> es también muy importante el aislamiento del equipo de dosificación respecto de la vibración de la planta; la protección de los controles automáticos librándolos del polvo y temperatura, y la frecuente comprobación y limpieza de la báscula y de los puntos de apoyo. Con buena inspección y operación de la planta, se puede esperar que el equipo de dosificación se comporte consistentemente dentro de las tolerancias requeridas.

3.2 Silos de almacenamiento y tolvas pesadoras

Los silos de la planta dosificadora tendrán el tamaño adecuado para alimentar eficazmente la capacidad productora de la planta. Los compartimientos de los silos deben separar adecuadamente los diversos materiales del concreto, y la forma y disposición de los silos para agregado se harán de tal manera que prevengan la segregación y rotura del agregado. Las tolvas pesadoras deben ser cargadas mediante cajones de concha o de almeja o del tipo de socavación radial de fácil operación. Las compuertas empleadas para cargar dosificadores semi o totalmente automáticos deberán estar equipadas con motor y con un apropiado control de "goteo" que logren la exactitud deseada de peso. Las tolvas pesadoras dispondrán del debido acceso para tener muestras representativas, o para lograr la apropiada secuencia y com-

binación de agregados durante la carga de la mezcladora. En la fig. 3.2 se presentan ilustraciones indicando el diseño y el arreglo apropiados para los silos de la planta dosificadora y de las tolvas pesadoras.

TABLA 3.1.2. TOLERANCIAS TÍPICAS DE DOSIFICACION

Ingredientes	Pesos de carga mayores que el 30 por ciento de la capacidad de la báscula		Pesos de carga menores que el 30 por ciento de la capacidad de la báscula	
	Mezclado individual	Mezclado acumulado	Mezclado individual	Mezclado acumulado
Cemento y otros materiales cementantes	1 por ciento y 0.3 por ciento de la capacidad de la báscula, el que sea mayor		No menor que el peso requerido ni más de 4 por ciento del peso requerido	
Agua (por volumen o peso), en por ciento	$\pm 1$	No recomendado	$\pm 1$	No recomendado
Agregados por ciento	$\pm 2$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 0.3$ por ciento de la capacidad de la báscula o $\pm 3$ por ciento del peso acumulado requerido, el que sea menor
Aditivos (por volumen o peso), por ciento	$\pm 3$	No recomendado	$\pm 3$	No recomendado

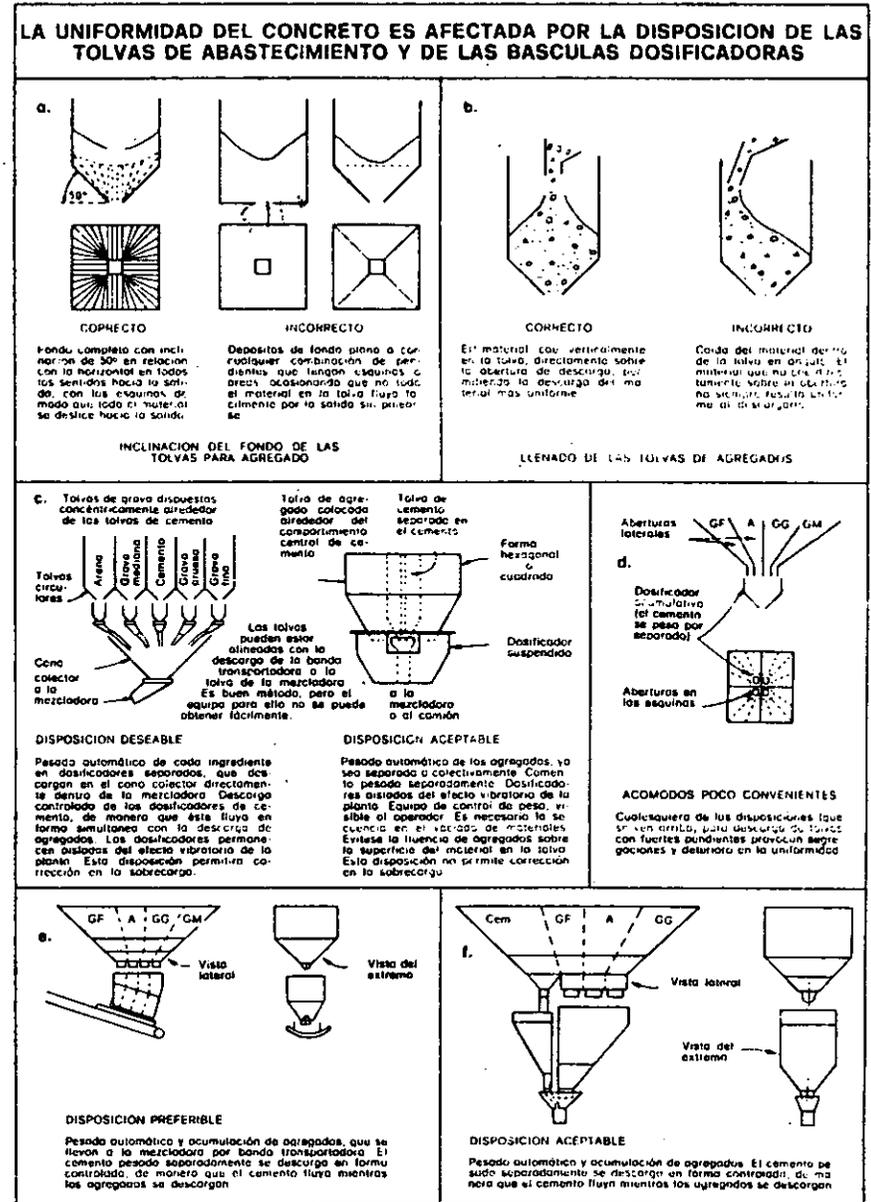


Fig. 3.2. Métodos correctos e incorrectos de dosificación.

### 3.3 Tipo de planta

Los factores que afectan la selección del sistema apropiado de dosificación son: 1) tamaño de la obra; 2) volumen/hora requerido; y 3) normas de rendimiento que se requieren en la dosificación.

La capacidad productiva de una planta se determina por una combinación de detalles tales como: sistemas de manejo de materiales, tamaño del silo, tamaño de la tolva dosificadora y tamaño y número de la mezcladora de la planta. El equipo disponible se clasifica en tres categorías generales: manual, semiautomático y totalmente automático.<sup>18</sup>

#### 3.3.1 Dosificación manual

Como su nombre lo indica, todas las operaciones de pesado y dosificación de los ingredientes del concreto se llevan a cabo manualmente. Las plantas manuales son aceptables para trabajos pequeños que no requieren grandes volúmenes de dosificación, generalmente para trabajos hasta de 400 m<sup>3</sup>, a razón de 15 m<sup>3</sup>/hr (5 000 yd<sup>3</sup> y 25 yd<sup>3</sup>/hr), pero al incrementarse el tamaño de la obra, la automatización de las operaciones de dosificación se justifica. Los esfuerzos para aumentar la capacidad de plantas manuales mediante dosificación rápida conducen invariablemente a excesivas inexactitudes en el peso.

#### 3.3.2 La dosificación semiautomática

En este sistema, las compuertas de las tolvas de los agregados para cargar las tolvas medidoras, se operan manualmente mediante botones o interruptores de presión. Las compuertas se cierran automáticamente cuando el peso estipulado del material ha sido pesado. Con un mantenimiento satisfactorio de la planta, la exactitud de la dosificación se mantendrá dentro de las tolerancias indicadas en la sección 3.1.2. El sistema tiene interruptores que impiden que la carga y descarga de la dosificadora ocurra simultáneamente. En otras palabras, cuando la tolva pesadora está siendo cargada no puede ser descargada, y cuando se está descargando, no puede cargarse. Es esencial facilitar la inspección visual de la carátula de la báscula para cada material que esté siendo pesado.

#### 3.3.3 Dosificación automática

En este sistema la dosificación automática de todos los materiales se maneja eléctricamente por medio de un solo control de mando. Sin embargo, hay interruptores que cortan el ciclo de la dosificación cuando el indicador de la báscula no ha regresado a  $\pm 0.3\%$  del cero de la báscula, o cuando se exceden las tolerancias de peso predeterminadas que se detallan en la sección 3.1.2.

#### 3.3.3.1 Dosificación automática acumulada

Se requieren controles de interruptores en secuencia para este tipo de dosificación. El pesado no empezará, y se interrumpirá automáticamente cuando las tolerancias predeterminadas dentro de cualquier secuencia de pesado excedan los valores que se dan en la sección 3.1.2. El ciclo de carga no empezará mientras la compuerta de descarga de la tolva dosificadora esté abierta, y el ciclo de descarga de la tolva dosificadora no empezará mientras sus compuertas de carga estén abiertas, o cuando cualesquiera de los pesos indicados para los materiales no estén dentro de las tolerancias aplicables. Los pesos prefijados deseados para las mezclas se hacen mediante dispositivos tales como tarjetas perforadas, interruptores digitales o discos rotarios. Los pesos determinados, el comienzo del ciclo de la mezcla y su descarga, se controlan manualmente. Los selectores para el volumen de la mezcla y dosificación, los medidores de humedad del agregado fino, los compensadores de humedad del agregado controlados manualmente, y los dispositivos gráficos o digitales para registrar el peso de cada material para la mezcla, constituyen el equipo suplementario que debe exigirse para el buen control de la planta.<sup>16,18</sup> Este tipo de sistema de dosificación proporciona mayor exactitud en la producción a alta velocidad que en el caso de los sistemas manuales o semiautomáticos.

#### 3.3.3.2 Dosificación individual automática

Este sistema provee básculas y tolvas medidoras separadas para cada tamaño de agregado y para cada uno de los otros materiales que entran en la mezcla. El ciclo de pesado se inicia mediante un interruptor sencillo, y las tolvas medidoras individuales se cargan simultáneamente. Los interruptores para cortar los ciclos de pesado y de descarga cuando las tolerancias se han excedido, los selectores de la mezcla, los medidores y compensadores de humedad en el agregado y los registradores, difieren solamente en detalles de los descritos para los sistemas automáticos de dosificación acumulada.

### 3.4 Materiales cementantes

#### 3.4.1 Dosificación de materiales cementantes

Para una alta producción que requiera una dosificación rápida y exacta, se recomienda que los cementos y puzolanas a granel se pesen con equipo automático, y no semiautomático o manual. Todas las tolvas medidoras deben estar provistas de un acceso para su inspección y estar equipadas para permitir que se tomen muestras en cualquier momento. Las tolvas medidoras deben ser equipadas con dispositivos para ventilación y vibradores para ayudar a lograr una suave y completa descarga del material.

Deben utilizarse las mismas tolerancias para la escala en "cero", y por pesado, descritas en la sección 3.1.2. El cemento o puzolana en sacos, empleado en trabajos pequeños, dosificado manualmente, debe medirse en unidades no menores que un saco, a menos que las fracciones de saco sean pesadas.

### 3.4.2 Descarga de materiales cementantes

Deben tomarse precauciones eficaces para evitar pérdidas de los materiales cementantes al cargar la mezcladora. No debe permitirse la caída libre del cemento de las tolvas dosificadoras. En plantas de paradas múltiples, las pérdidas deben minimizarse descargando el cemento a través de una manguera estrecha. En planta de parada única, el cemento puede cargarse con buen resultado junto con el agregado, a través de conductos telescópicos de hule. Para mezcladoras de planta, debe emplearse un tubo de tamaño adecuado para descargar los materiales cementantes en un punto cerca del centro de la mezcladora, después de que el agua y los agregados hayan empezado a entrar en ella. Se contribuirá de manera notable a mantener la uniformidad entre mezcla y mezcladora durante la operación de carga.<sup>7</sup>

## 3.5 Medición del agua

### 3.5.1 Equipo de dosificación

En las obras grandes y en plantas centrales de dosificación y mezclado, donde se requiera una producción alta, sólo puede conseguirse una medición de agua exacta mediante las tolvas pesadoras automáticas o medidores. El equipo y los métodos que se empleen deben ser capaces, bajo todas las condiciones de operación, de lograr una medición rutinaria exacta dentro de la tolerancia de uno por ciento especificada en la Sección 3.1.2. Se pueden permitir tanques o cilindros verticales con descarga de sifón central, como una parte auxiliar del pesado, pero no deben emplearse como medio directo de medición. El equipo para la dosificación de agua en camión revolvedor debe inyectar el agua bajo presión dentro del tambor, donde se distribuirá bien en la revoltura. Todo el equipo para la medición del agua debe ser diseñado para lograr una fácil calibración, de manera que el grado de exactitud de la medición pueda comprobarse rápidamente.

### 3.5.2 Determinación y compensación de la humedad del agregado

Además de la exacta dosificación del agua que se agrega, la medición del total exacto del agua de la mezcla, depende del saber con exactitud la cantidad y variación de humedad en el agregado (particularmente en la arena), al dosificarlo. Los medidores de humedad en la arena se emplean frecuen-

temente en las plantas, y cuando están debidamente calibradas y tienen mantenimiento adecuado, indican satisfactoriamente la magnitud general y los cambios en el contenido de humedad en la arena. El equipo para compensar la humedad también debe utilizarse, y, mediante un ajuste único, reproporciona los pesos del agua y del agregado fino por cambios en el contenido de humedad del agregado. Los compensadores de humedad se utilizan generalmente para la arena, pero de vez en cuando se emplean también para el tamaño menor del agregado grueso. El ajuste para la humedad en los compensadores se hace manualmente mediante carátulas calibradas, botones o palancas con que están provistos. Hasta ahora, los resultados logrados por los medidores de humedad, no han sido suficientemente exactos como para garantizar su acoplamiento con los compensadores para la operación automática. Sin embargo, su empleo individual se recomienda, y cuando se usan en conjunción con pruebas convencionales de control de humedad llevadas a cabo regularmente, pueden ser herramientas útiles para mantener un control satisfactorio del agua de mezclado calculada.

### 3.5.3 Agua de mezclado total

Mantener uniformidad en la medición del agua para el mezclado total implica, además del peso exacto del agua añadida, un control de las fuentes de agua adicionales, como son el agua para el lavado de la mezcladora, el hielo y el agua libre en los agregados. Una de las tolerancias especificadas (ASTM C94), para exactitud en la medición del agua de mezclado total de todas las fuentes, es de  $\pm 3\%$ . Otra recomendada por el comité, es que la variación en la relación agua/cemento no exceda de  $\pm 0.02$ .

## 3.6 Medición de los aditivos

El empleo de aditivos en el concreto, particularmente agentes inclusores de aire, es una práctica universalmente aceptada. La tolerancia de dosificación (Sección 3.1.2) y la interrelación de carga y descarga descritas anteriormente para otros ingredientes de la mezcla, deben ser provistos para los aditivos. La dosificación y el equipo de distribución que se usa debe calibrarse fácilmente. Un requisito mínimo de comprobación cuando se emplean surtidores controlados por reloj (timer), debe ser unos tubos de inspección visual, en conjunto con la operación de dosificación.

Para información adicional sobre prácticas recomendadas para el uso y suministro de aditivos en el concreto, el lector puede referirse al informe del ACI, Comité 212, "Guide for Use of Admixtures in Concrete".<sup>21</sup>

## 3.7 Medición de materiales para trabajos pequeños

En ocasiones el volumen de concreto en un trabajo es tan pequeño, 75 m<sup>3</sup> (100 yardas cúbicas) o menos, que no es práctico establecer y mantener una

## MEDICIÓN, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO

planta de dosificación y mezclado en el lugar de la construcción. En este caso es preferible emplear concreto premezclado o materiales dosificados en seco en la planta, con mezclado en camión en el lugar del trabajo.

Si no hay concreto disponible dosificado en la planta, aun así pueden tomarse las precauciones adecuadas para medir y mezclar apropiadamente los materiales del concreto. El cemento en sacos debe ser protegido de la humedad, y los sacos incompletos no deben emplearse sin antes pesarlos. El dispositivo para medir el agua debe ser exacto y seguro, y no debe excederse de la capacidad de la mezcladora.

### 3.8 Otras consideraciones

Además de la medición exacta de los materiales, también deben emplearse procedimientos correctos de operación si se quiere mantener la uniformidad del concreto. Se debe tener cuidado de asegurar que los materiales que se han pesado estén puestos en la secuencia apropiada, y combinados de manera que se carguen como medidas uniformes dentro de la mezcla.<sup>17</sup>

Algunas de las deficiencias comunes que han de evitarse son:

1. Traslape de mezclas al cargar y descargar los camiones o carros de mezclas múltiples.
2. Pérdida de materiales al transferir mezclas a mezcladoras portátiles.
3. Pérdida o colgamiento de una parte de una mezcla, o su inclusión con otra cuando las mezclas se trasladan por bandas o tolvas.

## CAPITULO 4 MEZCLADO

### 4.1 Requisitos generales

Es esencial un mezclado completo para la producción de un concreto uniforme. Por lo tanto, el equipo y los métodos empleados deben ser capaces de mezclar eficazmente los materiales de concreto que contengan el mayor tamaño de agregado especificado, para producir mezclas uniformes con el menor revenimiento que sea práctico para el trabajo. Las recomendaciones sobre el tamaño máximo del agregado y del revenimiento que se han de emplear para diversos tipos de construcción se dan en la norma ACI 211.1-70.<sup>18</sup> Debe proveerse suficiente mezclado, así como los medios para transportarlo y colocarlo, para que exista continuidad y quede libre de juntas frías.

### 4.2 Diseño y mantenimiento de las mezcladoras

Los tipos más comunes de mezcladoras son las de tambor, de eje vertical, y la de espas en espiral. Una mezcladora de tambor, de diseño satisfactorio, tiene un arreglo de espas en espiral y una forma de tambor para asegurar de extremo a extremo el intercambio de materiales paralelo al eje de rotación, y un movimiento envolvente que voltea y esparce la mezcla sobre sí misma al mezclarse. En la mezcladora de eje vertical, las espas giran sobre ejes verticales que operan en un recipiente fijo o giratorio que da vueltas en sentido opuesto. Con esta mezcladora, la mezcla puede observarse fácilmente, y, si se necesita, se puede hacer un ajuste rápido. La mezcladora de paleta en espiral consta de un eje horizontal movido por fuerza motriz con paletas en espiral que operan dentro de un tambor horizontal. Para una descripción adicional de los diversos tipos de mezcladoras, el lector debe consultar: "Concrete Plant Mixer Standards of the Mixer Manufacturers Division of the Concrete Plant Manufacturers Bureau".<sup>22</sup>

Las mezcladoras fijas deben estar equipadas con dispositivos para regular el tiempo a fin de evitar insuficiencia o exceso en el mezclado. La cantidad de mezcla no debe exceder de la capacidad nominal que el fabricante señale en el rótulo de la mezcladora. A las mezcladoras debe dárseles un mante-

nimiento apropiado para impedir la salida del mortero o de materiales secos, y la superficie interior de las mezcladoras deben guardarse limpias y reemplazarse las paletas gastadas. Las mezcladoras que no cumplen las normas de rendimiento señaladas en la sección 4.4, deben ponerse fuera de servicio, hasta que sean reparadas para corregir su funcionamiento deficiente.

#### 4.3 Carga de la mezcladora

La importancia de cargar tanto las mezcladoras fijas como las de camión, para obtener un efecto de premezclado, cuando la corriente fluye dentro de la mezcladora, se citó anteriormente en el capítulo 3.<sup>7,17,21</sup> Es preferible que el cemento se cargue junto con otros materiales, pero debe entrar en la descarga después de que aproximadamente el 10% del agregado haya entrado en la mezcladora. Cuando sea necesario cargar cemento en mezcladoras de camión por separado, puede ser necesario un tiempo adicional para el mezclado a fin de obtener la deseada uniformidad en la mezcla.

El agua debe entrar primero en la mezcladora, y continuar fluyendo mientras los demás ingredientes se van cargando. Las tuberías para cargar el agua deben ser de diseño apropiado y de tamaño suficiente, de manera que el agua entre bien en la mezcladora y termine de introducirse dentro de un 25% inicial del tiempo de mezclado.<sup>24</sup>

Los aditivos deben cargarse en la mezcladora en el mismo punto de la secuencia del mezclado, mezcla tras mezcla. Los aditivos líquidos deben cargarse con el agua, y los aditivos en forma de polvo deben ser vertidos dentro de la mezcladora con otros ingredientes secos. Cuando se emplea más de un aditivo, cada uno debe dosificarse por separado y no deben premezclarse antes de entrar en la mezcladora.

#### 4.4 Rendimiento de la mezcladora

Los medios para determinar el rendimiento de las mezcladoras se basan en resultados de pruebas entre dos o más muestras tomadas de diversos puntos de la mezcla, o entre nuestras distintas tomadas en un mismo punto, y en un promedio de todas las muestras, las cuales deben arrojar una uniformidad con diferencias tolerables.<sup>2,8,23</sup>

Entre las muchas pruebas usadas para verificar el funcionamiento de una mezcladora, las siguientes son las más comunes:<sup>2,8,23</sup> contenido de aire, revenimiento, peso unitario del mortero libre de aire, resistencia a la compresión, contenido de agua en el mortero, el contenido de cemento en el mortero seco, y el contenido de agregado grueso.

Otro aspecto importante del funcionamiento de una mezcladora es la uniformidad entre mezclas del concreto, que, aunque en gran parte es el resultado de la uniformidad de los materiales y su medición, también lo es por la eficiencia de la mezcladora. Una observación visual del concreto

durante el mezclado y la descarga de la mezcladora constituye una importante ayuda para mantener una mezcla uniforme, sobre todo de consistencia constante. Algunos medidores de consistencia, como los que trabajan en el amperaje del mecanismo de transmisión eléctrico de las mezcladoras giratorias de tambor, también en ocasiones han sido útiles. Sin embargo, el método de control para mantener la uniformidad entre mezclas consiste en un programa de pruebas regularmente planeado.

#### 4.5 Tiempo de mezclado para mezcladoras fijas

El tiempo del mezclado debe basarse en la capacidad de la mezcladora para producir un concreto uniforme en cada mezcla y mantener la misma calidad en las mezclas siguientes. Las recomendaciones del fabricante y las especificaciones usuales, tal como 1 minuto por yarda cúbica más ¼ de minuto por cada yarda cúbica adicional de capacidad, pueden utilizarse como guías satisfactorias para establecer el tiempo inicial de mezclado. Sin embargo, los tiempos de mezclado que se determine emplear deben basarse en los resultados de las pruebas de efectividad de la mezcladora que se practiquen a intervalos regulares mientras que dura la obra.<sup>2,7,8,23</sup> El tiempo de mezclado debe medirse a partir del momento en que todos los ingredientes estén dentro de la mezcladora. Es deseable que las plantas automáticas, y también las plantas manuales, se provean con indicadores audibles, empleados en combinación con intercierres que impidan la descarga de la mezcladora antes de terminarse el tiempo de mezclado prefijado. La mezcladora debe estar diseñada para ponerse en marcha y detenerse con carga completa.

#### 4.6 Temperatura de la mezcla

La uniformidad entre mezclas de concreto de una mezcladora, particularmente en cuanto al revenimiento, requisitos de agua, y contenido de aire, también depende de la uniformidad de la temperatura del concreto. Es, por lo tanto, importante que las temperaturas máxima y mínima del concreto sean controladas durante todas las estaciones del año. Las recomendaciones sobre el control de temperatura del concreto están discutidas en detalle en las normas del ACI sobre la colocación del concreto en clima cálido y en clima frío.<sup>25,26</sup>

#### 4.7 Remezclado

Con tal de no excederse en la relación agua-cemento de la dosificación, pueden agregarse a la mezcla pequeñas cantidades de agua de remezclado para lograr el revenimiento deseado.<sup>8,10,25</sup> Sin embargo, debe prohibirse la producción de concreto de revenimiento excesivo o agregar agua (que exceda a la relación agua-cemento de diseño), para compensar la pérdida de revenimiento como resultado de demoras en la entrega o en la colocación.

4.8 Descarga de la mezcladora

Las mezcladoras deben ser capaces de descargar concreto de revenimiento más bajo, como el que llegare a requerir la construcción en que se trabaja, sin segregación (separación del agregado grueso del mortero). Debe también evitarse la segregación en las operaciones de manejo y descarga en las tolvas de retención y los transportadores de transbordo por los procedimientos mostrados en las figs. 4.8a, 4.8b y 4.8c.

4.9 Concreto premezclado

El concreto premezclado puede mezclarse en una planta central y transportarse a la obra en camiones agitadores o no-agitadores, mezclarse enteramente en tránsito, o después de llegar al sitio de trabajo, o mezclarse parcialmente en una planta central y terminarse en tránsito o en la obra ("mezclado de contracción"). Las instalaciones de concreto premezclado bien equipadas y controladas constituyen una excelente fuente de concreto de calidad. Un problema que requiere una atención especial en estas operaciones es la adición no controlada de cantidades incorrectas de agua de mezclado con la resultante reducción en la calidad del concreto. La responsabilidad de la calidad del concreto premezclado puesto en sitio se comparte entre el proveedor del concreto y el contratista colocador, quienes, mediante una estrecha cooperación, deben utilizar controles de trabajo apropiados, para evitar demoras debidas a procedimientos inadecuados de despacho, manejo, colocación o consolidación. La seguridad de que se emplean métodos apropiados de control para obtener la calidad requerida del concreto ya colocado, depende finalmente del inspector designado por el propietario.

Además de los ingredientes de la mezcla, el agua que se requiere para la apropiada consistencia (revenimiento) del concreto, se afecta por factores tales como magnitud y velocidad del mezclado, la distancia del transporte, el tiempo de descarga, y las condiciones de temperatura ambiente. En clima fresco, y para distancias cortas y entregas rápidas, rara vez existen problemas tales como pérdida o variación en el revenimiento, requerimientos excesivos de agua de mezclado, y problemas de descarga, manejo y colocación. Sin embargo, es al revés cuando la velocidad de entrega es lenta o irregular, las distancias de transporte son largas y el clima es caluroso. Las adiciones de agua para compensar la pérdida de revenimiento no deben exceder lo que se necesite para compensar una pulgada (2.5 cm) de pérdida en el revenimiento, ni debe excederse la relación máxima agua-cemento del diseño. La pérdida de trabajabilidad en clima cálido bien puede minimizarse haciendo más expedita la entrega y la colocación, controlando la temperatura de la mezcla y, cuando sea apropiado, utilizando retardantes. Cuando es factible, toda el agua de mezclado debe dosificarse en la planta central. Sin embargo, en clima caluroso es frecuentemente deseable retener parte del agua de mezclado hasta que la mezcladora llegue a la obra. Con

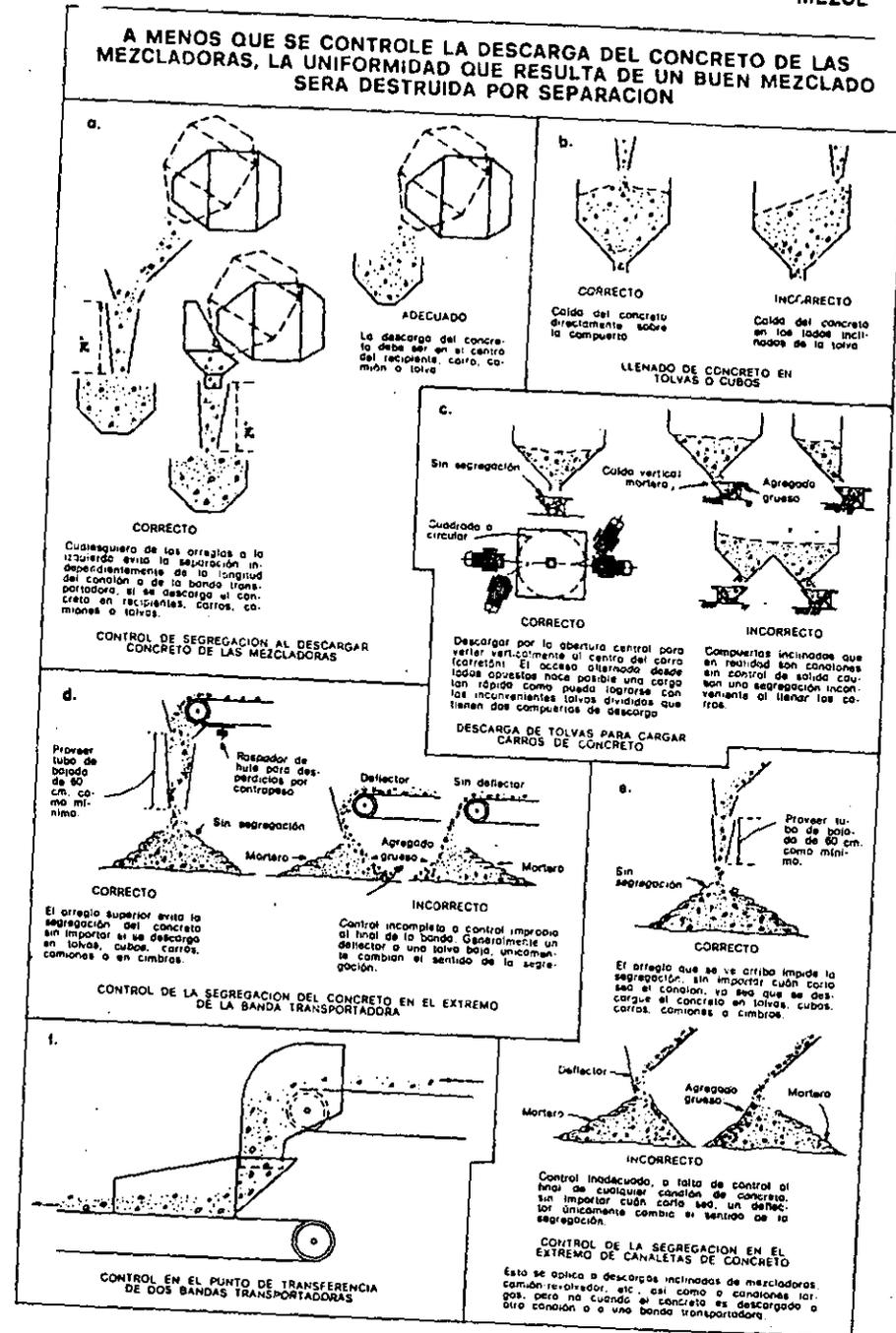


Fig. 4.8. Métodos correctos e incorrectos de manejo de concreto.

## MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

la adición del agua que falta se requieren otras 30 revoluciones a velocidad de mezclado para incorporar adecuadamente a la mezcla el agua adicional. Cuando las pérdidas de revenimiento o trabajabilidad no pueden ser compensadas con estas medidas, todo el mezclado debe llevarse a cabo en la obra, empleando materiales secos dosificados en planta.

Las recomendaciones para los tiempos y volúmenes de mezclado para mezcladoras de camión se dan en el Capítulo 5, Secciones 5.2, 5.2.1, 5.2.2, 5.3 y 5.3.1.

## CAPITULO 5

# TRANSPORTE DEL CONCRETO

### 5.1 Consideraciones generales

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos, tales como camión-revolvedor, camión de caja fija, con o sin agitadores; cucharones transportados por camión o carro de ferrocarril; por conductos o mangueras, o por bandas transportadoras. Cada tipo de transportación posee ventajas y desventajas específicas que dependen de las condiciones del uso, los ingredientes de la mezcla, la accesibilidad y ubicación del sitio de colocación, la capacidad y tiempo de entrega requeridos, y las condiciones ambientales. Algunos de los sistemas de transporte descritos en este capítulo se tratarán con más detalles en capítulos subsecuentes.

### 5.2 Mezclado y transporte en camiones de tambor giratorio

Algunas especificaciones limitan las revoluciones totales del tambor que pueden emplearse para la carga, mezclado, agitación y descarga del concreto en camiones de tambor giratorio. Otras fijan límites en el número de revoluciones para velocidad de mezclado. También a menudo se especifica para el mezclado un tiempo máximo de una y media horas a partir del momento en que el cemento haya entrado en el tambor y hasta que termine la descarga. También se prevé una reducción del tiempo máximo de espera en climas calientes.<sup>8</sup> Otro método de especificación es no poner límites a las revoluciones o al tiempo de espera, mientras no se exceda el agua de mezclado especificada, no se agregue agua de remezclado o mientras el concreto conserve propiedades físicas plásticas satisfactorias, consistencia y homogeneidad para su colocación y consolidación. Esta manera de proceder es favorecida específicamente en relación con el tiempo máximo permisible para descargar, y es particularmente aplicable cuando el concreto tiene una temperatura fresca o cuando no hace calor. La determinación final de si se está o no logrando satisfactoriamente el mezclado, debe basarse en las pruebas normales de uniformidad de la mezcladora.<sup>2,8,23</sup>

Hay gran variedad de contadores disponibles y deben ser recomendados y utilizados en todas las unidades de camión de tambor giratorio.

### 5.2.1 Concreto mezclado en camión

El mezclado en camión es un proceso en el cual los materiales para concreto previamente dosificados en una planta dosificadora se transfieren a un camión revolvente donde se lleva a cabo la operación de mezclado. Muchos productores dosifican todos los ingredientes en el camión revolvente funcionando a velocidad de carga, detienen el tambor cuando el camión está cerca de la obra, o bien cuando ha llegado a ella, y entonces llevan a cabo el mezclado. Otro procedimiento consiste en completar todo el mezclado en el camión revolvente, en el patio del productor, haciendo el viaje o la obra con el tambor sin girar.

Cuando el tambor se está cargando, debe girarse a la velocidad designada por el fabricante. Después de cargar completamente todos los materiales, el tambor debe girarse a la velocidad de mezclado, empleando entre 70 y 100 revoluciones para completar el mezclado bajo condiciones normales.<sup>24</sup> Si transcurre tiempo adicional después del mezclado y antes de descargar, la velocidad del tambor se reduce a la velocidad de agitación, o se detiene. Antes de la descarga, el tambor debe girarse de nuevo a velocidad de mezclado por unas 10 a 15 revoluciones, para remezclar los posibles puntos de estancamiento, cerca ya a la descarga. El volumen absoluto total de todos los ingredientes dosificados para mezclado completo en un camión de tambor giratorio, no debe exceder el 63% de la capacidad del tambor.<sup>8</sup>

### 5.2.2 Concreto mezclado parcialmente en planta fija y terminado en tránsito

El concreto transportado por este método se mezcla por poco tiempo, generalmente de 15 a 30 segundos en una mezcladora fija en la planta, y el mezclado se completa en el tambor del camión. Los requisitos para este tipo de concreto son los mismos que para el concreto mezclado en camión, excepto que el tiempo de mezclado dentro del tambor del camión será reducido a lo determinado como satisfactorio por las pruebas de uniformidad.<sup>8</sup>

### 5.2.3 Concreto dosificado en seco

Mediante este método, los materiales secos se transportan al sitio de la obra en el tambor del camión, y el agua de mezclado se lleva por separado, en un tanque montado en el mismo camión. El agua se agrega a presión, de preferencia a la entrada y en la parte posterior del tambor que está girando a velocidad de mezclado, y el mezclado se completa con las usuales 70 a 100 revoluciones que se requieren para las mezcladoras de camión. Este método que evoluciona como una solución para viajes largos y demoras en la coloca-

ción, permite con seguridad un mayor tiempo de espera para transporte y la descarga. Sin embargo, la humedad libre en los agregados, que debe considerarse como parte del agua de mezclado, provoca algo de hidratación en el cemento. Por lo tanto, los materiales no pueden mantenerse indefinidamente de esta manera. El volumen total de concreto que puede transportarse por este método es el mismo (63%)<sup>8</sup> que en el caso del mezclado en camión normal.

## 5.3 Transporte de concreto mezclado en planta

### 5.3.1 Tambor giratorio

Por este método, el camión-revolvente ya descrito sirve como unidad agitador de transporte. El tambor se gira a velocidad de carga durante la carga y luego se reduce a velocidad de agitación o se detiene después de completar la carga. El tiempo transcurrido para la descarga del concreto puede ser el mismo que en el caso del mezclado en camión, y el volumen transportado puede aumentarse hasta el 80% de la capacidad del tambor.<sup>8</sup>

### 5.3.2 Camión de caja fija, con o sin agitador

Las unidades empleadas en esta forma de transporte constan de una caja abierta, montada sobre un camión. La caja metálica debe tener superficies de contacto lisas, perfiladas, y, en general, está diseñada para descargar el concreto por la parte de atrás, cuando la caja es volteada. Una puerta de descarga y vibradores montados en la caja deben proveerse en el punto de descarga para controlar el flujo. Un agitador ayuda en la descarga, y mezcla el concreto al descargarse. Sin embargo, jamás debe agregarse agua en la caja del camión, porque no se logra nada de mezclado con el agitador.

El uso de cubiertas protectoras para las cajas de camión durante mal-clima, la apropiada limpieza de todas las superficies de contacto y caminos de transporte llanos, contribuyen significativamente a la calidad y eficiencia de esta forma de transportación. El tiempo de entrega usualmente especificado es de 30 a 45 minutos, aunque las condiciones de temperatura puedan, o requieran, menos tiempo, o permitan tiempos más largos.

### 5.3.3 Recipientes para concreto montados en camiones o carros de ferrocarril

Este es un método común de transporte de concreto masivo desde la planta de mezclado hasta un punto cerca del lugar de colocación. Una grúa entonces levanta el recipiente hasta el punto final de colocación. En ocasiones, se usan carros de traslado, que operan en rieles, para transportar el concreto desde la planta de mezclado hasta los recipientes que se operan en cable-

vías. La descarga del concreto de los carros de transporte al recipiente, que puede ser por el fondo, o por alguna forma de volteo, debe ser cuidadosamente controlada para impedir la segregación. El tiempo de entrega por transporte en esta forma es el mismo que para otras unidades sin agitador, generalmente de 30 a 45 minutos.

#### 5.3.4 Otros métodos

El transporte de concreto mediante banda transportadora y por métodos de bombeo se discutirá en los capítulos 6 y 9, respectivamente.

Se han utilizado recipientes de hule pesado de dos compartimientos para transportar volúmenes de concreto sin mezclar a sitios apartados de construcción en terreno quebrado. Un compartimiento interior contiene el cemento, y otro compartimiento exterior circundante contiene el agregado y el agua. Se proveen anillos para el izado y la descarga. El predosificado y transporte de esta manera proporcionan un medio de control de calidad en las obras apartadas, que de otra manera no suele lograrse.

#### 5.4 Objetivo final

El método de transporte que se utilice debe entregar eficazmente el concreto en el punto de colocación, sin alterar de manera significativa las propiedades deseadas en cuanto a la relación agua/cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. Cada método de transporte tiene sus ventajas bajo condiciones particulares de uso, que atañen a renglones tales como diseño y mezcla de materiales, tipo y accesibilidad de la colocación, capacidad de entrega requerida, ubicación de la planta de dosificación y otros. Estas diversas condiciones deben revisarse cuidadosamente al seleccionar el tipo de transporte más apropiado para lograr concreto económico y de calidad en la obra.

## COLOCACION DEL CONCRETO

### 6.1 Consideraciones generales

El capítulo 5 describe el equipo y los procedimientos para transportar concreto para la dosificación y mezclado, o sólo para dosificar, al sitio de colocación. Este capítulo presentará las prácticas recomendadas para trasladar el concreto del vehículo de transporte a su posición final en la estructura en construcción. La colocación de concreto se efectúa con recipientes, tolvas, carritos propulsados de mano o con motor, conductos o tubos de caída, bandas transportadoras, aire comprimido, bombeo, tubo-embudo, y equipo para pavimentar. Las figuras 4.8 y 6.1 muestran varios de los métodos de manejo y colocación discutidos en este capítulo, dando ejemplos de procedimientos de construcción eficientes y deficientes.

La colocación del concreto por el método de agregado precolocado, tubo-embudo, y bombeo, se discuten en los capítulos 7, 8 y 9, respectivamente, y otro método neumático bien establecido para la colocación de concreto se describe en "Recommended Practice for Shotcreting" (ACI 506-66).<sup>27</sup>

Un requisito básico del equipo y métodos de colocación, como de todos los demás equipos y métodos de manejo, es que debe conservar la calidad del concreto en lo referente a la relación agua/cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. La selección del equipo debe basarse en su capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas, de tal modo que pueda ser fácilmente consolidado en su lugar mediante vibración. No debe emplearse equipo en el que sea necesario ajustar las proporciones de la mezcla fuera de los límites recomendados por el ACI, particularmente los del ACI 211.1-70.<sup>10</sup>

Debe preverse suficiente capacidad de colocación, mezclado y transporte, de manera que el concreto pueda mantenerse plástico y libre de juntas frías mientras se coloca. Debe colocarse en capas horizontales que no excedan de 60 cm (2 pies) de espesor, evitando capas inclinadas y juntas de construcción. Para construcción monolítica, cada capa debe colocarse cuando la capa subyacente todavía responda a la vibración, y las capas deben ser lo suficientemente poco profundas como para permitir la unión entre sí, mediante una vibración apropiada.<sup>28</sup> El concreto debe depositarse en su posición final de

colocación o cerca de ella, eliminando la tendencia a segregarse cuando tiene que ser movido lateralmente a su lugar. En superficies inclinadas, el concreto debe colocarse primero en la porción más baja de la pendiente (figuras 6.1e, 6.1i y 6.1k), continuando hacia arriba, y así aumentar la natural consolidación del concreto. Debe evitarse la descarga a alta velocidad, que origina la segregación del concreto.

Las superficies acabadas del concreto colocado deben protegerse con paños planeados y coberturas, hasta que estén lo suficientemente fuertes como para resistir daños del tipo de tránsito al que serán expuestas.

El acero de refuerzo debe estar limpio, en posición correcta, y bien sostenido y asegurado antes de empezar la colocación del concreto.

Si se desea colocar concreto de manera monolítica en una viga peraltada, muro, o columna con una losa o voladizo encima, debe programarse una demora que permita el asentamiento del concreto inferior antes de colocar el concreto de la losa o voladizo. El tiempo de demora dependerá de la temperatura y las características del fraguado del concreto que se emplea, pero la colocación debe empezarse lo suficientemente pronto como para permitir la liga de la capa nueva con la anterior.

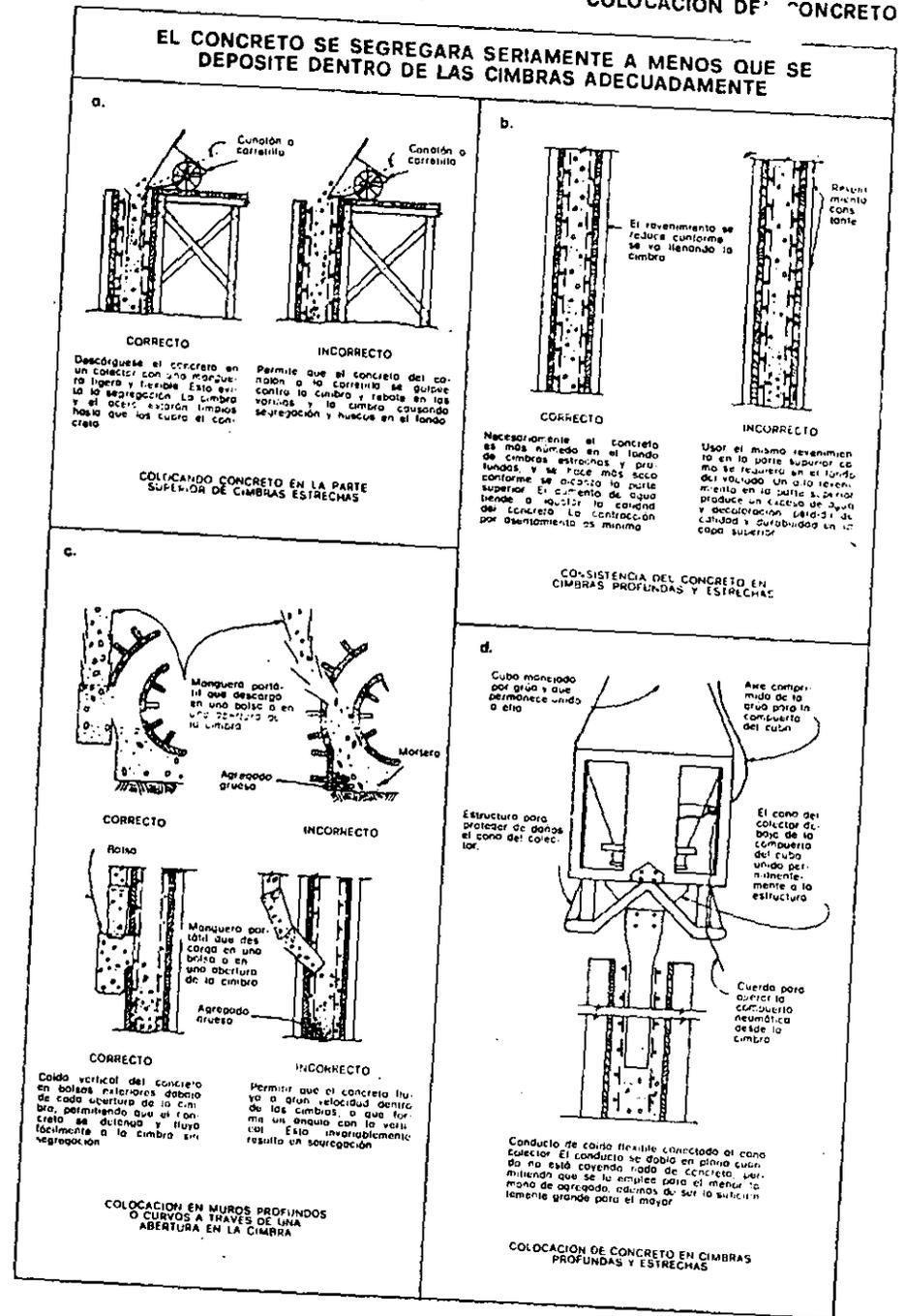
El método escalonado de colocación debe emplearse en estructuras masivas donde se abarcan grandes áreas, para impedir la formación de juntas frías. En este método, la colocación de concreto va haciéndose por una serie de capas horizontales escalonadas de aproximadamente 45-60 cm (1½ a 2 pies) de espesor. La colocación del concreto en cada capa (nivel) se extiende por la anchura total del bloque, y las operaciones de colocación progresan desde un extremo de la elevación hacia el otro, exponiendo solamente pequeñas áreas de concreto a la vez. Al progresar la colocación, parte de la misma estará ya terminada ("rematada"), mientras que la colocación continuará en lo que queda.

Para una discusión más completa de la colocación de concreto masivo, véanse las referencias 2, 5, 6 y 69.

### 6.2 Separación del agregado y mortero

El equipo y el método utilizados para colocar el concreto deben evitar la separación de agregado grueso del concreto. Aunque no son objetables los pedazos dispersos de agregado grueso, las aglomeraciones y bolsas de agregado grueso sí son objetables y deben distribuirse antes de colocar concreto sobre ellos para impedir bolsas de roca y cavidades en el trabajo terminado. Es un error común creer que la segregación del agregado se eliminará con las operaciones de colocación y consolidación subsiguientes (figuras 6.1f, 6.1h, 6.1j y 6.1m).

El equipo debe disponerse de manera que el concreto no tenga restricción en la caída vertical al centro del lugar de la colocación o del recipiente que lo reciba. El chorro del concreto no debe separarse permitiendo que caiga libremente sobre varillas, espaciadores, refuerzos u otros materiales empo-



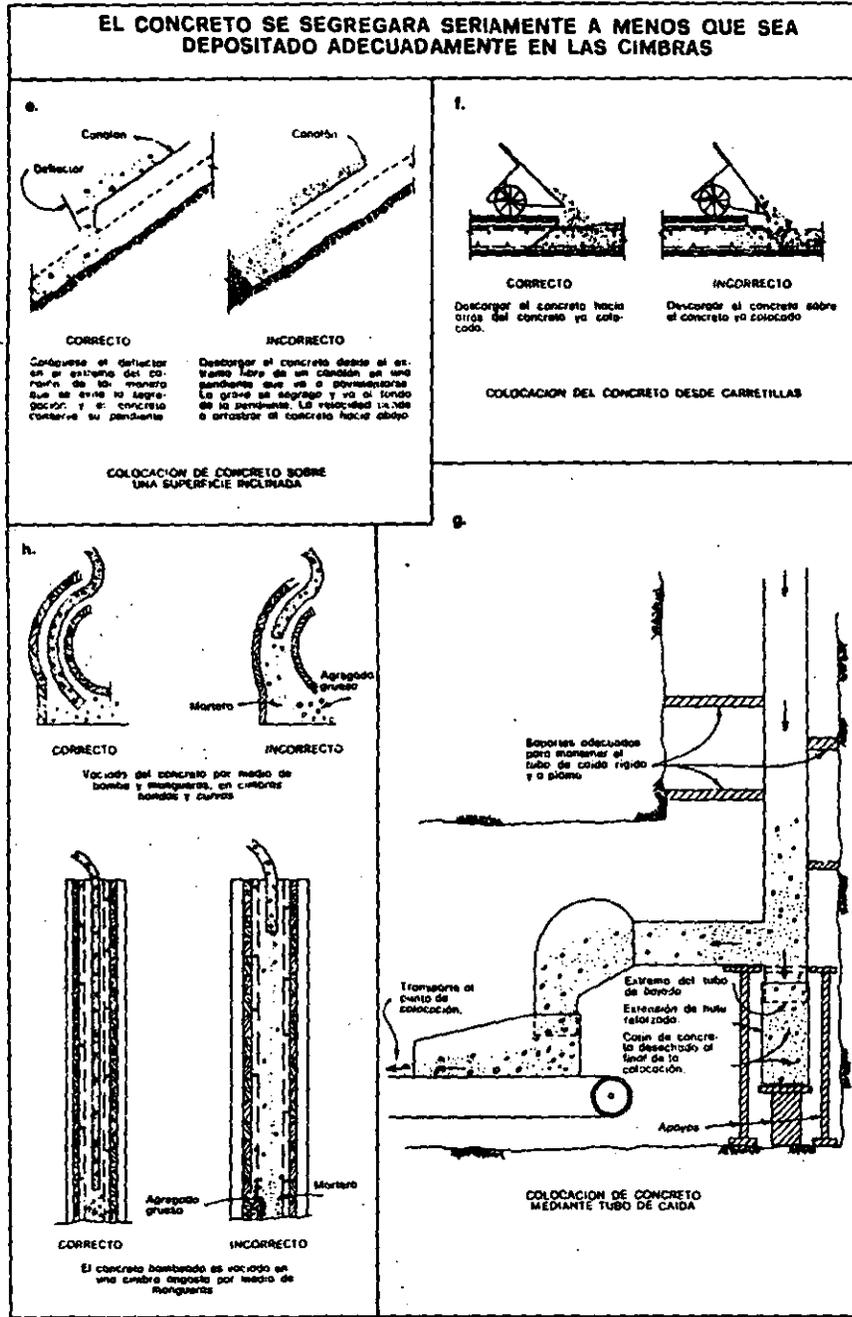


Fig. 6.1 (e-h) Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.

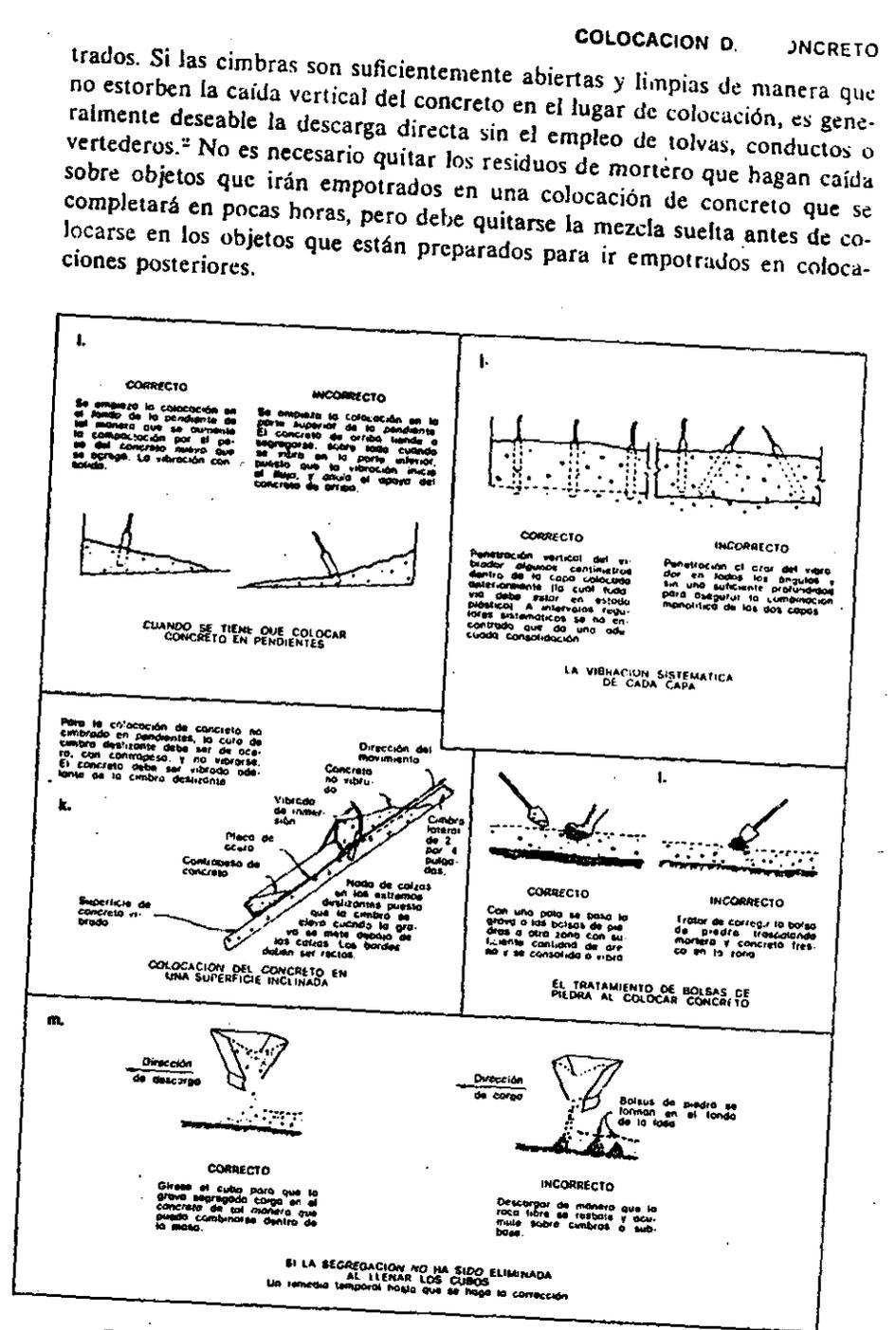


Fig. 6.1. (l-m) Métodos correctos e incorrectos de consolidación.

## MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

Las figuras 4.8 y 6.1a-6.1h muestran cómo pueden evitarse muchas de las causas comunes de la segregación en la colocación del concreto.

### 6.3 Equipo de colocación

#### 6.3.1 Tolvas de sección circular y rectangulares

El empleo de tolvas de sección circular con descarga por la parte inferior, diseñadas apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el más bajo revenimiento práctico, compatible con la consolidación mediante vibración. Las puertas de descarga deben tener una salida libre que equivalga a no menos de una tercera parte del área máxima horizontal interior o cinco veces el tamaño máximo del agregado que se está empleando. Las paredes laterales deben ser inclinadas, por lo menos 60 grados respecto a la horizontal. Los controles en las puertas deben permitir que el personal que trabaja en la colocación las abra o las cierre durante cualquier etapa del ciclo de descarga.<sup>6</sup>

Deben utilizarse, en cuanto a las tolvas de sección rectangular, criterios similares de diseño, con paredes laterales inclinadas y suficiente amplitud de abertura, de acuerdo con el tamaño máximo del agregado y el revenimiento de concreto.

Deben seguirse los principios de llenado y descarga, empleando las caídas verticales libres de obstrucciones, mostradas en las figuras 4.8a-4.8c y 4.8e cuando se usan cubos y tolvas. El amontonamiento de concreto por la descarga de las tolvas demasiado arriba o cercana de la superficie, o mientras están en movimiento, da lugar a causas comunes de segregación. Debe evitarse la contaminación descansando las tolvas sobre plataformas, sin balancearlas sobre el concreto descubierto que acaba de terminarse. El concreto derramado no debe recogerse con palas y devolverse a las tolvas para su uso subsecuente.

#### 6.3.2 Carros manuales o motorizados "buggies"

Es importante el empleo de vías lisas y rígidas para impedir la separación de los materiales del concreto durante el tránsito. Las distancias máximas de entrega recomendadas para carritos mecanizados es aproximadamente de 120 m (1 000 pies) y para carritos impulsados manualmente y carretillas, aproximadamente de 60 m (200 pies).

#### 6.3.3 Canales y tubos de caída

Los canales se emplean con frecuencia para trasladar concreto de elevaciones superiores a inferiores. Deben ser de fondo curvo y construidos o forrados de metal y tener suficiente capacidad para evitar derrames. La inclinación debe ser constante y suficiente para permitir que el concreto del

## COLOCACION D ONCRETO

revenimiento requerido en el sitio, fluya continuamente por el canalón sin segregarse. Debe controlarse el flujo del concreto en el extremo del canalón para evitar la segregación (véase figura 6.1e); los canales demasiado largos y descubiertos deben cubrirse para evitar la evaporación y la pérdida de revenimiento.

Los tubos de caída que se emplean para trasladar verticalmente el concreto desde niveles altos son circulares. El tubo debe tener un diámetro de por lo menos ocho veces el tamaño máximo del agregado. Deben ser firmes, a plomo, y colocados de tal manera que el concreto caiga verticalmente. Un método satisfactorio para disipar la energía acumulada de caída libre es hacer que el concreto caiga sobre un colchón amortiguador de concreto al extremo del tubo (figura 6.1g). Esto se logra fijando un saco de tipo reforzado al final del tubo y efectuando la descarga lateral del concreto por medio de aberturas justamente arriba del saco. Esto proporciona un colchón de concreto al final de la caída, y el concreto fluye hacia la colocación por las aberturas de descarga laterales del tubo. La colocación se inicia cubriendo el tubo con una lechada de mortero antes de depositar el primer concreto. La mezcla de concreto suele tener un contenido de arena mayor que el normal, manteniendo el revenimiento entre 7.5 hasta 15 cm (3 a 6 pulgadas). El concreto se ha vertido así con buenos resultados hasta 1 500 m (5 000 pies).<sup>7</sup> Es necesario que haya comunicación telefónica entre la cima del tubo y el sitio de colocación.

#### 6.3.4 Bandas transportadoras

El empleo de transportadoras de banda se ha establecido bien en la construcción de concreto. Las transportadoras pueden clasificarse en tres tipos: 1) transportadoras portátiles o autosuficientes; 2) transportadoras alimentadoras o en serie; y 3) transportadoras de descarga lateral o esparcidoras. El tipo de alimentador o transportador en serie funciona a velocidades de banda altas, generalmente a más de 150 m/min (500 pies por minuto) y los tipos portátiles y de descarga lateral operan a velocidades menores. Todos los tipos dependen de la combinación apropiada del ancho de la banda transportadora y de la velocidad para lograr la velocidad de colocación deseada.

Con el concreto debe alimentarse la transportadora por medio de una tolva para obtener un listón uniforme de material a lo largo de la banda (figura 4.8f). Las transportadoras deben estar apoyadas adecuadamente para lograr un transporte suave, sin vibración, a lo largo de la banda, y el ángulo empleado de inclinación o de declive debe controlarse para eliminar la tendencia del agregado grueso a separarse del mortero de la mezcla. La inclinación máxima que se puede emplear con una banda transportadora es variable, y es una función tanto de la mezcla del concreto como del dueño de la banda. Unas bandas con corrugados pequeños rectos o costillajes en la superficie que lleva la carga, pueden transportar concreto a través de

inclinaciones empinadas, con mayor éxito que las bandas lisas. Debe prestarse atención especial a los puntos en los cuales se carga el concreto sobre la banda y a los puntos de traslado o descarga, pues éstos son los lugares en donde la segregación tiende a efectuarse (figuras 4.8d y 4.8f). Deben utilizarse en estos puntos tolvas, canalones, y conductos troncales apropiadamente diseñados, o combinaciones de éstos para conservar la homogeneidad del concreto. Además, debe equiparse el punto de descarga en cada banda transportadora con una regla limpiadora o raspadora, para limitar la pérdida de mortero.

La colocación de corto alcance, generalmente se maneja mejor con transportadoras portátiles con un voladizo, con el punto de descarga más allá que las ruedas del armazón de sustentación, pudiendo subirse o bajarse aquéllas por unidades independientes.

La colocación de largo alcance se maneja generalmente por unidades fijas, formadas de un número de bandas transportadoras en serie. Las bandas alimentadoras en estas colocaciones de alcance más largo funcionan a velocidades altas de banda, generalmente a más de 150 m/min (500 pies por minuto), de modo que se logra una alta capacidad con bandas estrechas, reduciendo así a un mínimo el tiempo durante el cual el concreto está expuesto a condiciones ambientales adversas.

Cuando se emplean transportadoras para depositar concreto en colocaciones profundas, tolvas apropiadamente diseñadas con trompas de elefante deben usarse para introducir el concreto a poca distancia de la superficie en donde se vacía. También, como en cualquier otro método de colocación, el punto de descarga desde la banda transportadora debe moverse con frecuencia, para que el concreto no tenga que moverse lateralmente de posición por vibración u otro método. Esto se logra mediante el uso de unidades radiales, variables y unidades de descarga lateral.

El movimiento de la transportadora, mientras el concreto está pasando por la banda, debe planearse con anticipación, reduciéndosele al mínimo.

Para evitar la segregación, el concreto fresco debe depositarse sobre concreto plástico colocado previamente, hasta donde esto sea posible. Deben emplearse protecciones o cubiertas para las transportadoras, cuando las condiciones climatológicas (lluvia, viento y sol), y temperaturas ambientes sean severas, de manera que no ocurran cambios significativos en el revenimiento o temperatura del concreto. Generalmente se logra la máxima eficiencia con la banda transportadora, con una mezcla de concreto plástica y homogénea, controlada a un revenimiento de 6.5 a 7.5 cm (2½ a 3 pulgadas).

### 6.3.5 Equipos de pavimentación

El empleo de mezcladoras grandes, esparcidoras de alta capacidad y pavimentadoras de cimbra deslizante,<sup>29,30</sup> hace posible pavimentar con grandes volúmenes de concreto a ritmo acelerado. Para una pavimentación bien lograda, se requiere la mayor parte de los mismos principios de control de

calidad que se usan en otras formas de colocación de concreto, pero debido a la velocidad de la colocación, las desviaciones halladas que no cumplan los requisitos para una calidad aceptable tienen que corregirse rápidamente. Algunos de los problemas más frecuentes que pueden afectar negativamente la calidad deseada en la pavimentación, también se comparten con otros tipos de colocación; por ejemplo, poca uniformidad de mezclado de mezcla a mezcla, variaciones en el revenimiento y en el contenido de aire, distribución inapropiada de la mezcla y del agregado en los diferentes niveles de colocación.

### 6.3.6 Cimbras deslizantes

Según este método, el concreto se coloca en cimbras prefabricadas, que se deslizan más allá del punto de colocación tan pronto como el concreto ha logrado la estabilidad y rigidez necesarias para conservar su forma de diseño. Se requiere más uniformidad que la ordinaria de mezcla a mezcla. Un revenimiento de acuerdo con la consolidación efectiva y el acabado son necesarios en el concreto empleando este método de colocación. Aunque se necesita una mayor inversión inicial en el equipo para la colocación por medio de cimbra deslizante, esto se compensa con la economía general, el aumento de producción, y la alta calidad del trabajo especial para el cual conviene este tipo de colocación. En la pavimentación de carreteras se ha atribuido una mejoría notoria a este método de cimbras deslizantes.<sup>30</sup>

### 6.4 Consolidación

La vibración interna (figuras 6.1i, 6.1j y 6.1k), cuando se aplica apropiadamente, es el método más eficaz para consolidar concreto plástico, permitiendo con buen éxito la colocación de concreto que contiene menos agua y componentes finos (arena y cemento), que lo que se requiere cuando el concreto no se vibra.<sup>28</sup> Además de lograr mejor calidad y economía, como resultado de estos cambios en las proporciones de la mezcla, también se logra mejor aspecto y acabado. Las ventajas y el uso general de vibración en la colocación de concreto han sido bien establecidos, pero se aconseja al lector obtener información detallada sobre la consolidación de concreto, en el informe del Comité del ACI 309.<sup>28</sup>

La vibración interna generalmente conviene más para la construcción ordinaria. Los vibradores no deben emplearse para mover concreto en sentido lateral, y deben insertarse y quitarse verticalmente a intervalos próximos. Debe usarse un patrón sistemático de vibración para asegurar que todo el concreto haya sido adecuadamente consolidado (figs. 6.1i y 6.1j). Cuando pueda consolidarse el concreto a mano o con poca o ninguna vibración, es evidente que debe reproporcionarse la mezcla, usando un contenido unitario de agua menor con una consecuente reducción de finos (cemento o agregado fino o ambos).

## MEDICIÓN, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO

La vibración inadvertida o intencional del concreto o del acero introducido resulta ser beneficiosa si el concreto vuelve a ser plástico momentáneamente durante la revibración. Mientras que un vibrador funcionando continúe introduciéndose en el concreto por su propio peso, no es demasiado tarde para que el concreto se beneficie por revibración, con aumento de resistencia a compresión y adherencia. Probablemente a causa del efecto de amortiguamiento no se ha experimentado ningún efecto perjudicial del refuerzo introducido o del concreto en niveles parcialmente endurecidos cuando están revibrados desde arriba por esfuerzos de consolidación en concreto fresco.

Cuando la vibración se lleva a cabo adecuadamente, no se logra ninguna ventaja espadeando o trabajando el concreto de modo suplementario. En las colocaciones especialmente difíciles y obstruidas puede emplearse una vibración suplementaria de las cimbras, teniendo cuidado de evitar una vibración excesiva de las unidades, de modo que se forme una capa superficial de pasta débil por falta de agregado grueso.

En superficies verticales en las cuales son indeseables los vacíos de aire, la experiencia ha demostrado que los vacíos pueden reducirse mediante el uso de vibración adicional. Si esta vibración adicional parece sobrevivir al concreto, debe utilizarse menos agua en la mezcla. Ni la vibración extra ni el espadeado, ni otra clase de manipulación mecánica del concreto, pueden quitar eficientemente los hoyos formados por vacíos de aire de las superficies moldeadas bajo cimbras inclinadas. Tanto la utilización de procesos al vacío como de forros de cimbras absorbentes han tenido algún éxito en concreto colocado bajo cimbras inclinadas, excepto cuando se han utilizado mezclados con alto porcentaje de sangrado.

Operarios experimentados y componentes de vibradores que trabajen con vibradores en los que se controle el mantenimiento, y con suficientes unidades de reserva, son esenciales para un programa satisfactorio de consolidación.

### 6.5 Previsiones para manejar concreto de consistencia apropiada

Frecuentemente se hacen peticiones para aumentar el agua de la mezcla en el trabajo, cuando el concreto de consistencia relativamente seca no fluye por los canalones, no cae de las tolvas, o no se descarga de las compuertas o conductos, aunque se admite frecuentemente que el concreto es fácilmente manejado y satisfactoriamente consolidado en su lugar con una vibración apropiada. Obviamente, estas solicitudes para adicionar agua no son válidas, y la limitación en el uso razonable de las proporciones de la mezcla y del revenimiento no deben imponerse por emplear equipo de colocación inadecuado.

## CAPITULO 7 CONCRETO DE AGREGADO PRECOLOCADO

### 7.1 Consideraciones generales

En este método de construcción primero se llenan las cimbras con agregado grueso bien granulado y limpio, luego se inyecta lechada de calidad estructural en los vacíos de la masa del agregado para producir concreto. Es especialmente adecuado para construcciones bajo el agua, para reparaciones en concreto y mampostería, y, en general, para estructuras nuevas en las cuales la colocación por medios convencionales presenta dificultades en donde se requiere concreto de poco cambio de volumen.<sup>2,31-34</sup> Puesto que la construcción de concreto de agregado precolocado es de naturaleza especializada, se aconseja que el trabajo se realice con personal calificado que tenga experiencia en este método de construcción. Las propiedades físicas del concreto de agregado precolocado son semejantes a las del concreto convencional. Por lo tanto, pueden emplearse las mismas resistencias de trabajo permisibles empleadas para el diseño de concreto estructural convencional.<sup>2,34-38</sup>

Para información detallada sobre concreto de agregado precolocado, el lector puede acudir a un informe especial sobre este tema del Comité 304.<sup>67</sup>

### 7.2 Descripción de lechadas

Las lechadas básicas compuestas de cemento portland, arena y agua<sup>32</sup> pueden modificarse eficazmente para usarse en concreto estructural de agregado precolocado mediante la inclusión de aditivos, tales como puzolana, fluidificantes, agentes de expansión, inclusores de aire y materiales colorantes. La modificación también se logra mecánicamente, utilizando mezcladoras de alta velocidad especialmente diseñadas.

Para el concreto estructural de agregado precolocado, en el cual se requieren resistencia y otras propiedades físicas, las proporciones de la lechada deben seleccionarse a base de especímenes de prueba hechos con la graduación del agregado grueso que se piensa usar.

Varias especificaciones del Cuerpo de Ingenieros, enumeradas en el Capi-

tulo 11, indican los requisitos para varios factores referentes a una lechada adecuada.

### 7.3 Materiales

#### 7.3.1 Cemento

La lechada puede hacerse con cualesquiera de los tipos de cemento sin aire incluido que cumplan con la norma ASTM C150 o C595, y que son adecuados para usarse en concreto convencional y producir las condiciones requeridas por el concreto de agregado precolocao.<sup>34</sup> Los cementos que contienen un agente inclusor de aire cuando están combinados con fluidificantes formadores de gas, podrán producir cantidades excesivas de aire incluido (o de gas) en el mortero, dando como resultado una reducción brusca de la resistencia. Cuando se requiere la inclusión de aire, se logra un control más satisfactorio agregando por separado el agente inclusor de aire.

#### 7.3.2 Agregado grueso

Agregados gruesos, sean piedra triturada, gravas naturales limpias libres de polvo superficial, o finos, sanos y durables, y que cumplan con los límites de la norma ASTM C 33, son elementos adecuados si se manejan y se colocan con las debidas precauciones.

Por economía, el contenido de huecos del agregado debe mantenerse lo más bajo posible, entre un 38 y 48 por ciento.

El agregado grueso debe ser bien graduado usándose el mayor tamaño que pueda transportarse y colocarse económicamente en las cimbras, sin segregación excesiva, tomando en consideración la disponibilidad de los agregados por tamaño, tipo de construcción de que se trate, y las limitaciones usuales establecidas por el ancho de la sección y espaciamiento del refuerzo.<sup>32,35</sup>

Los tamaños mínimos recomendados para el agregado grueso, esencialmente determinados por la granulometría de la arena, se muestran en la tabla 7.3.2, granulometría 1 y 2.

#### 7.3.3 Agregado fino

Se puede utilizar arena de molino o natural. La arena debe ser de partícula dura, densa y durable, de roca no recubierta y de contenido de humedad uniforme y estable. Debe estar de acuerdo a la norma ASTM C33 actual, excepto en cuanto a su granulometría.

#### 7.3.4 Puzolanas

Pueden emplearse tanto puzolanas naturales como fabricadas, que cum-

TABLA 7.3.2.—LÍMITES DE GRANULOMETRIA PARA ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO DE AGREGADO PRECOLOCADO\*

Porcentaje que pasa		
Tamaño de malla	Granulometría 1 Para 13 mm (½ pulg) Tamaño mínimo de agregado grueso	Granulometría 2* Para 40 mm (1½ pulg) Tamaño mínimo de agregado grueso
Agregado grueso Tamaño máximo dependiendo de las dimensiones de la cimbra.		
40 mm (1½ pulg)	95-100	0-5
25 mm (1 pulg)	40-80	—
20 mm (¾ pulg)	20-45	—
13 mm (½ pulg)	0-10	—
10 mm (¾ pulg)	0-2	—
Arena		
(3/16 pulg) 5 mm	—	100
No. 8 (2.4 mm)	100	95-100
No. 16 (1.19 mm)	95-100	80-90
No. 30 (595 micrones)	55-80	55-70
No. 50 (297 micrones)	30-55	25-50
No. 100 (149 micrones)	10-30	5-30
No. 200 (74 micrones)	0-10	0-10
(Módulo de Finura)	1.30-2.10	1.60-2.35

\* Agregado mínimo de 40 mm (1½ pulg) debe usarse con una lechada de arena y cemento con granulometría de arena dentro de estos límites.

plan con la Especificación del Cuerpo de Ingenieros CRD C255 o la norma ASTM C618. Sin embargo, puesto que algunas puzolanas han causado una abrasión excesiva del equipo de bombeo y aumentado el contenido de agua, deben hacerse pruebas preliminares para seleccionar la puzolana.

#### 7.3.5 Aditivos para la lechada

Los aditivos utilizados comúnmente constituyen un material premezclado comercialmente conocido como fluidificante. Por lo general consta de un agente reductor de agua, un agente suspensor, polvo de aluminio, y un amortiguador químico para asegurar una regulación oportuna de la reacción del polvo de aluminio con los álcalis del cemento. Estos fluidificantes deben cumplir con la Especificación del Cuerpo de Ingenieros CRD C566.

Como substitutas de un fluidificante premezclado, las diversas sustancias contenidas en los fluidificantes pueden agregarse por separado a la mezcla. El polvo de aluminio, por ejemplo, provee una expansión esencial de adherencia entre lechada y agregado. Un agente reductor de agua que cumpla con la norma ASTM C494, Tipo A o D, mejorará la fluidez de la lechada sin aumentar los requerimientos de agua. Un aditivo inclusor de aire convencional que cumpla con la norma ASTM C260 debe también agregarse a la lechada para obtener porcentajes apropiados de aire incluido, cuando el concreto esté expuesto a congelación y deshielo.<sup>37,61</sup> Debe hacerse un número suficiente de pruebas antes y durante la construcción para asegurar que

no se incluya una cantidad excesiva de aire, particularmente en aquellas lechadas que contienen polvo de aluminio. Una pequeña cantidad de cloruro de calcio, no mayor de 2% del peso del cemento, también puede utilizarse para acelerar la resistencia. El empleo eficiente de los aditivos debe determinarse con cuidado antes de emplearlos en el trabajo.

**7.4 Dosificación de la lechada**

Las proporciones de cemento y arena por lo común son de 1:1 a 1:2 por peso, aunque han sido empleadas proporciones tan pobres como 1:3. Generalmente las mezclas más pobres se preparan en una mezcladora de alta velocidad de tipo coloidal (consistente en una bomba centrífuga de tolerancia reducida y una bomba de impulsor abierto en serie). Estas mezclas utilizan una granulometría de arena semejante a la que se utiliza en concreto colocado convencionalmente y agregado grueso de un tamaño mínimo de 40 mm (1½ pulgadas). No se pone ningún límite al tamaño máximo del agregado grueso.

Las tablas 7.3.2 y 7.4., muestran recomendaciones y granulometrías típicas de arena para las mezclas de lechada que suelen emplearse, determinadas por la graduación del agregado grueso que se emplea (o los vacíos que han de llenarse).

La resistencia a compresión y la facilidad de bombeo limitan la cantidad de arena que puede emplearse en cualquier lechada.<sup>34</sup> Para trabajo estructural normal, la proporción de materiales cementantes (el cemento más la puzolana) para arena debe ser de aproximadamente 1:1; pero puede llegar a ser de 1:2. Usualmente las proporciones de cemento a puzolana son de 2:1,

**TABLA 7.4. GRANULOMETRIA TIPICA DE AGREGADO PARA CONCRETO DE AGREGADO PRECOLOCADO PREPARADO CON LECHADA DE ARENA FINA QUE CONTIENE PUZOLANA Y FLUIDIFICANTES**

Granulometría de arena Porcentaje acumulativo que pasa por cada malla						
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.18 mm)	No. 30 (595 Micrones)	No. 50 (297 Micrones)	No. 100 (149 Micrones)	Charola	Módulo de finura
100	97	67	31	10	0	1.95
100	88	72	34	11	0	1.85
100	96	56	36	20	0	1.92

Granulometría de agregado grueso Porcentajes acumulativos que pasan por cada malla								
150 mm (6 pulg)	115 mm (4½ pulg)	75 mm (3 pulg)	45 mm (1¾ pulg)	40 mm (1½ pulg)	22 mm (¾ pulg)	20 mm (¾ pulg)	16 mm (¾ pulg)	13 mm (½ pulg)
			100	97	45	8	2	1
		100		82		4	2	1
	100	78		40		10	2	1
100	100	67		40		6	2	1

aunque han sido utilizadas en varios trabajos proporciones tan reducidas como 1:1 y tan altas como 9:1. En ocasiones, la puzolana puede omitirse por completo, puesto que la gravedad específica de puzolanas de diferentes fuentes varía usualmente dentro de los límites de 2.0 a 2.5. Los volúmenes absolutos también varían a través de las proporciones en peso y se mantienen constantes. La relación agua/cemento más puzolana por peso normalmente es de 0.45 a 0.50. Las proporciones para la mezcla pueden determinarse por la especificación CDR C85 del Cuerpo de Ingenieros.

Los materiales para la mezcla de la lechada deben dosificarse y medirse por peso y las recomendaciones se dan dentro de este contexto. Las excepciones son el agua y los aditivos que se dosifican en base a peso, pero que pueden medirse con exactitud a base de volumen. Todo el equipo para pesar y medir debe calibrarse con exactitud y operarse con las tolerancias permisibles para el peso de los materiales del concreto convencional.

Ciertos aparatos para medir el flujo se usan al determinar la consistencia de la lechada en trabajos de concreto de agregado precolocado. Este método de prueba para el flujo de mezclas de lechadas de arena fina, empleando el cono de flujo, se describe en la Especificación CRD C79 del Cuerpo de Ingenieros. Un medidor de flujo se emplea para medir la fluidez de la lechada que contiene la arena convencionalmente graduada más gruesa, que se emplea en las mezcladoras coloidales.<sup>67</sup> Las variaciones de fluidez de la lechada para cada uno de estos métodos de prueba se dan en la Sección 7.11.

**7.5 Cimbras**

Los revestimientos de las cimbras y los materiales empleados en las cimbras en concreto de agregado precolocado, son semejantes a aquéllos usados para el concreto vaciado convencionalmente.<sup>38</sup>

Sin embargo, es importante que la hechura de la cimbra sea de mejor calidad que la que normalmente se emplea para el concreto convencional, a fin de impedir la salida de la lechada, y resistir las mayores presiones laterales.<sup>38</sup> Los pernos deben estar bien ajustados a través del entablado. Todos los cortes deben hacerse para que ensamblen perfectamente. Después de que las cimbras estén erguidas, apuntaladas, ensambladas apropiadamente y niveladas, todos los pequeños orificios deben ser tapados.

Moldes prefabricados de concreto con aire incluido, con anclas de acero previamente atadas o soldadas al refuerzo de la losa, se han empleado con buen éxito para revestimiento en la rehabilitación de presas de concreto.<sup>39</sup>

**7.6 Sistemas para tubería de lechada**

**7.6.1 Tuberías de entrega**

El sistema más seguro para la entrega de la lechada consiste en un solo tubo, que se extiende directamente desde la bomba impulsora hasta un tubo

de inserción dentro de la masa del agregado. Sin embargo, para proveer un flujo continuo de lechada, muchas veces se utiliza una pieza de unión en forma de Y, inmediata a los tubos de inserción. La Y debe estar provista con válvulas en la entrada y en las dos salidas, inyectándose la lechada sólo por un brazo de la Y a la vez. No debe emplearse un sistema múltiple por el cual más de una inserción de lechada se opere a la vez, puesto que la distribución de la lechada dentro de la masa del agregado podría variar de manera apreciable de un tubo de inserción a otro.

Es buena medida mantener a un mínimo práctico la longitud de la línea principal de entrega entre la bomba y los puntos de inserción; la línea debe tener suficiente diámetro para permitir que la velocidad planeada fluctúe entre 0.6 hasta 1.2 m/seg (2 y 4 pies por segundo) o aproximadamente el equivalente de 0.03 m<sup>3</sup>/min (un pie cúbico por minuto), a través de un tubo de 25 mm (1 pulgada). Esta velocidad es aconsejable para utilizarse en tubos de descarga hasta de 90 mts (300 pies) de longitud; pero para longitudes mayores que éstas, hasta 305 m (1 000 pies), el diámetro del tubo tendrá que aumentarse en tamaño para evitar una presión excesiva. Es esencial que todas las uniones de los tubos sean herméticas, para impedir el bloqueo de las juntas, y que estén provistos los tubos con desuniones rápidas para limpiar rápidamente un tubo cuando se obstruya.

#### 7.6.2 Tubos de inserción de lechada

Los tubos de inserción utilizados para introducir la lechada en la masa del agregado, son normalmente de 19 a 25 mm ( $\frac{3}{4}$  a 1 pulgada) de diámetro, para concreto estructural normal, y hasta de 40 mm ( $1\frac{1}{2}$  pulg.) para concreto masivo. Los tubos de inserción para la lechada pueden extenderse verticalmente hasta 150 mm (6 pulgadas), desde el fondo de la masa del agregado; horizontalmente pueden extenderse a través de la cimbra a diferentes niveles. Ocasionalmente se fijan en ángulo para permitir la inyección de la lechada alrededor de los objetos ahogados o dentro de áreas restringidas.

Los tubos de inserción verticales o inclinados se proveen en longitudes convenientes para retirarse durante la inyección. Donde se requieran acoplamientos para profundidades mayores de agregado precolocado, deberán emplearse tubos de inserción de acoplamiento parejo. El tipo 120 de 25.4 mm (una pulgada) es preferible. Los tubos de inserción verticales deben sacarse durante el vaciado, de tal manera que el extremo inferior quede en todo momento a un mínimo de 1 pie (0.3 m), debajo de la superficie de la lechada.

Todas las válvulas en el sistema de tubería deben ser del tipo de tapón (cierre), de apertura rápida, fáciles de desmontar y limpiar. Las válvulas de más de 25 mm (1 pulgada) de diámetro deben ser lubricadas.

La distancia entre las inserciones debe fluctuar de 1.2 m (4 pies), a 3.7 m (12 pies), con el esparcimiento de 1.5 a 1.8 m (5 ó 6 pies), comúnmente usados. Como guía para el trazo de tubos de inserción, puede suponerse que la

superficie de la lechada asumirá una inclinación de 1:4 en seco y 1:6 bajo agua. A veces es de gran ayuda utilizar una clave de colores o números, y registrar la ubicación de cada tubo de inserción, de modo que no exista ninguna duda sobre cuál área está siendo abastecida por la boca de salida.

#### 7.6.3 Pozos de sondeo

La localización de la superficie de la lechada dentro de la masa del agregado debe conocerse en todo momento. En donde la lechada se inyecta horizontalmente por el lado de la cimbra puede determinarse fácilmente, en cualquier momento, la localización de la lechada por la filtración del agua a través de las cimbras, pero cuando la lechada se inyecta por tubos verticales de inserción, deben proveerse pozos de sondeo. La proporción de pozos de sondeo-inserciones generalmente va desde 1:4 hasta 1:10 o más. Estos pozos de sondeo consisten generalmente en tubos de pared delgada de 50 mm (2 pulgadas) de diámetro, provistos de ranuras de 1 mm ( $\frac{1}{2}$  pulgada), fresadas, (no quemadas) a intervalos frecuentes. La línea de sondeo está equipada con un flotador pesado de 25 mm (1 pulgada) de diámetro, de tal manera que se hunda en el agua y sin embargo flote sobre la superficie de la lechada dentro del tubo ranurado. Los tubos de sondeo pueden dejarse en el lugar y llegar a ser una parte permanente de la estructura.

Cuando se hace la colocación en seco en un trabajo complejo, y donde se requiere de muchos puntos de localización exacta de la superficie de la lechada, se ha usado con buen éxito un sistema de alambres detectores, calibrados electrónicamente, ubicados dentro de la masa del agregado grueso y controlados por un registro apropiado.

#### 7.6.4 Tubos respiraderos

Los tubos respiraderos deben emplearse en cimbras que tengan espacios reducidos o irregulares y donde el agua o el aire puedan ser atrapados por la subida del nivel de la lechada, como en un bloqueo, en trabajos ahogados o para la instalación de un protector biológico.

### 7.7 Colocación de agregado grueso

#### 7.7.1 Cimientos

Todo el material fino suelto debe quitarse de la cimentación en colocación bajo del agua, hasta donde sea posible, antes de colocar el agregado para prevenir el recubrimiento subsecuente del agregado o el relleno de vacíos. Alternativamente, si las condiciones estructurales lo permiten, debe depositarse primero una capa de agregado fino y grueso para servir como una cama de filtro a fin de prevenir la contaminación del agregado grueso precolocado.



### 7.7.2 Colocación del agregado

El agregado grueso debe ser lavado y cribado inmediatamente antes de recolocarse en las cimbras. Si se utiliza más de un tamaño de agregado grueso, el agregado debe dosificarse y mezclarse en las proporciones adecuadas y descargarse a velocidades proporcionales sobre cribas o plataforma vibradora o de lavado giratorio. Las cribas giratorias son eficaces como mezcladoras y lavadoras.

Para trabajos de concreto estructural, el agregado se traslada comúnmente a las cimbras, en recipientes especiales para concreto. Si el acceso es limitado, debe utilizarse una trompa de hule flexible para reducir la altura de caída libre, impidiendo así la segregación o rompimiento del agregado. Un tubo de compuerta, con diámetro de aproximadamente cuatro veces el tamaño máximo del agregado, es eficaz en donde el agregado tiene que bajarse hasta 305 m (1 000 pies), a través de un espacio de únicamente 0.6 ó 0.9 m (2 ó 3 pies) de ancho.<sup>33</sup> El tubo debe llenarse gradualmente y bajarse hacia el punto de colocación, y finalmente, después de que ha sido totalmente extendido, el agregado puede descargarse entonces por la compuerta inferior, mientras que se llena por el extremo superior. El tubo permanece lleno de agregado todo el tiempo, eliminando así la caída libre y reduciendo el rompimiento. En trabajos de concreto masivos, como en pilas de puente, donde el agregado grueso se coloca a través de agua, se puede descargar directamente dentro de las cimbras desde las chalanas de vaciado o barcos de auto-descarga, por el fondo.<sup>31</sup>

Cuando en las cimbras los objetos colocados dejan entre sí espacios reducidos, y se desea un concreto de alta densidad y excepcional homogeneidad, la profundidad del vaciado debe limitarse a 100 mm (4 pulgadas), y en casos excepcionales el agregado puede colocarse a mano. Es generalmente poco práctico mover el agregado una vez que está en su lugar; por lo tanto, debe distribuirse uniformemente durante la colocación. Sin embargo, cuando el agregado grueso tiene que moverse en el lugar, puede utilizarse un chorro de aire de alta presión.<sup>33</sup> El tránsito de vehículos no debe permitirse sobre el agregado grueso precolocado.

El agregado grueso debe estar completamente lavado, pero jamás debe limpiarse con un chorro de agua cuando está en las cimbras.<sup>34</sup> De vez en cuando es deseable mojar el agregado grueso para lubricar la lechada o para enfriarla.<sup>25</sup> En este caso, el agua debe inyectarse por los tubos de inserción precolocados, en lugar de derramarse sobre los agregados gruesos.<sup>34</sup>

### 7.7.3 Contaminación

En la construcción bajo el agua, donde se sabe o se sospecha que existe contaminación, el agua debe muestrearse y analizarse para determinar el grado de contaminación y su posible influencia sobre la calidad del concreto. Donde se presente una contaminación moderada, el agregado debe recibir

la lechada dentro de uno o dos días después de la colocación para evitar la formación de depósitos contaminantes en la superficie de las partículas del agregado, y aun en agua relativamente limpia, la lechada debe colocarse entre una semana o 10 días.

Si hay contaminantes en tal cantidad o de tal carácter que los efectos nocivos no puedan eliminarse o controlarse, no debe emplearse el concreto de agregado precolocado.

## 7.8 Mezclado y bombeo de lechada

### 7.8.1 Mezcladoras

Las mezcladoras de tipo de paleta de husillo vertical se emplean comúnmente para mezclar lechadas, aunque también se emplean las de tipo horizontal. Los husos se equipan generalmente con paletas de tipo abierto, que operan a una velocidad periférica de 244 a 305 m/min (800 a 1 000 pies por minuto). Las mezcladoras de eje horizontal, semejantes a las mezcladoras de yeso de gran tamaño, también pueden emplearse, aunque su mezclado sea poco menos eficaz que con el tipo vertical.

Las mezcladoras de concreto convencionales, de olla o de turbina, se adaptan bien para mezclar lechada, aunque la junta en la puerta de descarga puede presentar problemas de mantenimiento.

Las mezcladoras de concreto convencionales de tambor giratorio no se recomiendan para la lechada, a menos que el mezclado sea prolongado, porque el mezclado es menos eficaz que en otros tipos de alta velocidad.

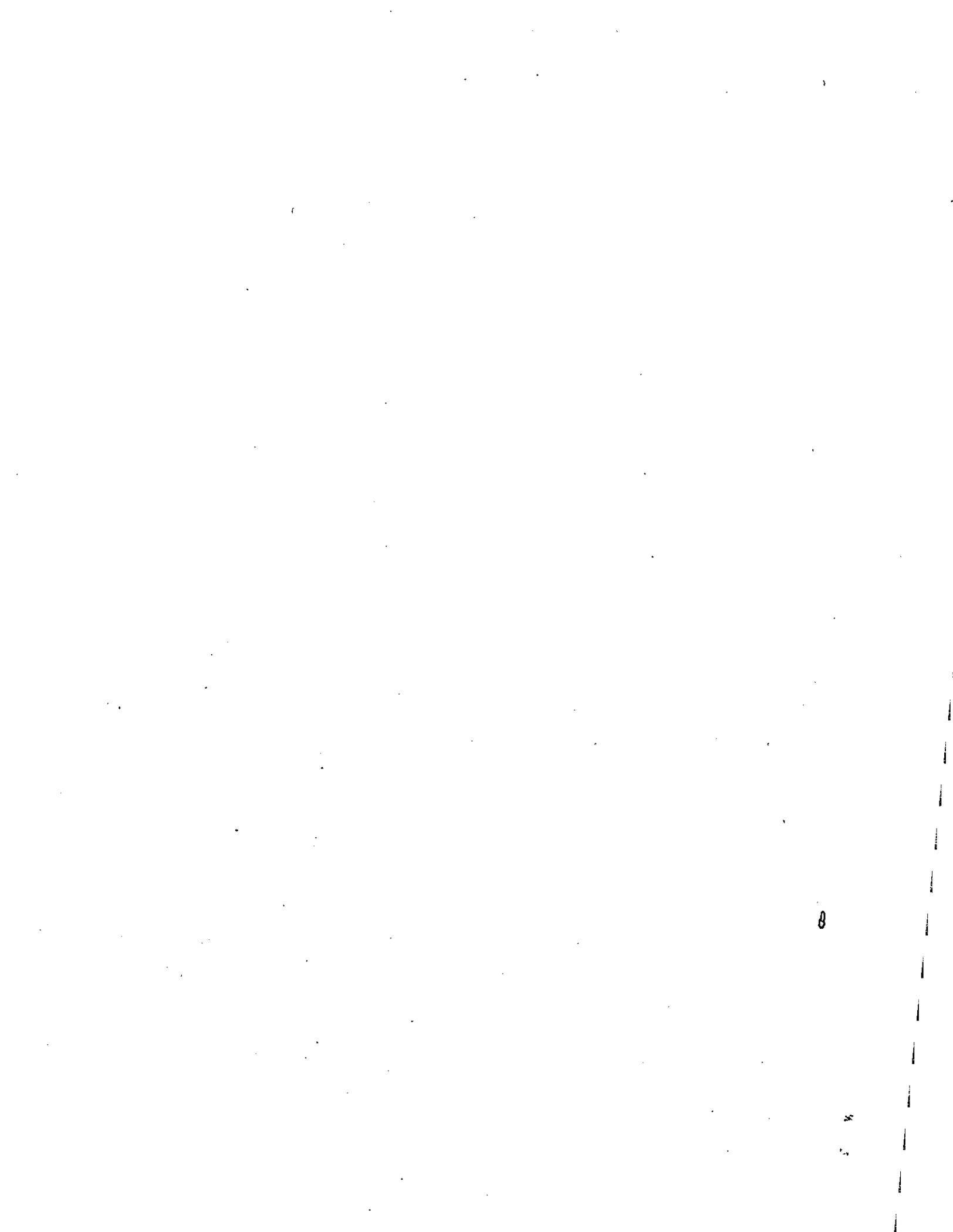
Para la aplicación limitada en donde la lechada se compone únicamente de arena, agua y cemento, la mezcladora denominada coloidal proporciona una muy alta velocidad de mezclado de cemento y agua en una bomba centrífuga de tolerancia cerrada, seguida del mezclado de la arena y la lechada de cemento en una bomba de impulsor abierto.

La potencia necesaria para las mezcladoras fluctúa entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  caballo de fuerza por 0.03 m<sup>3</sup> (pie cúbico) de capacidad, dependiendo del tipo de fuerza motriz que se suministre.

Debe proveerse un tanque agitador para la lechada, a fin de dar óptima efectividad al equipo de mezclado, y también para obtener capacidad de almacenamiento. Una criba con aberturas no menores de 4.8 mm ( $\frac{3}{16}$  de pulgada) y no mayores de 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$  de pulgada), debe localizarse adelante de la bomba para quitar el material de tamaño excesivo que pudiera causar dificultades en el bombeo, o bloqueo en la línea.

### 7.8.2 Bombas

La bomba debe ser del tipo de desplazamiento positivo, tal como la de pistón, o la de cavidad progresiva. La bomba debe equiparse con una línea de derivación que conecte la descarga y la entrada, o que provea circulación



dentro del agitador. Puesto que las bombas requerirán normalmente de 15 a 30 minutos de mantenimiento por turno, es prudente tener un equipo de reserva, de manera que se pueda suministrar una descarga continua. En la línea de descarga de la bomba debe estar instalado un manómetro para indicar al operador si hay un incipiente bloqueo de la línea o un tubo de inserción tapado.

### 7.8.3 Inyección de lechada

Hay esencialmente dos técnicas básicas para la inyección de lechada: la técnica de capa horizontal y la de avance en declive. En ambos sistemas la lechada debe empezar desde el punto más bajo dentro de las cimbras. En la técnica de superficie horizontal, la lechada se inyecta a través de cada tubo de inserción, para subir la lechada al punto, desde 150 a 300 mm (6 a 12 pulgadas). La manguera de la lechada se desconecta entonces y se saca la inserción en una longitud apropiada, de tal forma que el extremo inferior de la inserción quede introducida un mínimo de 300 mm (1 pie) debajo de la superficie de la lechada.

Cuando el procedimiento de superficie horizontal no sea práctico, como en la construcción de losas, donde una de las dimensiones del plano es relativamente grande comparada con la otra, para inyectar la lechada se emplea el método de avance en declive. En este método se inicia la inyección en el extremo de la dimensión más estrecha de la cimbra y se continúa el bombeo por hileras de inserciones, tomando la lechada una inclinación general que fluctúe entre 1:4 y 1:8. En el proceso de avance en declive, el patrón de bombeo se inicia primero en la hilera de agujeros más cercana al pie del declive, y se continúa hilera por hilera hacia arriba por el declive (en dirección opuesta al declive de la pendiente), hasta la última hilera de tubos en la cual no se ha terminado el trabajo de lechada. Este proceso se repite, siguiéndose adelante en secuencia cuidadosa hasta que se completa la inyección.

Cuando se utiliza un retardador o fluidificante, puede permitirse que los tubos de inserción queden entre inyecciones hasta por un período de varias horas, dependiendo esto de las proporciones de la mezcla y de la temperatura ambiente. Cuando transcurren varias horas entre inyecciones sucesivas, puede ser conveniente meter una varilla para limpiar los tubos antes de cada inyección de lechada. Los tubos de inserción no deben limpiarse con inyecciones de agua, cuando el extremo inferior del tubo esté debajo de la superficie de la lechada.

Es importante que la velocidad del bombeo de la lechada dentro de la cimbra sea tal que no se formen presiones excesivas, y la inyección y el nivel de la lechada estén controlados de manera que se evite que caiga ella en forma de cascada. Esto es particularmente importante en trabajos bajo el agua, en donde la caída en forma de cascada ocasionaría la segregación de la arena y la formación de huecos. La velocidad de inyección debe fluctuar entre 0.03 y 0.11 m<sup>3</sup>/min (1 a 4 pies cúbicos por minuto), dependiendo de la

fluidez de la lechada, la configuración de la cimbra, el contenido de vacíos y el tamaño del agregado.

Cuando se coloque la lechada alrededor de objetos ahogados, especialmente bajo superficies grandes y planas o bajo áreas en forma de nicho, es esencial prever la salida del aire y del agua atrapados. Debe continuarse la inyección de la lechada hasta que ésta sea de buena calidad estructural en los tubos que dan salida, indicando así que la inyección se ha completado.

La vibración interna no puede emplearse con este método de construcción con concreto, excepto para rematar la colocación. Es beneficiosa la vibración externa de las caras expuestas de las cimbras, aplicada al nivel de la superficie de la lechada. El dejar de usar la vibración externa causará frecuentemente un aspecto manchado en donde las partículas del agregado hayan estado en contacto con la cimbra. Sin embargo, la vibración excesiva de cimbras causará áreas superficiales arenosas.

### 7.9 Construcción de juntas.

El concreto monolítico puede colocarse en inyecciones sucesivas de lechada mientras ésta permanezca fluida; comúnmente esto dura hasta 8 horas cuando se usa un fluidificante, o por algo más de tiempo a bajas temperaturas.

Cuando la inyección de la lechada bajo el agua no es continua, si ésta se endurece, se formará nata en las superficies de unión, entre las colocaciones sucesivas. Esta nata puede causar un debilitamiento en la adhesión entre los vaciados, a menos que la junta se limpie completamente con un chorro de arena u otros métodos aceptables, antes de vaciar la capa siguiente. Si se busca una buena adhesión entre las colocaciones sucesivas, es esencial la limpieza.

Cuando es estructuralmente permisible formar juntas frías horizontales durante la construcción, el nivel de la lechada debe detenerse a 300 mm (1 pie), debajo de la superficie superior del agregado grueso. La inyección de lechada subsecuente puede continuarse entonces mediante tubos de inserción introducidos a no más de 150 mm (6 pulgadas) de la superficie endurecida de la lechada.

### 7.10 Acabados

El declive de las superficies superiores puede mantenerse dentro de tolerancias relativamente pequeñas, empleando una especie de cimbra ventilada como se describe en detalle en la referencia 67.

Cuando se requiere un acabado por medio de "maestras" o de plana, la lechada debe subirse hasta que se inunde la superficie del agregado y quitarse barriando la lechada diluida superficial. Entonces se esparce en la superficie una capa delgada de grava muy menuda, rastreándola, y luego apisonándola o aplicándole vibración interna. Cuando la superficie está su-

## MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

ficientemente endurecida como para permitir trabajarla, entonces se aplica un acabado con maestra, o allanando de acuerdo con las prácticas convencionales empleadas con el concreto.

Se ha de tener cuidado al rematar, para que al inyectar la lechada no mueva o desaloje los agregados de la superficie.<sup>34</sup>

### 7.11 Control de calidad

El bombeo de la lechada que contiene arena fina usual (Granulometría 1, Tabla 1), se controla mediante la prueba de consistencia, utilizando el cono de flujo estándar,<sup>67</sup> de acuerdo con la norma CRD C79 del Cuerpo de Ingenieros. Para mantener uniformidad, el tiempo de salida debe limitarse de 20 a 30 segundos. Debe emplearse un medidor de flujo<sup>67</sup> para lechadas que contengan arena de concreto convencionalmente graduada, o Graduación 2, Tabla 7.3.2. La fluidez de esta clase de lechada debe estar entre 254 y 558 mm (10 a 22 pulgadas), según se mida en la escala de este instrumento.

Los cilindros de prueba deben hacerse de acuerdo con la especificación CRD C84 del Cuerpo de Ingenieros y probarse de acuerdo con las normas apropiadas de la ASTM.

## CAPITULO 8

# CONCRETO VACIADO POR TUBO-EMBUDO (TREMIE)

### 8.1 Consideraciones generales

La colocación del concreto por el método de tubo-embudo es la más frecuentemente usada para vaciar el concreto bajo el agua. Por este método, el concreto se deposita bajo la superficie del concreto fresco colocado anteriormente. La colocación suele ser de alimentación por gravedad, desde arriba de la superficie del agua, por un tubo vertical conectado a una tolva de forma de embudo en la parte superior. El concreto fluye por el tubo-embudo hacia afuera desde el fondo del tubo, empujando la superficie existente del concreto hacia afuera y hacia arriba. Mientras el flujo sea suave, de manera que la superficie del concreto adyacente al agua no se agite físicamente, se obtendrá un concreto de alta calidad. La colocación también puede llevarse a cabo en otros líquidos más ligeros que el concreto, tales como un lodo bentonítico, para satisfacer condiciones especiales. El concreto colocado por tubo-embudo se emplea sobre todo para ataguías o sellado de cajones, secciones estructurales tales como pilas de puentes, muros en diques secos, pisos, etc., y como sellados en secciones prefabricadas de túneles.

### 8.2 Equipo y requisitos para el mezclado

El diámetro del tubo-embudo es normalmente de ocho veces el tamaño máximo del agregado grueso. Los tubos de 25 hasta 30 cm (10 a 12 pulgadas) de diámetro, en tramos de 3 m (10 pies), son los más comunes. Una tolva de forma de embudo se atornilla en la parte superior del tubo, y un tapón de madera, pelota de hule, bola de arpillera u otro cierre, se emplea al empezar la colocación. El equipo de levantamiento tiene que estar continuamente disponible para subir y bajar el tubo mientras se coloca el concreto, así como las herramientas para atornillar y destornillar las secciones del tubo.

Las proporciones de la mezcla de concreto para la colocación por este método de tubo-embudo, difieren de las mezclas estructurales ordinarias, por la necesidad de que la mezcla fluya a su lugar lentamente, por gravedad sin vibración o ayuda mecánica. La mezcla debe proporcionarse para un revenimiento de 15 a 23 cm (6 a 9 pulgadas). Generalmente se prefiere emplear grava redonda natural en lugar de roca triturada, por las necesidades de fluidez. El tamaño máximo del agregado es generalmente de 40 mm (1½ pulgadas); sin embargo, un tamaño nominal de 20 mm o 9.52 mm (¾ ó ¾ de pulgada) puede emplearse para secciones complejas y bajo condiciones de flujo críticas. La proporción de agregado fino (arena) es generalmente del orden del 40 al 50% del peso total del agregado. Se ha comprobado que los aditivos retardantes y reductores de agua que cumplan con la norma ASTM C494, son una ayuda en la colocación del concreto, y el efecto retardante disminuye el desarrollo de calor y provee inclinaciones más planas con menos nata.<sup>40</sup> Los aditivos inclusores de aire y las puzolanas también son benéficos a las características de flujo. Para mejorar la calidad estructural y de colocación debe mantenerse la temperatura del concreto tan baja como sea práctico, generalmente menos de 21.1°C (70°F). La máxima relación agua/cemento recomendable para concreto colocado por tubo-embudo (Tremie) bajo el agua es de 0.44 por peso.<sup>10</sup>

### 8.3 Procedimiento<sup>41</sup>

Las secciones de tubo-embudo se atornillan empleando un empaque en cada junta para evitar fugas. Un tapón de madera con un empaque de hule u otro sello (cierre) adecuado, se sujeta con alambre ligero a un extremo del tubo, antes de bajarlo e introducirlo en el agua. El alambre se rompe cuando la primera mezcla de concreto es colocada.

El hecho de que el tubo vacío flote frecuentemente, constituye un problema cuando el concreto se coloca por medio de tubo-embudo a 21 m (70 pies) o más de profundidad. Cuando este problema se presenta, es conveniente empezar la operación de colocación del concreto con agua dentro del tubo. En este caso se coloca una pelota de hule, u otro sello adecuado, bien ajustado dentro del tubo de caída, cerca del borde, y es empujado hacia abajo dentro del tubo por el primer concreto que se coloca. Este sello sirve como pistón bajo el peso del concreto e impide que se segregue al desplazar y expulsar el agua por el fondo del tubo.

La colocación debe empezar lentamente para reducir al mínimo la socavación del fondo o el lavado del concreto anteriormente vaciado. Para evitar la socavación y asegurar una base estructural adecuada para el concreto, algunas veces es necesario colocar una capa de roca, graduada apropiadamente, antes de empezar el vaciado. Durante la colocación del concreto, debe evitarse cualquier movimiento innecesario del tubo para reducir la formación de bolsas de grava y nata, y también es aconsejable colocar el concreto uniformemente para evitar el asentamiento disperejo de la base.

El fondo del tubo-embudo debe quedar siempre en el concreto fresco; después de que se haya empezado la colocación a mayor penetración del tubo en el concreto, más plano será el declive terminado. Las revolturas de concreto deben ser depositadas en el tubo-embudo a un ritmo uniforme para tener un flujo continuo.

Las demoras de más de 5 minutos entre las mezclas son indeseables. El equipo utilizado frecuentemente para transportar el concreto a la tolva del tubo-embudo se compone de grúa y recipientes, banda transportadora y bomba. El tubo debe levantarse lentamente durante la colocación, generalmente desde 15 hasta 60 cm (6 pulgadas a 2 pies) a la vez, manteniendo el fondo del tubo a un nivel que dé un flujo deseado a través de él. Se ha de tener especial cuidado en verificar que el fondo del tubo no se levante fuera del concreto plástico; si esto sucede, hay que sacarlo, ponerle nuevos sellos, y volver a empezar. Cuando el flujo debe detenerse por poco tiempo, el tubo debe introducirse más profundamente dentro del concreto plástico.

El espaciamiento de los tubos depende del espesor del vaciado y de la cantidad de pilotes o refuerzos.

La separación es aproximadamente de un tubo por cada 28 m<sup>2</sup> (300 pies cuadrados) de superficie, o de unos 4.5 m (15 pies) de centro a centro. Sin embargo, esto puede aumentarse hasta 12 m (40 pies) en una masa profunda no congestionada, en la que se emplee concreto con retardante.

Cuando la colocación se aproxima a su término, los tubos se trasladan a las esquinas y áreas bajas para llevar el colado a su nivel final. Tan pronto como se termina la colocación, debe usarse una bomba de agua accionada por aire para quitar la espuma o nata que se haya pegado en las áreas bajas en los lugares donde estuvo la tubería.

El ritmo normal de colocación varía usualmente desde ½ hasta 3 m (1½ hasta 10 pies) de altura por hora; si se sobrepasa, se pueden obtener superficies más planas, pero el aumento de la presión sobre las cimbras generalmente marca el límite, y un impacto excesivo se produce a la salida del tubo, sobre todo en el vaciado de muros estrechos. En estas condiciones se requiere un flujo de concreto uniforme a velocidad reducida, y un manejo uniforme y seguro de los tubos. El flujo y los declives se miden regularmente durante la colocación mediante el uso de una sonda.

### 8.4 Características estructurales

Las mezclas de concreto con resistencia a compresión y revenimiento alto, usadas en este método son, con frecuencia, de 281 a 563 kg/cm<sup>2</sup> (4 000 hasta 8 000 psi) a los 28 días. Las condiciones de curado son excelentes y la contracción es baja. Las superficies que estarán en contacto con el concreto deben estar libres de lodo, azolve marino, aguas negras, etc. La adherencia con superficies limpias de acero, roca y madera, es generalmente excelente. El calor de hidratación en mezclas ricas produce alta resistencia rápida, aunque la temperatura del agua sea tan baja como 4.4°C (40°F).

Cuando se colocan grandes masas de concreto por este método del tubo-embudo, los cambios volumétricos debidos al aumento de temperatura pueden merecer especial consideración. Puede ser necesario tomar precauciones para limitar los aumentos de temperatura, en cuyo caso debe instalarse una instrumentación adecuada que lo prevenga.

### 8.5 Inspección

La inspección del concreto durante su colocación por este método es difícil. El agua generalmente es turbia y las superficies del concreto fresco no pueden soportar el peso de un buzo. Así, es aconsejable inspeccionar el equipo con cuidado y revisar los preparativos antes de empezar la colocación. La evaluación correcta de las dosificaciones propuestas para el mezclado y la inspección de todas las etapas de la producción del concreto durante la colocación, son esenciales.

Debe inspeccionarse la resistencia y peso adecuado de la tubería para concreto de tubo-embudo (tremie), y los acoplamientos herméticos de todas las partes que van a quedar en contacto con el concreto. Debe verificarse también la limpieza. El estado de las juntas del tubo-embudo durante la colocación debe ser continuamente revisado, y tomarse medidas apropiadas en caso de fugas en las juntas.

Las obstrucciones, frecuentemente seguidas por pérdida del tubo-embudo, son causadas por cosas tales como arqueado (curvatura), demoras en la colocación (a veces tan solo de 10 minutos), segregación, mezclas no manejables, o por fugas en la tubería. No deben permitirse esfuerzos violentos para limpiar los tapones de la tubería con tirones o jalones, por la posibilidad de formación de fisuras, nata y bolsas de grava en la colocación. No deben permitirse vibraciones, agitaciones o movimientos contrarios del concreto colocado. Cuando el concreto se pone en cimbras, deben usarse ligaduras y anclas apropiadas para impedir la salida de la lechada. La colocación del concreto (tremie) por tubo-embudo, debe controlarse por personal calificado, mediante observación continua e interpretación de los sondeos. Después de que el concreto ha endurecido, un buzo debe inspeccionar la superficie antes de desaguarla, y más tarde deben inspeccionarse todos los agujeros de manejo, los puntos clave y uniones para llenarse por completo.

## BOMBEO DE CONCRETO

### 9.1 Consideraciones generales

El concreto bombeado puede definirse como concreto transportado mediante presión a través de tubos rígidos o mangueras flexibles, que se descarga directamente dentro del área deseada.

El bombeo puede emplearse en casi todas las construcciones de concreto, pero es especialmente útil donde el espacio o el acceso para el equipo de construcción son limitados. Los montacargas y la sgrúas quedan libres para entregar otros materiales de construcción simultáneamente con la colocación del concreto, y otras operaciones pueden seguir adelante sin ser estorbadas por las del concreto.

Según el equipo, el volumen de bombeo fluctuará entre 8 y 70 m<sup>3</sup> (10 a 90 yardas cúbicas) por hora.<sup>42</sup> La distancia de bombeo variará de 91 a 305 m (300 a 1 000 pies) horizontalmente, y de 30 a 91 m (100 a 300 pies) verticalmente.<sup>43,44,45</sup>

Para una discusión detallada sobre el bombeo de concreto, véase la referencia 68.

### 9.2 Equipo de bombeo

#### 9.2.1 Bombas de pistón

Estas bombas se componen de una tolva equipada con paletas remezcladoras para recibir el concreto mezclado, una válvula de entrada, una válvula de salida, un pistón y un cilindro. La válvula de salida está ubicada en la línea de descarga. Cuando el pistón inicia su carrera de retroceso, la válvula de entrada se abre y la válvula de salida se cierra. Entonces el pistón empuja el concreto desde el cilindro al tubo o manguera, y en el extremo de la línea, en el área de colocación, descarga la cantidad de concreto correspondiente. Entre los modelos de bomba que hay en el mercado, hay disponible una gran variedad, tanto en el diseño de pistones, disposición de las válvulas, mecanismos de transmisión, como en la fuerza motriz que emplean.

9.2.2 Bombas neumáticas

Estas bombas constan básicamente de una cámara a presión y de equipo para suministrar aire comprimido. El concreto se coloca dentro de la cámara a presión, y se cierra herméticamente. Luego se aplica el aire comprimido por la parte superior de la cámara y éste empuja al concreto por un tubo conectado al fondo. Una caja de descarga para el remezclado se ubica en el extremo de la línea, para ir expulsando el aire e impedir la aspersión del concreto y la resultante segregación, desplazamiento del esfuerzo, o daño a las cimbras. Es conveniente usar un tanque receptor de aire para regular el suministro de aire comprimido.

9.2.3 Bombas de presión "squeeze"

El equipo principal utilizado en estos sistemas de bombeo se compone de una tolva receptora con paletas remezcladoras, manguera flexible, y rodillos que operan dentro de un tambor metálico mantenido al alto vacío. La manguera flexible está conectada en el fondo de la tolva receptora y entra por el fondo del tambor. La manguera corre por la periferia interior del tambor y sale por la parte superior. Los rodillos impulsados hidráulicamente giran sobre la manguera flexible dentro del tambor y expelen fuera el concreto por la parte superior. El vacío mantiene un abastecimiento constante de concreto dentro del tubo de la tolva receptora.

9.3 Tuberías y accesorios

La tabla 9.3 muestra los factores geométricos y de capacidad relativos a los tamaños comunes de tubos. La capacidad efectiva de trabajo de una bomba y de un sistema de tubería depende de varios factores, entre ellos la longitud de la línea, la altura a la cual se está bombeando el concreto, superficie interior del tubo, codos, acoplamientos y mezcla del concreto.

9.3.1 Tuberías

Los tubos rígidos se hacen de acero, aluminio (véase el párrafo siguiente), o plástico, y se consiguen en tamaños de 8 a 20 cm (3 a 8 pulgadas) de diámetro.

Puesto que ha habido casos en los cuales el concreto, bombeado por un conducto de aleación de aluminio, mostró una expansión anormal causada por la formación de gas hidrógeno, se recomienda que no se emplee una línea con esta aleación para el suministro de concreto.<sup>46,70</sup> La tubería flexible hecha de hule, metal flexible enrollado en espiral y plásticos, existe en el mercado en tamaños de 8 a 13 cm (3 a 5 pulgadas) de diámetro. Aunque el comportamiento de la tubería flexible no es el mismo que el de la tubería rígida, ya que en general desarrolla mayor resistencia al movimiento del

TABLA 9.3.—DATOS SOBRE CONDUCTOS PARA CONCRETO BOMBEADO

Diámetro del conducto* pulg. (mm)	Área de la sección transversal pulg. <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	Tamaño máximo nominal del agregado pulgada (cm)		Volumen de concreto por cada 100 pies (30.5 m) de conducto		Longitud de conducto por cada yd <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> ) de concreto	Peso** del concreto por cada sección de 10 pies (3.1 m) de conducto libras (kg)	Capacidad de entrega, yarda cúbica por hora (m <sup>3</sup> /hr), para velocidades medias (no máximas) indicadas***					
		Mezcla rica	Mezcla pobre	pie <sup>3</sup>	yd <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )			1	2	3	4		
3 (76.1) DE 14 espesor de pared	6.41 (41.3)	¾ (1.9)	¾ (1.9)	4.4 (0.1)	0.2 (0.1)	625 (191)	66.8 (30.5)	0.3 (0.3)	5.9 (4.5)	1.2 (0.6)	1.8 (0.9)	2.4 (1.2)	3.0 (1.4)
4 (102) DE 14 espesor de pared	11.7 (75.5)	1 (2.5)	¾ (1.9)	8.2 (0.2)	0.3 (0.2)	333 (102)	123 (55.8)	1.1 (0.3)	11 (8.3)	2.2 (1.7)	3.2 (2.5)	4.3 (3.3)	5.4 (4.1)
4 (102) DI	12.8 (81.0)	1 (2.5)	1 (2.5)	8.7 (0.2)	0.3 (0.2)	313 (95.4)	131 (59.4)	1.2 (0.3)	12 (8.9)	2.3 (1.8)	3.5 (2.7)	4.7 (3.6)	5.4 (4.1)
5 (127) DI	19.6 (127)	1½ (3.8)	1 (2.5)	14 (0.4)	0.5 (0.4)	200 (61.0)	204 (92.5)	1.6 (0.4)	16 (11.4)	3.6 (2.8)	5.4 (4.1)	7.2 (5.5)	9.0 (7.0)
6 (152) DI	28.3 (182)	2 (5.0)	1½ (3.8)	20 (0.6)	0.7 (0.6)	137 (41.8)	294 (133)	2.6 (0.6)	26 (20)	5.3 (4.0)	7.9 (6.0)	10.0 (8.0)	12.7 (9.7)
7 (178) DE 5/32 pulg. espesor de pared	35.1 (227)	2 (5.0)	1½ (3.8)	24 (0.7)	0.9 (0.7)	111 (33.8)	366 (166)	3.2 (0.7)	32 (25)	6.5 (5.0)	9.7 (7.4)	12.7 (9.7)	16.4 (12.7)
8 (200) DI	50.2 (324)	2½ (6.3)	2 (5.0)	35 (1.0)	1.3 (1.0)	76 (23.8)	524 (238)	4.6 (1.0)	46 (35)	9.3 (7.1)	13.4 (10.3)	17.5 (13.4)	22.6 (17.5)

\* DE indica diámetro exterior; DI indica diámetro interior.

\*\* A 150 libras/pie cúbico (2400 kg/m<sup>3</sup>).

\*\*\* Las capacidades fueron obtenidas por la fórmula hidráulica normal (multiplicase 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.

concreto, es intercambiable con secciones de tubería rígida, y se usa con ventaja en lugares como curvas, áreas de colocación difícil, y en las conexiones a grúas móviles de transporte o conductos flotantes. Sin embargo, se recomienda que la tubería de hule no se emplee cerca de la bomba si precede a un conducto largo.

### 9.3.2 Acoplamientos

Los acoplamientos entre los tubos deben ser suficientemente resistentes como para soportar el manejo del sistema durante su erección, y los inconvenientes a causa de desviaciones y mala sustentación. Deben tener resistencia nominal por lo menos de 35 kg/cm<sup>2</sup> (500 psi) y mayor para alturas de más de 30 m (100 pies). Deben estar diseñadas para permitir el remplazo de cualquier sección de tubería sin tener que mover otras secciones y provistas de sección transversal integral libre de rugosidades o de grietas que interrumpan el flujo suave del concreto.

### 9.3.3 Accesorios

Los accesorios disponibles para tubería se enumeran como sigue (los acoplamientos y las longitudes estándar de tubo se discutieron antes): Secciones curvas (codos), uniones y esparcidores giratorios; válvulas de clavija y compuerta para impedir el retroflujo; válvulas interruptoras para dirigir la corriente a otra línea; sistemas de conexión para llenar las cimbras de abajo hacia arriba; "tablillas", rodillos, y otros dispositivos para protección de la tubería sobre roca, concreto, acero de refuerzo y cimbras, y proveer puntos para elevación y amarre; reducciones para conectar diferentes diámetros de tubo; respiradores de aire para bombeo hacia abajo; equipo para limpieza y pescantes controlados eléctricamente o grúas especializadas.

### 9.3.4 Resistencia de la línea

Cuando el concreto se bombea por una sección recta de tubo o manguera, se mueve como cilindro avanzado sobre una membrana lubricante de lechada o mortero.<sup>47-49</sup> Para obtener esta membrana lubricante, al inicio de la operación de bombeo, la primera mezcla bombeada por la línea debe ser una mezcla de mortero apropiadamente proporcionada. Esta mezcla debe emplearse exclusivamente para lubricación, excepto de una pequeña porción que pueda necesitarse para el llenado de las juntas de construcción y no debe utilizarse en la colocación del concreto. Para lograr la menor resistencia de la línea, la disposición del sistema de tubería debe contener el mínimo posible de curvas, y sin cambio en el diámetro de los tubos.<sup>50</sup> Un manejo cuidadoso de la tubería durante el ensamble, la limpieza y el desmonte, ayuda también a disminuir la resistencia de la línea, al impedir la formación de rugosidades en la superficie de las secciones de la tubería y hendiduras en los acoplamientos.

## 9.4 Proporcionamiento de concreto bombeado

### 9.4.1 Consideraciones básicas

Aunque los ingredientes de las mezclas colocadas por medio de bomba son iguales a los que son colocados por otros medios, es esencial para el éxito del bombeo del concreto contar con un eficiente control de calidad de la dosificación, mezclado, equipo, y con los servicios de personal dotado de conocimientos y experiencia en el bombeo de concreto.

Los principios para el proporcionamiento de concreto se describen en muchas publicaciones (véanse referencias 2, 5, 8, 10 y 51-56), pero aquí se recomiendan al lector particularmente las prácticas ACI 211.1-70<sup>51</sup> y ACI 211.2-69<sup>52</sup> que describen los principios de proporcionamiento para concreto normal y ligero. El tamaño máximo del agregado grueso anguloso debe limitarse a una tercera parte del diámetro interior mínimo de la manguera o del tubo, y el tamaño máximo de los agregados bien redondeados debe limitarse al 40% del diámetro interior.

### 9.4.2 Agregados de peso normal

Se recomienda al lector el informe del Comité 621 del ACI<sup>53</sup> para una información básica sobre agregados para el concreto.

El volumen aproximado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto puede ser seleccionado de la tabla 9.4.2. El agregado grueso de peso normal debe cumplir con la norma ASTM C33.

Las propiedades de los agregados finos de peso normal (arena), juegan un papel más importante en el proporcionamiento de mezclas bombeables, que los agregados gruesos. Junto con el cemento y el agua, la arena suministra el mortero que lleva los sólidos o agregados gruesos en suspensión, permitiendo así que la mezcla sea bombeable.

La granulometría de la arena debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C33 para arena (figs. 9.4.2a). La experiencia ha demostrado que debe darse atención particular a aquellas porciones que pasan las mallas más finas.<sup>50, 54</sup>

Para sistemas pequeños de línea (menos de 15 cm, 6 pulg), del 15 al 30% debe pasar la malla No. 50, y del 5 al 10% debe pasar la malla No. 100. Las arenas deficientes en uno u otro de estos dos tamaños, deben combinarse con arenas seleccionadas más finas para lograr los porcentajes deseados.

Otro indicador importante de la granulometría de la arena adecuada para un bombeo es el módulo de finura. Las arenas con un módulo de finura entre 2.40 y 3.00 son generalmente satisfactorias.

Las características de bombeo del concreto que contiene arena natural, suelen ser mejores que las de aquel que contiene arena fabricada de la misma granulometría.

Particular atención debe darse a las notas al pie de la tabla 9.4.2, que per-

miten reducir el agregado grueso para el bombeo hasta un 10 por ciento. Esta reducción provee un margen de seguridad para variaciones en la granulometría de la arena, y reduce las presiones del bombeo. Sin embargo, con un buen control de materiales y un sistema de línea sin complicaciones, puede ser que esta reducción no sea necesaria. Los valores sugeridos en la tabla 9.4.2 pueden ser utilizados para agregados angulares y redondeados, porque las diferencias en la forma y granulometría de las partículas se compensan automáticamente por las diferencias en el peso unitario.

Como guía para seleccionar la granulometría apropiada para la arena, el porcentaje recomendado para cada tamaño de malla se indica en la fig. 9.4.2a junto a los límites ASTM. La figura 9.4b muestra la misma granulometría recomendada en términos de porcentaje individual retenido sobre cada malla y presenta un método más conveniente para determinar la cantidad que falta o sobra de cualquiera de los tamaños.

La figura 9.4.2c contiene franjas de granulometría de agregado combinado para tamaños máximos de 20 y 40 mm (¾ y 1½ pulgadas), que por experiencia han proporcionado concretos con características de bombeo óptimas. Sin embargo, el más bajo contenido práctico de arena debe determinarse mediante mezclas de prueba y su rendimiento.

**9.4.3 Agregados ligeros estructurales**

Los agregados ligeros tienen características de porosidad que los hacen más ligeros, y les permite absorber mayores cantidades de agua que los agregados de peso normal. Los procedimientos para calcular esta absorción se describen en ACI 211.2-69.<sup>57</sup> La absorción bajo presión atmosférica puede variar entre 5 y 25% por peso en agregados diferentes, y bajo las presiones ejercidas por el bombeo, la absorción puede ser considerablemente mayor, dando por resultado pérdida del agua del concreto dentro de la línea, y por lo tanto, en perjuicio del bombeo.

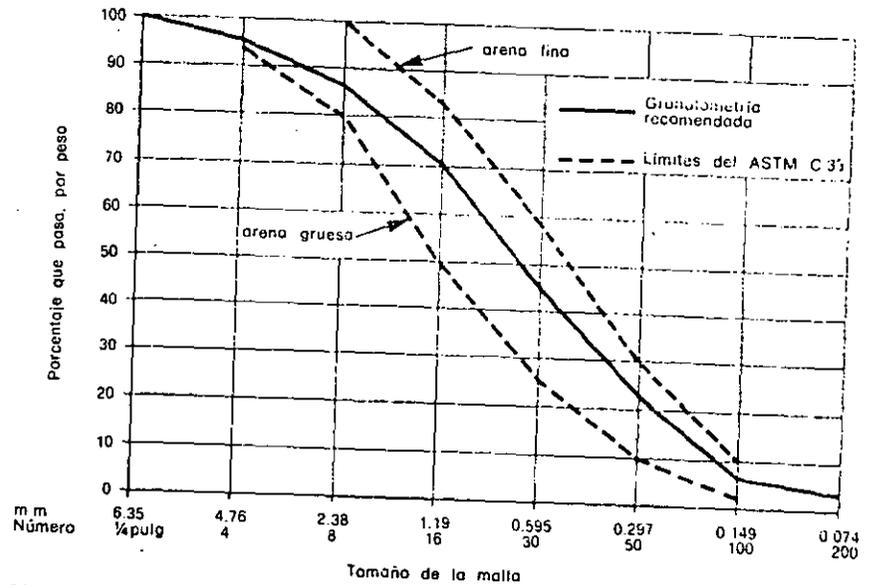
**TABLA 9.4.2.—VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO DE PESO NORMAL. POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO\***

Tamaño máximo de agregado		Volumen de agregado grueso varillado en seco por unidad de volumen de concreto para módulos de finura de la arena indicados**			
pulg.	mm	2.40	2.60	2.80	3.00
¾	9.51	0.50	0.48	0.46	0.44
½	12.7	0.59	0.57	0.55	0.53
¾	19.0	0.68	0.64	0.62	0.60
1	25.4	0.71	0.69	0.67	0.65
1½	38.1	0.75	0.73	0.71	0.69
2	50.8	0.78	0.76	0.74	0.72

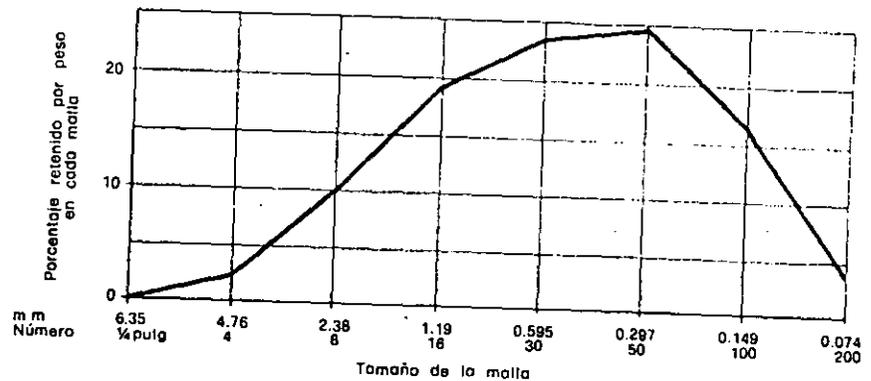
\* Tomado de tablas 5.2.6 y A.1.5.2.6, ACI 211.1-70.  
 \*\* Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para construcciones de concreto reforzado usuales. Para concreto menos trabajable, tal como el que se requiere para la construcción de pavimentos, pueden aumentarse un diez por ciento. Para un concreto con mayor trabajabilidad, tal como puede requerirse para concreto bombeado, pueden reducirse hasta un 10 por ciento.

**9.4.3.1 Humedecimiento previo del agregado ligero**

Antes de utilizarlo en el concreto bombeado, el agregado de peso ligero debe ser humedecido mediante un riego apropiado de los montones o depósitos hasta las partes más profundas. Pueden necesitarse de 2 a 3 días de riego, pero el tiempo real en cada caso debe basarse en pruebas apropiadas o en la experiencia con el agregado particular que se está empleando. Un



**Fig. 9.4.2. a. Límites sugeridos para la granulometría de arena de peso normal para concreto bombeado.**



**Fig. 9.4.2b. Valores sugeridos de granulometría en cada malla para arena de peso normal para concreto bombeado.**

**DIAMETRO DE LAS PARTICULAS**  
(Número de malla y pulgadas)

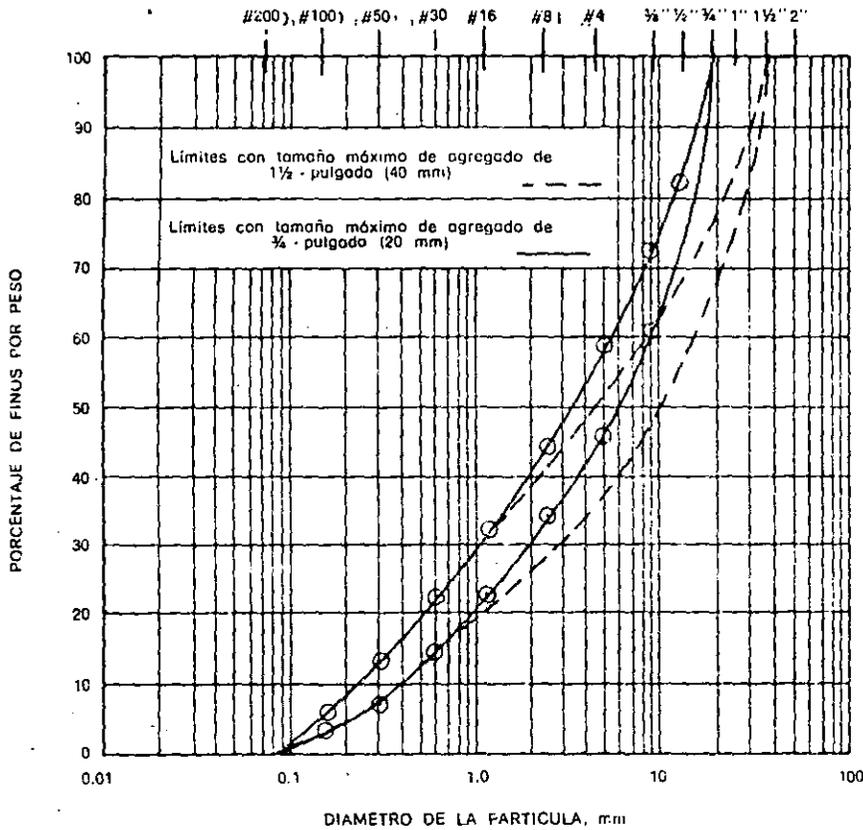


Fig. 9.4.2c. Granulometría combinada de agregado de peso normal recomendada para concreto bombeado.

contenido de humedad mínima práctica, después del humedecimiento debe ser igual o mayor que el promedio de absorción en 24 horas, tal como se determina en las pruebas normales de la ASTM.

El humedecimiento de la arena de peso ligero ayuda a impedir que las fracciones finas se segreguen de las gruesas, pero debe evitarse un humedecimiento excesivo, porque entonces se observa que las partículas finas están desapareciendo con el lavado. Debe permitirse que el agua libre drene de los montones de los agregados humedecidos, durante 2 a 4 horas, antes de emplearlos en el concreto, para permitir un control de revenimiento uniforme. El humedecimiento de la arena de peso ligero en ocasiones se

logra en el tambor de la mezcladora con dos terceras partes del agua total de mezclado, antes de agregar los demás ingredientes. Aun cuando los agregados de peso ligero estén humedecidos, es generalmente necesario compensar la absorción adicional (o pérdida por revenimiento), que ocurre durante el bombeo por usar contenidos mayores de arena, cemento y agua, y arenas más finas, agentes inclusores de aire, aditivos reductores de agua y puzolanas. La tabla 9.4.3.1 da la cantidad de agregado grueso ligero humedecido atmosféricamente, que por lo general se usa en el concreto bombeado.

**9.4.3.2 Saturación al vacío y térmica**

Se ha desarrollado un proceso patentado para humedecimiento previo de agregados ligeros, por medio del cual los agregados, saturados por vacío, se colocan en un tanque.<sup>50</sup> La absorción de humedad por este proceso, que se completa en 30 ó 45 minutos, puede duplicar o triplicar la absorción regular de 24 horas.

El proceso de saturación térmica para humedecer el agregado ligero, que se emplea con buen éxito en algunas plantas, consiste en sumergir el agregado caliente en agua. Para evitar al agregado el choque térmico y posible daño, debe determinarse previamente la óptima combinación de las temperaturas tanto del agregado como del agua, para agregado específico. Este proceso se adapta especialmente a las plantas que utilizan equipo de enfriamiento mecánico, tal como enfriadores giratorios. La absorción de humedad por este proceso equivale aproximadamente al que se logra por el proceso al vacío.

Cuando se emplea agregado ligero saturado térmicamente y al vacío, la absorción durante el bombeo es virtualmente nula y el concreto responde casi de la misma manera que cuando se usan agregados de peso normal. Las proporciones de agregado mostradas en la tabla 9.4.2 pueden emplearse con una tolerancia apropiada para la diferencia entre volúmenes secos sueltos

**TABLA 9.4.3.1 VOLUMEN PROPUESTO DE AGREGADO GRUESO DE PESO LIGERO SATURADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO\***

Tamaño máximo de agregado		Módulo de finura de agregados finos combinados			
pulg.	mm	2.20	2.40	2.60	2.80
3/4	9.4	0.36	0.34	0.33	0.31
1/2	12.5	0.42	0.41	0.39	0.38
3/8	18.8	0.50	0.49	0.47	0.46

\* Los volúmenes se basan en agregados de peso ligero sin compactar como se describe en la norma ASTM C29. Los valores se basan en un estudio inédito de prácticas empleadas por productores de concreto de peso ligero de los Estados Unidos. La experiencia ha demostrado que el tiempo mínimo requerido para saturarse puede ser de 2 a 3 días. El tiempo real requerido debe basarse en pruebas adecuadas, o en experiencias con el agregado específico que se va a utilizar.

y varillado en seco (seco suelto = varillado en seco  $\times$  1.10). Las pruebas de laboratorio del concreto que contiene estos agregados procesados especialmente, han indicado una resistencia deficiente a la congelación y deshielo, pero cuando se ha permitido que el concreto seque durante varias semanas después de periodos de curado adecuados, su resistencia se ha mejorado notablemente. Estas pruebas indican que deben tomarse precauciones de curado-secado, similares cuando este concreto se usa en áreas sujetas a congelación y deshielo.

#### 9.4.3.3 Granulometría y peso unitario de agregados de peso ligero

La granulometría de los agregados de peso ligero debe caer dentro de los límites fijados por la norma ASTM C 330. Además, de un 25 a 35% de las fracciones de arena debe pasar por la malla No. 50 (0.297 mm), y de 10 a 20% por la malla No. 100 (0.149 mm). Si estas medidas no son adecuadas para las arenas, puede corregirse la deficiencia agregando arena de peso normal o un suplemento mineral. Aunque mejora la granulometría total de los agregados finos combinados, esto aumentará el peso de la mezcla del concreto terminado.

El peso específico de las diferentes fracciones de tamaño del agregado ligero aumenta al disminuir el tamaño de las partículas; así el módulo de finura calculado a base de peso no es enteramente exacto.<sup>57</sup> Sin embargo, puesto que no es práctico calcular el módulo de finura a base de volumen, se sugiere que se calcule a base de peso, tal como la arena de peso normal. Si se concede una tolerancia arbitraria de 0.20 de diferencia en la finura del módulo entre arenas de peso normal y de peso ligero, la escala sugerida en el módulo de finura para las de peso ligero será de 2.20 a 2.80 en vez de la variación mencionada anteriormente de 2.40 y 3.00 para las arenas de peso normal. La experiencia hasta la fecha no indica la necesidad de una mayor exactitud.

El peso unitario de los agregados ligeros fluctúa debido a cambios en la granulometría, cambios en el contenido de humedad, características expansivas de las materias primas, o en una combinación de estos tres factores. Aunque se permiten variaciones dentro de ciertos límites según la norma ASTM C 330, deben hacerse los ajustes en los pesos de la mezcla para compensar estos cambios, y mantener adecuadamente el rendimiento, la consistencia y el peso unitario. La dosificación de agregados gruesos por volumen en lugar de por peso, es otro método establecido para mantener control sobre estas características.

#### 9.4.4 Agua y revenimiento

Los requerimientos del agua de mezclado varían según los diferentes tamaños máximos del agregado y los diferentes revenimientos. Se presenta en la norma ACI 211.1-70<sup>10</sup> una tabla que muestra la cantidad aproximada de

agua que se requiere para diferentes mezclas de concreto de peso normal con o sin aire incluido.

Para concreto ligero, los requerimientos totales de agua serán diferentes que para mezclas de peso normal. Esto, como se ha indicado anteriormente, se debe a diferencias en las propiedades absorbentes de los agregados. El agua total debe considerarse en dos partes, agua "activa" y agua "absorbida". El agua activa determinará el revenimiento y tendrá una conexión directa con la relación agua/cemento, mientras que el agua absorbida por las partículas de peso ligero no afectará directamente la calidad de la pasta. Los requerimientos de agua "activa" en el concreto ligero son aproximadamente los mismos que para una mezcla semejante de concreto regular. Sin embargo, el agua absorbida variará como se ha expuesto anteriormente. Para reducir al mínimo estas variaciones, se ha hecho hincapié en la necesidad del humedecimiento previo.

La experiencia indica que los revenimientos de menos de 5 cm (2 pulgadas) son imprácticos para bombear, y que los revenimientos de más de 15 cm (6 pulgadas), deben evitarse. En mezclas con revenimiento alto, el agregado se segregará del mortero y de la pasta, pudiendo causar un bloqueo en las líneas de bombeo. Las mezclas excesivamente aguadas presentan un sangrado excesivo y un aumento en la contracción. **Es mucho más importante obtener una mezcla verdaderamente "plástica" mediante el apropiado proporcionamiento que tratar de salvar las dificultades agregando más agua.**

#### 9.4.5 Contenido de cemento

Las normas ACI 211.1-70<sup>10</sup> y ACI 211.2-69<sup>57</sup> pueden emplearse como guías para la determinación del contenido de cemento. Sin embargo, debido a los usuales rangos de revenimiento requeridos y las proporciones antes discutidas entre agregados finos y gruesos, las mezclas para bombeo suelen requerir un aumento en la cantidad de cemento, respecto de la que se utiliza para el concreto colocado convencionalmente.

Debe reconocerse que las mezclas de peso ligero bombeables que utilizan aun proporciones más altas de agregados finos y gruesos, y un revenimiento mayor que las mezclas para bombeo de peso normal, pueden requerir un ajuste mayor en el contenido de cemento.

Para determinar el contenido de cemento para mezclas de prueba de peso normal o ligero, debe usarse, cuando esté disponible, información de los proveedores de agregados y del concreto. Debe reconocerse también la necesidad de proporcionar resistencias mayores en el laboratorio, para prevenir las variaciones que en el campo producen resistencias más bajas.<sup>40</sup>

#### 9.4.6 Aditivos

Los aditivos seleccionados para usarse como ayuda en el bombeo de concreto, suelen proveer efectos deseables tales como lubricación adicional,

reducción de la segregación y disminución del sangrado. Los aditivos frecuentemente utilizados en mezcla para bombeo son los reductores de agua, los inclusores de aire, y los aditivos minerales finalmente divididos. Está fuera del alcance de este informe una discusión sobre todos los tipos de aditivos para concreto, pero puede consultarse el último informe del Comité ACI 212 para mayores datos.<sup>21</sup>

Los beneficios importantes que pueden derivarse de los aditivos reductores de agua son: una reducción del agua requerida para un revenimiento constante, con el consiguiente aumento de resistencia, o un aumento en el revenimiento con la relación agua/cemento constante, sin ninguna pérdida de resistencia y mejorando la capacidad del concreto para bombearse. Los aditivos reductores de agua deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 494.

El concreto con aire incluido es considerablemente más plástico y manejable que el concreto sin aire incluido. Puede bombearse con menos segregación del agregado grueso, hay menos tendencia del concreto al sangrado y se facilita la continuidad de la colocación del concreto después de una suspensión del trabajo, debido a esta reducción del sangrado.

Los límites<sup>21</sup> de contenido de aire para conseguir la durabilidad deseada del concreto bombeado sujeto a ciclos de congelación y deshielo, deben cumplirse con el concreto en el lugar de su colocación en la estructura. Cuando la durabilidad no constituye un factor importante, puede usarse un contenido de aire de 3 a 5%, ya que las variaciones mayores reducen la capacidad de entrega de los sistemas de bombeo, debido al aumento en la comprensibilidad del concreto. Una alta comprensibilidad puede hacer imposible el bombeo en algunos recorridos altos o largos.

Los aditivos inclusores de aire deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C260.

Mezclas minerales finamente molidas o aditivos pueden emplearse en concretos bombeados para corregir deficiencias en las arenas, reducir el sangrado y mejorar la plasticidad. Los materiales que pueden incluirse en esta categoría son:

1. Materiales químicamente inertes, tales como caliza molida, cuarzo molido y cal hidratada.
2. Materiales cementantes, tales como cemento natural (ASTM C10), escoria granulada de altos hornos de hierro, cales hidratadas (ASTM C141) y cementos de escoria (ASTM C 595); y
3. Puzolanas, tales como ceniza volante, vidrio volcánico y algunos esquistos o arcillas tratadas con calor (ASTM C618) y tierra de diatomita.

Los polímeros solubles en agua, obtenidos de derivados de celulosa, se han utilizado limitadamente como un aditivo en mezclas para bombeo. Pequeñas cantidades de estos polímeros, de 60 a 150 gr/m<sup>3</sup> (0.10 a 0.25 lb/yd<sup>3</sup>), aumentan la viscosidad del agua de la mezcla y parece que reducen la resistencia por fricción y el sangrado en el sistema de tubería. Se necesitan investigaciones adicionales y experiencia de campo con concreto que

contenga estos polímeros para establecer plenamente su aplicación en el concreto bombeado.

#### 9.4.7 Mezclas de prueba

Las mezclas de prueba destinadas al bombeo deben prepararse y probarse en el laboratorio, de acuerdo con todas las normas aplicables de la ASTM.

Para el concreto de peso normal sígase el método descrito en la norma ACI 211.1-70, utilizando la tabla 9.4.2 para seleccionar el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Para concreto ligero sígase el método descrito en la norma ACI 211.2-69, pero utilícese la tabla 9.4.3.1 como guía para seleccionar el volumen de agregado grueso humedecido atmosféricamente, y la tabla 9.4.2 para agregados saturados al vacío o térmicamente.

#### 9.4.8 Pruebas para bombeo

Puesto que no existe ningún aparato de laboratorio reconocido, ni equipo específico disponible para comprobar en el laboratorio la bombeabilidad de una mezcla, se recomienda que se acepte la mezcla para usarse en el trabajo de bombeo, basándose en una prueba actual bajo las condiciones de campo. La comprobación de una mezcla para su bombeo implica una duplicación de las condiciones de trabajo que se prevean, incluyendo la dosificación y el mezclado en camión, la bomba y el operario, y la trayectoria de la tubería y de la manguera. El uso previo de una mezcla en otro trabajo puede proporcionar datos sobre su comportamiento, pero sólo cuando las condiciones sean las mismas o muy semejantes.

#### 9.5 Prácticas de campo

La bomba debe instalarse lo más cerca posible del área de colocación, y el área de entrega no debe impedir el suministro continuo del concreto. Las líneas del bombeo deben trazarse con un mínimo de curvas, éstas sostenidas firmemente, utilizando alternativamente tubos rígidos y tuberías o mangueras flexibles que permitan la colocación del concreto, directo en áreas extensas de la obra sin necesidad de manejo adicional. Para colocaciones importantes de concreto y para trabajos grandes debe tenerse disponible un equipo de suministro de energía y de bombeo en reserva para remplazar al equipo, en caso de falla.

Cuando se bombea hacia abajo por 15 m (50 pies) o más, es deseable proveerse de una válvula de alivio, en medio de la curva superior, para impedir el vacío o el incremento del aire. Cuando se bombea hacia arriba es deseable tener una válvula cerca de la bomba para impedir el retroceso del concreto durante el ajuste del equipo por limpieza, o cuando se está trabajando en la bomba.

Debe mantenerse una comunicación directa entre el operador de la bomba y el de la cuadrilla que coloca el concreto. Es también deseable que exista una buena comunicación entre el operador de la bomba y la planta dosificadora. Como comprobación final, la bomba debe echarse a andar y operarse sin concreto, para asegurar que todas las partes movibles estén funcionando en forma debida. Tan pronto como se reciba el concreto, la bomba debe operarse lentamente, hasta que las líneas se llenen por completo y el concreto avance uniformemente. El bombeo debe ser continuo, ya que si la bomba se detiene, el movimiento del concreto en la línea difícilmente puede reanudarse, o imposible de iniciar nuevamente el movimiento del concreto. Cuando ocurra alguna demora debido a tardanzas en la entrega del concreto, reparaciones en las cimbras, o a otros factores, debe disminuirse la velocidad de la bomba, pero manteniendo algo del movimiento del concreto para evitar obstrucciones. Si después de una demora no se puede mover el concreto en la línea, será necesario vaciar una o varias secciones de la línea entera, y volver a empezar. Cuando la cimbra está casi llena y hay suficiente concreto en la línea para completar el vaciado, se suspende el bombeo y se introduce un diablo, forzándose el concreto a través de toda la línea para limpiarla. Para empujar el diablo ("go-devil"), se puede emplear agua o aire. El diablo debe detenerse varios metros antes de llegar al final de la línea, de manera que el agua en la línea no se derrame dentro del área de colocación del concreto. Si se utiliza aire, debe tenerse mucho cuidado en regular el suministro y la presión del aire, e instalarse un tubo en U al final de la línea para impedir que el diablo salga disparado como un proyectil peligroso. También debe instalarse en la línea una válvula de escape del aire para evitar la acumulación de presión. Después de que todo el concreto haya sido sacado de las líneas, éstas y el equipo deben limpiarse cuidadosamente.

### 9.6 Bombeo en revestimiento de túneles

Para una discusión detallada sobre los procedimientos que deben emplearse para bombear el concreto para el revestimiento de los túneles, se recomiendan las referencias 44 y 62. Los costados del revestimiento deben levantarse suave y llanamente, bombeando por las aberturas practicadas en la cimbra. La corona del revestimiento se rellena mediante tubos de caída previstos a través de la cimbra, o utilizando una línea que corra por la cima de la cimbra, comúnmente conocida como línea resbaladiza ("slick-line").<sup>44,62</sup> Esta línea se mantiene en todo momento introducida profundamente dentro del concreto, ejerciendo así altas presiones de compactación que fuerzan el concreto hacia arriba, hasta adentro de las irregularidades de las rocas, para lograr que se llene bien la corona del revestimiento. La línea de bombeo se va sacando paulatinamente de la cimbra, al paso que se va completando el vaciado. Cuando se emplean bombas neumáticas, debe usarse una caja de descarga o cubierta en, o cerca de la extremidad de des-

carga de la línea de bombeo, para impedir que haya una descarga del concreto a alta velocidad, hasta que la extremidad esté bien enterrada dentro de la masa de concreto.

### 9.7 Control de campo

Son importantes los puntos en los cuales se toman las muestras del concreto. La norma ASTM C94 para concreto premezclado, establece que las muestras se tomen del conducto de descarga del camión-revolvedora, y la norma ASTM C172 estipula que las muestras se tomen del punto de descarga de una mezcladora fija. En el caso de concreto bombeado, debe practicarse el muestreo tanto en el punto de entrega a la bomba como en el punto de vaciado al final de la línea, para determinar si están ocurriendo algunos cambios en el revenimiento, contenido de aire, u otras características de la mezcla. Sin embargo, la calidad que se está colocando en la estructura sólo puede medirse en el extremo de la línea que se encuentra en el punto de colocación.

La necesidad de controlar cada operación ha sido puesta de relieve en todo este capítulo. La buena inspección es probablemente el mejor medio para lograr un trabajo satisfactorio. El manual de inspección del concreto (ACI Manual of Concrete Inspection)<sup>1</sup> da un bosquejo detallado de la inspección que ha de ejercerse en la construcción con concreto. Los buenos materiales y el buen equipo, en manos de personas competentes y con conocimientos, siempre rendirán buenos resultados, y esto es particularmente cierto en el caso del concreto bombeado.

CAPITULO 10  
**CIMBRA,  
LIMPIEZA Y ACABADO**

**10.1 Cimbras**

El diseño y la construcción de cimbras para el concreto deben cumplir con las Prácticas Recomendadas para Cimbras de Concreto ("Recommended Practice for Concrete Formwork ACI 347-68").<sup>38</sup> Puesto que la ejecución de construcciones de concreto frecuentemente se juzga por la apariencia del concreto al quitarse las cimbras, es importante el comportamiento apropiado de las cimbras bajo las cargas de construcción.

Las juntas, esquinas, conexiones y rebabas de los paneles de las cimbras deben estar lo suficientemente bien ajustadas como para contener la mezcla fluida. Las salientes y desalineaciones deben evitarse en las juntas horizontales, montando de nuevo las cimbras con sólo 2.5 cm (1 pulgada) de traslape al concreto, debajo de la línea hecha por un listón de nivel, y atando y atornillando firmemente las cimbras cerca de la junta.<sup>2</sup> Las muescas labradas también pueden utilizarse para ocultar juntas de construcción, mejorando la apariencia cuando están bien dispuestas.<sup>2</sup> Los amarres empleados en las cimbras deben dejar agujeros lo más pequeños posible y su diseño debe permitir que se quiten, sin descascarar el concreto circundante. La salida del mortero alrededor de los amarres debe evitarse, y el relleno de agujeros, cuando sea necesario, debe hacerse de manera que se logre un parche seguro, sano, sin contracciones e invisible.<sup>1, 2</sup>

Las cimbras deben protegerse del deterioro, de la intemperie y de las contracciones antes de colocar el concreto, aceitándolas o humedeciéndolas convenientemente. Las superficies de las cimbras deben estar limpias y ser de textura uniforme, y cuando se vuelven a emplear deben limpiarse y aceitarse con cuidado. Las cimbras de acero deben limpiarse con esmero, pero jamás con chorro de arena, ni rasparse hasta dejar el metal brillante. Cuando se encuentran desconchaduras ("peeling") en la cimbra de acero, su condición se mejora generalmente limpiándola de desechos, dejándola por un día aceitada al sol, frotando vigorosamente con parafina líquida las áreas afectadas, o aplicando una delgada capa de laca. A veces la desconchadura

es el resultado de la abraisión de ciertas áreas de la cimbra por impacto durante el vaciado, lo que se puede enmendar protegiendo estos puntos temporalmente con madera u hojas de metal.

Debe proveerse acceso amplio al interior de las cimbras para la conveniente limpieza, colocación, vibración e inspección del concreto y para usar el concreto de proporcionamiento adecuado (sin revenimiento excesivo o contenido de arena o utilizando un agregado de tamaño menor que el apropiado para la obra).

Por la apariencia, es importante prestar la debida atención a la marca que hace una junta de construcción sobre las superficies expuestas del concreto. No deben permitirse las juntas de construcción irregulares, y debe lograrse una superficie pareja, preferiblemente horizontal, llenando las cimbras hasta enrasarlas.<sup>2</sup> Puede usarse una tira rasante en V, o restangular y biselada, para formar una ranura en la junta de construcción cuando esto sea apropiado.

Para el revestimiento de taludes y colocados similares, en lugar de cimbras fijas es preferible una cimbra deslizante de acero, de movimiento continuo libre de vibraciones, semejantes a la mostrada en la figura 6.1k. El concreto en estas secciones debe vibrarse internamente delante de la placa de cabecera de la cimbra deslizante.<sup>2, 4</sup>

### 10.2 Limpieza—Preparación de juntas horizontales de construcción

La superficie de la junta de construcción debe prepararse para asegurar una adecuada adherencia con el concreto colocado posteriormente y para lograr impermeabilidad cuando se necesite.<sup>2, 63, 64</sup> No es difícil lograr una junta satisfactoria cuando se ha empleado concreto de alta calidad de revenimiento bajo y se ha colocado correctamente. Cuando se ha empleado concreto de revenimiento alto, o cuando una excesiva vibración en la parte alta del concreto vaciado, o las maniobras de tránsito en la obra, han llevado a la superficie grandes cantidades de agua de sangrado y de mortero, el concreto en la superficie del vaciado es de tan mala calidad que es difícil lograr una adecuada limpieza. En este caso la limpieza llamada de corte verde ("green cut"), es un buen método para reparar una junta de inferior calidad, que un buen trabajo no nos hubiera dado.

El primer paso debe consistir en quitar toda la nata y la superficie de concreto de calidad defectuosa, mediante un chorro fuerte de aire y agua, a aproximadamente 7 kg/cm<sup>2</sup> (100 psi), después de que el concreto haya endurecido lo suficiente, para impedir que el chorro desmorone la superficie más allá de la profundidad deseada. Mediante un buen lavado debe quitarse el agua estancada que al secarse deja una película débil en la superficie, después de completarse la operación de limpieza principal. La superficie de las juntas así tratadas, debe curarse continuamente con humedad, y, si es posible, no debe permitirse que llegue a secar durante el intervalo entre los vaciados del concreto, excepto posiblemente durante las últimas horas.

Antes de la colocación del concreto nuevo, la superficie debe restaurarse, hasta que se logre la misma condición de limpieza que tenía inmediatamente después del "corte verde", lavándola otra vez con un chorro de agua y aire, y accpillándola vigorosamente con escoba de alambre fino, o con un chorro de arena si es necesario. Si la superficie ha sido curada apropiadamente con arena mojada, será necesario escobillar muy poco o limpiar con chorro de arena antes del vaciado. El "corte verde" efectuado entre 4 y 12 horas después de la colocación, seguido de una esmerada limpieza final, puede usarse con buen éxito cuando la calidad del concreto en la junta es buena.

La superficie de la junta de construcción se prepara mediante el chorro de arena mojada, después de que el concreto se ha endurecido, y en general, inmediatamente antes de la colocación del nuevo concreto.<sup>2, 63, 66</sup> Este método produce excelentes resultados en la superficie de juntas horizontales, particularmente en aquellos vaciados con concreto de revenimiento de 5 cm (2 pulgadas) o menos, utilizando vibradores internos.

Otro método para limpiar juntas de construcción consiste en usar chorros de agua de alta presión hasta de 490 kg/cm<sup>2</sup> (7 000 psi). Como en el método de chorro de arena, la limpieza se realiza cuando el concreto está suficientemente endurecido, de manera que únicamente la superficie del mortero se quita y no hay nada de socavación de las partículas del agregado grueso. Un lavado inmediatamente antes de un nuevo vaciado de concreto es necesario solamente si se han acumulado tierra y desechos en la superficie después de que se hizo la limpieza.

En algunos casos, la colocación del nuevo concreto es precedida por la colocación de una capa de 0.5 a 1 cm (¼ hasta ⅜ de pulgada) de mortero del mismo proporcionamiento que el del concreto. Esta debe escobillarse en la superficie de la junta con escobas de alambre. En cimbras de columna o cimbras estrechas y profundas, donde no es conveniente el uso de una mezcla de empaque, es preferible empezar la colocación con varios centímetros de concreto que contenga mortero que exceda al de la mezcla normal y posiblemente con agregado de tamaño menor.

### 10.3 Acabado de superficies

Para lograr una superficie durable del concreto se tienen que seguir con cuidado los procedimientos apropiados. El concreto utilizado debe ser del menor revenimiento posible para su consolidación apropiada, preferiblemente mediante vibración mecánica interna. Después de la consolidación, los trabajos de aplanado y pulido, y el primer allanado deben llevarse a cabo de tal manera que el concreto se trabaje y se manipule lo menos que sea posible, para obtener el resultado deseado. Manipular el concreto en demasía, trae excesivos finos y agua a la superficie, dañando la calidad de la superficie terminada y causando efectos indeseables como agrietamiento, cuarteaduras y polvo. Por la misma razón, cada paso en la operación del acabado, desde el primero hasta el último aplanado, deben posponerse tanto

como sea posible para lograr el grado deseado de textura superficial. El agua libre no suele aparecer y acumularse entre operaciones de acabado, si se emplean proporciones apropiadas en la mezcla y en la consistencia. Sin embargo, si hay acumulación de agua, debe quitarse secándola con afelpados, drenándola, etc., para lograr que la superficie pueda perder el brillo del agua antes de llevar a cabo la siguiente operación de acabado. En ninguna circunstancia debe emplearse algún instrumento de acabado en ningún área antes de que el agua acumulada se haya quitado, ni deben trabajarse estas superficies con cemento puro o mezclas de arena y cemento para secarlas.

Es posible obtener resultados satisfactorios de un mortero dosificado correctamente, colocándolo y trabajándolo antes de que el concreto haya fraguado. La consistencia, consolidación y acabado de la mezcla deben ser como se ha descrito arriba. Sin embargo, un concreto de proporcionamiento, consistencia y textura correctas, así como acabado monolíticamente con el concreto de base, es preferible a un acabado de mortero.

Para una discusión detallada y recomendaciones para acabado de losas y piso, consúltese la Práctica Recomendada para la Construcción de Pisos y Losas del ACI 302-69 ("Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Construction").<sup>65</sup>

Varios acabados especiales de piso que se instalan sobre superficies de concreto endurecidas, requieren técnicas especiales y no se incluyen en estas prácticas recomendadas.

## FUENTES DE INFORMACION

### 11.1 Normas del Cuerpo de Ingenieros y de la ASTM

Las normas de la Sociedad Americana de Ensaye de Materiales y del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, mencionadas en este informe, se enumeran a continuación, con su código correspondiente, incluyendo el año en que cada norma se adoptó o fue revisada. Las normas indicadas corresponden a las últimas ediciones a la fecha en que el informe fue preparado. Debido a que estas normas son revisadas frecuentemente, en detalles menores principalmente, el usuario deberá verificar con la asociación correspondiente si desea consultar la última edición.

#### 11.1.1 Norma ASTM

C10-64	Standard Specifications for Natural Cement
C29-69	Standard Method of Test for Unit Weight of Aggregate
C33-67	Standard Specifications for Concrete Aggregates
C94-69	Standard Specifications for Ready mix Concrete
C127-68	Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate
C128-68	Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate
C141-67	Standard Specifications for Hydraulic Hydrated Lime for Structural Purposes
C150-69	Standard Specifications for Portland Cement
C172-68	Standard Method of Sampling Fresh Concrete
C260-69	Standard Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete
C330-69T	Standard Specifications for Lightweight Aggregates for Structural Concrete (Tentative)
C494-68	Chemical Admixtures for Concrete
C595-68	Standard Specifications for Blended Hydraulic Cements
C618-68T	Tentative Specifications for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use in Portland Cement Concrete
C637-69T	Aggregates for Radiation-Shielding Concrete

## 11.1.2—Normas del Cuerpo de Ingenieros

- CRD - C55-65 Method of Test for Concrete Mixer Performance.  
 CRD - C79-58 Method of Test for Flow of Grout Mixtures (Flow Cone Method).  
 CRD - C80-64 Method of Test for Water Retentivity of Grout Mixtures.  
 CRD - C81-64 Method of Test for Expansion of Grout Mixtures.  
 CRD - C84-63 Method of Test for Compressive Strength of Preplaced Aggregate Concrete.  
 CRD - C85-64 Method of Selecting Proportions for Intrusion Grout Mixtures.  
 CRD - C566-64 Specifications for Grout Fluidifier.

## 11.2—Referencias

1. "Manual of Concrete Inspection," SP-2, American Concrete Institute, Detroit, 5th Edition, 1967, 270, pp.
2. *Concrete Manual*, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Seventh Edition 1966, 642 pp.
3. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71)," American Concrete Institute, Detroit, 1971, 78 pp.
4. *Guide Specifications for Highway Construction*, American Association of State Highway Officials, Washington, D.C., 1968.
5. *Standard Practice for Concrete (EM 1110-2-2000)*, Department of the Army, Office of Chief of Engineers, Washington, D.C., November 1971.
6. *Standard Guide Specifications for Concrete*, Department of the Army, Corps of Engineers, Abril 1971, 110 pp.
7. *A Study of Mixing Performance of Large Central Plant Concrete Mixers*, U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington, D.C., July 1966.
8. "Specifications for Ready Mixed Concrete", (C94-69), 1970 *Annual Book of ASTM Standards*, Part 10, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 55-68.
9. Tuthill, L.H., "Developments in Methods of Testing and Specifying Coarse Aggregates," *ACI Journal*, Proceedings V. 39, No. 1, Sept. 1942, pp. 21-32.
10. *Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete (ACI 211.1-70)*, American Concrete Institute, Detroit, 1970, 16 pp.
11. *Recommended Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (ACI 211-65)*, American Concrete Institute, Detroit, 1965; 21 pp. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
12. "Standard Specifications for Concrete Aggregates," (ASTM C-33-67), 1970 *Annual Book ASTM Standards, Part 10*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 15-21.
13. Tynes, W.O., "Influence of Fine-Coarse Aggregate Grading on Properties of Concrete," *Technical Report No. 6-544*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Oct. 1962, 25 pp.
14. Hveem, F.N., and Tremper, B., "Some Factors Influencing Shrinkage of Concrete Pavements," *ACI Journal*, Proceedings, V. 53, No. 8, Feb. 1957, pp. 787-789.
15. Van Alstine, C.B., "Mixing Water Control by Use of a Moisture Meter," *ACI Journal*, Proceedings V. 52, No. 3, Nov. 1955, pp. 341-348. También, Discussion Part 2, Dic. 1956, pp. 1-209.
16. Lovern, J.D., "Important Variables Affecting Moisture Control," *Modern Concrete*, V. 30, No. 4, Agosto 1966, pp. 44-46.
17. Bozarth, F.M., *Case Study of Influences of Imbalances in Charging of Cement and Water on Mixing Performance of an Eight Cubic Yard Central Plant Mixer*, U.S. Bureau of Public Roads, Washington, D.C., July, 1967.
18. *Concrete Plant Standards of the Concrete Plant Manufacturers Bureau*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, Silver Spring, Maryland, 4a. edición, Marzo 1970, 7 pp.
19. *Handbook 44: Specifications, Tolerances, and Other Technical Requirements for Commercial Weighing and Measuring Devices*, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 3a. edición, Octubre 1965.
20. *Certification of Ready Mixed Concrete Production Facilities—Instructions and Check List*, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, First Revision, Julio 1967.
21. ACI Committee 212, "Guide for Uses of Admixtures in Concrete", *ACI Journal*, Proceedings V. 68, No. 9, Sept, 1971, pp. 646-676. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
22. *Concrete Plant Mixer Standards of the Plant Mixer Manufacturers Division Concrete Plant Manufacturers Bureau*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, Silver Spring, Maryland, Enero 1970.
23. "Method of Test for Concrete Mixer Performance," (CRD-C55-65), *Handbook for Concrete and Cement*, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss., 1965, 6 pp.
24. "Factors Affecting the Homogeneity of Ready Mixed Concrete," *NMRCA Report No. 1, Phase 1*, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 1969, 31 pp. También, *ACI Journal*, Proceedings V. 68, No. 7, Julio 1971, pp. 521-525.
25. ACI Committee 305, *Recommended Practice for Weather Concreting (ACI 305-72)*, American Concrete Institute, Detroit, 1972, 15 pp.
26. ACI Committee 306, *Recommended Practice for Cold Weather Concreting (ACI 306-66)*, American Concrete Institute, Detroit, 1966, 25 pp. También *Manual of Concrete Practice, Part 1*.
27. *Recommended Practice for Shotcreting (ACI 506-66)*, American Concrete Institute, Detroit, 1966, 26 pp. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 3*.
28. ACI Committee 309, *Proposed ACI Standard: Recommended Practice for Consolidation of Concrete*, *ACI Journal*, Proceedings V. 68, No. 12, Dic. 1971, pp. 893-933.
29. Robinson, W.J., and Tuthill L.H., "Better Concrete in Slope Paving by Use of Slip Forms," *ACI Journal*, Proceedings V. 50, Sept., 1954, pp. 49-64.
30. Gillis, L.R. and Sprickelmire, L.S., "Slip Form Paving in the United States," *Technical Bulletin No. 263*, American Road Builders Association, 1967.
31. Davis, R.E. Jr., and Haltenhoff, C.E., "Mackinac Bridge Pier Construction," *ACI Journal*, Proceedings V. 53, No. 6, Dic. 1956, pp. 581-596.
32. Shideler, J.J., and Litvin, A., "Structural Applications of Pumped and Sprayed Concrete," *Development Department Bulletin D72*, Portland Cement Association, Enero 1964, 29 pp.
33. Davis, R.E. Jr.; Johnson, C.V.; and Wendall G.E., "Kemano Penstock Tunnel Liner Backfilled with Prepacked Concrete," *ACI Journal*, Proceedings, V. 52, No. 3, Nov. 1955, pp. 287-308.
34. "Investigation of the Suitability of Prepacked Concrete for Mass and Reinforced Concrete Structures," *Technical Memorandum No. 6-330*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Agosto 1954, 44 pp.
35. King, J.C., "Concrete by Intrusion Grouting," *Handbook of Heavy Construction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959, Chapter 12.
36. "Final Report of Tests on Prepacked Concrete - Barker Dam Materials Laboratories," *Report No. C-338*, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Marzo 1949.
37. Tynes, W.O., and McDonald, J.E. "Investigation of Resistance of Preplaced Aggregate Concrete to Freezing and Thawing," *Miscellaneous Paper No. C 68-6*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Sept. 1968, 34 pp.
38. ACI Committee 347, *Recommended Practice for Concrete Formwork (ACI 347-68)*, American Concrete Institute, Detroit, 1968, 36 pp.
39. Davis, R.E., "Prepacked Method of Concrete Repair," *ACI Journal*, Proceedings, V. 57, No. 2, Agosto 1966, pp. 155-172.
40. Williams, J.W., "Tremie Concrete Controlled with Admixtures," *ACI Journal*, Proceedings V. 55, No. 8, Feb. 1959, pp. 839-850.
41. Gerwick, B.C., "Placement of Tremie Concrete," *Symposium on Concrete in Aqueous Environments*, SP 8, American Concrete Institute, Detroit, 1964, pp. 9-20. Abstract, *ACI Journal*, Proceedings V. 61, No. 7, July 1964, p. 892).
42. "Pumping Concrete," *Concrete Construction*, V. 13, No. 11, Nov. 1968, pp. 413-426.
43. "Concrete Placers—What's Available," *Construction Methods and Equipment*, V. 47, No. 6, Junio 1965, pp. 140-148.
44. *Pumpcrete Practice*, Chain Belt Company, Milwaukee, Sixth Edition, 1963, pp. 71-80.

45. "Concrete Pumped 504 Feet Straight Up to a Record," *Engineering News-Record*, V. 181, Dic. 5, 1968, p. 26.
46. Newlon, Howard Jr., and Ozol, Michael A., "Delayed Expansion of Concrete Delivered by Pump Through Aluminum Pipeline," *Concrete Case Study No. 20*, Virginia Highway Research Council, Oct. 1969.
47. Alekseev, S.N., "On Calculation of Resistance in Pipes of Concrete Pumps," 1952 (en Ruso, traducido como *Library Communication No. 450* por el Building Research Station, Garston, 1963).
48. Dawson, O., "Pumping Concrete-Friction Between Concrete and Pipeline," *Magazine of Concrete Research* (London), V. 1, No. 3, Dic. 1949, pp. 135-140.
49. Weger, R., "Transport of Concrete by Pipeline," *C y CA Library Translation No. 129*, Cement and Concrete Association, London, 1967, 90 pp.
50. Lipovetskii, M.A., "The Composition of Concrete Mixes Transported by Pumping," *Stroitel'naya Promutshlennost*, V. 28, No. 12, 1950, pp. 11-12, (en Ruso). También resumido en *Building Science Abstracts*, V. 23, No. 12, 1951, y traducido como *Library Communication No. 592* por el Building Research Station, Garston, 1950.
51. Troxell, George E., and Davis, Hermer E., *Composition and Properties of Concretes*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1956, 434 pp.
52. Blanks, Robert F., and Kennedy, Henry L., *The Technology of Cement and Concrete*, V. 1, *Concrete Materials*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1955, 422 pp.
53. *Design and Control of Concrete Mixtures*, Portland Cement Association, Eleventh Edition, Julio 1968, 121 pp.
54. Kempster, E., "Pumpable Concrete," *Current Paper 29/69*, *Building Research Station*, Garston, Agosto 1969, 8 pp.
55. Gray, J.E., "Laboratory Procedure for Comparing Pumpability of Concrete Mixtures," *Proceedings, ASTM*, V. 62, pp. 964-971.
56. Gray, J.E., and Bell, J.E., "Stone Sand," *Engineering Bulletin No. 13*, National Crushed Stone Association, Washington, D.C., 1964, 70 pp.
57. *Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-69)*, American Concrete Institute, Detroit, 1969, 18 pp.
58. ACI Committee 621, "Selection and Use of Aggregates for Concrete," *ACI Journal*, *Proceedings V. 58*, No. 5, Nov. 1961, pp. 513-542. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
59. Burgess, Gerald T., "Pumping Breakthrough," *Concrete Construction*, V. 14, No. 2, Feb. 1969, pp. 41-46.
60. *Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete (ACI 214-65)*, American Concrete Institute, Detroit, 1965, 29 pp. También *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
61. ACI Committee 201, "Durability of Concrete in Service," *ACI Journal*, *Proceedings*, V. 59, No. 12, Dic. 1962, pp. 1771-1820. También *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
62. Tuthill, Lewis H., "Tunnel Lining with Pumped Concrete," *ACI Journal*, *Proceedings V. 68*, No. 4, Abril 1971 pp. 252-262.
63. Tynes, W.O., "Investigation of Methods of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete," *Technical Report No. 6-518*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Julio 1959, 19 pp.
64. Tynes, W.O., "Investigation of Methods of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete-Report 2, Test of Joints of Large Blocks," *Technical Report No. 6-518*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Julio 1963, 19 pp.
65. ACI Committee 302, *Proposed ACI Standard Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302-69)*, American Concrete Institute, Detroit, 1969, 30 pp. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
66. "Recommended Guide Specifications for Batching Equipment and Control Systems in Concrete Batch Plants" *Publication No. 102*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, Silver Spring, Maryland, 1971, 11 pp.
67. ACI Committee 304, "Preplaced Aggregate for Structural and Mass Concrete," *ACI Journal*, *Proceedings V. 66*, No. 10, Oct., 1969, pp. 785-797. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
68. ACI Committee 304, "Placing Concrete by Pumping Methods," *ACI Journal*, *Proceedings V. 68*, No. 5, Mayo 1971, pp. 327-345.
69. ACI Committee 207, "Concrete for Bridges and Other Structures," *ACI Journal*, *Proceedings V. 67*, No. 1, Abril 1970, pp. 273-309.
70. Fowler, E.L., and Holmgren, L.F., "Expansion of Concrete Pumped Through Aluminum Pipeline," *ACI Journal*, *Proceedings V. 68*, No. 12, Dic., 1971, pp. 950-958.
71. Merricks, G.A., and Thompson, M.H., "Shaft Sinking at Free State Saaipias" *South African Institute of Mining and Metallurgy Journal*, Junio 1958, pp. 547-553.

## COMENTARIOS

Este comentario se presenta para señalar algunas de las diferencias más importantes entre la revisión propuesta de esta norma y la vigente actualmente, ACI 614-59.

El material contenido en la norma actual ha sido revisado donde se consideró deseable y se agregaron nuevos capítulos sobre transportación, agregados precolocados, bombeo y concreto "tremie" (tubo-embudo).

La mayoría de los principios básicos señalados en la norma ACI 614-59, son tan importantes ahora como lo fueron cuando se publicaron, y aun se incluyen en esta revisión propuesta.

La filosofía usada en la norma ACI 614-59 es tan importante y relevante hoy en día como lo fue cuando esta norma se preparó, por ejemplo: 1) que solamente buenas especificaciones serían recomendadas, y 2) que la necesidad de estas normas debería significar un complemento del uso de especificaciones efectivas y de una inspección basada en el establecimiento de autoridad. El hecho de que muchas de las recomendaciones originales presentadas en la norma ACI 614-59 aún se conserven en esta práctica recomendada revisada, es buena evidencia de lo que el trabajo original fue, porque la filosofía básica sirvió muy bien para su propósito.

La discusión general de las revisiones propuestas, tal como aparecen en cada capítulo, es como sigue:

### **Capítulo 1. Introducción**

Contenido general, alcance, objetivos, y mención de los nuevos temas que serán tratados.

### **Capítulo 2. Control de materiales, manejo y almacenamiento**

La norma ACI 614-59 tiene solamente un capítulo sobre manejo de agregados. La revisión propuesta incluye todos los ingredientes usados en el concreto, tales como agregados, cementos, puzolanas, aditivos y agua.

### **Capítulo 3. Medición**

Este capítulo actualiza las descripciones del equipo de medición usado para todos los ingredientes del concreto, además de información sobre tolerancias y comportamiento que debe encontrarse en los equipos.

## MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

### Capítulo 4. Mezclado

En los capítulos 4 y 5 se ha dividido la descripción de los tipos de equipo actual para el mezclado, ampliando su uso y recomendaciones sobre camiones revolvedores.

### Capítulo 5. Transporte del concreto

Un capítulo nuevo completo se ha agregado cubriendo el propósito, uso y operación del equipo para transporte del concreto desde la mezcladora, al lugar de colocación en la estructura.

### Capítulo 6. Colocación del concreto

La descripción del equipo usado para la colocación del concreto se ha ampliado, añadiéndose una sección nueva sobre bandas transportadoras e incluyéndose material nuevo sobre colocación de concreto masivo.

### Capítulo 7. Concreto con agregado precolocado

Un nuevo capítulo sobre este método de construcción con concreto, que no figura en la norma ACI 614-59, se incluye ahora. El comité 304 publicó previamente un informe sobre este tema (ver referencia 67).

### Capítulo 8. Concreto "tremie" (tubo-embudo)

Se ha incluido un nuevo capítulo sobre la colocación de concreto bajo el agua mediante este método.

### Capítulo 9. Concreto bombeado

Un nuevo capítulo ha sido incluido, sobre el método rápidamente conocido para transporte y colocación de concreto bombeado. Este capítulo contiene material del reporte reciente 'State-of-the-Art' del comité 304 (ver referencia 68).

### Capítulo 10. Cimbras, limpieza, acabados

Se incluye un capítulo nuevo, corroborando la discusión sobre temas esenciales, frecuentemente descuidados, referentes a la obtención de un trabajo satisfactorio, tal como cimbras, limpieza y acabado.

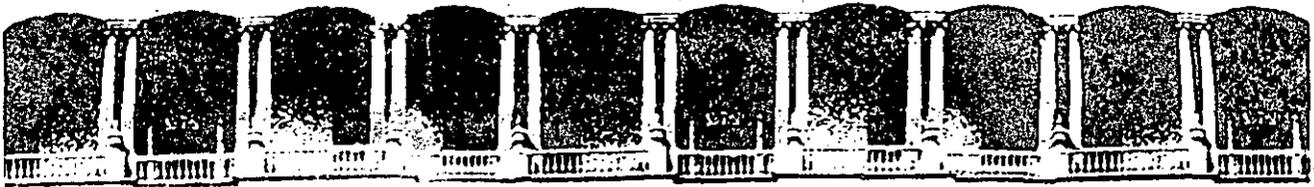
### Capítulo 11. Fuentes de información

Este capítulo reúne fuentes de información importante sobre los temas tratados en esta norma propuesta revisada.

Este reporte fue sometido a votación por carta a los 22 miembros que forman el comité, las 13 contestaciones recibidas fueron todas afirmativas.

Esta obra se terminó de imprimir el día  
20 de abril de 1982, en los talleres de  
"La Impresora Azteca", S. de R. L.  
Avenida Poniente 140 N° 681-1, colonia  
Industrial Vallejo, 02300 - México, D. F.

Edición de 1,000 ejemplares  
más sobrantes para reposición.



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

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO  
.HIDRAULICO**

**FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD  
DEL CONCRETO**

## CONSIDERACIONES ESPECIALES DE LA PRACTICA DE LA CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

Factores que afectan la calidad del concreto:

Factores que deben satisfacerse para la obtención de un concreto de buena calidad uniforme y controlar todos ellos para no afectarla - véase figura. 1.

Satisfechos estos factores y obtenido el concreto sano, esto es - satisfechas las tres premisas del cuadro podemos considerarlo como el alumbramiento de un ser, que si se tomaron y cumplieron todas las recomendaciones de los doctores, se obtendrá un producto sano y robusto, - pero que si ese niño no recibe posteriormente a su alumbramiento, los cuidados en la alimentación, en su aseo y mimos en general, crecerá un ser raquitico, no sano y deberá tener atenciones posteriores fuera de lo normal porque indudablemente tendrán que efectuarse gastos que hubieran sido innecesarios si se hubieran atendido a las necesidades que requiría en su tierna edad, es por eso que se expondrán los requerimientos para que el concreto elaborado y recibido en condiciones óptimas de buena calidad, conserve esa calidad hasta siempre, ya que como se expuso en el cuadro anterior, el concreto debe diseñarse no únicamente para satisfacer el requisito de Resistencia Estructural si no - que debe ser Económico y Durable.

Condiciones en que debe encontrarse el sitio de la Construcción

Limpieza General. - El sitio de la obra deberá estar limpio, esto es, sin contener materiales extraños que pueden alterar la composición del concreto y con ello variar la resistencia y alterar disminuyendo - su durabilidad. Los materiales extraños que deben eliminarse son varios y dependen del tipo de estructura que se vaya a construir, por ejemplo, si se trata de una losa de cimentación, deben eliminarse, maderas de desperdicio, tierra suelta, grasas y aceites, terrones de -

CONCRETO FRESCO

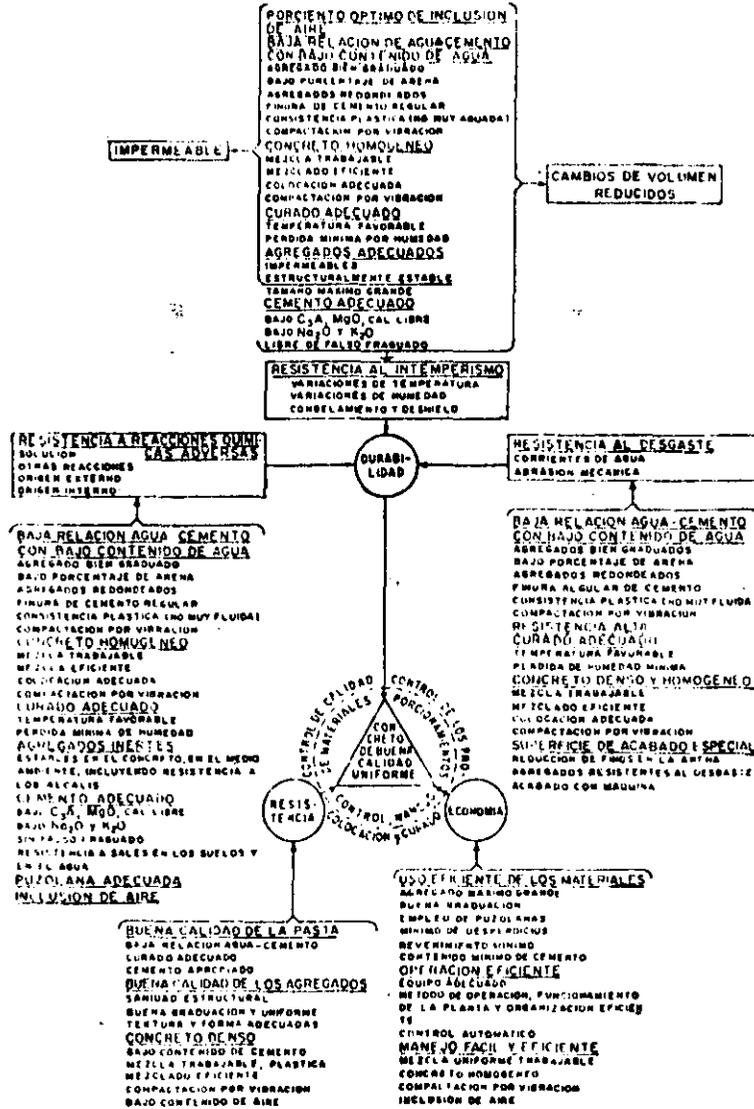


Figura 1. CUADRO FUNCIONAL DE LAS PROPIEDADES DE UN BUEN CONCRETO, SUS RELACIONES Y ELEMENTOS CON LOS QUE SE CONTROLAN.

arcilla, serrín, papel etc. En el caso de trabes columnas, muros y en general elementos cerrados, debe hacerse una revisión exhaustiva eliminando cualquier material extraño y dejar drenes que posteriormente se obturen para que antes, efectuar un lavado y eliminar sobre todo tierra, serrín, y en general cualquier contaminante que altere la calidad del concreto, disminuyendo resistencia, durabilidad y en algunas ocasiones alterar su apariencia, sobre todo cuando se trata de concreto aparente.

Acero de Refuerzo.- Cuando se haya efectuado la limpieza de los elementos estructurales donde se va a depositar el concreto, deberá hacerse una revisión exhaustiva del acero de refuerzo pues cuando no satisfaga las exigencias requeridas para él, puede originar efectos que aunque no se pueda considerar estrictamente que sean causa de la alteración de la calidad del concreto, originan efectos que pueden alterar considerablemente el comportamiento de la estructura, llegando en algunos casos originar la falla de ella y que generalmente esto se lo atribuyen a fallas por la mala calidad del concreto.

Analicemos algunos casos:

- 1.- Principalmente mala colocación del acero que en este caso si pueden alterar la buena calidad del concreto, puntualizando cuando por la alta área de acero, sobre todo en columnas y trabes tienen que poner excesivas varillas de refuerzo lo que por el espacio que acepta el proyecto en la sección a colocarlo, tiene que poner varillas con luz entre ellas muy cerrada de tal manera que funciona como malla e impide que el que el concreto pase a través de ellas, reteniendo gran parte del agregado grueso y pasando únicamente tamaños más pequeños, que imaginándonos un corte transversal de elementos se observa un concreto muy heterogéneo, dando como consecuencia que la transmisión de esfuerzos no sea continua y por consiguiente se originen concentraciones en algunas zonas resultando fallas de la estructura que generalmente consideran su origen en la calidad del concreto que puede ser cierto, pero esa baja no es sobre el concreto original y lo que probablemente si por la alteración sufrida en este caso, por la colocación

deficiente de él. Existen para eliminar esta probable falla espe cificaciones que limitan la luz mínima de la varilla de refuerzo y la misma entre las paredes de la cimbra y la varilla más cercana que es la luz entre varilla de refuerzo y pared de cimbra .

Tamaño mínimo del agregado no mayor que 3/4 de la luz entre varillas de refuerzo.

- 2.- El acero de refuerzo no debe tener escamas de oxidación y en caso de existir, se eliminarán frotándolas con cepillo con elementos - cepillante de acero y además que no tenga oxidación con incrustaciones, en este último caso, deberá pedirse al proyectista que afi ne la sección de acero en caso de estimarlo necesario. El primer defecto, o sea el que tenga escamas de oxidación, su efecto en el funcionamiento del elemento estructural es pérdida de adherencia con el concreto y posible falla del mismo, desde luego que este fenómeno no es atribuible directamente a la alteración de la buena calidad del mismo, pero generalmente y más bien al fallar el elemento se lo atribuyen a la mala calidad del concreto y en este caso es complicado y costoso poder comprobar que el origen de ello fue por la falta de adherencia del acero en el concreto.

En general en el segundo caso, cuando se aprecien oxidaciones con - incrustaciones, el elemento estructural puede fallar por disminución de área de refuerzo, lo que atribuyena la mala calidad del - concreto, por lo que si al efectuarse la revisión se detectara - este defecto, es necesario consultar con el proyectista si es indispensable aumentar la sección del acero de refuerzo.

Revisar con los planos estructurales si el número de varillas de refuerzo en cada elemento está correcto si los cortes en ellas y doblando en su caso, es el indicado en los planos y si la fija- -- ción del refuerzo no es firme, pues fallas en estos conceptos, -- puede originar la aparición de fisuras, agretamientos y aun falla

del elemento lo que no debe considerarse como deficiencia en la calidad del concreto empleado.

- 3.- Moldes o Formas.- Las formas deben colocarse correctamente - esto es que puedan soportar sin deformarse la presión que - ejerce el concreto sobre ellas, sobre todo tratándose de co- lumnas trabes o concreto en masa pues la falla de ellas pue- de orinar alteración en las secciones de los elementos o de volúmenes grandes, ya que la falla o deformación de ellas - puede originar segregación del concreto y si estas formas no son estancas se presentan fugas de lechada y mortero que - ausencia que evita el acomodo correcto de los agregados dan- do lugar a la formación de "Panales de abeja", ocasionando - con estas fallas, por la discontinuidad de esfuerzos, concen- tración de las mismas y falla del concreto, pero no origina- da por ser mala calidad sino que es por alteración de su es- tructura ocasionada por lo antes expuesto, o sea por su colo- cación.

Las presiones que se ejercen sobre las formas al colocar el concreto son originadas por que se supone que el concreto - actúa como un semifluido y esta presión puede ser afectada - por los siguientes factores:

- a) Velocidad de la colocación del concreto.
- b) Método de la colocación del concreto, ya sea a mano o por vibración.
- c) Consistencia y proporciones de la mezcla.
- d) Temperatura del concreto.
- e) Tamaño y forma de la cimbra y cantidad y separación del ace- ro de refuerzo, en la transparencia 2 se grafican los resul- tados de una serie de pruebas. Estas presiones actuando so- bre las paredes que las forman deben calcularse correctamen- te, transparencia 3 y revisarse antes de la colocación del -

concreto para evitar deformaciones de ellas y para que no se alteren las secciones y si se presentan fugas de lechada o mortero, puede originar fallas o fisuras en los elementos - lds que no deben ser atribuibles a la calidad del concreto.

Las paredes que las forman deben impermeabilizarse si son de madera, pues cuando no se haga al colocar el concreto absorbe--rán agua del mismo originando la aparición de fisuras y además dan un mal aspecto en el concreto que se apoyó en ellas. Todo esto lo atribuyen generalmente a la mala calidad del - concreto posiblemente argumentado que fue originado por la heterogeneidad en su composición.

El concreto de origen no es homogéneo, entonces esto origina que al estar endurecido, se forma un material no homogéneo a diferencia de la estructura del acero y algunas rocas de materiales que se obtienen de una fusión de sus componetes - que si lo son como rocas volcánicas.

Al tenerse un material como el que se aprecia en un corte de un cilindro de concreto, transparencia 4, se observa que - está constituido por una sucesión de partículas de diferen--tes tamaños y formas y muchas veces de materiales de diferente origen, por ejemplo basalto, andesita, granito, calizas, estos con diferentes características de resitencia y algunas veces diferentes formas las que al serle aplicada alguna - - fuerza externa, esta se trasmite no uniforme en toda la masa, por lo que puede cambiar de dirección en el seno del mate--rial y originar concentración de dicha fuerza en determina--da zona y ello originar falla del elemento. Ahora al mane--jar el concreto por procedimientos no adecuados sufre alteraciones su transmisión de fuerza la que puede resultar mayor por concentración de ella que el original en la que el proceso de su manejo se han satisfecho todas las normas respectivas.

Esto que es una de las causas de la alteración de un concreto, después de haberse recibido, para la falla de un elemento de concreto, se suman algunas otras causas, originadas por contaminación, colocación, etc. las que se tratarán a continuación.

#### 4.- Recepción del Concreto.

Deben tomarse todas las precauciones necesarias al recibir el concreto, para evitar segregación del mismo o bien su contaminación lo que traería como consecuencia alterar su calidad que se traduce en disminución de resistencia y pérdida de durabilidad, también debe evitarse adicionar cualquier sustancia no prevista, y por ningún motivo debe adicionarse agua si no es autorizada por el fabricante, ya que ello alterará la relación agua cemento, factor principal para adquirir la resistencia y durabilidad proyectada. Al recibirse el concreto tampoco debe agregarse ningún aditivo que no esté autorizado por fabricante y debe recibirse en un recipiente adecuado como artesas o tolvas y evitar en su descarga que se origine segregación del mismo. Se debe determinar el revenimiento y con ello su aceptación por este concepto, una tolerancia para revenimientos normales -- 1.5 cm, de 12 cm  $\pm$  2.5 cm, más de 12 cm  $\pm$  3.5 cm, en caso de que no quede dentro de estas tolerancias no debe adicionarse agua a menos que el fabricante lo acepte e indicará la cantidad.

En la transparencia 4 se aprecia una descarga de concreto de una revolvedora observese que la descarga nunca se hace libremente de la revolvedora al elemento receptor sino que se coloca un elemento intermedio de manera que la descarga al recipiente sea vertical y con deflectores para evitar separación de los materiales que originaría como ya se ha dicho, segregación obteniéndose un concreto heterogéneo dentro de la misma heterogenidad del mismo por naturaleza del mismo, y que altera su calidad.

#### 5.- Transporte.

Dependiendo del tipo de obra que se ejecute y del equipo disponible, se pueden emplear varios métodos para el transporte o manejo del concreto seleccionado el más eficiente para evitar, evaporación de agua, movimiento de las partículas que lo constituyen, contaminación con materiales extraños de tal manera que al llegar al sitio de su colocación conserve la consistencia adecuada no perdiendo las cualidades que para ello fué diseñada.

Los sistemas a emplear pueden ser con, carretillas con rueda de diámetro grande y con llanta aulada canalones, cangilones, bandas transportadoras, equipo para lanzar concreto (neumático) y transporte por bombeo. Los sistemas o métodos que se indican se proponen para evitar principalmente la alteración de la calidad por segregación, pérdida de humedad, contaminación con materiales extraños, todo esto contribuye a la alteración de la calidad del concreto original y por consiguiente disminución en la resistencia y alterar, la durabilidad, en suma que el concreto original se convierta en otro y al presentarse fallas, que en este caso por deficiencia en su transportación generalmente se las atribuyen a mala calidad del concreto original, esto es el que llega a la obra.

En la transparencia 6 y 7, se aprecia la separación, clasificación, de los agregados por un transporte inadecuado del concreto en la transparencia 8, se exponen métodos correctos e incorrectos de la colocación del concreto en formas angostas.

En la transparencia 9, se observa un dispositivo para transportar - por cablevía y "Buckets" botes de gran capacidad y en la transparencia 10 la descarga de  $6 \text{ m}^3$  de una sola vez, obsérvese que no se aprecia grega-- ción, en la transparencia 11, el mismo concreto después de haber sido -- compactado por vibración. Este sistema de transporte de concreto se -- emplea en obras de grandes volúmenes por colocar, como presas canales -- para irrigación, túneles, etc.,.

#### 6 - Colocación

La colocación y compactación adecuada tal vez sea de las condicio-- nes a satisfacer más importante para conservar la homogeneidad del concre-- to, por lo tanto debe evitarse en estas operaciones y en cualquier otra-- de su manejo, segregación puesto que lo convierte en un material más hetero-- géneo de lo que de origen ya es.

En la transparencia 12, se aprecia la colocación de concreto en un-- sifón circular mediante bandas transportadoras y caída por canalones.

En la transparencia 13 y 14, se observa la colocación de concreto - en una pared con pendiente, taludes de un canal conductor de agua para - riego.

Cuando la colocación se haga sobre superficies inclinadas siempre - debe colocarse el concreto de abajo hacia arriba, colocando en la parte-- inferior un retén que impida que el concreto se deslice fuera del limite de vaciado de la zona por colar, además que esto permite efectuar una -- buena compactación (vease transparencia 13 y 14). En este caso no deben diseñarse mezclas muy fluidas y más bien deben ser secas con revenimien-- tos no mayores de 5 cm. si no se cumple con esta exigencia originará in-- dudablemente alteración en su homogeneidad y consecuentemente altera-- ción en la calidad original del mismo, con sus fallas de resistencia y - durabilidad consiguientes, que sin lugar a duda van a ser atribuidas a - la mala calidad del concreto original.

En la transparencia 9, 10 y 11, se puede apreciar que aunque la can-- tidad de concreto depositado es alta, más o menos  $6 \text{ m}^3$  de una sola vez -

---- no se observa segregación del mismo y la transparencia 10, se puede apreciar la facilidad de compactarse sin apreciarse que se haya manifestado alguna segregación, cabe hacer la aclaración que a pesar de tratarse de un volumen grande con revenimiento bajo de + 4 a 5 cm.

En la transparencia 8 que muestra el procedimiento para colocación -- de concreto en forma o cimbras de luces cortas y altura regular. En esta fotografía se exponen la forma correcta e incorrecta de colocación, - además se indica la colocación del concreto en superficies planas y cuando la colocación se efectuó empleando bomba se debe hacer como se indica en la transparencia 15.

Existen bombas de varias capacidades, pues en los años de 1960 las - bombas existentes, tenían una capacidad de bombeo de aproximadamente - - 75 m. verticalmente y horizontalmente de 300 m., con una presión máxima - de 700 lbs/pulg.<sup>2</sup>, con una producción máxima de 35 m<sup>3</sup>/h., actualmente ha evolucionado este procedimiento y se pueden alcanzar los siguientes valores, transporte vertical 425 m, presión máxima 3,300 lbs/pulg<sup>2</sup> y producción máxima de 130 m<sup>3</sup>/h; estos rendimientos se han alcanzado con bombas: PUTZMEISTER TTS 14000, que emplea un motor diesel de 400 hp.

En la transparencia 16 se aprecia la colocación de concreto en un "Coferdam" para desplantar pilas de puente; en el que se necesitarón - - 14,500 m<sup>3</sup> de concreto y se emplearon 3 bombas terminándose el colado en 47 horas continuas con un promedio de 103 m<sup>3</sup> por hora y por unidad.

En la transparencia 17, camiones revolvedores acoplados a la bomba para una alimentación continua.

Concreto ligero bombeado a una altura de 316 m., transparencia 18. - en un edificio en las afueras de los Angeles Cal., en el que a su terminación se hizo con concreto ligero transportado a 316 m. de altura de -- una sola vez.

## 7.- COMPACTACION.

Colocado el concreto evitando que se presente alguna alteración en su calidad, se procede a su compactación, fase muy importante para un buen comportamiento posterior en la estructura, esto es que se tenga confianza en que satisfará la resistencia para que fué proyectada, que será económico y durable.

Para compactar el concreto se pueden seguir varios métodos y su finalidad es la de obtener un concreto compactado con el mínimo de vacíos sin segregación, lo que se puede hacer por :

- 1.- Varillado
- 2.- Vibrado.

El varillado se recomienda para concretos de revenimientos altos y que sean plásticos, los revenimientos con los cuales se puede aplicar este procedimiento son como mínimo 5 ó 6 cm. y para el concreto vibrado de 2 a 5 cm., concretos con revenimientos más bajos se recomienda la vibración y en casos especiales complementada con aplicación de carga sobre la superficie, como se práctica en concretos compactados con planchas para pavimentación y vibrado a la vez. (vibro-compactador).

La compactación del concreto por cualquiera de estos métodos, evita la formación de panales de abeja, que son zonas que afectan la resistencia mecánica y la durabilidad.

El aplicar compactación por varillado o vibrado el objeto es fluidificar la masa de concreto por las vibraciones que se le transmiten y se consigue con ello un acomodamiento fácil y correcto de las partículas que hace que las fuerzas aplicadas sobre el elemento se transmitan siguiendo aproximadamente la misma trayectoria que tiene la fuerza aplicada, de no suceder así, se presentará una falla prematura que generalmente es atribuida al concreto cuya calidad original ha sido alterada por un proceso de compactación defectuoso. Este proceso defectuoso se origina por lo siguiente, para vibración interna:

- 1.- Introducir la barra del vibrador inclinada y deslizarla hacia el operador lo que ocasiona segregación, transparencia. (31).
- 2.- Demasiado tiempo de vibrado en un sólo lugar, origina segregación.

3.- Pegar el elemento vibratorio a las varillas de refuerzo, esto origina movimiento en las mismas y por consiguiente falla de adherencia.

Además de la vibración interna, se puede aplicar vibración externa - en moldes rígidos metálicos, este procedimiento se aplica para elementos prefabricados, trabes, columnas, tubos, etc., transparencia ( 32 ), este método puede fallar por mala distribución de los vibradores en la forma, molde y presentar zonas sin compactar correctamente por falta de vibración, "panales de abeja."

Los vibradores pueden ser accionados por corriente eléctrica o por aire a presión. que tengan una frecuencia oscilatoria de 3,000 a 7,000 r.p.m.

Los vibradores de inmersión deben insertarse verticalmente, como se indica en la transparencia ( 32 ) y apróximadamente a una distancia de 45-cm. y extraerlo lentamente.

La suspensión del vibrado se hace cuando la superficie del concreto, aparezca tersa y apenas desapareciendo el agregado grueso; la duración -- del vibrado más o menos debe ser de 5 a 15 segundos para cada penetración.

En algunos casos, cuando el residente de la obra lo ordene, se podrá efectuar pero a un tiempo que no exceda de 2 horas desde el momento en -- que se inició de colocar el agua al iniciar el mezclado.

Cuando se tenga expuesto el concreto durante más de 2 horas, todabía puede mezclarse el concreto a fin de evitar juntas frías, las que pueden presentar una zona de discontinuidad de esfuerzo y por consiguiente, concentración de los mismos en esa zona, originando fallas prematuras.

El concreto se puede colocar bajo agua y ser lanzado acomodándose -- por impacto, en ambos casos es problema controlar su calidad por su misma naturaleza.

#### 8.- TERMINADO.

La mayoría de las imperfecciones que pueden presentarse en un concreto nuevo, indudablemente que son atribuidas a una mala colocación que incluye hasta su vibración y no a una mala calidad del concreto como en la-

mayoría de los casos considerán.

El colado de concreto en superficies abiertas y de grande extensión, como para pavimentos, para carreteras, pistas para aereopuertos y obras -- similares, puede presentarse una fuerte evaporación que origina un rese-- camiento de la mezcla que origina dificultad en su acomodo y posteriormente aparición de figuras en su superficie por contracción por secado; lo - que es originado por vientos de alta velocidad, temperaturas altas en el aire y concreto, y humedad relativa, en la transparencia ( 29 ) se expone - un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias con-- diciones atmosféricas. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0- kg/m<sup>2</sup>/h., deben tomarse las precauciones necesarias para evitar la apari-- ción de grietas plasticas.

En este caso se recomienda colocar mamparas deflectoras, techos de - lona, etc.,.

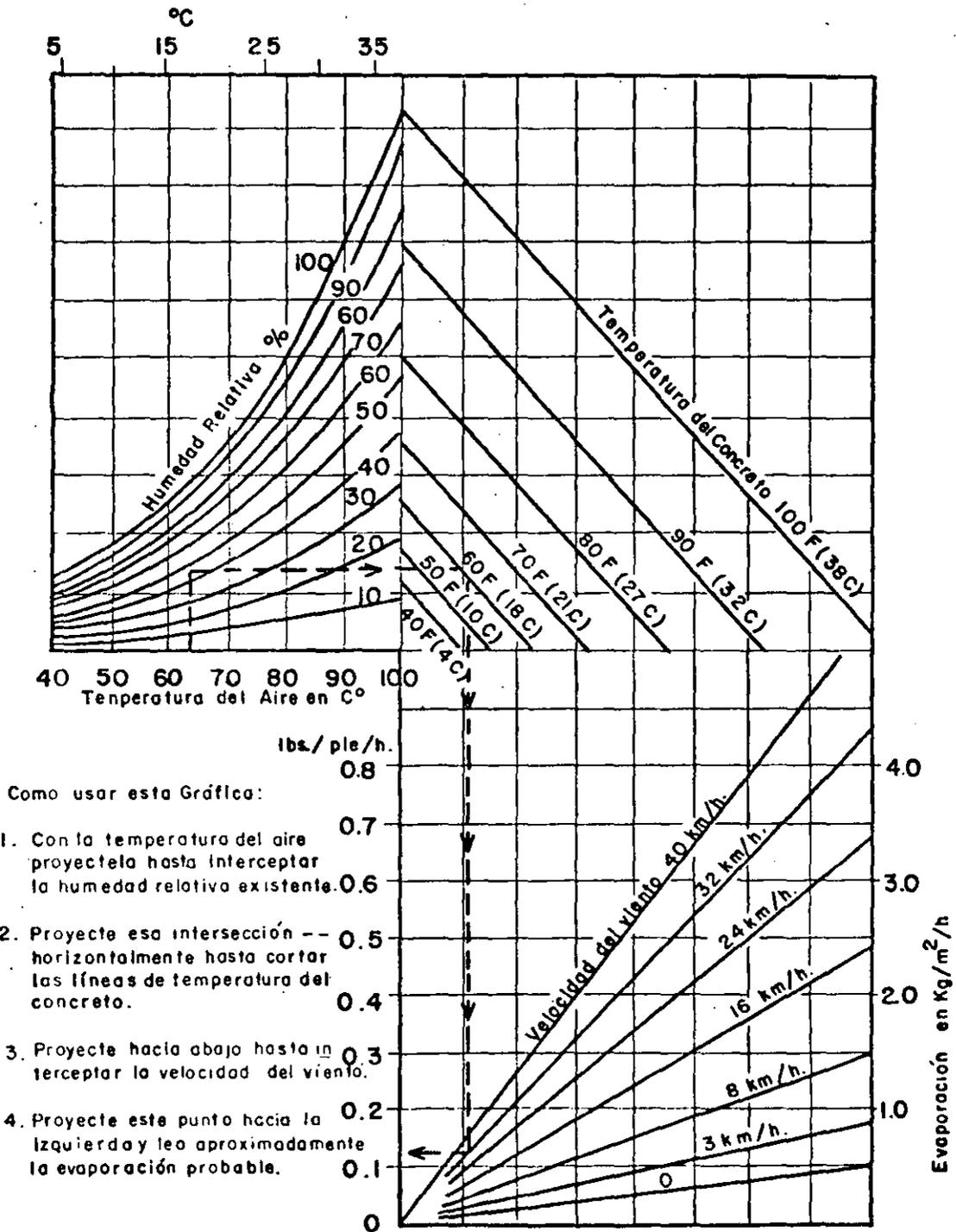


FIGURA 1.- Efecto de las temperaturas del aire y el concreto, humedad relativa y velocidad del viento en la evaporación de la humedad superficial del concreto. La gráfica nos da un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, que son las que se mencionan. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar las grietas de construcción plásticas.

El curado del concreto, tal vez sea la etapa o fase más importante para obtener finalmente un concreto de buena calidad uniforme y satisfacer las características exigidas de resistencia, durabilidad y economía, se dice tal vez para no justificar la omisión de alguna de condiciones expuestas y desarrolladas, pues todas son importantes y necesarias.

Cabe hacer la aclaración que en la generalidad de las obras que se ejecutan esta etapa se desatiende y se olvidan de efectuar el curado del concreto colocado; el no ejecutar el curado a su tiempo trae consecuencias irreversibles que alteran la calidad del concreto y que generalmente se le atribuye a que fué originada por la mala calidad del concreto, cosa falsa como se explicará más adelante. Transparencia 18.

El material de unión en el concreto, pasta de cemento - agua, es el componente activo en el concreto y tiene dos funciones principales.

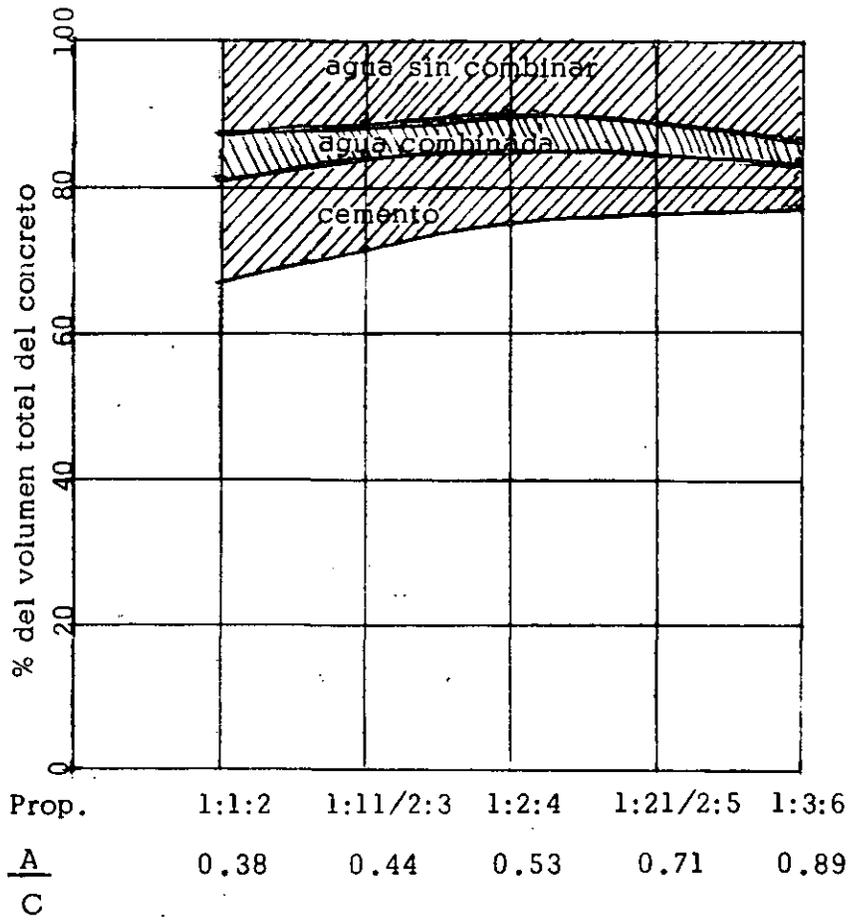
- 1.- LLenar los huecos entre las partículas de materiales pétreos que forman el concreto comunicándoles lubricación y acomodo facial entre ellas.
- 2.- En su estado endurecido darle resistencia y durabilidad
  - a.- La resistencia está fijada aproximadamente por las características del cemento.
  - b.- Relación agua - cemento
  - c.- Reacciones químicas del cemento con el agua, esto es que se desarrollen totalmente o parcialmente por suspensión de ellas; a este proceso se le llama hidratación
  - d.- La durabilidad del concreto depende de la porosidad del mismo, entre

y resistencia.  
mayor poros tenga menos será la durabilidad. La porosidad depende de la cantidad de agua no combinada que tenga, y forma parte del agua - que se ponga para hacer la mezcla, siendo la otra parte el agua no combinada, transparencia 19

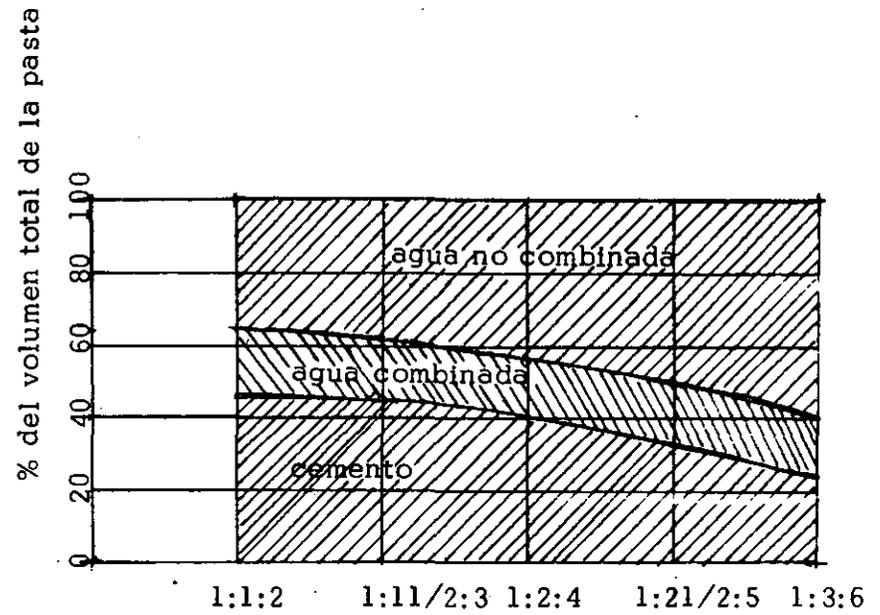
En promedio el agua combinada representa el 30 % y la no combinada el 70 %, entonces esta última al no combinarse, su acción es la de comunicar manejabilidad y una vez conseguida queda ocupando espacios en el concreto y cuando se evapora estos están vacíos originando poros y canales por lo que si la cantidad de agua - total necesaria para obtener una resistencia y manejabilidad determinada se aumenta, se alterará la resistencia del concreto y otras características ya contempladas, como la cantidad de agua combinada en función de la total no se altera, entonces los cambios en la calidad se deben a un exceso de poros y canales capilares, originados por el agua en exceso existente por no combinarse con el cemento. Los resultados de esta agua no combinada se manifiestan como. -

- 1.- Disminución de resistencia
- 2.- Mayor porosidad, que origina menos durabilidad por el fácil acceso de los agentes destructivos existentes en el medio ambiente que lo rodea.

Como se dijo anteriormente el elemento de unión y digamos cementación, está representado por la pasta agua - cemento que al combinar producen reacciones químicas dando lugar a la hidratación del cemento, momento en el cual se desarrollan geles que son ávidos de agua para su formación y después se traduce en la cementación de las partículas pétreas que posteriormente, cuando el concreto va perdiendo agua por estas reacciones endurece comunicándole la resistencia requerida. Esto que se expone es --



Mezclas de concreto



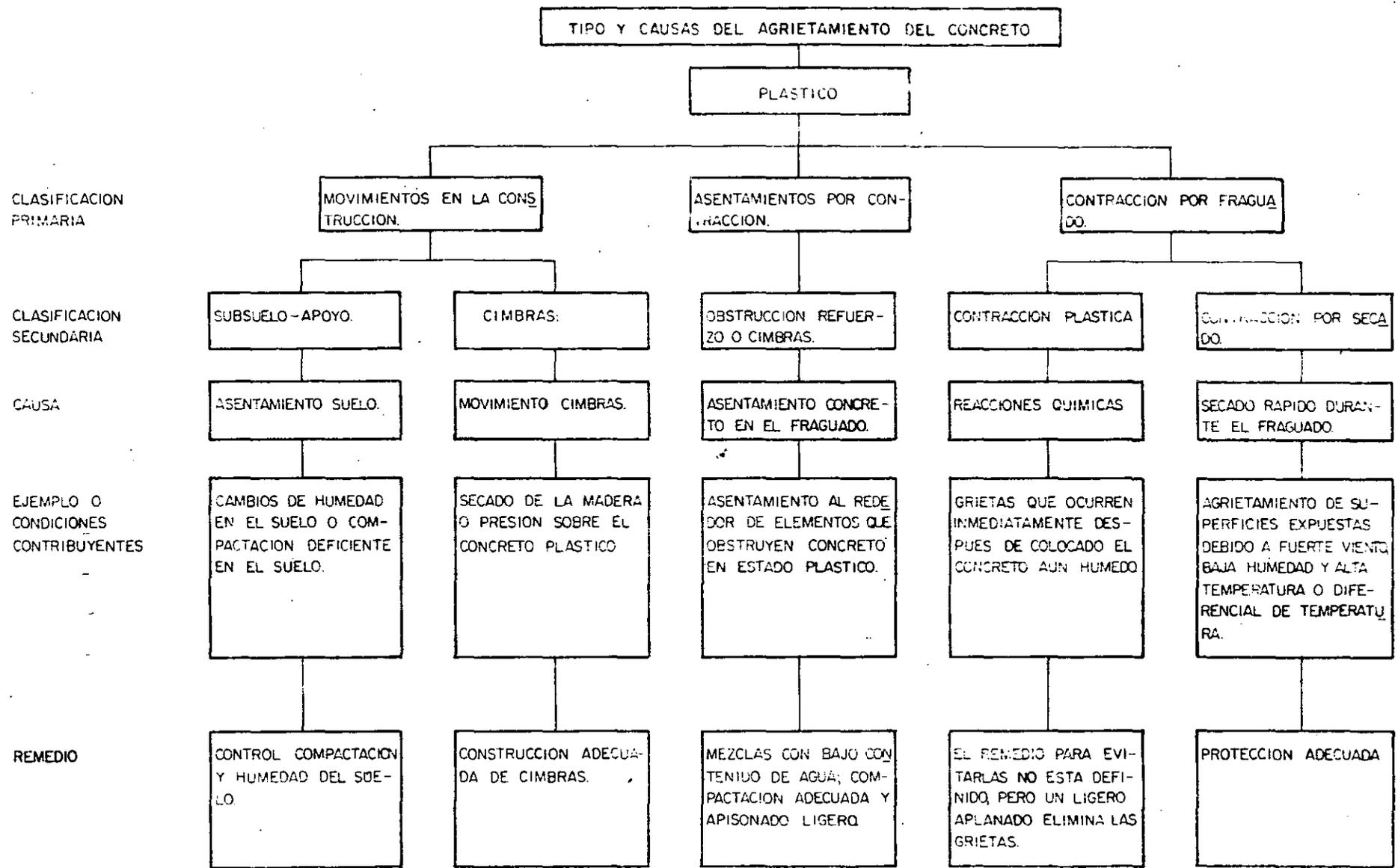
Mezclas de mortero

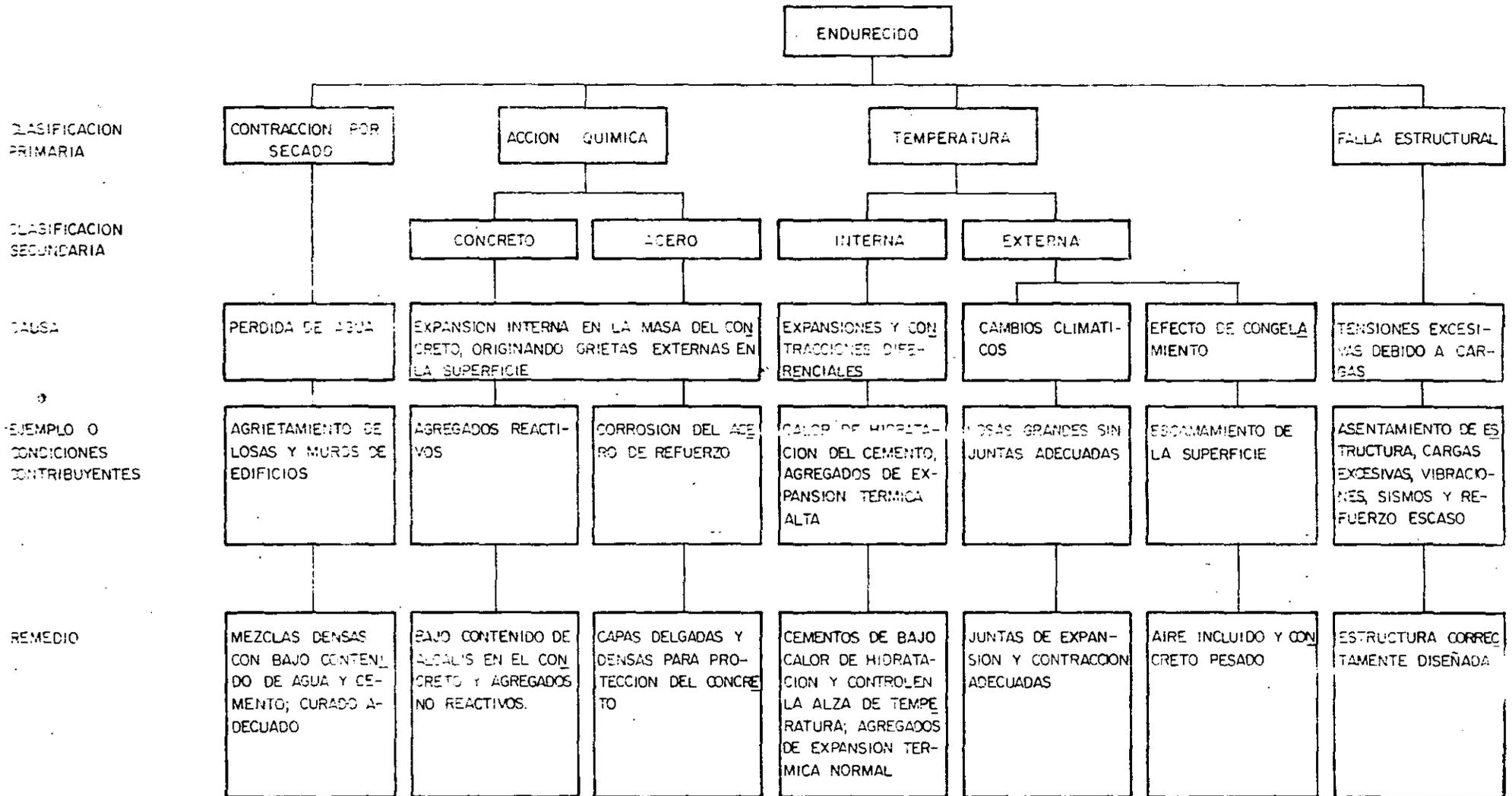
la descripción mucho muy sencilla y super extractada del fenómeno real que se desarrolla al hidratarse el cemento por lo anteriormente expuesto es necesario que la mezcla de materiales se conserve siempre húmeda, esto es que no se permita la pérdida de humedad en la mezcla, entonces debe conservarse la humedad externa lo que manifiesta que no pierde agua de combinación en su interior, además de evitar la pérdida de agua en este proceso de curado, es indispensable mantener una temperatura normal, si es diferente a 25 °c debe mantenerse más o menos a esta temperatura por procedimientos especiales que no se van a considerar en este desarrollo.

Cuando el curado no se aplica correctamente y en el momento oportuno, puede originarse la formación de fisuras o grietas por un desecamiento temprano de la superficie ocasionando cambios de volumen en la masa que se traducen en el desarrollo de esfuerzos de tensión que el concreto, debido a su tierna edad, no es capaz de soportar originando entonces las fisuras o grietas, que pueden profundizar si no se evitan mediante la reposición de humedad, transparencias 20 a 28

Encolados de grandes superficies expuestas, se presentan con frecuencia estos fenómenos que generalmente atribuyen a la mala calidad del concreto, siendo en realidad culpa del constructor que no toma las providencias necesarias para evitarlo.

Estos fenómenos se originan por efectos de las temperaturas del aire y concreto, humedad relativa del ambiente y velocidad del viento, transparencia 29, ocasionando evaporación superficial en el concreto. La gráfica nos da un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, si el valor de la evaporación obtenida por este método es superior a 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h deben tomarse las precauciones para evitarlo y que aparezcan grietas contracción plástica.







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

*CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO*

*C U R A D O*

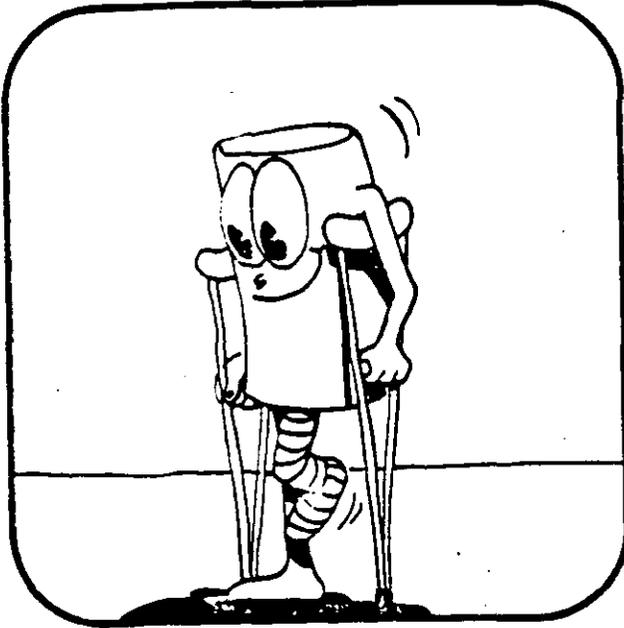
*ING. FELIPE GOMEZ SANCHEZ*

CURADO :

MANTENER EL CONCRETO EN CONDICIONES SATISFACTORIAS DE HUMEDAD Y TEMPERATURA, PARA QUE PUEDAN DESARROLLARSE LAS PROPIEDADES DESEADAS.

## IV.—CURADO

### IV. 1.—¿QUE ES EL CURADO DEL CONCRETO?

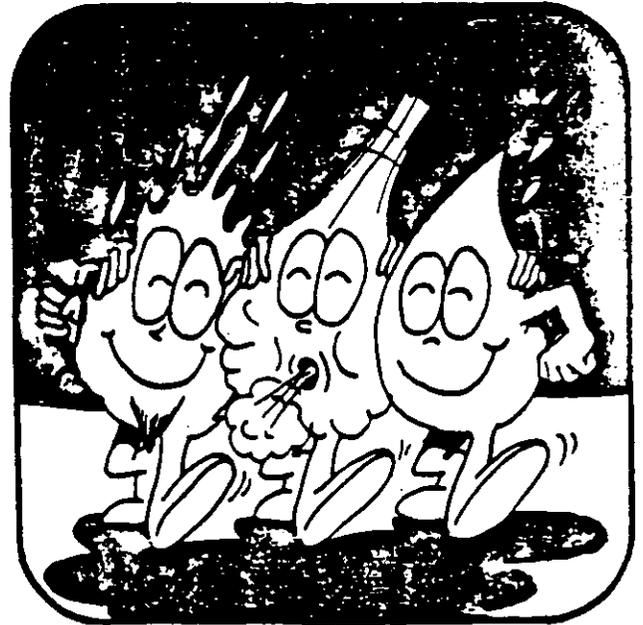


Es el conjunto de operaciones que deben realizarse sobre el concreto colocado, tendientes a evitar la evaporación del agua, a fin de favorecer la hidratación del cemento, además de controlar su temperatura.

### IV. 2.—¿CUALES SON LOS ELEMENTOS QUE PROVOCAN LA EVAPORACION?

Básicamente son: la temperatura, el viento y la humedad relativa del ambiente.

Por consecuencia la influencia es mayor cuando existe una combinación crítica de los tres.



# METODOS UTILIZADOS :

## 1.- APLICACION DE :

### AGUA POR :

- ANEGAMIENTO.
- ASPERSION.
- VAPOR :

### MATERIALES SATURADOS :

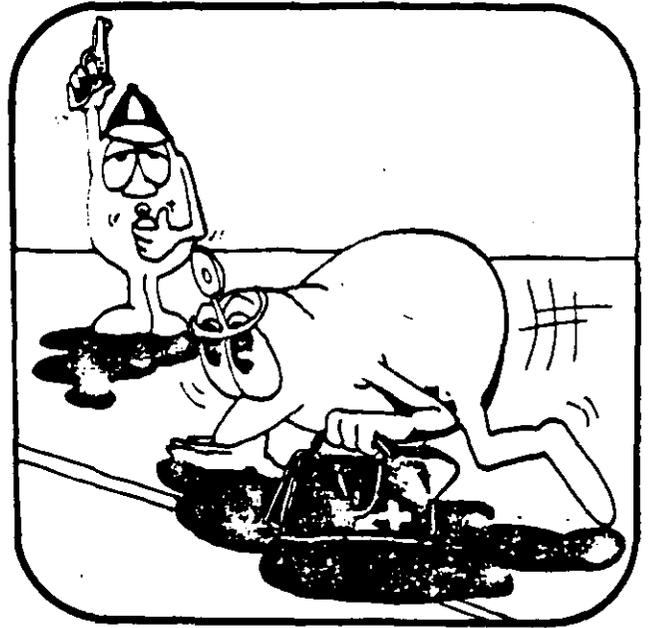
- CARPETAS DE YUTE.
- ALGODON.
- ALFOMBRAS.
- TIERRA.
- ARENA.
- ASERRIN.
- PAJA O HENO.

## 2.- USO DE MATERIALES :

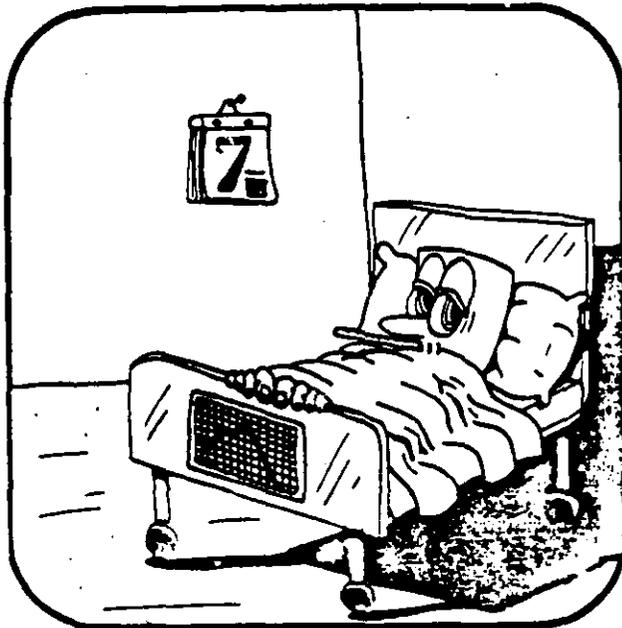
- HOJAS DE PLASTICO.
- PAPEL IMPERMEABLE.
- MEMBRANAS DE CURADO.

#### IV. 3.—¿EN QUE MOMENTO DEBE INICIARSE EL CURADO?

Inmediatamente que desaparezca el lustre acuoso, en el caso de superficies horizontales, esto sucede de 2 a 4 horas después de colocado el concreto. o después del descimbrado para el caso de superficies verticales; sin embargo, es necesario tomar algunas precauciones previas, tales como: humedecer o aceitar las cimbras y saturar la base en el caso de guarniciones, banquetas y pisos.



#### IV. 4.—¿A QUE TEMPERATURA Y DURANTE CUANTO TIEMPO ES CONVÉNIENTE MANTENER EL CURADO?



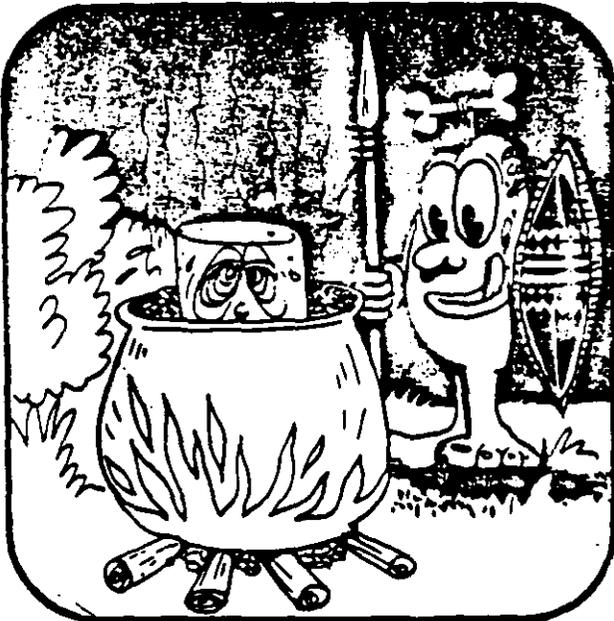
Las especificaciones generales marcan que se debe mantener el concreto a una temperatura mayor de 10° C y en condiciones de saturación, por lo menos durante los primeros siete días después del colado, para concreto elaborado con cemento Portland tipo I. Con cementos de endurecimiento más lento, el curado debe prolongarse.

#### IV. 5.—¿SON IGUALES LOS PROCEDIMIENTOS DE CURADO EN CLIMA CALUROSO QUE EN CLIMA FRIO?

No, ya que en clima caluroso, basta con evitar que el concreto pierda agua por evaporación, mientras que en un clima frío, además de prevenir la evaporación, debe impedirse que la temperatura del concreto descienda al grado de inhibir la hidratación del cemento, o en el caso extremo, a que se congele el agua en estado incipiente del desarrollo de la resistencia, ya que esto lo afectaría irreversiblemente. Para evitar que se disipe el calor que genera la hidratación del cemento, se recomienda colocar plástico, placas de poliestireno, etc., según el caso.



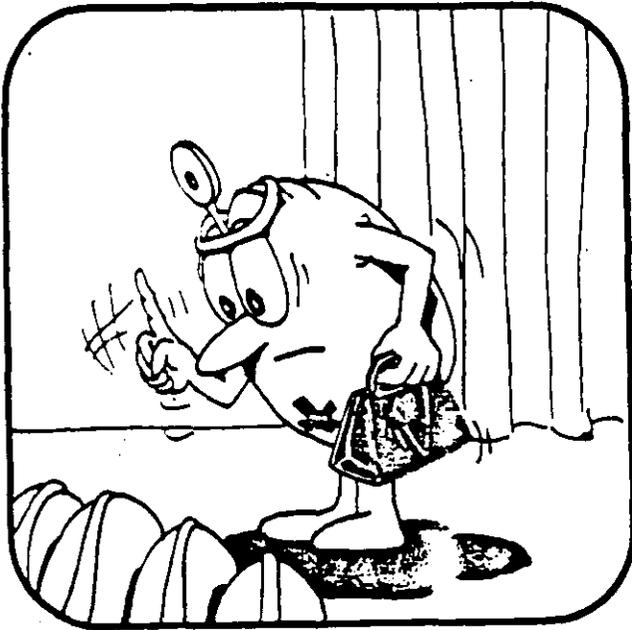
#### IV. 6.—¿COMO SE CONTROLA LA TEMPERATURA DEL CONCRETO, PARA ASEGURAR UN BUEN CURADO?



En climas calurosos o templados, la temperatura adecuada para un correcto curado, se logra manteniendo el concreto en condiciones de saturación, de esta manera las reacciones de hidratación progresan normalmente y el calor desprendido mantiene la temperatura apropiada.

En climas fríos debe protegerse el concreto para evitar que el calor de hidratación se disipe.

#### IV. 7.—¿CUALES SON LAS RECOMENDACIONES PARA CONTROLAR LA PERDIDA DE HUMEDAD?



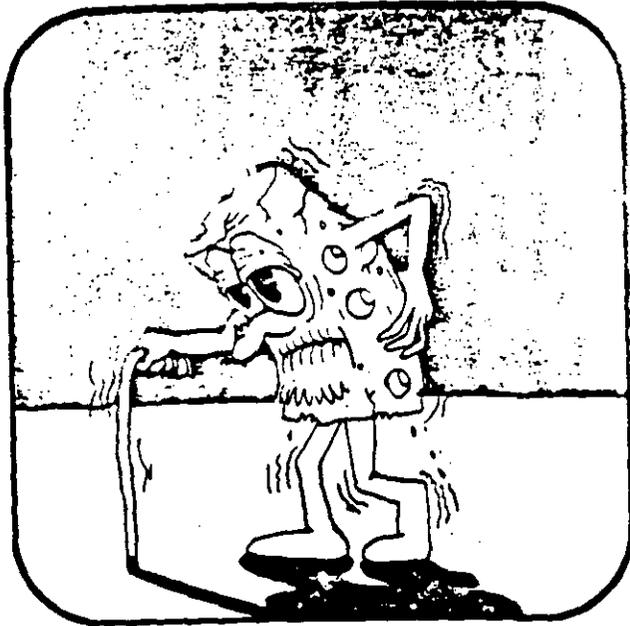
Para elementos horizontales, se recomienda cubrir la superficie con materiales que impidan la evaporación tales como: telas húmedas, papel no absorbente, membranas de curado, yute, paja, heno, arena saturada, láminas de materiales plásticos o papel de color claro, un tirante de agua, etc. En elementos verticales la pérdida de humedad se evita en tanto estén cimbrados, una vez que se retiran las formas pueden aplicarse: membranas de curado, plásticos, papel impermeable adherido, etc.

#### IV. 8.—¿EN QUE ELEMENTOS SE DEBE ESTRECHAR LA VIGILANCIA DEL CURADO?

Todo el concreto debe ser curado, sin embargo los elementos que están expuestos en el medio ambiente a condiciones más críticas y que por consecuencia pueden tener mayores problemas por falta de curado, son las secciones delgadas y con gran área de exposición tales como: losas, banquetas, guardanieves y muros.

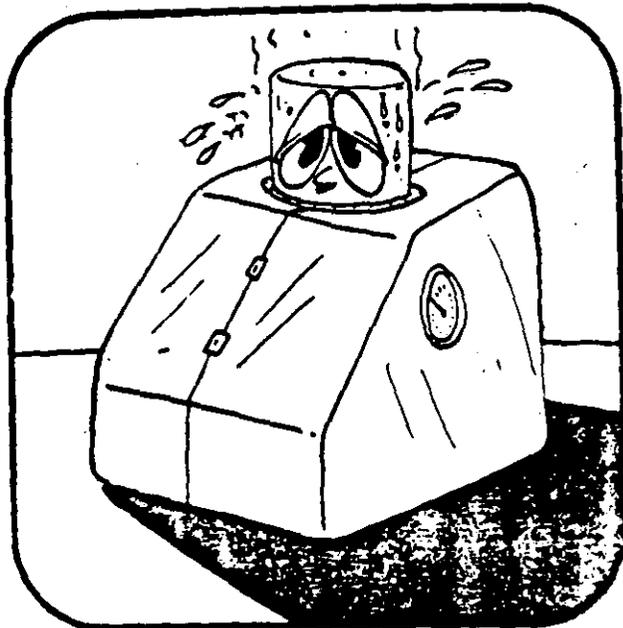


IV. 9.—¿QUE PUEDE SUCEDER A UN ELEMENTO SI EL CONCRETO NO SE CURA ADECUADAMENTE?



La influencia del curado es tal, que de omitirse, disminuye la calidad del concreto debido a: detrimento en su resistencia potencial (en ocasiones más de un 50 por ciento), extrema fisuración, excesiva porosidad, alta permeabilidad y consecuentemente poca durabilidad.

IV. 10.—¿EXISTEN OTROS PROCEDIMIENTOS DE CURADO?



Sí, y se usan generalmente con el propósito de acelerar la adquisición de resistencia del concreto; tal es el caso del curado a vapor, con el cual se favorece el desarrollo de la resistencia en base a las condiciones de humedad y temperatura.

#### IV. 11.—¿EN CUANTO TIEMPO FRAGUA EL CONCRETO?

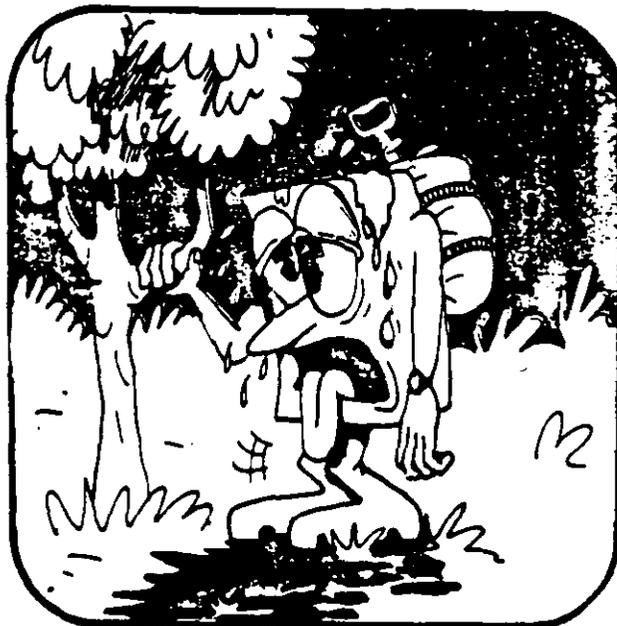
El concreto presenta tres etapas de consistencia: una plástica, otra semiplástica y otra de endurecimiento, las cuales están limitadas por el tiempo de fraguado inicial y el tiempo de fraguado final. Estos dependen de la temperatura ambiente. Se presenta la siguiente tabla ilustrativa.

Temperatura ambiente ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )	10°C	20°C	30°C
Fraguado inicial en horas ( $\pm 1$ )	9	5	3
Fraguado final en horas ( $\pm 1$ )	12	7	4



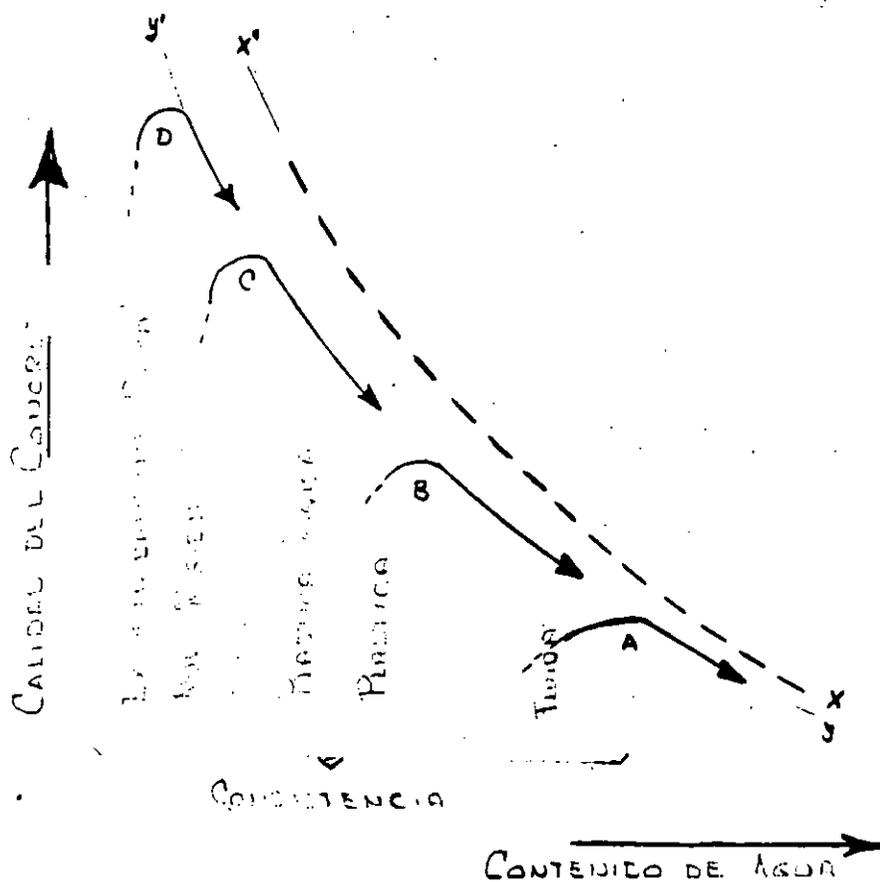
#### IV. 12.—¿COMO INFLUYE LA TEMPERATURA EN EL FRAGUADO DEL CONCRETO?

Se observa en la tabla anterior que a menos temperatura, mayor tiempo requiere el concreto para fraguar; sin embargo los tiempos de fraguado tienen poca influencia en el desarrollo de la resistencia, es decir, si un concreto en su etapa inicial presenta un retardo por temperatura o por algún aditivo, la resistencia de proyecto no se altera si el curado se realiza adecuadamente.



# COMPACTACION

PROCESO QUE SE SIGUE PARA ELIMINAR EL AIRE ATRAPADO EN EL CONCRETO FRESCO CIMBRADO...

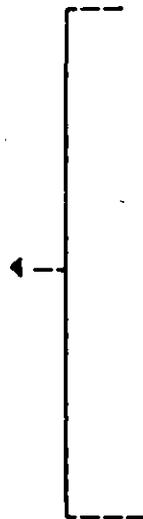


- COMPLEJIDAD DE CIMBR.
- CANTIDAD DE ACERO DE REFUERZO.
- MANEJABILIDAD DEL CONCRETO.
- DISEÑO DE MEZCLA.
- TIPO DE ELEMENTO.

- x-x' TOTALMENTE COMPACTADO (SIN AIRE ATRAPADO)
- y-y' GRADO NORMAL DE COMPACTACION
- A SIN ESFUERZO DE COMPACTACION
- B BAJO ESFUERZO DE COMPACTACION (VIBRADO LEVE)
- C ESFUERZO MEDIO DE COMPACTACION (VIBRADO DE)
- D ESFUERZO MÁXIMO DE COMPACTACION (VIBRADO + PULSO)

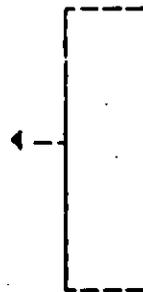
# METODOS USADOS COMPACTACION

MANUALES



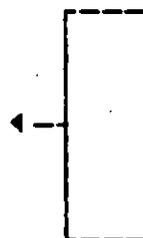
- AUTOCOMPACTACION POR EFECTO DE GRAVEDAD (M. FLUIDAS)
- VARILLAS.
- PALEADO.
- APISONAMIENTO (PIE-PIZON).
- MEZCLAS RIGIDAS (CAPAS DELGADAS, EFECTIVO, COSTOSO).

MECANICAS



- VIBRADO.
- COMPACTADORES DE POTENCIA.
- CENTRIFUGACION (GIRADO).
- MESAS DE IMPACTO.

MANUALES-MECANICAS



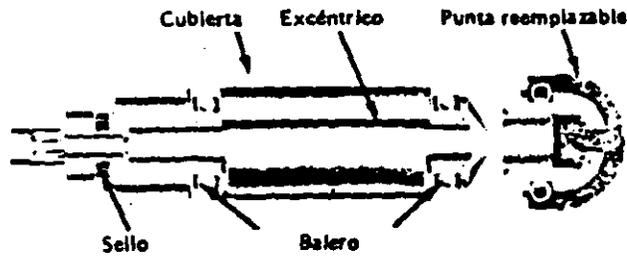
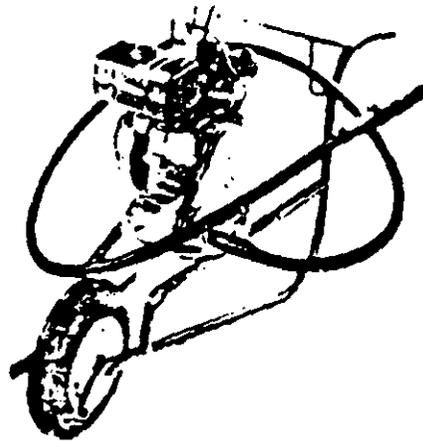
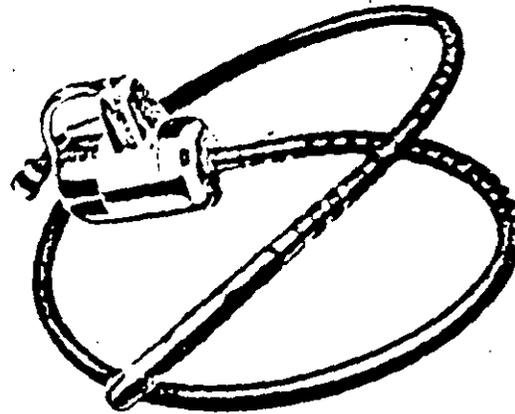


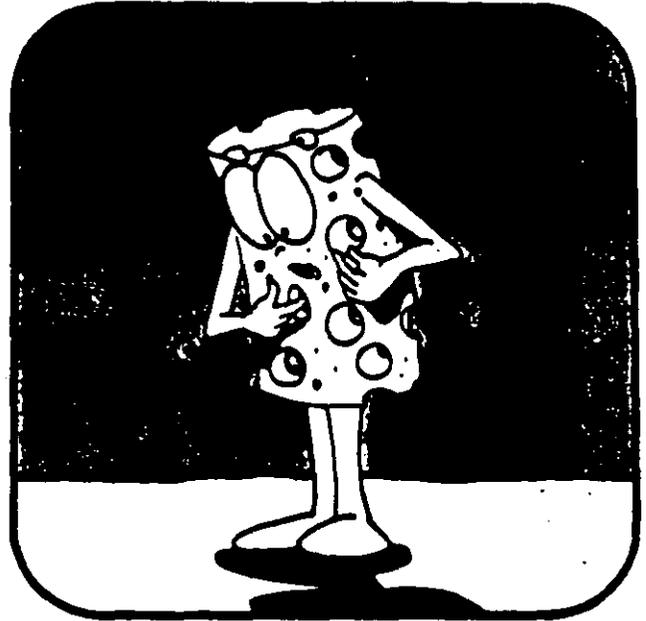
Fig. 5.1.1. Vibradores de flecha flexible: de operación eléctrica (arriba), con motor de gasolina (centro), corte longitudinal de la cabeza (abajo).

**VIBRADO:**

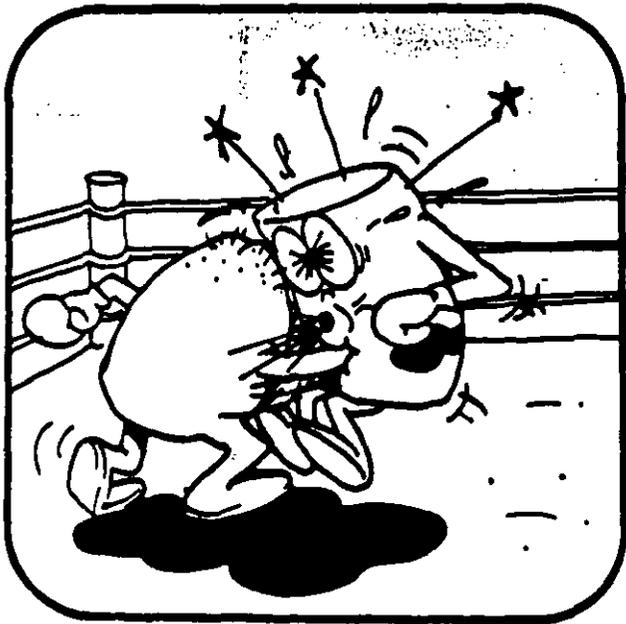
SOMETER AL CONCRETO FRESCO A IMPULSOS-VIBRATORIOS RAPIDOS QUE LICUAN EL MORTERO, REDUCIENDO LA FRICCION INTERNA DE PARTICULAS DE AGREGADO.

III. 3.—¿QUE EFECTOS SE PUEDEN TENER CUANDO EL EQUIPO, PROCEDIMIENTO Y TIEMPO DE COMPACTACION SON INADECUADOS?

Se corre el riesgo de que el concreto quede con oquedades, porosidad excesiva y pierda su homogeneidad, causando el efecto de segregación.



III. 4.—¿EL TIEMPO DE COMPACTACION TIENE EFECTOS EN EL CONCRETO?



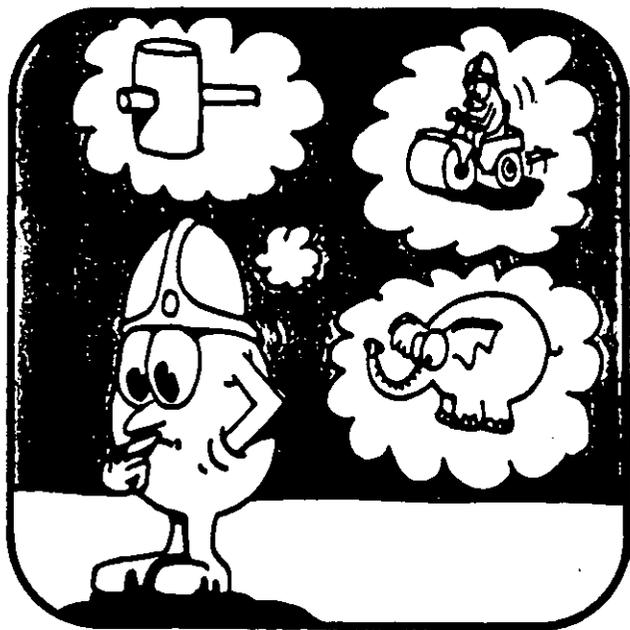
Cuando no se da el tiempo suficiente de compactación, no se alcanza a expulsar de la masa del concreto el aire atrapado y ello da origen a una porosidad excesiva.

Por otra parte cuando el concreto es vibrado más tiempo del necesario, se segrega debido a la clasificación gravimétrica de sus componentes.

## PRACTICAS RECOMENDADAS PARA VIBR

- DEPOSITAR CAPAS DE 30 - 45 cm DE ESPESOR.
- NIVELADO DE CAPAS.
- INSERTAR EN SENTIDO VERTICAL.
- EN LOSAS EN SENTIDO HORIZONTAL (SUMERGIR COMPLETAMENTE)
- PENETRAR CUANDO MENOS 15 cm EN CAPA PRECEDENTE.
- TIEMPO DE PERMANENCIA DE 5 A 15 seg.
- EXTRACCION DEL VIBRADOR  $V = 75 \text{ mm} / \text{seg.}$

III. 5.—¿QUE PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION SE DEBE ELEGIR?



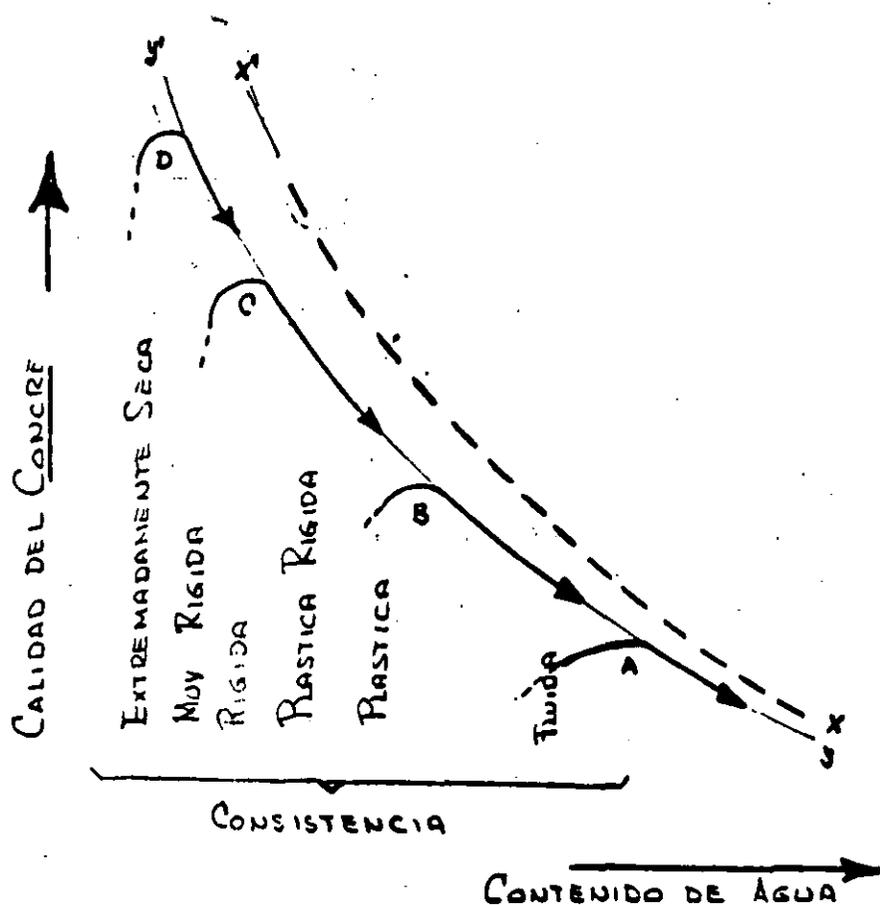
El procedimiento de compactación depende de las características de trabajabilidad del concreto, medidas estas en función de su revenimiento. Se hacen algunas recomendaciones en la tabla siguiente:

Rango del Revenimiento en cm.	Procedimiento Recomendable	Tratamiento
menor de 2	Vibro-compresión	Enérgico
2.1 a 8	Vibración interna	Enérgico
8.1 a 12	Vibración interna Varillado	Normal Enérgico
12.1 a 16	Vibración interna Varillado	Suave Normal
16.1 a 20	Varillado Pisonado	Suave Suave

NOTA: En esta tabla y en la publicada en página 14, se considera el revenimiento obtenido y no el de proyecto.

# COMPACTACION

PROCESO QUE SE SIGUE PARA ELIMINAR EL AIRE ATRAPADO EN EL CONCRETO FRESCO CIMBRADO..



- COMPLEJIDAD DE CIMBR
- CANTIDAD DE ACERO DE REFUERZO.
- MANEJABILIDAD DEL CONCRETO.
- DISEÑO DE MEZCLA.
- TIPO DE ELEMENTO.

- X-X' TOTALMENTE COMPACTADO (SIN AIRE ATRAPADO)
- Y-Y' GRADO NORMAL DE COMPACTACION
- A SIN ESFUERZO DE COMPACTACION
- B BAJO ESFUERZO DE COMPACTACION (VIBRADO LIBERO)
- C ESFUERZO MEDIO DE COMPACTACION (VIBRADO NORMAL)
- D ESFUERZO ELEVADO DE COMPACTACION (VIBRADO + PRESION)

## CONSIDERACIONES GENERALES PARA COLOCACION CONCRETO

- EVITAR SEPARACION AGREGADO GRUESO
- DISTRIBUCION DEL EQUIPO SIN RESTRICCIÓN EN CAIDA DEL CONCRETO.
- DESCARGA DEL CONCRETO (CHORRO) NO DEBE SEPARARSE.
- EN CIMBRAS SUFICIENTEMENTE ABIERTAS ES DESEABLE LA DESCARGA DIRECTA.

RIESGO DE  
SEGREGACION

Consistencia de la  
mezcla

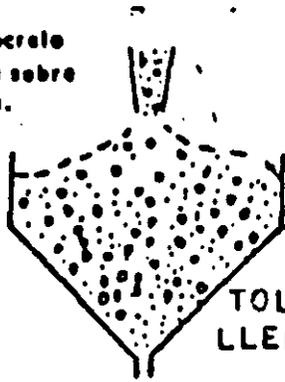
Plástica y semiplástica  
(deformabilidad y  
cohesión)  
Fluida

Tamaño máximo del  
agregado

Contenido unitario  
de cemento

Procedimiento y  
equipo de  
transporte

Caída del concreto directamente sobre la compuerta.



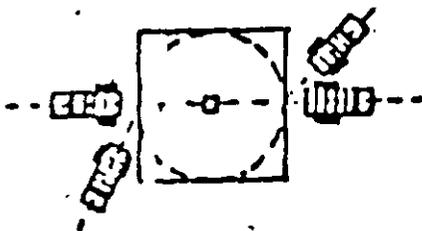
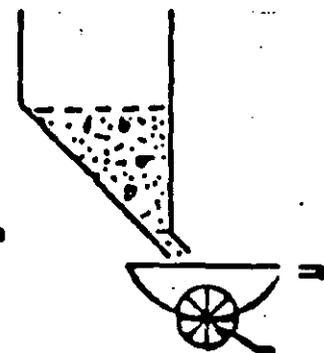
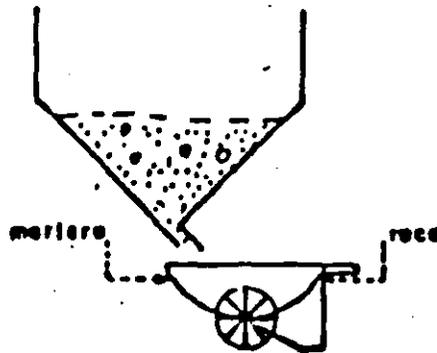
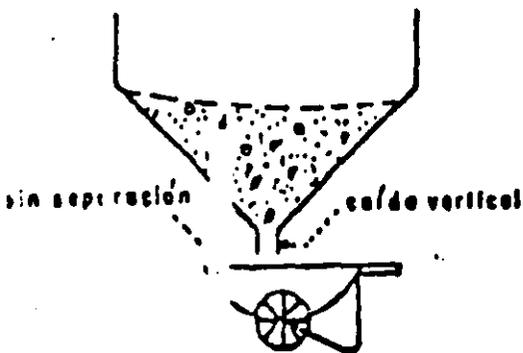
**CORRECTO**

Caída del concreto en los bordes de la tolva.



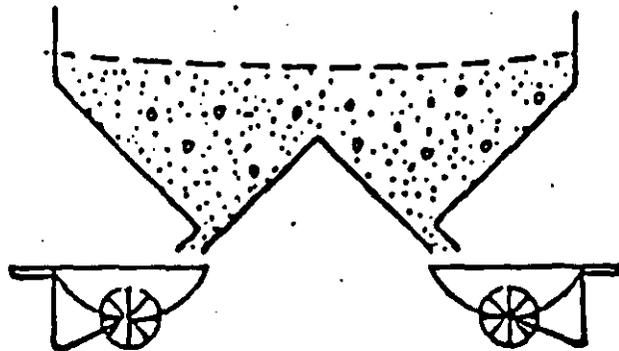
**INCORRECTO**

**TOLVAS O CUBOS LLENOS DE CONCRETO**



**CORRECTO**

Descarga por la abertura central para caer verticalmente en el centro del carro. La entrada alternada permite cargar a la misma velocidad que con tolvas divididas en 2 compuertas de caída las cuales son...



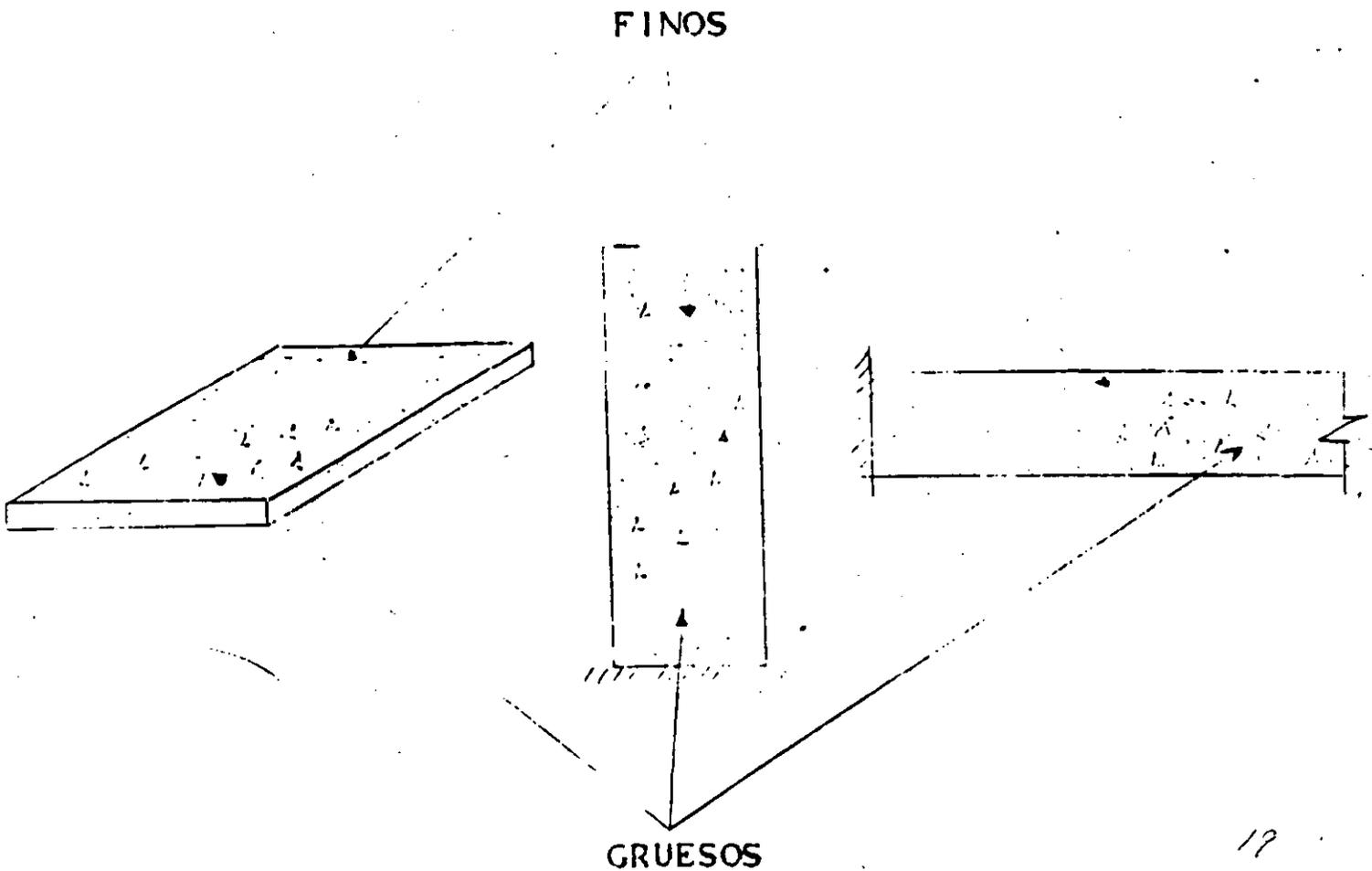
**INCORRECTO**

Compuertas inclinadas de caída que en realidad son conetas sin control de caída y causan segregación obstativa al llenar los carros.

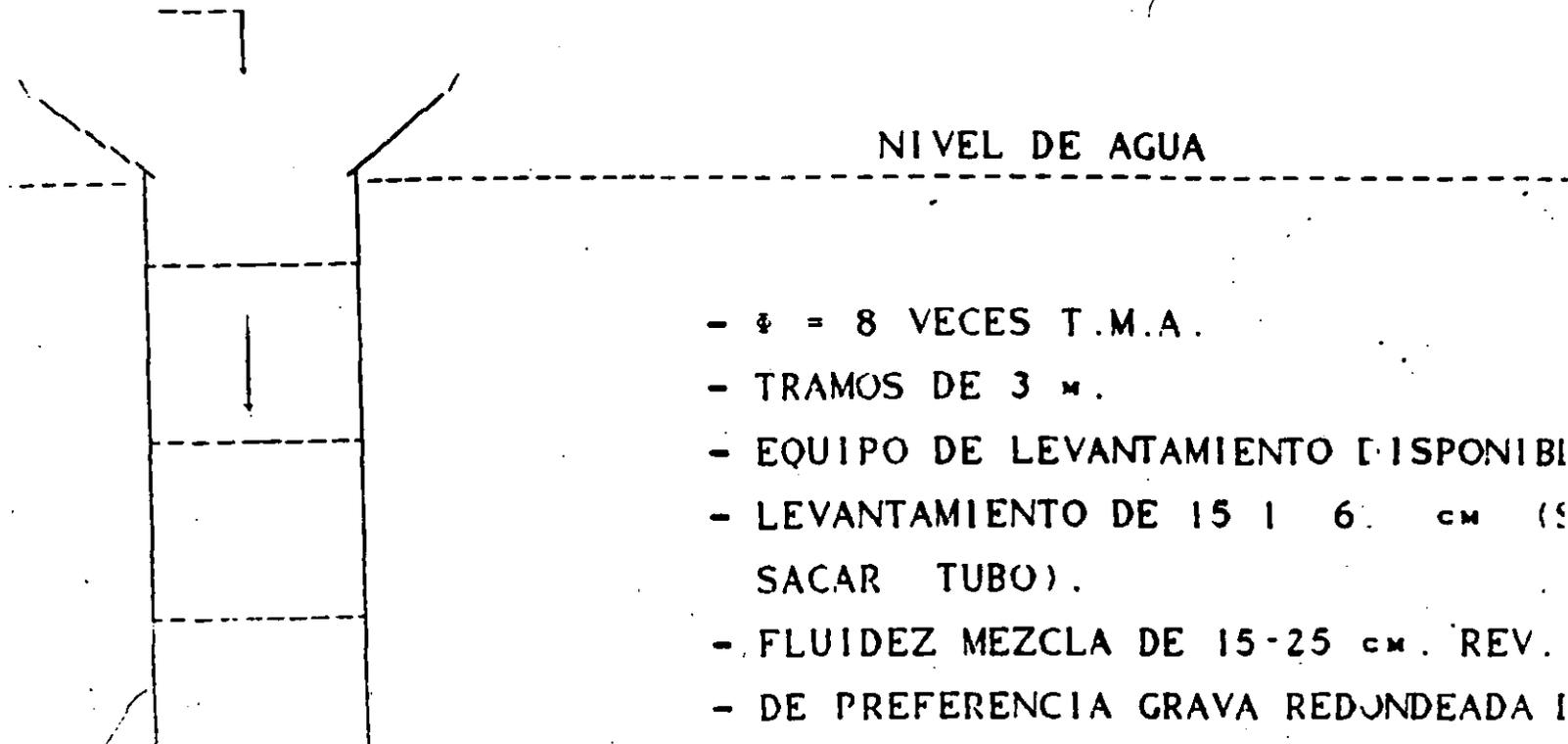
**DESCARGA DE LAS TOLVAS PARA CARGAR EL CONCRETO EN LOS CARROS**

# SEGREGACION

SEPARACION Y/O CONCENTRACION DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA)  
EN DETERMINADAS ZONAS DE LOS ELEMENTOS COLADOS.



## TUBO - EMBUDO (TREMIE)



CONCRETO

- $\phi = 8$  VECES T.M.A.
- TRAMOS DE 3 m.
- EQUIPO DE LEVANTAMIENTO DISPONIBLE
- LEVANTAMIENTO DE 15 l 6 cm (SACAR TUBO).
- FLUIDEZ MEZCLA DE 15-25 cm. REV.
- DE PREFERENCIA GRAVA REDONDEADA 1 2 Y 1 1/2
- RELACIONES G/A = 1
- USO ADITIVOS RETARDANTES DE FRAGUADO.
- A 21 m DE PROFUNDIDAD TUBO AHOGADO.
- DEMORAS MAYORES A 5 MIN. INDESEABLES.
- SEPARACIONES DE UN TUBO POR CADA m<sup>2</sup>.

TRAMOS DE 1/2 A 3 m DE H.

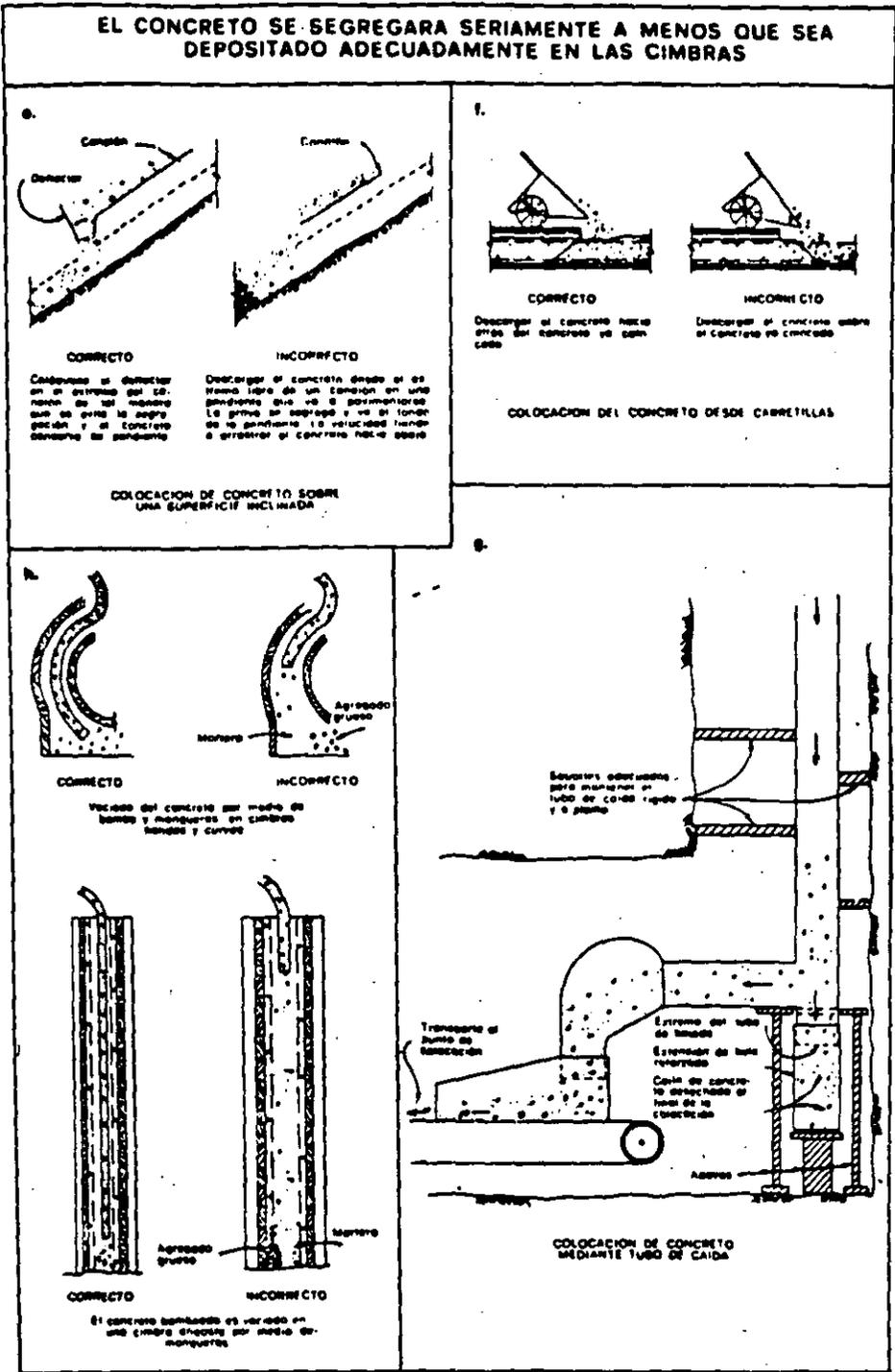


Fig. 6.1 (e-h) Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.

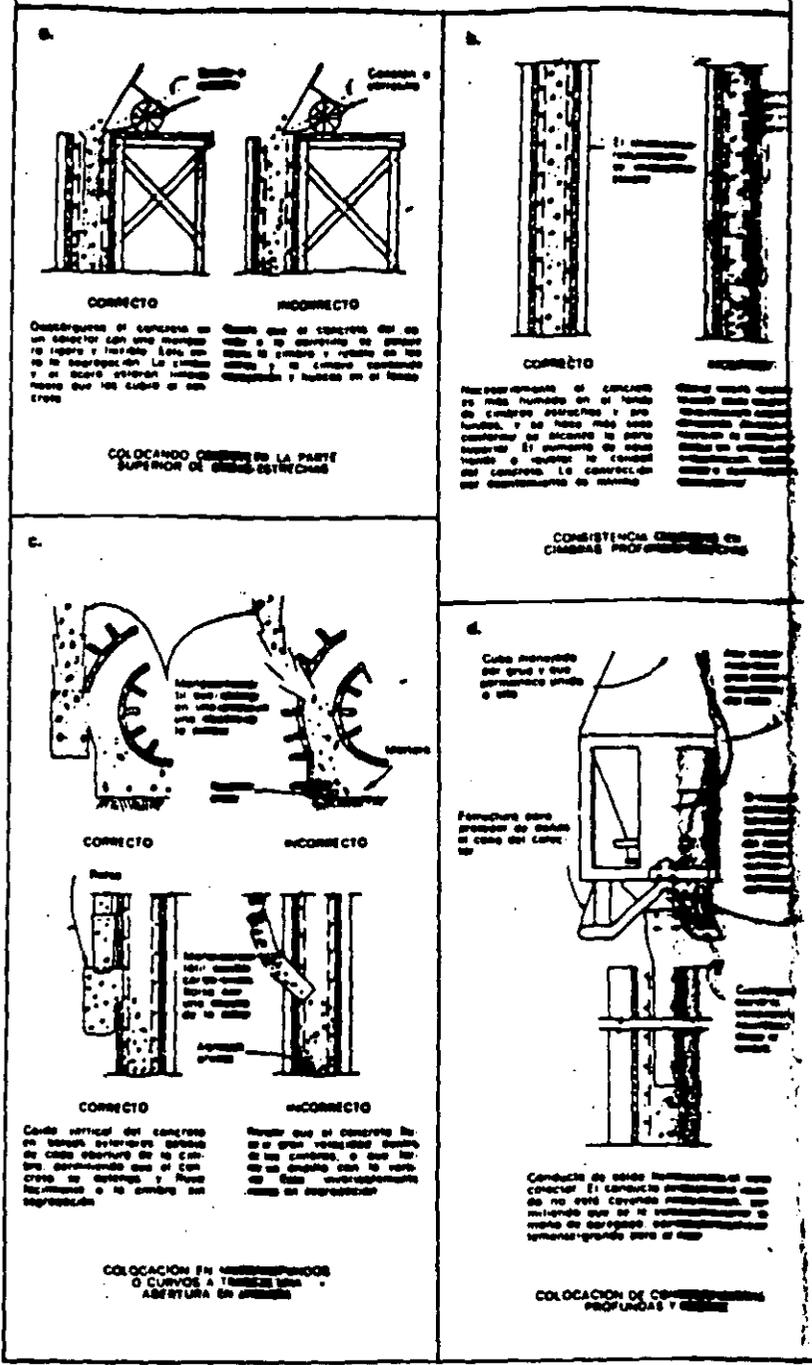


Fig. 6.1 (a-d) Métodos correctos e incorrectos de colocación.

## II.—MANEJO DEL CONCRETO

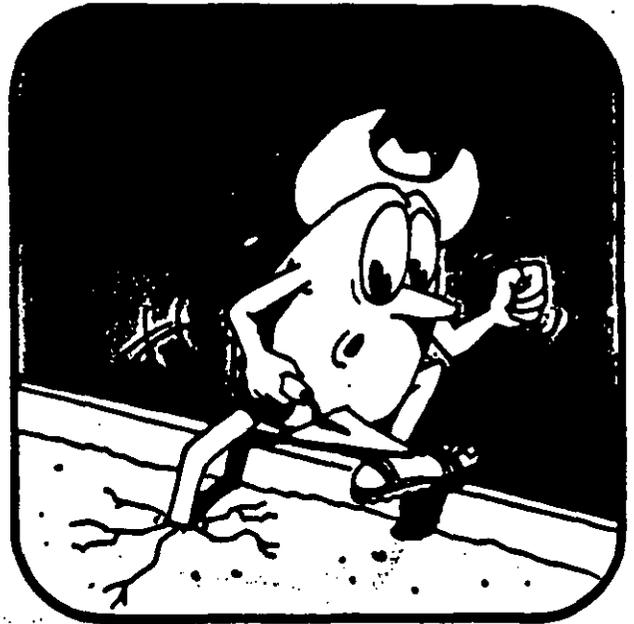
### II. 1.—¿QUE CONSIDERACIONES SON IMPORTANTES DURANTE EL MANEJO DEL CONCRETO?



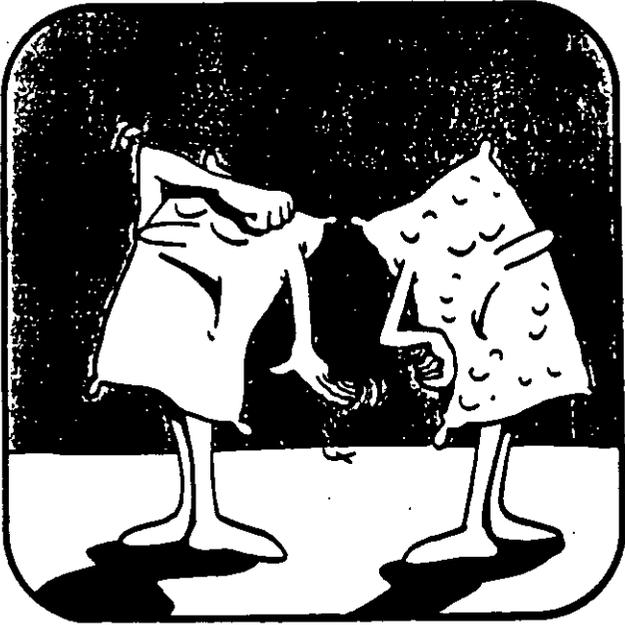
Se debe buscar que éste conserve sus características originales, hasta el momento en que quede colocado en las formas.

### II. 2.—¿QUE ASPECTOS DEBEN VIGILARSE AL REALIZAR EL MANEJO DEL CONCRETO FRESCO?

Lo más importante es que no se presente segregación de sus componentes, asimismo deberá colocarse el concreto en el lapso adecuado para evitar su endurecimiento.



### II. 3.—¿QUE ES LA SEGREGACION?



Es el fenómeno que se presenta al separarse el mortero y el agregado grueso.

### II. 4.—¿QUE CONSECUENCIA PUEDE TENER LA SEGREGACION?

Donde exista acumulación de grava, se tendrá mayor dificultad en su colocación propiciándose la formación de oquedades; donde se tenga concentración de mortero, es probable que se presenten agrietamientos. En ambos casos el resultado será una disminución de la resistencia.



II. 5.—¿COMO SE PUEDE EVITAR O DISMINUIR AL MAXIMO LA SEGREGACION?



Mediante equipos de bombeo, reduciendo la manipulación del concreto y en general, utilizando procedimientos adecuados de colocación, tales como los que se enlistan a continuación y que se dan en función de la trabajabilidad del concreto, por ser esta la característica de mayor influencia en este proceso.

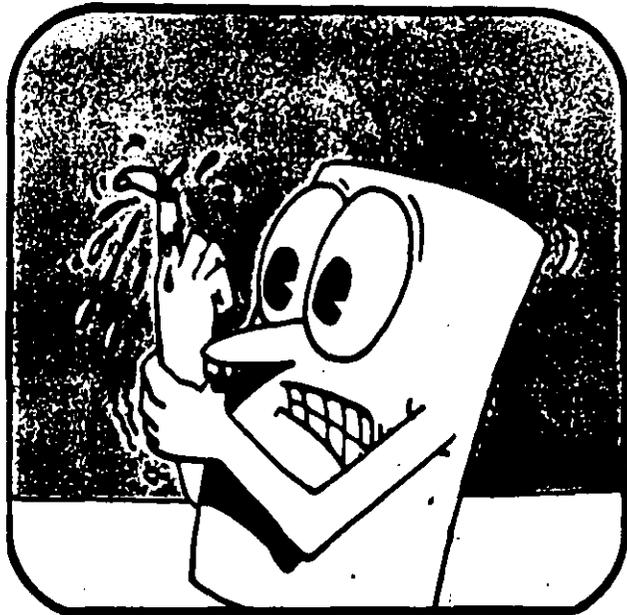
Rango de Revenimiento cm.	EQUIPO RECOMENDABLE PARA TRANSPORTE	
	HORIZONTAL	VERTICAL
0 a 8	Carretilla, Vuguie, Banda*	Vuguie, cubeta, banda*
8.1 a 12	Carretilla, Vuguie, canalón*	Vuguie, cubeta, canalón*
12.1 a 16	Canalón*, bomba, impulsor neumático.	Cubeta, canalón* bomba, impulsor neumático.
16.1 a 20	Canalón*, bomba, impulsor neumático.	Cubeta, canalón* bomba, impulsor neumático, trompa de elefante.

\* Se emplea en posición indicada con pendiente suave.

25

II. 6.—¿EXISTE OTRA MANIFESTACION  
APARTE DE LA SEGREGACION?

Sí, también puede presentarse la separación del agua, cuando ésta aflora a la superficie libre del concreto o sea el efecto llamado "sangrado". Este fenómeno es natural siempre y cuando no sea excesivo.



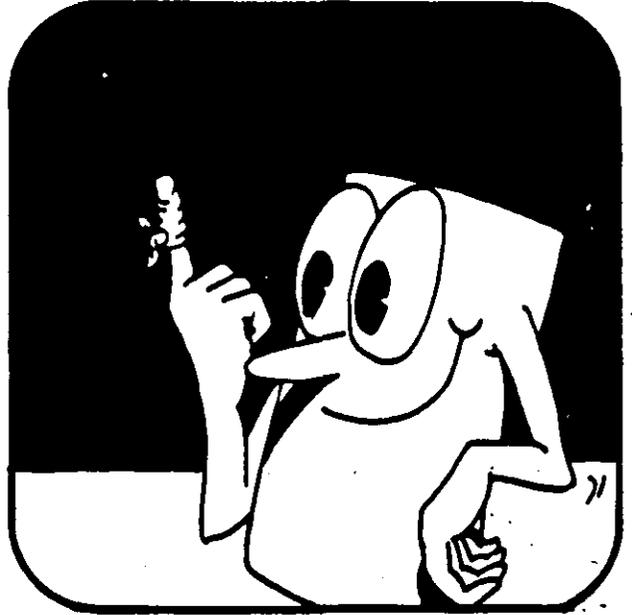
II. 7.—¿PRESENTA ALGUNA CONSECUENCIA ADVERSA  
EL SANGRADO EXCESIVO DEL CONCRETO?

Sí, ya que al subir el agua a la superficie, forma tubificaciones que quedan permanentes al endurecer el concreto y esto afecta la impermeabilidad del mismo. Además reduce la resistencia superficial del concreto.



## II. 8.—¿COMO SE PUEDE EVITAR O DISMINUIR EL SANGRADO DEL CONCRETO?

Solicitando el menor revenimiento posible en función a los requerimientos de la obra; también se podrá emplear un aditivo reductor de agua, un inductor de aire o ambos. Los productores de concreto invariablemente utilizan aditivos reductores de agua para disminuir el sangrado y mejorar otros aspectos del concreto.



## II. 9.—¿QUE PRECAUCIONES SE DEBEN TENER PARA EVITAR EL ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO DURANTE SU MANEJO?



Lo primero es no emplear demasiado tiempo durante su colocación, además de vigilar la temperatura del medio ambiente y del concreto.

**II. 10.—¿QUE RECOMENDACIONES SE PUEDEN DAR PARA EVITAR LOS EFECTOS NOCIVOS EN EL CONCRETO, PROPICIADOS POR ALTAS TEMPERATURAS?**

En casos extremos se tendrá que recurrir al empleo de un aditivo retardador de fraguado, utilizar hielo finamente dividido en lugar de agua y/o colar únicamente de noche.



**II. 11.—¿A QUE TEMPERATURA MAXIMA DEL AMBIENTE SE PERMITE COLOCAR EL CONCRETO?**



En climas extremos, lo que importa es conocer la temperatura ambiente y controlar la temperatura del concreto, ya que existe una relación entre ellas. Las temperaturas mínimas del concreto en climas fríos deben encontrarse dentro de los límites que se dan en la siguiente tabla y para climas calurosos no deberán exceder de 32°C.

(Ver Tabla en Página 18).

### III.—COLOCACION Y VIBRADO

#### III. 1.—¿QUE CUIDADOS SE DEBEN TENER AL COLOCAR EL CONCRETO?



Al colocar el concreto dentro de las formas, para que no se presente segregación, deberá descargarse a una altura que no exceda de 1.5 m., en caso de que ésta sea mayor, deberá hacerse a través de procedimientos que eviten dicho fenómeno, tales como: La utilización de tolvas con deflectores, colchones amortiguadores, una combinación de ambos, etc.

#### III. 2.—¿ES IMPORTANTE QUE EL CONCRETO QUEDE BIEN COMPACTADO?

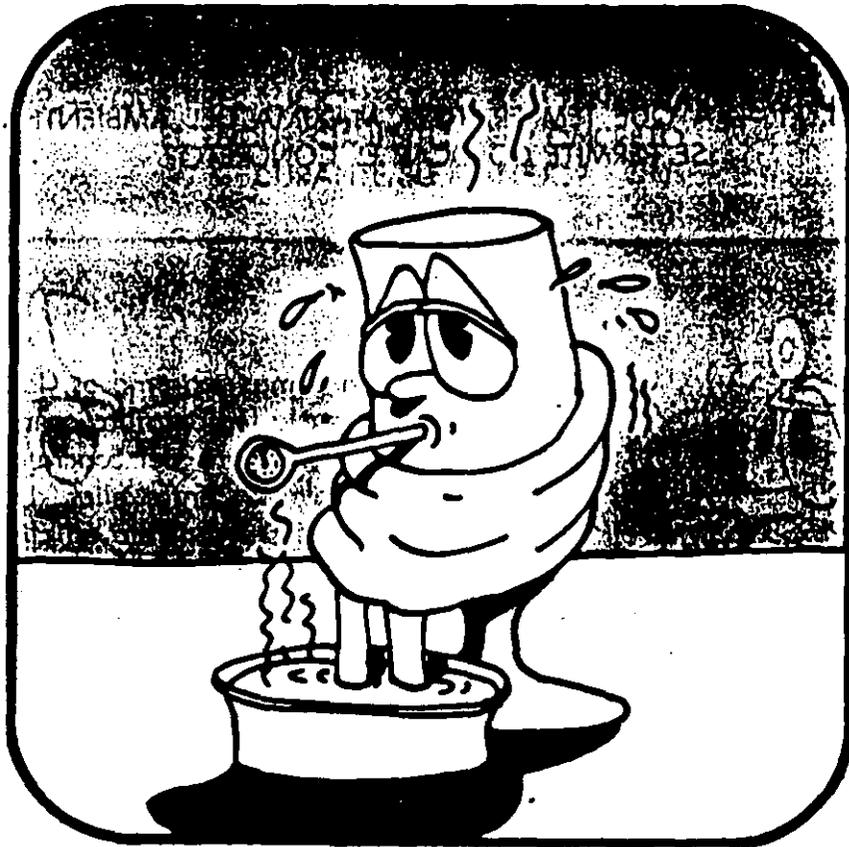


Sí, la compactación del concreto tiene la finalidad de lograr que éste alcance su peso volumétrico máximo dentro de las formas, para propiciar continuidad en la transmisión de esfuerzos.

TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPERATURAS MINIMAS DEL CONCRETO °C	
	Secciones delgadas y losas sobre pisos	Secciones gruesas y concreto masivo
7 a -1	16	10
-2 a -18	18	13

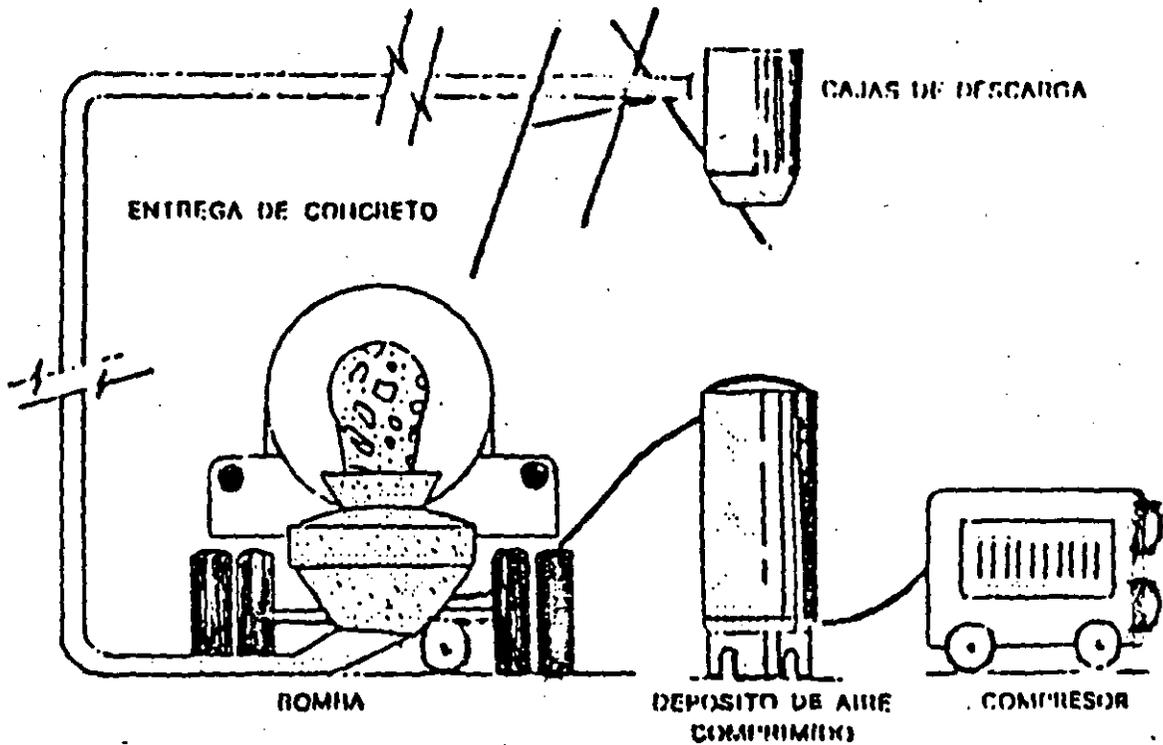
II. 12.—¿COMO SE MIDE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO?

Por medio de un termómetro de bulbo metálico que tenga una carátula indicadora.



## 2) BOMBAS NEUMATICAS

Este sistema consiste principalmente en un recipiente de presión y en un suministro de aire a presión mediante un compresor.



El compresor lleva de alta capacidad el tiempo, que impulsa el concreto en la bomba y través de la tubería

TRATAMIENTO POSTERIOR A LA FABRICACION

CONCRETO

- 
- TRANSPORTE
  - COLOCACION
  - COMPACTACION
  - CURADO

## ETODOS DE TRANSPORTE DE CONCRETO:

- CAMION REVOLVEDOR.
- CAMION DE CAJA FIJA CON O SIN AGITADORES.
- CUCHARONES TRANSPORTADOS POR CAMION O FERROCARRIL.
- CONDUCTOS O MANGUERAS.
- BANDAS TRANSPORTADORAS.

## FUNCIÓN DE :

- CONDICIONES AMBIENTALES.
- CONDICIONES DEL USO.
- INGREDIENTES DE LA MEZCLA.
- ACCESIBILIDAD Y UBICACION DEL SITIO DE COLOCACION.
- CAPACIDAD Y TIEMPO ENTRAGA REQUERIDOS.

# OBJETIVO TRANSPORTE DEL CONCRETO:

ENTREGA EFICAZ EN PUNTO DE COLOCACION.

SIN ALTERAR PROPIEDADES COMO :

- RELACION A/C.
- REVENIMIENTO.
- CONTENIDO DE AIRE.
- HOMOGENEIDAD.

# OBJETIVO TRANSPORTE DEL CONCRETO:

ENTREGA EFICAZ EN PUNTO DE COLOCACION.

SIN ALTERAR PROPIEDADES COMO :

- RELACION A/C.
- REVENIMIENTO.
- CONTENIDO DE AIRE.
- HOMOGENEIDAD.

## TRANSPORTE

MOVER EL CONCRETO DE UN LUGAR A OTRO SIN SEGREGACIÓN

"EL MEDIO O EQUIPO IDEAL SERÍA AQUEL QUE LO RECIBIERA DIRECTAMENTE A LA DESCARGA DE LA MEZCLADORA Y LO CONDUJERA RÁPIDA Y SUAVEMENTE HASTA SU UBICACIÓN FINAL, DONDE LO DEPOSITARA SIN MOVIMIENTOS BRUSCOS O PROLONGADOS".

ACTUALMENTE SE DISPONE DE:

- CAMIONES DE VOLTEO CON CAJA NORMAL.
- CAMIONES DE VOLTEO CON CAJA ESPECIAL (DUMPCRETE)
- CAMIONES MEZCLADORES
- CARRETILLAS Y VAGONETAS
- BOTES PARA CONCRETO (BUCKETS)
- CANALONES
- BANDAS TRANSPORTADORAS
- BOMBAS PARA CONCRETO
- EQUIPO NEUMÁTICO

**Camión de caja normal:** Limitado a concreto mezclado en obra.  
Caminos llanos.  
Tiempo máximo de entrega 30 a 45 m.  
Jamás debe agregarse agua, mezc.  
plásticas o semiplásticas.

**Precauciones:** Mantener cubierto el concreto durante el acarreo.  
Reducir la temperatura de la mezcla.  
Evitar uso de cemento caliente o con fraguado falso.

**Camión de caja especial:** Caja de una sola pieza sin intersticios.  
Pueden montarse vibradores para controlar y ayudar a la descarga y aspas agitadoras.

**Camiones mezcladores:**

La adopción de este tipo de camiones definió la imagen de la industria del concreto premezclado

**Se puede utilizar para:**

Mezclado total en el camión  
Mezclado parcial en el camión  
Dosificación en seco  
Mezclado total en planta

Mezclado total en camión: Los materiales se dosifican en planta cargando los materiales a una velocidad baja de la olla revolvedora.  
Mezclado en olla a la velocidad de mezclado con 70 a 100 revoluciones. El acarreo a velocidad de agitación.  
Descarga, previo mezclado de 10 a 15 revoluciones de la olla.  
Volumen absoluto de los materiales 63% máximo de la capacidad de la olla (usado como agitador 80%).

**Carretillas, vagonetas**

**(manuales o motorizadas):**

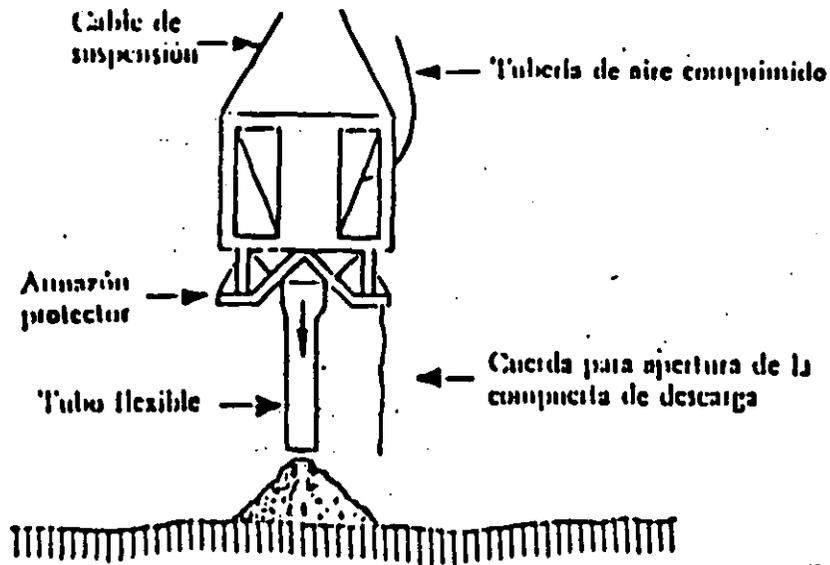
Limitado a distancias máximas de entrega de 60 m. si son manuales ó 120 m. si son motorizadas.

Importante: vías de tránsito lisas y rígidas.

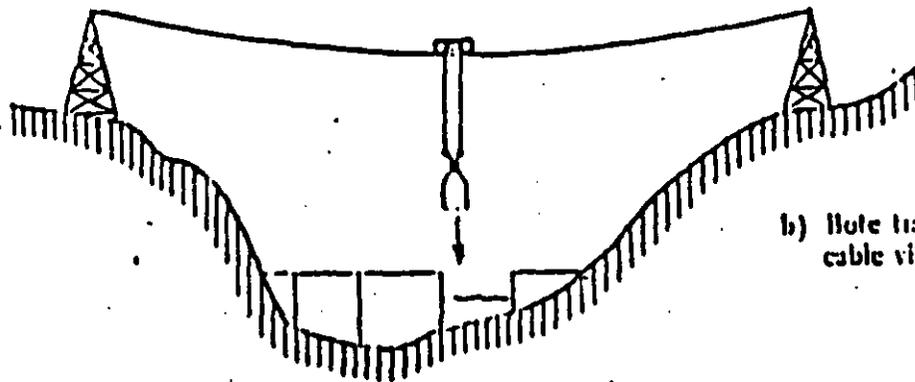
Llantas neumáticas.

Descarga por volteo que puede hacerla inadecuadas para el transporte de mezclas secas.

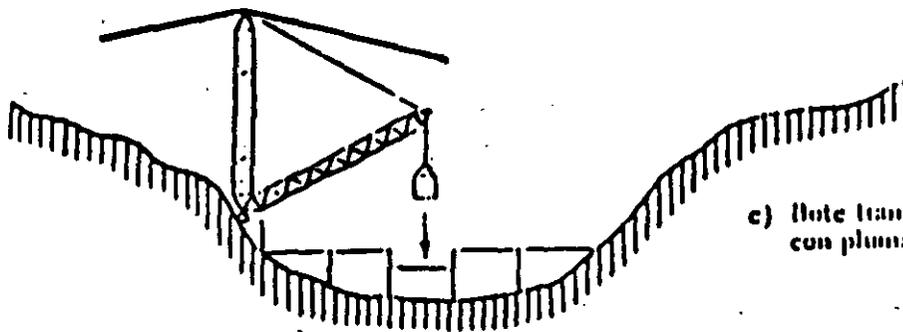
**Botes:** Recipientes metálicos de forma tronco-cónica con descarga por la parte inferior y carga por la parte superior que permite el manejo de mezclas secas. Acarreo por suspensión mediante cables (grúas, plumas, cable vía, dragas, etc.) que da grandes ventajas de operación.  
 Capacidad de 0.8 a 9 m<sup>3</sup> de concreto.



a) Detalle de un bote para concreto



b) Bote transportado con cable vía



c) Bote transportado con pluma

Transporte y colocación de concreto con botes de compuerta inferior de descarga

Canalones:

Desplazamiento del concreto por gravedad de metal o revestimiento metálico. Sección transversal semi-circular de suficiente capacidad para evitar derrames.

Deben cubrirse para evitar secado excesivo por el sol o el viento. Inclinación constante y suficiente para que el concreto fluya con la consistencia prevista pero sin que propicie segregación; en general es conveniente una pendiente entre 1:2 y 1:3.

Flujo continuo del concreto ayuda a prevenir la segregación y en el extremo del canalón se requiere de un control que evite esta segregación.

Bandas transportadoras:

Cuando se utilizan debidamente producen buen rendimiento en el transporte de mezclas de concreto, cuya consistencia vaya de seca a plástica.

Limitación principal: mucho desarrollo para salvar diferencias de nivel entre los puntos de carga y descarga.

Por las variables que influyen en la fluidez, se estima que una banda lisa puede operar en ángulos hasta de 20° a 25° y si la banda tiene corrugaciones hasta 35°.

Ancho mínimo 41 cm.

Capacidad real = 70% de capacidad teórica.

Control de descarga.

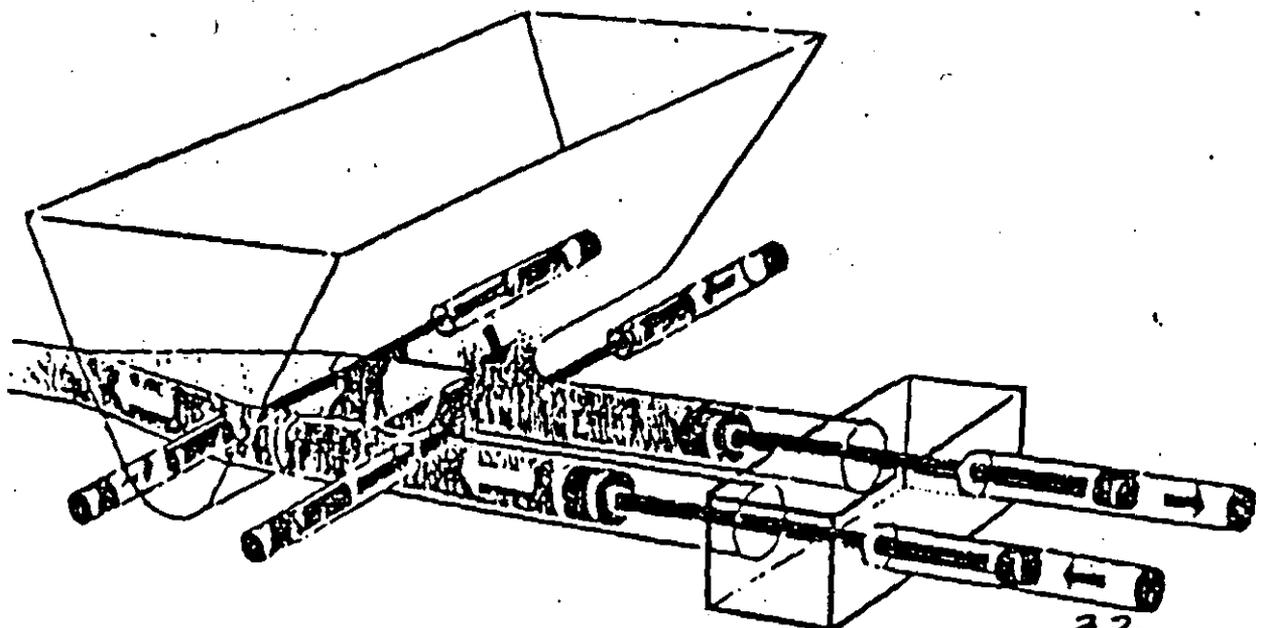
## TIPO DE BOMBEO:

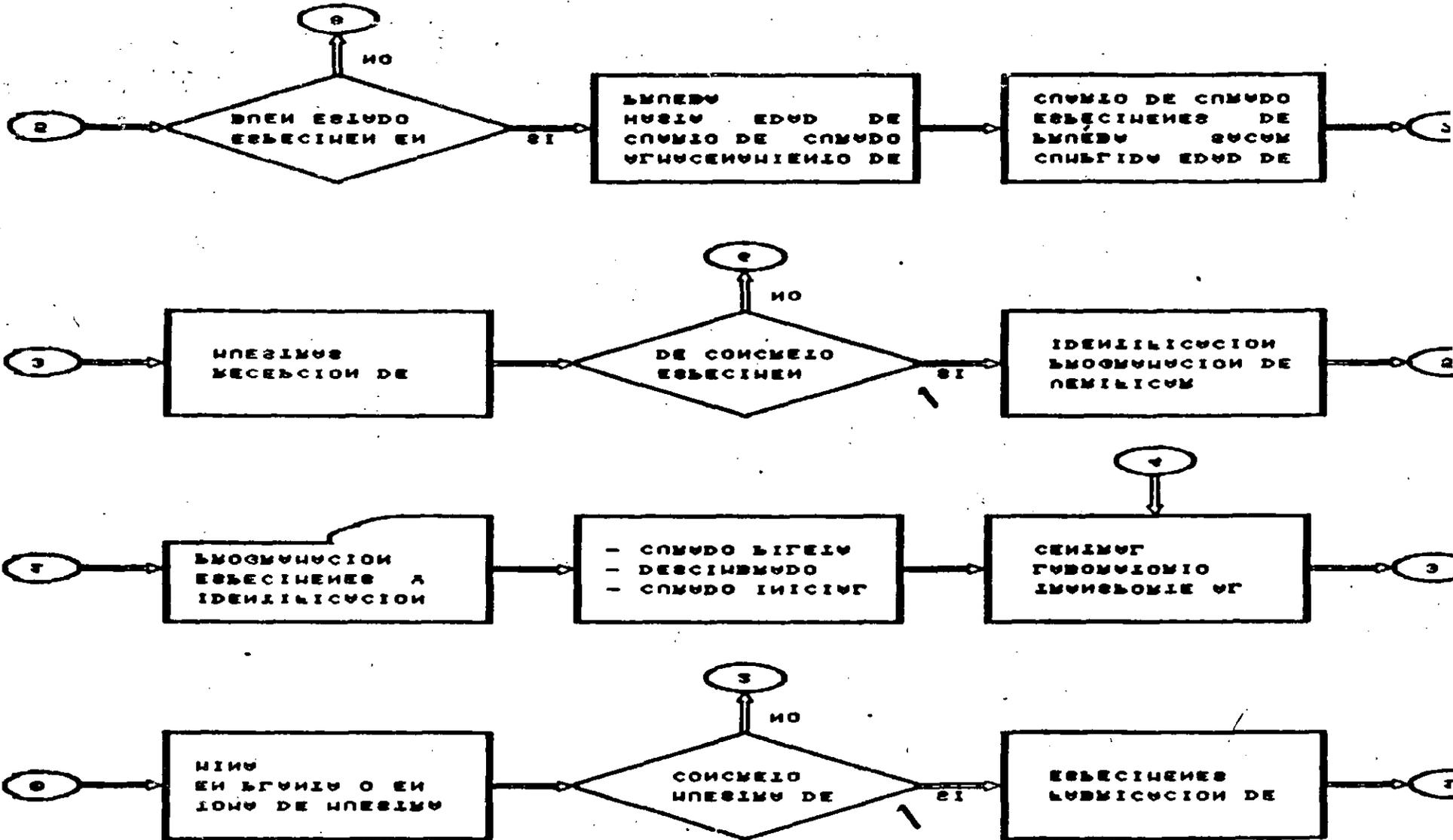
### 1) BOMBAS DE PISTON

Constan de: tolva de recepción provista de aspas  
válvula de entrada  
válvula de salida  
uno o dos pistones  
un cilindro

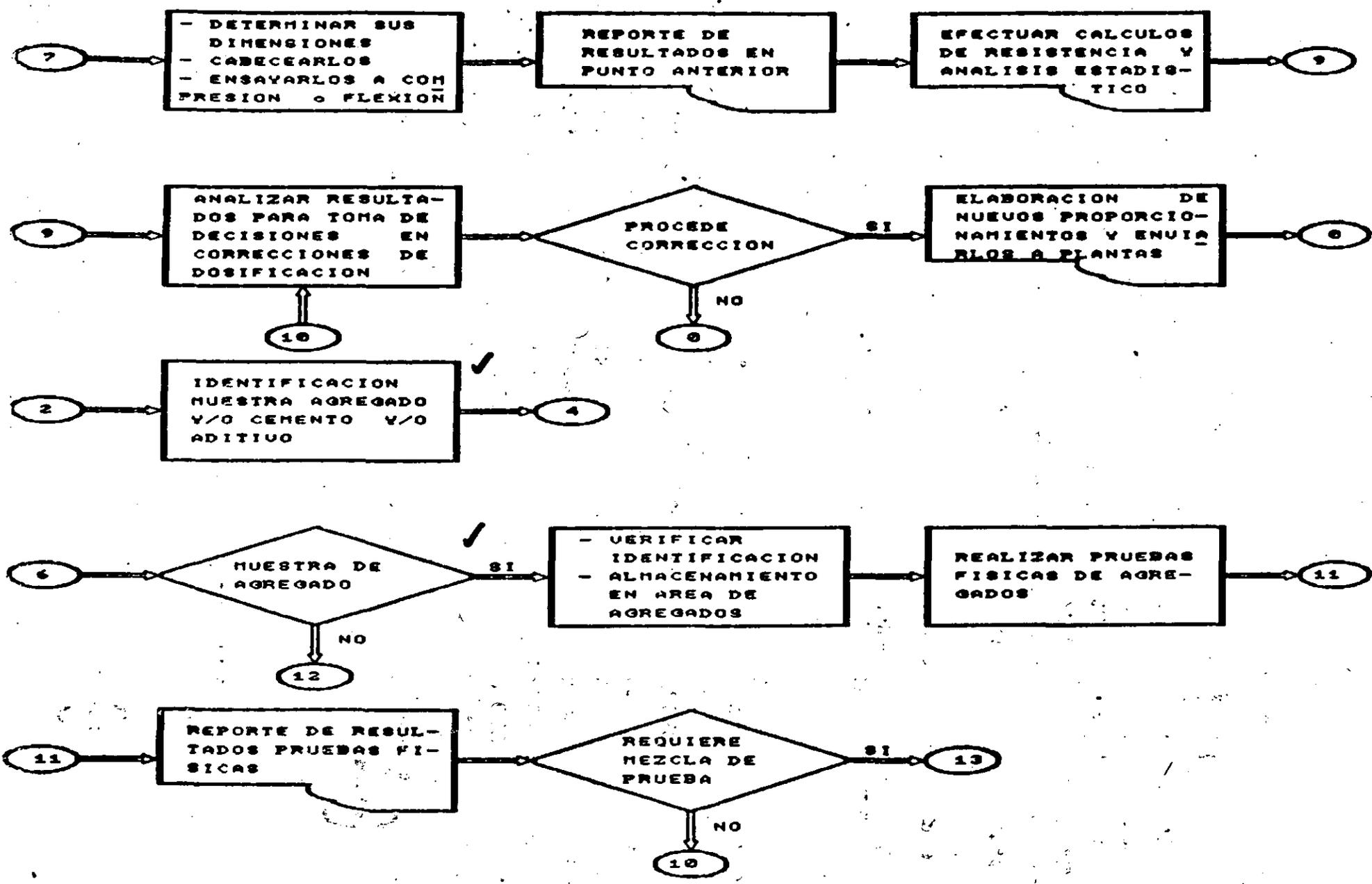
Los pistones son accionados por una biela o cadena  
o hidráulicamente con aceite o agua.

La toma de fuerza se proporciona por motor de  
gasolina, diesel o eléctrico.





PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD Y ANÁLISIS DE MUESTRA EN



**MEZCLA DE PRUEBA EFICIENCIA AGREGADOS**

**DISEÑO DE LAS MEZCLAS :**

CEMENTO T-I (KG)	250	300	350
ARENA (KG)	835	780	730
GRAVA (KG)	870	875	890
AGUA (KG)	200	205	210
ADITIVO 1	0.25 %	0.25 %	0.25 %

**RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION :**

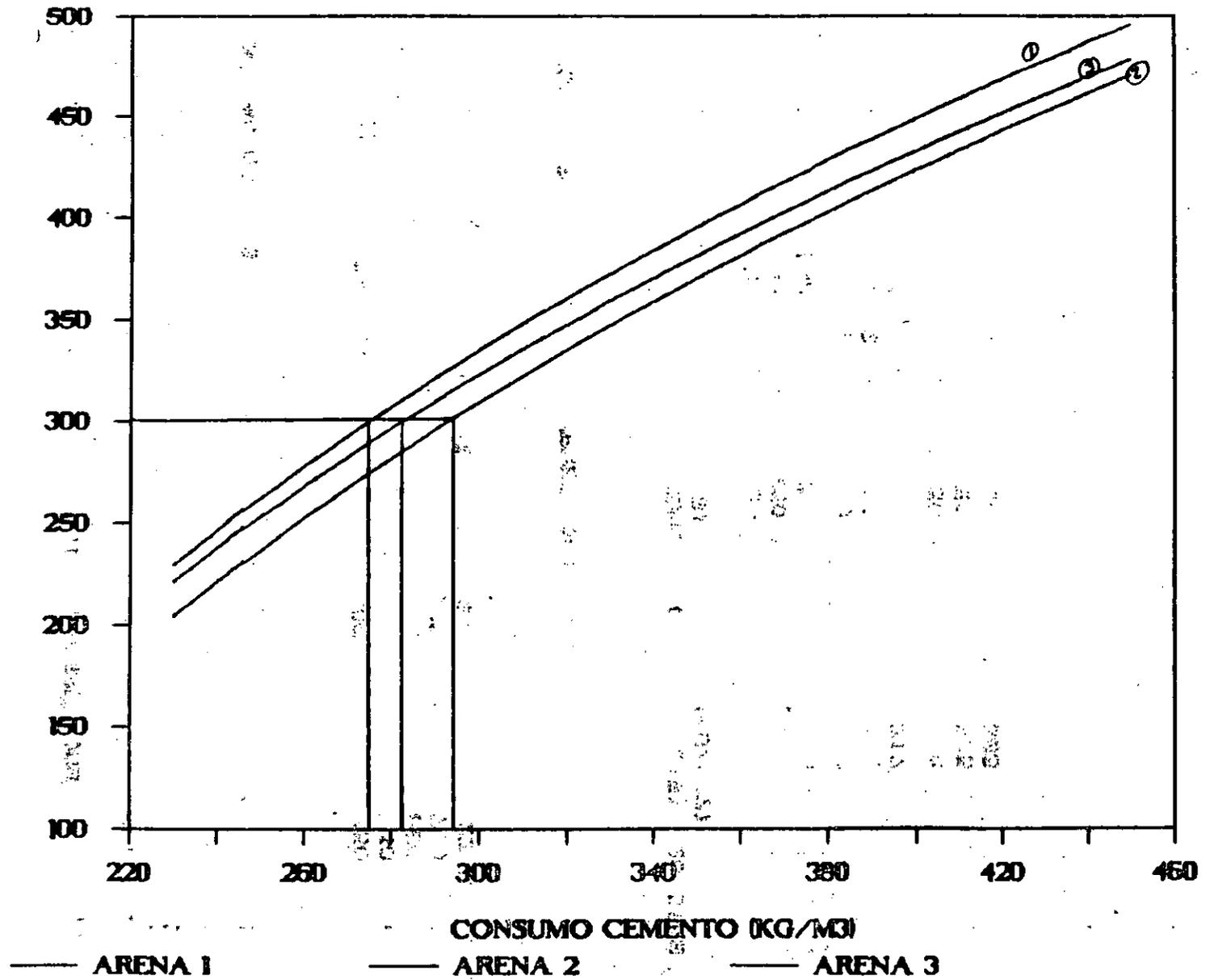
		CONSUMO CEM. (KG)	RESIST. 28 DIAS (KG/CM2)
ARENA	1	250	266
ARENA	2	250	241
ARENA	3	250	256
ARENA	1	300	327
ARENA	2	300	301
ARENA	3	300	317
ARENA	1	350	400
ARENA	2	350	375
ARENA	3	350	385

# EFICIENCIA DE AGREGADOS

## EJEMPLO 3

57

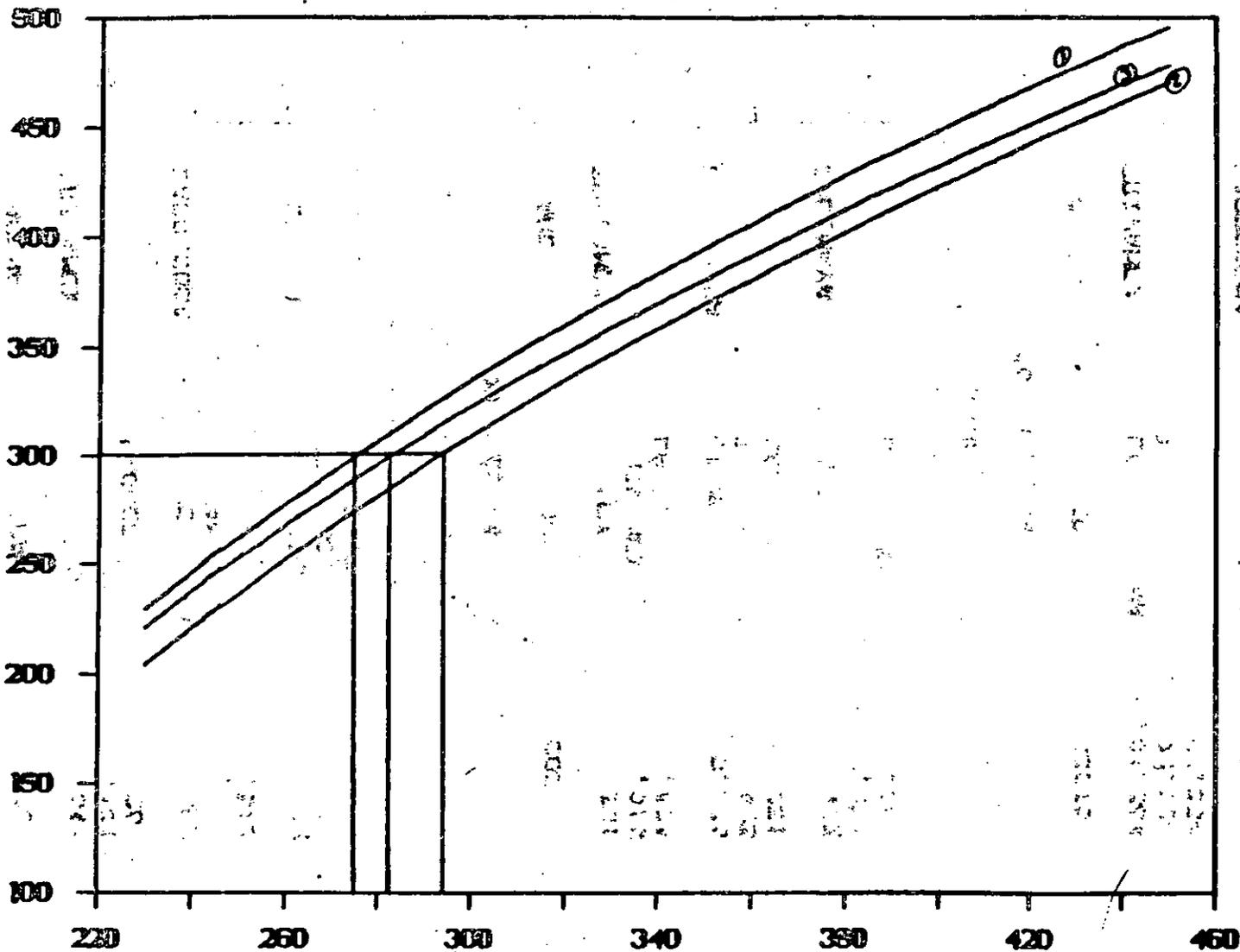
RESISTENCIA (KG/CM<sup>2</sup>)



# EFICIENCIA DE AGREGADOS

## EJEMPLO 3

RESISTENCIA (KG/CM<sup>2</sup>)



CONSUMO CEMENTO (KG/M<sup>3</sup>)

— ARENA 1

— ARENA 2

— ARENA 3

DE MATERIA, PRIMA EN DIFERENTES COMBINACIONES DE AGREGADOS, EN CADA UNA DE LAS PLANTAS PARA UN CONCRETO 200 N 20 14  
MAYO 26 DE 1972

CENTRAL

200 N 20 14

ARENA	GRAVA	COSTO
TRIVAMEX	LA MEXICANA	97,341
	GRAVAMEX	97,131
	LAGRECOCA	100,261
LAGRECOCA	LA MEXICANA	96,653
	GRAVAMEX	90,443
	LAGRECOCA	97,573
CALIMAYA	LA MEXICANA	91,753
	GRAVAMEX	93,764
	LAGRECOCA	94,707

VALLEJO

200 N 20 14

ARENA	GRAVA	COSTO
TRIVAMEX	LA MEXICANA	99,331
	TRIVAMEX	100,016
	LAGRECOCA	101,474
LAGRECOCA	LA MEXICANA	90,076
	TRIVAMEX	97,425
	LAGRECOCA	100,231
CALIMAYA	LA MEXICANA	87,477
	TRIVAMEX	88,034
	LAGRECOCA	87,644

ESTRELLA

200 N 20 14

ARENA	GRAVA	COSTO
TRIVAMEX	LA MEXICANA	101,364
	TRIVAMEX	90,524
	LAGRECOCA	97,334
LAGRECOCA	LA MEXICANA	97,712
	TRIVAMEX	97,057
	LAGRECOCA	97,071
CALIMAYA	LA MEXICANA	94,533

CENTRAL

VALLEJO

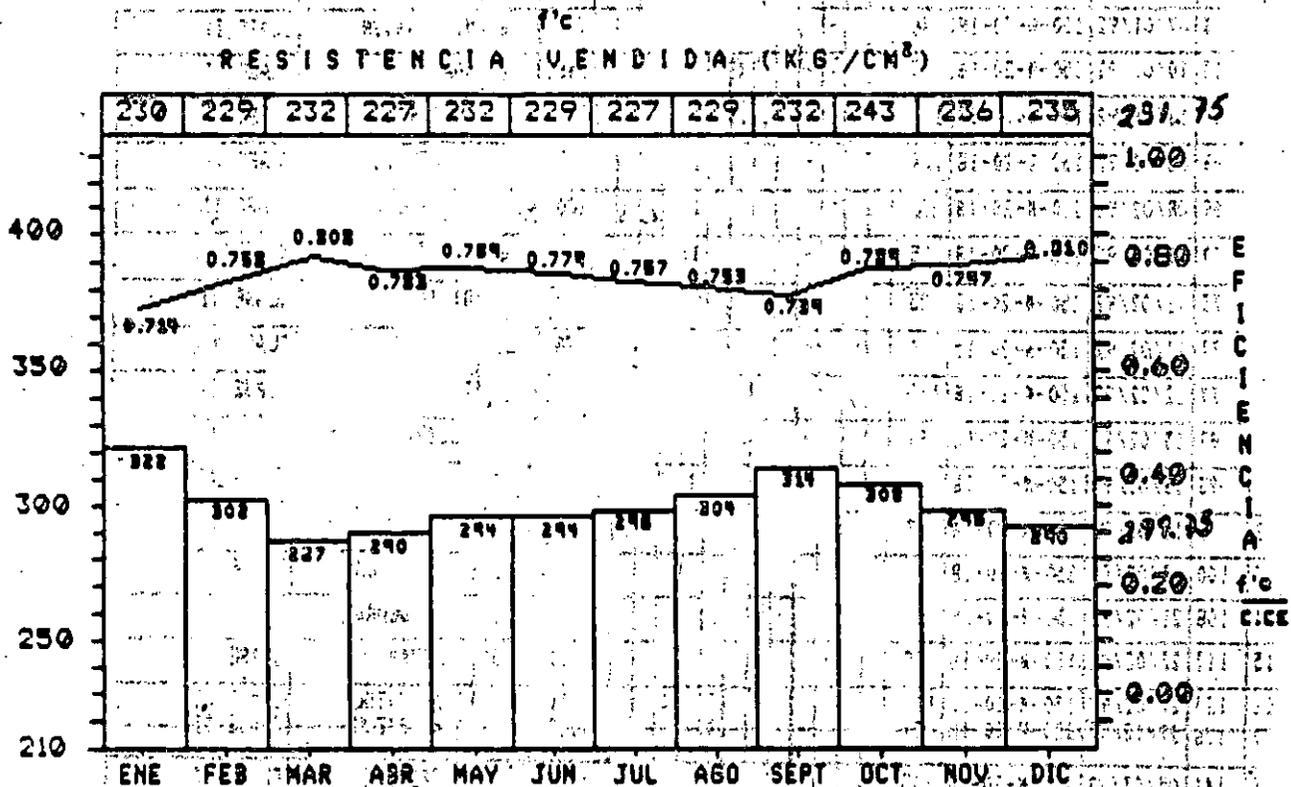
# LATINOAMERICANA DE CONCRETOS S.A.

## RESULTADOS PONDERADOS ESTADISTICOS

### GERENCIA TECNICA

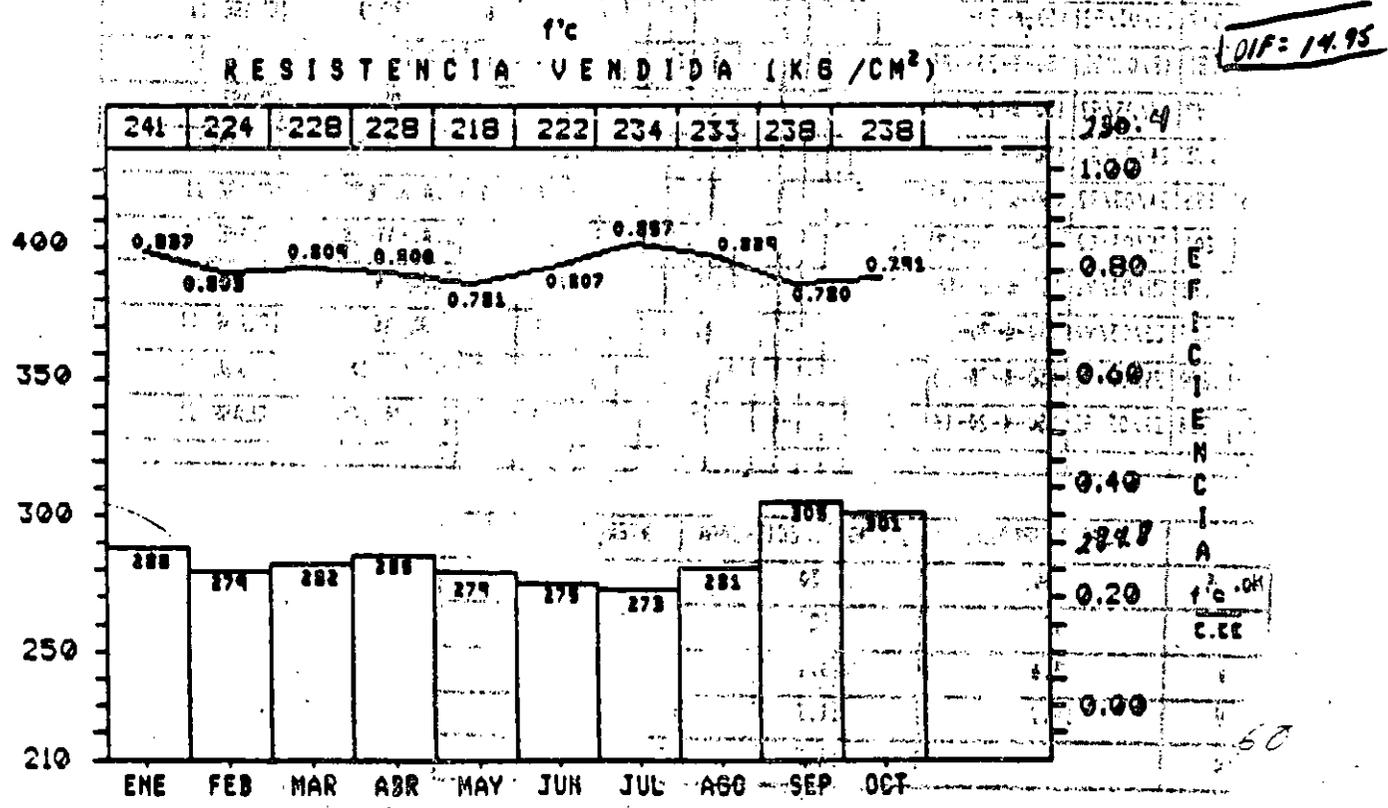
REAL 1991

CONSUMO DE CEMENTO (KG/M<sup>3</sup>)



REAL 1992

CONSUMO DE CEMENTO (KG/M<sup>3</sup>)



60

LATINOAMERICANA DE CONCRETOS S. A. DE C. V.

POSTAL GERENCIAL TECNICA

PLANTA CENTRAL

No.	MUESTRA	FECHA COLADO	TIPO CONCRETO	E.T.	140 %	70 %	100 %	150 %	E-E	INT.	OBRA	OBS.
1	3	07/01/92	150-N-20-18	86			I		130	6	N. ESCANDON	CLASE II
2	13	10/01/92	150-N-20-18	95			I		146	2	MARTI	CLASE II
3	24	16/01/92	150-N-20-18	101			I		176	2	BOLIVAR	CLASE II
4	68	08/02/92	150-N-20-18	104			I		169	1	I. CATOLICA	CLASE II
5	69	08/02/92	150-N-20-18	97			I		170	0	I. CATOLICA	CLASE II
6	70	08/02/92	150-N-20-18	95			I		167	6	I. CATOLICA	CLASE II
7	73	11/02/92	150-N-20-18	123				I	201	8	BOLIVAR	CLASE II
8	74	11/02/92	150-N-20-18	111				I	188	2	BOLIVAR	CLASE II
9	79	12/02/92	150-N-20-18	117				I	190	6	I. CATOLICA	CLASE II
10	89	15/02/92	150-N-20-18	98				I	178	6	BOLIVAR	CLASE II
11	93	18/02/92	150-N-20-18	104				I	169	3	I. CATOLICA	CLASE II
12	96	18/02/92	150-N-20-18	93				I	211	1	BOLIVAR	CLASE II
13	100	19/02/92	150-N-20-18	71			I		137	0	I. CATOLICA	CLASE II
14	106	21/02/92	150-N-20-18	108				I	186	2	L. CARDENAS	CLASE II
15	112	22/02/92	150-N-20-18	79			I		153	0	BOLIVAR	CLASE II
16	123	27/02/92	150-N-20-18	107				I	171	7	I. LA CATOL	CLASE II
17	126	27/02/92	150-N-20-18	97				I	162	18	J.A. MATEOS	CLASE II
18	141	05/03/92	150-N-20-18	103				I	157	2	5 FEBRERO	CLASE II
19	142	05/03/92	150-N-20-18	97				I	154	6	5 FEBRERO	CLASE II
20	144	06/03/92	150-N-20-18	125				I	188	8	5 DE FEBRE	CLASE II
21	167	13/03/92	150-N-20-18	114				I	167	6	5 FEBRERO	CLASE II
22	181	18/03/92	150-N-20-18	120				I	167	1	J.A. TORRES	CLASE II
23	182	18/03/92	150-N-20-18	118				I	167	8	J.A. TORRES	CLASE II
24	195	24/03/92	150-N-20-18	76				I	126	3	L. BOTURINI	CLASE II
25	196	24/03/92	150-N-20-18	130				I	195	6	J.A. MATEOS	CLASE II
26	201	25/03/92	150-N-20-18	122				I	184	3	J.A. MATEOS	CLASE II
27	202	25/03/92	150-N-20-18	114				I	161	1	TLALPAN	CLASE II
28	203	25/03/92	150-N-20-18	103				I	162	1	TLALPAN	CLASE II
29	208	26/03/92	150-N-20-18	87				I	145	5	METRO ICA	CLASE II
30	214	27/03/92	150-N-20-18	102				I	158	3	J.A. MATEOS	CLASE II

A	EDAD TEMPRANA	EDAD ESPECIFICADA	INTERVALO EDAD E.
No. 1	30	30	
2	69	112	2
3	9.6	13.1	2.1
4	14.0	11.7	1.6
5		16.7	