



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CONTROL DE CALIDAD EN LA
CONSTRUCCIÓN

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

DAVID ROMERO RODRÍGUEZ



Asesor: Ing. Carlos Manuel Chavarri Maldonado

Ciudad Universitaria, México.

2005

INDICE

CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION.

Introducción

CAPITULO I Certificación de niveles de calidad característicos.

I.1. Conceptos básicos.....	5
I.2. Acciones de los responsables de la obra.....	6
I.3. Responsabilidad del controlador de calidad.....	6
I.4. Un enfoque del control de calidad.....	9
I.5. Recomendaciones.....	9

CAPITULO II Control de calidad en obra.

II.1 Finalidad de las obras.....	12
II.1.1 Propiedades fundamentales de los materiales constructivos.....	13
II.2 Control de calidad durante la construcción.....	14
II.2.1 Nivel de calidad.....	14
II.2.2 Aspectos principales para el control de calidad en la construcción	15
II.2.3 Etapas de control de calidad.....	15
II.3 Actividades para los responsables en la realización de una obra civil.....	23

CAPITULO III Control de calidad de los agregados.

III.1. Clasificación de los agregados.....	52
III.1.1 Clasificación por su origen.....	52
III.1.2 Clasificación por peso.....	53

III.1.3	Clasificacion por tamaño-----	53
III.1.4	Clasificacion por su forma y textura-----	53
III.2	Características de los agregados.-----	55
III.2.1.	Composición granulometrica.-----	55
III.2.2.	Peso especifico, Absorción y peso volumétrico.-----	56
III.2.3.	Sanidad.-----	56
III.2.4.	Resistencia.-----	56
III.2.5.	Resistencia al desgaste.-----	57
III.2.6.	Reacion alcali-agregado.-----	57
III.3.	Forma y textura superficial de las partículas-----	57
III.4	Sustancias perjudiciales en los agregados.-----	58

CAPITULO IV Control de calidad del concreto

IV.1	Principales características del concreto fresco.-----	63
IV.1.1	Uniformidad.-----	63
IV.1.2	Trabajabilidad.-----	63
IV.1.3	Segregacion.-----	64
IV.1.4.	Fraguado.-----	64
IV.2	Pruebas para obtener las propiedades del concreto endurecido.-----	74
IV.2.1	Prueba de flexion.-----	75
IV.2.2.	Prueba Brasileña de tensión.-----	78
IV.2.3.	Pruebas de corazones.-----	80
IV.2.4.	Prueba del martillo de rebote.-----	80
IV.2.5.	Prueba de resistencia a la penetración.-----	82

IV.2.6. Prueba de pulso ultrasonico.-----	84
IV.2.7 Prueba de extracción.-----	86
IV.2.8 Pueba a la compresión simple.-----	87
CAPITULO V Control de calidad en los materiales como el acero y la madera.	
V.1. Tipos de acero estructural.-----	91
V.1.1. Muestreo.-----	112
V.1.2 Pruebas físicas.-----	113
V.2. Tipos de madera estructural.-----	123
V.2.1 Muestreo.-----	135
V.2.2. Pruebas en madera estructural.-----	137
CAPITULO VI Métodos estadísticos para el control de calidad	
VI.1. Definiciones de conceptos.-----	146
VI.2. Muestreo y procesamientos de datos.-----	149
VI.3. Distribuciones de frecuencias.-----	155
VI.4. Procedimiento de agrupamiento.-----	157
VI.5. Leyes de Probabilidad.-----	164
VI.6. Cartas de control estadístico de calidad.-----	177
CAPITULO VII Conclusiones.-----	211
Bibliografía.-----	214

INTRODUCCIÓN

INTRODDUCION

En estos tiempos actuales las organizaciones han buscado mejorar su competitividad implantando programas y técnicas para el mejoramiento de la calidad de sus productos y servicios, y la productividad de su operación.

El centro de calidad ha estado presente en todos estos cambios apoyando a las empresas en el establecimiento de programas de mejoramiento continuo; sin embargo, en la época actual y en el futuro, las organizaciones tendrán que lograr no solo la satisfacción del cliente mediante productos y servicios de calidad (y de los accionistas mediante una operación rentable) sino también de los otros grupos que de una u otra forma tengan algún interés y esperen algún beneficio de la empresa (empleados, la comunidad y los ecosistemas con los que interactúa). Esto requiere que la implantación de programas de mejoramiento continuo se realice con un enfoque sistemático que asegure la congruencia estructural y cultural entre el sistema organizacional y los principios de calidad total.

La supervisión así como verificar el control de calidad hoy en día en todos los aspectos de cualquier industria tiene una gran importancia ya que por los estándares mundiales de calidad y economía un producto no puede estar en el mercado es propenso a fracasar si no se tiene muy presente estos dos factores calidad y economía.

El Control de la Calidad se posesiona como una estrategia para asegurar el mejoramiento continuo de la calidad. Programa para asegurar la continua satisfacción de los clientes externos e internos mediante el desarrollo permanente de la calidad del producto y sus servicios.

Concepto que involucra la orientación de la organización a la calidad manifestada en la calidad de sus productos, servicios, desarrollo de su personal y contribución al bienestar general.

La definición de una estrategia asegura que la organización está haciendo las cosas que debe hacer para lograr sus objetivos.

La definición de su sistema determinar si está haciendo estas cosas correctamente.

La calidad de los procesos se mide por el grado de adecuación de estos a lograr la satisfacción de sus clientes (internos o externos). Esto implica la definición de requerimientos del cliente o consumidor, los métodos de medición y estándares contra que comparar la calidad.

En esta tesis analizaremos el área de calidad, como también entraremos en las especificaciones que se deben de tomar en cuenta para poder llegar alcanzar los estándares de calidad requeridos por los manuales así también por las propias necesidades del cliente o de la obra en específico.

Cuantas veces hemos oído que cierta edificación se esta derrumbando poco a poco o que simplemente no funciona como fue diseñada, en este trabajo analizaremos factores en los cuales si se pone atención a ellos podemos evitarnos problemas y ahorro de capital al cumplir con las especificaciones de calidad de materiales a los que para la área de un ingeniero civil abarca la construcción que son los agregados arena, y grava, y claro un material que en México es el principal objeto de estudio ya que con el se construye la mayor parte de obras que es el concreto, pero tampoco nos olvidemos del acero y la madera que es un material que no importa que tipo de obra realizamos siempre los tendremos presentes.

CAPITULO I

CERTIFICACIÓN DE NIVELES DE CALIDAD CARACTERISTICOS

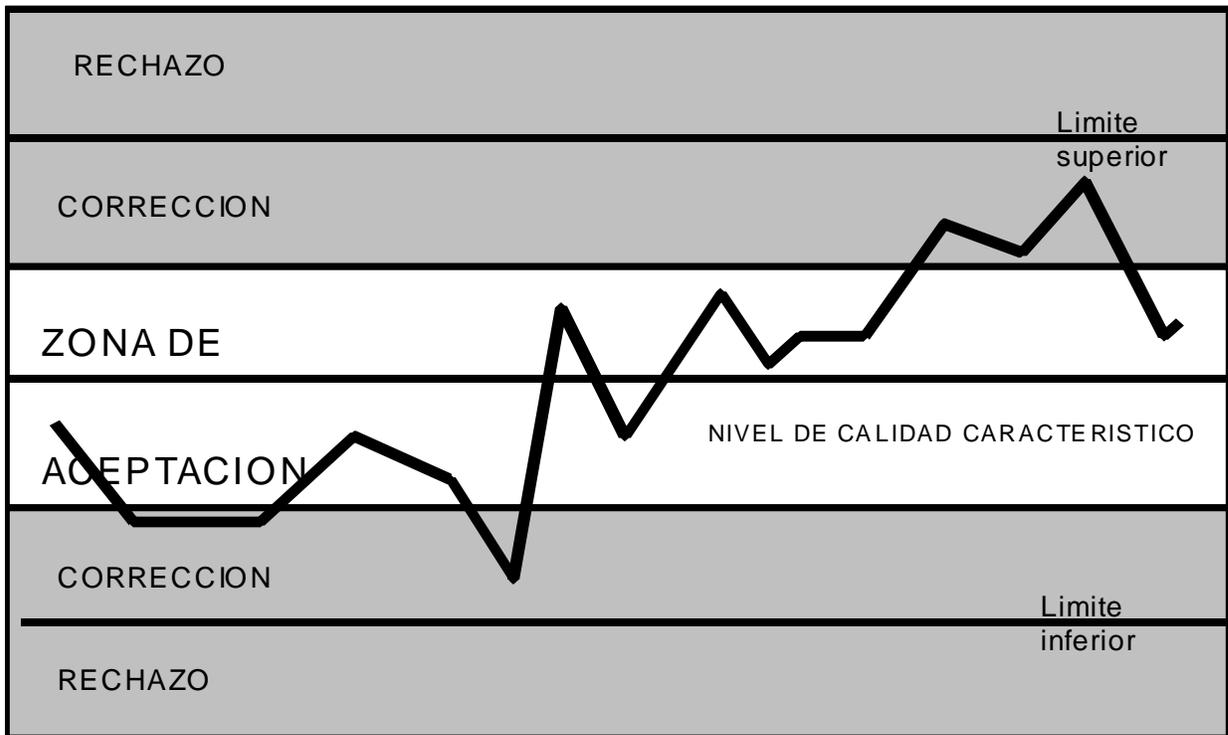
CAPITULO I

CERTIFICACIÓN DE NIVELES DE CALIDAD CARACTERÍSTICOS

I.1 CONCEPTOS BASICOS

Según el diccionario de la Lengua Española , la expresión calidad proviene del latín Qualitas-atés y se define como: “Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie”. Esto lo debemos asociar con un “rasero” o “patrón” de comparación, que denominaremos nivel de calidad característico, es decir, el valor medio de la propiedad o característica a medir o valorar, como se ilustra en la lamina 1 (carta de control típica).

CARTA DE CONTROL DE CALIDAD LAMINA 1



El nivel de calidad característico implica el establecimiento de los criterios de aceptación, corrección y rechazo, mediante el valor medio de la característica a medir o valorar y su desviación estándar o coeficiente de variación (como medidas de dispersión de valores), tomando en cuenta la probabilidad de falla en las pruebas de aceptación. El nivel de calidad característico que se desea, lo

complementan en la práctica las variaciones permisibles, en más o menos, con respecto al valor medio requerido de la característica a medir o valorar

I. 2 ACCIONES DE LOS RESPONSABLES DE LA OBRA

Con el fin de satisfacer todos los niveles de calidad característicos (mediante sus indicadores correspondientes) para cada componente de la obra, es necesario estipular con mucha claridad la acción de los responsables involucrados, como se sugiere a continuación:

NIVELES E INDICADORES DE CALIDAD CARACTERISTICOS		
RESPONSABLES	ACCION	CUALIDAD PRINCIPAL
Planeación	Definir	Criterios básicos de ingeniería
Proyecto	Establecer	Planos, especificaciones y manuales
Construcción	Asegurar	Personal, maquinaria y equipo
Conservación	Mantener	
Operación	Vigilar	
Supervisión	Verificar	Personal y equipos (topografía, laboratorio y campo, no destructivos, ...)
Control de Calidad	Certificar	

Por lo tanto, el responsables de la planeación define dichos niveles e indicadores de calidad en un documento fundamental que se puede denominar “Criterios básicos de ingeniería”, para que el proyectista los establezca en los planos, las especificaciones y los manuales.

De esta manera, el constructor sería el único responsable de asegurar dichos niveles e indicadores de calidad característicos, cuya verificación es competencia exclusiva del supervisor, con el apoyo del controlador de calidad, quien los certifica de manera ágil y oportuna.

Finalmente, los responsables de la conservación y operación de la carretera deberán dedicarse exclusivamente a mantener y vigilar el cumplimiento de los niveles de calidad estipulados.

I.3 RESPONSABILIDAD DEL CONTROLADOR DE CALIDAD

Para apoyar a la supervisión en la verificación del proyecto, es necesario que el controlador de calidad fije conjuntamente con el supervisor las propiedades fundamentales y su correlación con las subordinadas y los parámetros o indicadores de control, que sean fácilmente medibles, para que se puedan certificar de manera ágil y oportuna todos los niveles de calidad característico de cada componente de la obra.

La auténtica certificación de los niveles de calidad característicos, a través de los indicadores asignados a cada propiedad geométrica, de acabados, materiales o procedimientos constructivos, implica constatar (por escrito) que se están cumpliendo dichos niveles e indicadores durante las etapas del control de calidad.

Para ilustrar lo anterior, tomaremos el caso específico de una carpeta drenante ahulada, como se ilustra en la Lámina 2 . La secuencia de actividades constructivas son las siguientes:

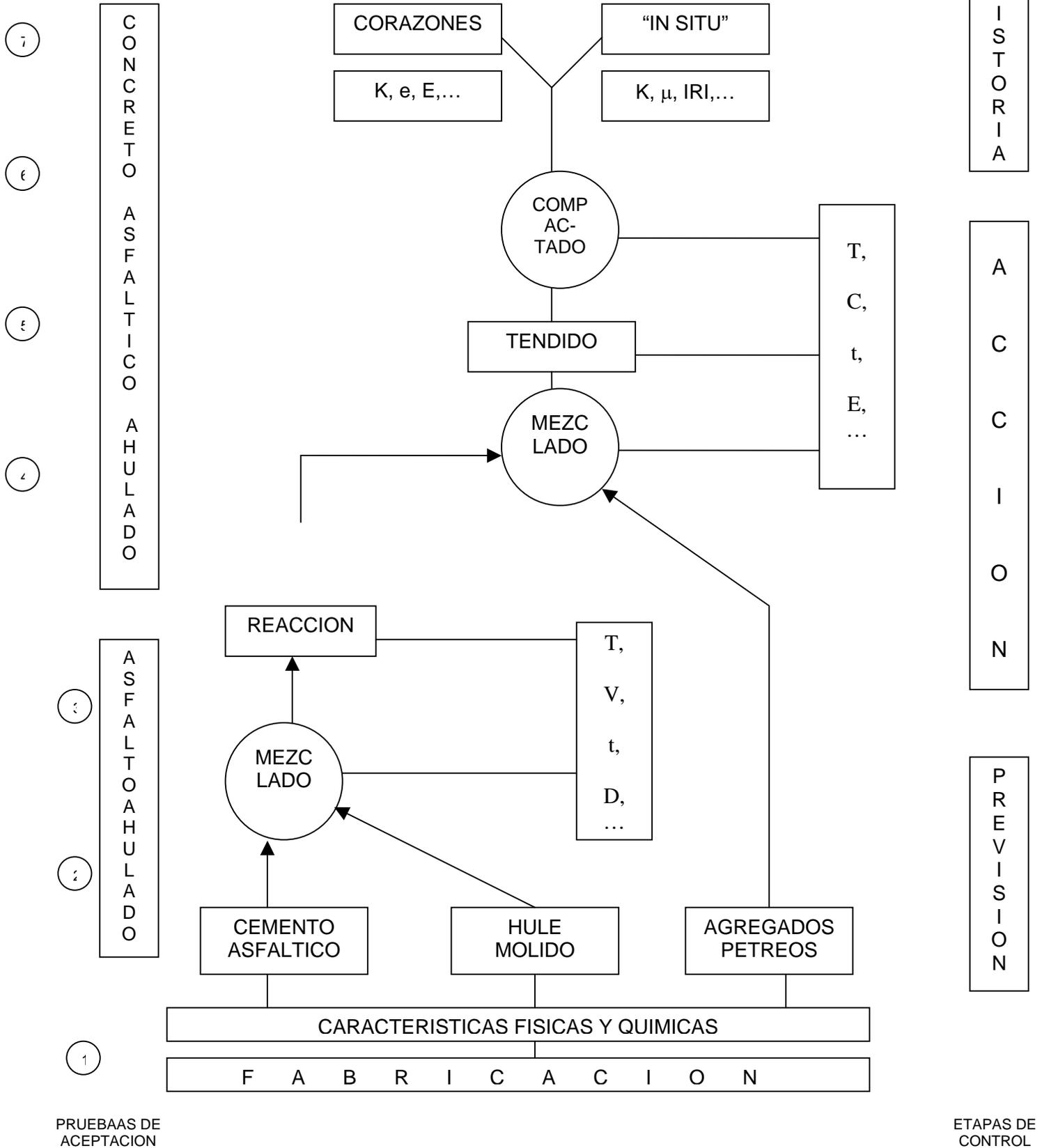
- La fabricación de los elementos constitutivos (cemento asfáltico, hule molido y agregados pétreos).
- El mezclado de los ingredientes del asfalto ahulado (cemento asfáltico y hule molido).
- La reacción del asfalto ahulado.
- El mezclado del concreto asfáltico ahulado.
- El tendido del concreto asfáltico ahulado.
- El compactado del concreto asfáltico ahulado.

Los indicadores de calidad para la primera etapa de control, la de previsión, se refieren a las características específicas (físicas y químicas) de los elementos constitutivos.

En la segunda etapa, la de acción, los indicadores de calidad característicos para el asfalto ahulado corresponden a la dosificación de los ingredientes(D), los tiempos de mezclado y reacción (t), las temperaturas de mezclado y reacción (T), las viscosidades cinemáticas (ν), etc. En cambio, los indicadores característicos para el concreto asfáltico ahulado se refieren a las temperaturas (T), compacidades (C), tiempos (t), módulos elásticos (E), etc., durante las actividades de tendido y compactado.

Para la tercera etapa, la de historia, los indicadores característicos del concreto asfáltico ahulado ya terminado corresponden a los coeficientes de permeabilidad (k), los espesores (e), los módulos elásticos (E), etc., obtenidos de los “corazones” extraídos ex profeso, así como los coeficientes de permeabilidad (k), los coeficientes de fricción (μ), los índices internacionales de rugosidad (IRI), etc., obtenidos in situ de la carpeta asfáltica ahulada.

LAMINA 2



I.4 UN ENFOQUE DEL CONTROL DE CALIDAD

Para certificar o confirmar los niveles de calidad característicos, es imperioso conocer a fondo la finalidad y los alcances del control de calidad, para fijar el nivel de calidad relativo en la escala correspondiente (excelente, alto medio y bajo), como se ilustra en la Lámina 3 .

Una vez que se fije el nivel de calidad relativo entre el supervisor y el controlador de calidad, se procede a establecer el tipo y la frecuencia de los indicadores de calidad característicos, de acuerdo con los niveles de confianza preestablecidos para cada elemento o componente de la obra, las pruebas de aceptación convenidas, los muestreos aleatorios resultantes, acordes con las características geométricas y de acabados, así como las correspondientes a los materiales y los procedimientos constructivos (Lámina 3).

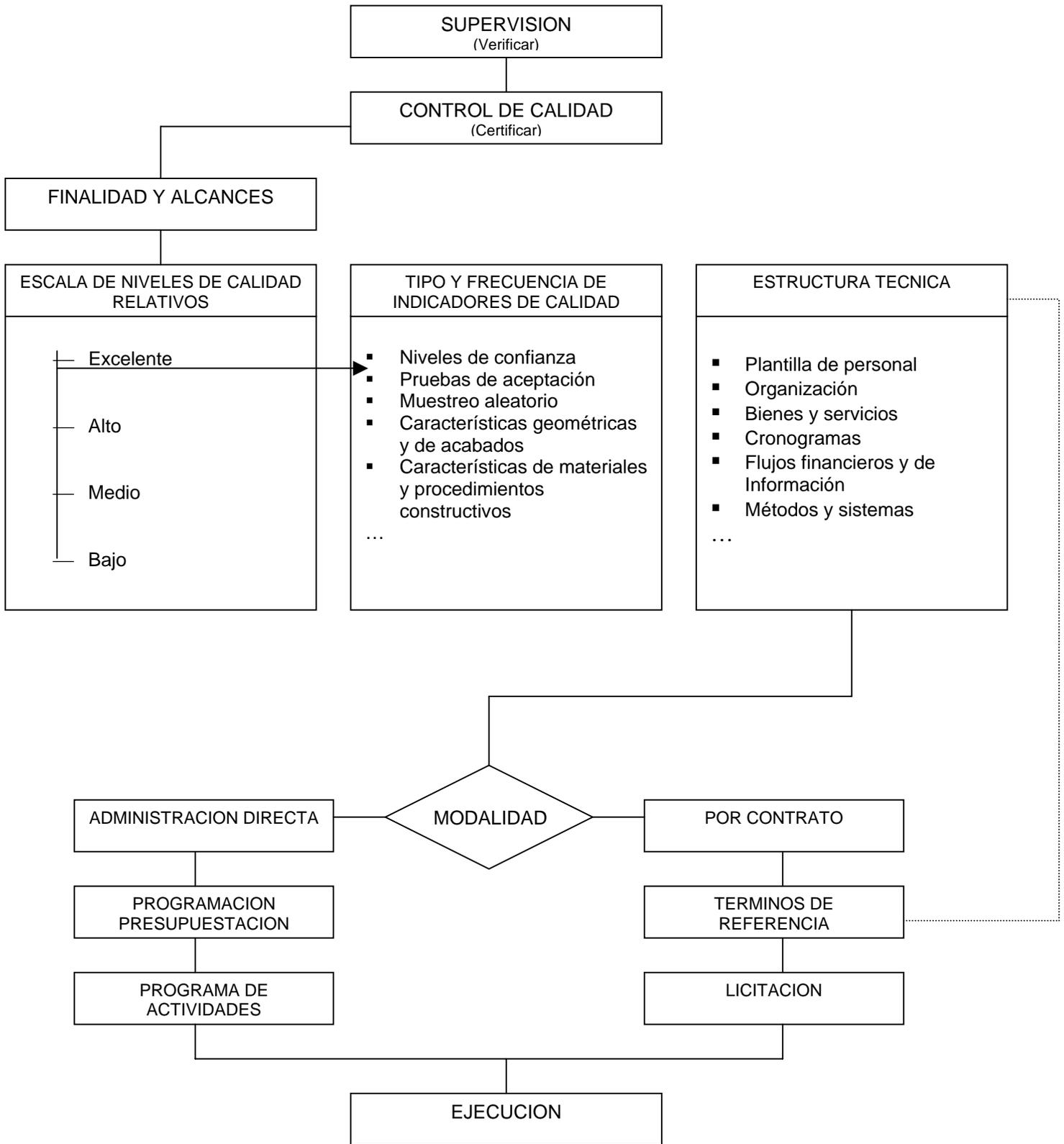
De acuerdo con lo expresado anteriormente, será posible instalar en la obra al grupo de control de calidad con su estructura técnica idónea (plantilla de personal, organización, bienes y servicios, cronogramas, flujos financieros y de información, métodos y sistemas, etc.), cuyos servicios pueden ser por administración directa o contratados, como se indica en la Lámina 3.

I.5 RECOMENDACIONES

PRIMERA. Considero que con este enfoque esquemático para la certificación ágil y oportuna de los niveles de calidad característicos, realizada por el controlador de calidad, coadyuvará enormemente en la verificación que el supervisor realiza para que, con el debido conocimiento, el constructor actúe en plan correctivo, oportuno y eficaz a fin de evitar defectos en métodos constructivos.

SEGUNDA. Lo expresado anteriormente es lo que el supervisor espera del controlador de calidad, quienes deben trabajar íntimamente para lograr el éxito del control de calidad integral que merecen nuestras carreteras.

UN ENFOQUE DEL CONTROL DE CALIDAD LAMINA 3



CAPITULO II

CONTROL DE CALIDAD EN OBRA

CAPITULO II

CONTROL DE CALIDAD EN OBRA

II.1 FINALIDAD DE LAS OBRAS.

Lo más importante para el Ingeniero Civil es descubrir cuál es la finalidad de una obra, desde su gestación hasta su terminación. Normalmente se construyen las obras sin disponer de toda la información relativa a su proyecto. Por esta razón es necesario hacer una “anatomía” cuidadosa de todas las “partes” que intervienen durante la planeación de la obra, con el enfoque de la calidad global.

Cuando se trata de una presa almacenadora de agua, ya sea para generación hidroeléctrica, riego o prevención de inundaciones, su finalidad será disponer de una cortina contenedora y un vaso de almacenamiento que sean impermeables, para “guardar agua”. Esto quiere decir que todos los conceptos de ingeniería deberán enfocarse hacia el logro de la máxima impermeabilidad, dentro de la seguridad y la economía.

En cambio, cuando se trata de una presa de jales, que son el producto final de las plantas concentradoras de mineral, la finalidad de esta obra consiste en disponer de una cortina contenedora permeable y un vaso de almacenamiento, para “guardar residuos sólidos” con el mínimo de agua requerida para el transporte de los mismos, también dentro de la seguridad y de la economía.

En el caso de los canales construidos para los sistemas de riego, al revestirlos deberá tenerse presente la finalidad de la obra, es decir, si se requiere una capa impermeable o permeable, según la posición del nivel freático y otras características específicas que se necesiten. Esto significa que si se trata de recargar el manto acuífero, los canales deben ser permeables en su revestimiento, el cual debe permitir el flujo libre del agua, además de tener otras características de resistencia durante la operación y la conservación de los mismos. Habrá casos en que se requiera la impermeabilidad del revestimiento, independientemente del tipo de material constitutivo, ya sea concreto hidráulico o asfáltico, suelo compactado, membrana sintética enterrada o no, etc.

En el caso de las escolleras marinas, la finalidad de la obra consiste en protegerlas contra la acción de las mareas y la agresividad de las aguas salinas. Esto implica la durabilidad de los elementos constitutivos de la coraza, que viene a ser la propiedad fundamental, independientemente de su resistencia estructural intrínseca para resistir los efectos de impactos, abrasión, etc.

En el caso de los pavimentos, ya sea para aeropistas, autopistas, calles, etc., la principal finalidad de la obra es la indeformabilidad, íntimamente ligada a la

capacidad estructural de las capas constitutivas, para lo cual se requieren estudios previos del terreno de cimentación y de las propiedades de resistencia y deformabilidad de los materiales constitutivos. En el caso de los pavimentos rígidos, la resistencia a la tensión por flexión de las losas de concreto hidráulico es la propiedad fundamental que domina a otras, como la durabilidad. En los pavimentos flexibles la rigidez relativa de las capas constituye la propiedad fundamental, la cual gobierna a las otras, como la resistencia a la tensión y la durabilidad.

Otras obras, como los edificios habitacionales e instalaciones industriales, aparte de la seguridad de las mismas, tienen como finalidad fundamental la resistencia de los materiales constitutivos, principalmente a la compresión en el caso de concretos hidráulicos y a la tensión para el acero de refuerzo. Si las estructuras son completamente de acero, la compresión, la tensión y la resistencia al esfuerzo cortante son las más importantes.

II.1.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS

Para el control de calidad de los materiales, es fundamental distinguir bien entre las propiedades básicas y las subordinadas a éstas, como se ilustra a continuación.

- La resistencia a la compresión simple o la tensión por flexión del concreto hidráulico, estimadas en probetas convencionales, es una propiedad básica.
- El coeficiente de permeabilidad de un suelo compactado o del concreto (hidráulico o asfáltico), obtenido de perméametros diseñados ex profeso, es una propiedad básica.
- La resistencia a la erosión del concreto hidráulico o asfáltico, estimada a partir de una prueba de desgaste convenida, es una propiedad básica.
- El contenido de agua, el grado de saturación y la compacidad de un relleno estructural, por ejemplo, son propiedades subordinadas a su módulo de rigidez o elástico (capacidad de carga y deformabilidad), que es la básica.
- El contenido de asfalto (cemento asfáltico), el grado de saturación y la compacidad de una carpeta asfáltica, también son propiedades subordinadas a su módulo de rigidez o elástico (capacidad de carga y deformabilidad), que es la básica.
- El contenido de agua, el grado de saturación y la compacidad del concreto hidráulico, además de su consistencia y composición, son propiedades subordinadas a la resistencia compresiva o a la tensión, que son las básicas.

Interrelación entre las actividades de una obra

Para la construcción de las obras civiles de ingeniería, se requiere de una revisión minuciosa de los planos y las especificaciones de proyecto, una eficiente supervisión y un auténtico control de calidad que sea ágil y oportuno, con el fin de lograr que tales obras cumplan con su propósito.

Normalmente todas las actividades de una obra (planeación, proyecto, construcción, supervisión, control de calidad, conservación y operación) se desarrollan con cierta independencia, lo cual da motivo a deficiencias y conflictos innecesarios entre los responsables de esas actividades. Esto se evita con un sistema integrado de acciones de retroalimentación constante, con actitud siempre positiva, para que realmente se logre la “estabilidad” de una obra civil .

II.2 CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION

El concepto de “calidad” tiene que estar presente en todas las actividades, desde que se gesta y concibe la idea (obra) hasta que se realiza, y aún después. Debe “infiltrarse” en todas las personas que de un modo u otro intervienen en el logro de una obra y “reflejarse” claramente en sus actitudes, durante el proyecto, la construcción, la supervisión, el control de calidad, la conservación y la operación de la misma.

De acuerdo con la definición ya antes mencionada en el primer capítulo, el término calidad viene “Del latín *Qualitas*-atés: *Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie*”.

II.2.1 NIVEL DE CALIDAD

El nivel de la calidad lo define el responsable de la planeación de la obra, para que el proyectista lo establezca y el constructor lo asegure, el supervisor lo verifique, y el controlador de calidad lo certifique, de manera que los responsables de la conservación y la operación mantengan y vigilen respectivamente ese nivel de calidad estipulado, tanto en geometría y acabados como en materiales y procedimientos constructivos (Lámina 2).

El nivel de calidad viene siendo el conjunto de características cualitativas y cuantitativas que deben satisfacer los materiales, las instalaciones y los componentes de la obra, en los aspectos de resistencia a las cargas por soportar, asentamientos totales y diferenciales, deformaciones, geometría, apariencia, durabilidad, capacidad de carga, etc.

En el caso de los materiales, el nivel de calidad implica el establecimiento del criterio (o los criterios) de aceptación, corrección y/o rechazo, mediante el valor medio de la característica a medir (compacidad, humedad, resistencia, permeabilidad, etc.) y su desviación estándar o coeficiente de variación (como medidas de dispersión de valores), así como la probabilidad de falla en los ensayos (cada ensayo es el promedio de 2 valores, como mínimo, de la propiedad o característica medida). El nivel de calidad deseado lo complementan en la práctica las variaciones permisibles, en más o menos, con respecto al valor medio requerido de la característica a medir.

II.2.2. ASPECTOS PRINCIPALES PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION

El control de calidad consiste, en certificar que durante los procesos constructivos se vaya asegurando el nivel de calidad establecido, especialmente en el producto ya terminado.

El control de calidad debe incluir todas las operaciones inherentes al muestreo, el ensayo, la inspección y la selección de materiales, previamente a, y durante la ejecución de la obra, para asegurar que el procedimiento constructivo satisfaga las exigencias de la misma. En el transcurso de la construcción, el controlador de calidad (responsable del control de calidad) deberá realizar la inspección, el muestreo y los ensayos necesarios, en todas sus etapas, para que se logre el nivel de calidad deseado, en los diversos conceptos de obras involucrados. Además, tiene que suministrar información oportuna al responsable de la construcción para que, con debido conocimiento, actúe en plan correctivo, oportuno y eficaz, a fin de evitar defectos en métodos constructivos.

De lo anteriormente expuesto, se puede establecer que el control de calidad es el sistema integrado de actividades, factores, influencias, procedimientos, equipos y materiales, que afectan al establecimiento y, posteriormente, al logro del nivel de calidad estipulado, para que la obra cumpla con su propósito.

II.2.3 ETAPAS DE CONTROL DE CALIDAD.

El control de calidad implica un mecanismo ágil y oportuno que permite satisfacer el nivel de calidad, establecido. Para esto, es muy pertinente distinguir 3 etapas básicas de control (Previsión, Acción e Historia) que están implícitas, pero que conviene separarlas en secuencia, de acuerdo con los enfoques racionales del auténtico control de calidad.

El control de calidad debe llevarse en cada una de estas etapas y en todas las actividades de la obra, según se ilustra en la Tabla 1 y se explica a continuación:

ETAPA DE PREVISIÓN.

Se refiere a las actividades en que se pueden escoger los materiales antes de su explotación, transporte, mezcla, colocación, “bandeo” y/o compactación. En otras palabras, el control de calidad de los materiales antes de la construcción servirá para aceptarlos como ingredientes separados y es muy conveniente que esto ocurra precisamente en las fuentes de suministro, para evitar desperdicios en tiempo, dinero y energía. ¿Para qué aceptar un material al “pie de la obra”, cuando se sabe que está “defectuoso” desde su origen? Si los materiales son aceptados antes de su transporte, también deben serlo en el sitio de construcción o en la planta de procesamiento o mezclados, a no ser que sean “contaminados” por descuido con otros materiales o materias extrañas. Es obvio que en esta etapa se presenta la única oportunidad de aceptar, desechar o mejorar los materiales previamente a la construcción.

Las cartas de control son magníficas auxiliares para satisfacer los niveles de calidad establecidos en el proyecto. Estas deberán actualizarse diariamente para cada parámetro básico que se estipule (contenidos de grava, arena y finos; humedades en el banco y en el sitio; índice plástico y límites de consistencia: líquido y plástico; contracción lineal y equivalente de arena, módulos de finura de la grava y la arena; tamaños máximos y mínimos de los fragmentos de roca; coeficientes de uniformidad y curvatura de la grava-arena; contenido de partículas deleznable o deleznable; pesos volumétricos, densidades y absorciones, etc.).

Respecto a los estudios previos de los bancos, que incluyen su potencialidad y variabilidad, deberán incluirse por rutina los aspectos geológicos y los análisis petrográficos de los materiales para juzgar la durabilidad del concreto (hidráulico o asfáltico) o capas compactadas (balasto de ferrocarril, bases de pavimento, rellenos estructurales, enrocamientos en presas, revestimientos en canales, etc.). En las losas de concreto hidráulico, algunas veces ocurre que los agregados son reactivos con los álcalis del cemento Pórtland. En otros casos, la carpeta asfáltica se deteriora y desintegra paulatinamente porque confundimos los basaltos recientes con las andesitas o los basaltos muy antiguos que, a veces, contienen minerales expansivos (tipo zeolita), los cuales son muy ávidos de agua y rompen súbitamente a los agregados.

En esta etapa se deben conocer a fondo y mucho antes de la construcción, las dosificaciones básicas de los ingredientes, acordes con el equipo e instalaciones seleccionados.

ETAPA DE ACCION.

Se refiere a la verdadera actividad de aceptación, corrección y/o rechazo durante la construcción. Una vez que se han aceptado los ingredientes separados en la etapa anterior (previsión), se precede al mezclado de los mismos, actividad que define el momento de inicio al proceso constructivo, el cual no debe interrumpirse

sino terminarse. En esta etapa no se deben rechazar los materiales separados, es decir, los ingredientes ya pueden mezclarse. En el caso de capas compactadas, a partir de tramos de prueba, que incluyan correlaciones entre el número de pasadas del equipo compactador y las deflexiones con la viga Benkelman o el deformómetro por impacto, en esta etapa se decide si se logra el acomodo o la compactación deseada, para proceder a los ajustes pertinentes durante la ejecución de la obra.

Las cartas de control deberán estar disponibles, en el momento de la ejecución y tendrán que marcarse con claridad las zonas de aceptación, corrección y rechazo, para llevar continuamente las gráficas de tendencias de los últimos 5 valores consecutivos de cada parámetro. Todas las cartas de control deberán tenerse siempre en la obra y actualizarse diariamente, para que el control de calidad sea ágil y oportuno. Esto requiere el apoyo de equipos de medición avanzados en tecnología, para que proporcionen datos inmediatamente después del proceso constructivo, como los medidores nucleares de pesos volumétricos, humedades y contenidos de cemento asfáltico. En el caso del concreto hidráulico tradicional (plástico), el concreto compactado con rodillo (CCR) o las sub-bases rigidizadas con cemento Portland (SBR), se recomiendan las pruebas de “inmersión” para conocer rápidamente la composición de las mezclas, efectuadas además de los ensayos rutinarios convencionales, porque permite corregirlas casi de inmediato al compararlas con la “mezcla patrón”.

ETAPA DE HISTORIA

Se refiere al registro histórico de la información requerida por el proyecto, después de que el proceso constructivo ha concluido. En la etapa anterior (acción), la aceptación y/o el rechazo deberá ocurrir precisamente en el momento de la construcción y no después.

Las cartas de control relativas a la etapa de historia se requieren para análisis estadísticos e informes y son útiles también para retroalimentar al proyecto.

EJEMPLO PARA EL CONTROL DE CALIDAD ANALIZANDO EL CASO DEL CONCRETO HIDRAULICO

En la Lámina 3 se sugiere un sistema para satisfacer el nivel de calidad establecido por el proyectista, que debe asegurar al constructor mediante la certificación que el controlador de calidad le proporciona.

No basta que el proyectista fije sólo la resistencia de proyecto (f'_c), que es lo más usual, sino que es necesario fijar, además la probabilidad de falla en los ensayos (P_f). Por ejemplo, $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, es necesario saber si de cada cinco ensayos (teoría elástica) o de cada diez (teoría plástica), puede fallar uno, o bien, según la importancia del elemento estructural, por ejemplo, en las losas de una banqueta se podría permitir que de cada tres ensayos fallará uno ($P_f = 1/3$) o, si se trata de

una trabe maestra de gran importancia, podría adoptarse un valor de $P_f = 1/20$ a $1/100$, según lo considere el proyectista.

Ahora bien, el constructor de la obra debe asegurar una resistencia media requerida (f_{cr}) evidentemente mayor que la resistencia de proyecto (f'_c). Con el apoyo del controlador de calidad se fijará la mezcla de diseño (M_d), según el coeficiente de variación total (V_t) obtenido durante la construcción, que representa una medida de la dispersión de los resultados.

En la Lámina 4 se observa que, para una resistencia de proyecto dada ($f'_c = 200$ kg/cm²) y una probabilidad de falla en los ensayos determinada ($P_f = 1/5$), a mayor coeficiente de variación ($V_t = 0.10$ a 0.20) se necesita una mayor resistencia media requerida ($f_{cr} = 218$ a 240 kg/cm²). En otras palabras, mientras menor control de calidad haya durante la construcción, mayor será el coeficiente de variación total (V_t), según se ilustra en la Lámina 5, donde puede observarse que el mayor grado de uniformidad del concreto se logra con el menor valor de V_t .

Para facilitar el cálculo de f_{cr} en la Lámina 6 se presenta la relación gráfica entre los conceptos anteriormente mencionados. Como ejemplo, para $V_t = 0.15$ y $P_t = 1/5$, $f_{cr} / f'_c = 1.5$. Si $f'_c = 200$ kg/cm², entonces $f_{cr} = 230$ kg/cm². Por lo tanto la mezcla de diseño (M_d) será sugerida por el controlador de calidad al constructor, para lograr una resistencia media requerida (f_{cr}) de 230 kg/cm².

Una vez que se tiene seleccionada la mezcla de diseño (M_d), el controlador de calidad debe proceder por "Etapas" y "Niveles", y se explica a continuación:

A) Previsión

El primer nivel de control corresponde a la etapa de PREVISION de los ingredientes separados, para su aceptación o rechazo. Esto se logra mediante los indicadores o parámetros más relevantes, aplicados a las cartas de control, como los sugeridos en la Lámina 8.

Para el caso de la arena, en las Láminas 9 y 10 se presentan dos ejemplos de cartas de control, correspondientes al módulo de la finura y al contenido de finos, respectivamente.

En la Lámina 9 se observa que la gráfica de tendencias está dentro de la zona de aceptación. Cada punto representa, no el valor individual, sino el promedio de los cinco últimos valores consecutivos de los ensayos durante el proceso continuo. En la Lámina 10 se nota que la gráfica de tendencias ha entrado prácticamente a la zona de aceptación.

Lo importante de la PREVISION del controlador de calidad estriba en tomar las medidas correctivas oportunas, para tratar de mantener el ingrediente dentro de la zona de aceptación. En caso de que la gráfica de tendencias entre a la zona de corrección, no debe suspenderse el proceso constructivo continuo (producción) hasta que entre marcadamente a la zona de rechazo.

Para el caso de la grava, en las Láminas 11 y 12 se presentan dos ejemplos de cartas de control correspondientes al módulo de finura y al contenido de arena, respectivamente. Este último indicador es importante porque es indeseable tener variaciones en la relación grava / arena que afecten la homogeneidad del concreto.

En la Lámina 11 se observa que la gráfica de tendencias ha entrado a la zona de aceptación. En cambio, en la Lámina 12 hubo interrupciones en el proceso constructivo continuo, debido a que la gráfica de tendencias entró a la zona de rechazo (muestra no. 7) y se reinició el cribado, pero dentro de la zona de corrección, hasta que éste realmente se hizo efectivo a partir de la muestra no. 27 en que la gráfica de tendencias entró a la zona de aceptación.

Se hace notar que los límites de aceptación, corrección y rechazo deben establecerse claramente en el proyecto. De no ser así, deben fijarse de común acuerdo entre el constructor y el propietario de la obra, a través de sus respectivos responsables de supervisión y control de calidad.

Para el caso del cementante (Lámina 8), que puede ser cemento, solo o mezclado con puzolana, ceniza, etc., se pueden llevar cartas de control similares a las expuestas y relativas a “indicadores” sensibles, como la resistencia comprensiva en morteros convencionales, que sirve fundamentalmente para conocer indirectamente las variaciones en las propiedades mecánicas que el cementante imparte a la pasta aglutinante y juzgar indirectamente su sanidad o grado de deterioro.

Para el caso del agua y los aditivos, se aplican también cartas de control similares:

En esta etapa de PREVISION, que corresponde al primer nivel de control, deben satisfacerse los criterios de aceptación. Si no se satisfacen, no puede continuarse al segundo y tercer nivel de control en que los ingredientes ya están mezclados (Etapa de acción).

B) Acción

Tanto el segundo como el tercer nivel de control se refieren a la etapa de ACCION, cuando el concreto está tierno.

En el segundo nivel debe controlarse la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, u otra similar.

En cada colado se debe controlar la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, u otra similar.

En cada colado se debe disponer de una carta de control para llevar la gráfica de tendencias dentro de la zona de aceptación. En la Lámina 13 se presenta una carta de control para el caso de revenimiento medido en la forma, en donde se muestran los valores medios para 30 ensayos consecutivos y el coeficiente de variación medio correspondiente. Se nota que la gráfica de tendencias está en la zona de aceptación y el coeficiente de variación medio en la de rechazo, aunque éste tiende a entrar a la zona de corrección, lo cual refleja una mejora gradual en la homogeneidad del concreto; estas cartas de control se deben llevar tanto en la revolvedora (planta) como en la forma (obra). Además, sirve para conocer la pérdida de agua durante el transporte y la colocación del concreto, a fin de hacer los ajustes pertinentes desde la revolvedora. El número de pruebas de revenimiento depende de los volúmenes por colar y de la distribución aleatoria de las mismas.

El tercer nivel se refiere a la composición del concreto, es decir, al balance de ingredientes en el concreto ya colocado y vibrado, que se puede conocer mediante la “prueba de inmersión”.

A grandes rasgos, la “prueba de inmersión” consiste en lo siguiente:

Se toma una muestra representativa del concreto vibrado en el lugar y se pesa el aire. Luego se vacía la muestra en un recipiente cilíndrico y se agrega agua para separar los ingredientes. Se agita con una varilla hasta expulsar todo el aire atrapado. Se dejan reposar los ingredientes y se llena de agua el resto del recipiente hasta enrasarlo. Se pesa el concreto sumergido. Se separa la grava por la malla no. 4 mediante lavado y se pesa sumergida. Se separa la arena por la malla no. 100 y se pesa sumergida junto con la grava.

Aplicando el principio de Arquímedes y tomando en cuenta todos los datos obtenidos, más el contenido de finos de la arena (que son las partículas que pasan la malla no. 100), es posible conocer la cantidad de grava, arena, cemento y agua que componen la unidad de volumen del concreto. En otras palabras, se puede conocer la composición real del concreto “in situ” y compararla con la dosificación de la mezcla de diseño (M_d).

Aquí es donde la etapa de ACCION juega el papel más importante en el control de calidad. Aunque en una planta se esté controlando por peso la dosificación de los ingredientes, durante el transporte, la colocación y el vibrado puede haber modificación o segregación de los mismos y “se presume que el concreto satisface el nivel de calidad estipulado...”.

Si se efectúa la “prueba de inmersión”, se podrá saber si el concreto ya vibrado en la forma satisface ese nivel de calidad para que, en caso contrario, se tomen a tiempo las medidas correctivas y se logre que los ingredientes del concreto ocupen el espacio que les corresponde.

La “prueba de inmersión” puede hacerse también con muestras tomadas de la revolvedora, para conocer principalmente la eficiencia del mezclado. En la Lámina 14 se muestran los principales indicadores que conviene controlar.

En la Lámina 15 se presentan los resultados de una “prueba de inmersión” del concreto tomado en la forma. Se observa que durante el colado se fueron tomando medidas correctivas para lograr el acomodo y el balance de los ingredientes dentro de la masa de concreto.

Ahora bien, cabe hacer la siguiente reflexión:

Si el concreto en la forma satisface la mezcla de diseño (M_d) y se toman las medidas necesarias para que el concreto tierno alcance su resistencia con el tiempo, mediante el correcto curado del concreto, ¿es necesario tomar muestras para conocer la resistencia del concreto endurecido?

Al finalizar un colado basta que el responsable del control de calidad constate que el trabajo fue exitoso y se anime a certificar de inmediato los resultados obtenidos, es decir, el nivel de calidad establecido por el proyectista. De esta manera el controlador de calidad se puede “ir a dormir tranquilo” después de un colado.

Aquí termina la etapa de ACCION, que viene a ser el auténtico Control de Calidad.

Para continuar con los demás niveles de control, que corresponden a los ingredientes mezclados, pero del concreto ya endurecido, es necesario entrar a la etapa de HISTORIA (niveles cuarto a séptimo).

C) Historia

El cuarto nivel de control se refiere a la resistencia del concreto a partir de probetas tomadas principalmente de la forma, ya sea a las 48 horas de edad, o menos (por medio del curado acelerado a vapor o el autógeno), con el fin de conocer anticipadamente la resistencia a 28 días de edad u otra (quinto nivel de control). En la Lámina 16 se presenta una correlación entre resistencias compresivas a 2 y 28 días que sirven de ejercicio “histórico”, pero no es control de calidad oportuno, ni ágil. Conocer la resistencia anticipadamente después de un colado viene a ser HISTORIA, que es conveniente para la obra, pero no sirve para certificar el nivel de calidad.

El quinto nivel de control se refiere a la resistencia a 28 días de edad (u otra) de probetas de concreto curadas convencionalmente y tomadas principalmente de la forma. En la Lámina 17 se presenta la carta de control correspondiente a la resistencia compresiva a 28 días. En las Láminas 18 y 19 se presentan las cartas de control que corresponden, respectivamente, a la flexión (módulo de ruptura) a 7 y 28 días.

La terminación de un colado indica, que en los diversos “niveles”, las cartas de control estuvieron bien aplicadas. Cuando se presenten problemas de resistencia, se acude a las pruebas indirectas (esclerómetro) o directas (corazones), que corresponden a los niveles de control sexto y séptimo indicados en la Lámina 7, para decidir si se demuele o no un elemento de concreto. ¿Para qué llegar a esto, si es fácil aceptar el elemento recién colado? (Prueba de Inmersión).

D) Conclusión básica

No es necesario tomar probetas cilíndricas del concreto hidráulico para ensayarse a la compresión simple, ni a los 28 días, ni a edades menores, ya que si el concreto vibrado en la forma tiene la dosificación de proyecto (“prueba de inmersión”), hay una probabilidad muy grande de que se logre la resistencia esperada.

E) Recomendación general

Para finalizar, conviene hacer hincapié en que cada uno de los que participan en el proceso constructivo del concreto hidráulico, deben desarrollar sus actividades con la mayor eficiencia posible, como la correcta ejecución de las pruebas de laboratorio y, principalmente, la observación de los resultados; el vibrado efectivo; la aplicación correcta y oportuna del agua y la membrana para el curado; el rasurado completo y oportuno de las losas de concreto para el control de agrietamiento; etc.

II. 3 ACTIVIDADES PARA LOS RESPONSABLES EN LA REALIZACIÓN DE UNA OBRA CIVIL.

Como ya se ha mencionado el fracaso de muchas obras civiles se debe básicamente a la falta total o parcial de conocimiento, observación, entendimiento y comunicación entre los responsables de las mismas (proyectistas, supervisor constructor, controlador de calidad, etc.) Por esta razón conviene resaltar las actividades inherentes a estos responsables, tomando en cuenta el orden lógico de su intervención y la importancia de su colaboración estrecha.

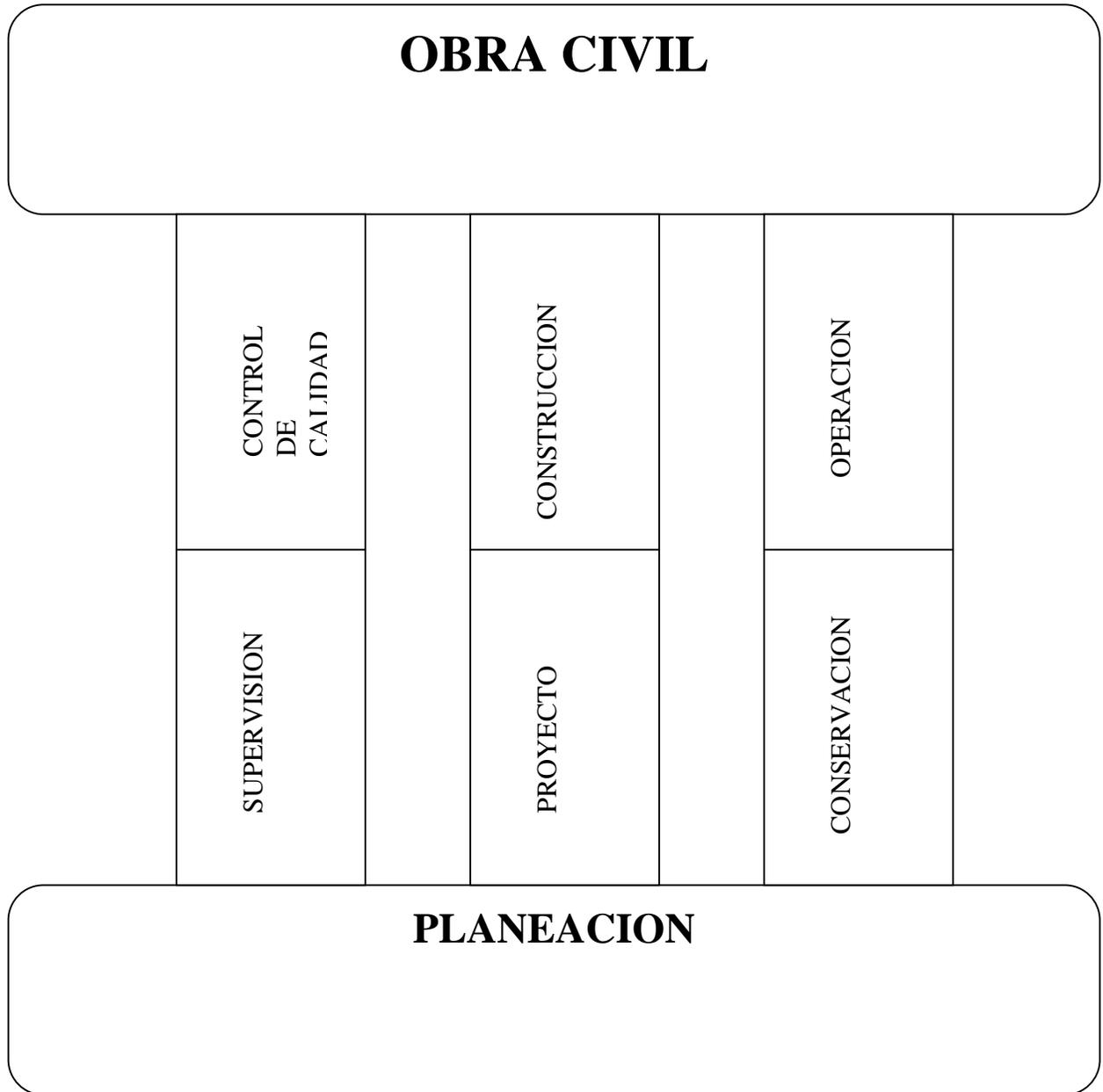
Por ejemplo cuando de suelos finos se trata el proyectista normalmente fija el nivel de calidad con el criterio de mínimo de compactación y por desconocer el comportamiento de los suelos compactados, logra que el constructor fabrique y asegure y asegure “sin querer” o por ignorancia, una estructura peligrosa; en otras palabras, transforma un suelo noble en rebelde. Y lo que es mas, el controlador de calidad y el supervisor se encargan, respectivamente, de certificar y verificar esta aberración.

En cambio si el proyectista correlacionara las propiedades básicas del suelo compactado (estabilidad volumétrica y resistencia al esfuerzo cortante) con parámetros fácilmente medibles (compacidad y humedad), podrían establecerse racionalmente los criterios de aceptación, corrección y rechazo tomando, en cuenta la opinión del experto en construcción y efectuando tramos de prueba como el ilustrado en la (lamina 27). De esta manera se aprovecharía mejor el material y el equipo que proponga el constructor y, por otra parte, el controlador de calidad si tendría mayor razón de ser.

Para finalizar conviene, insistir en que, para cada caso particular, se establezca el sistema detallado de supervisión y control de calidad propio de la obra, donde deben intervenir también el proyectista y el constructor es importante definir las principales actividades de los responsables de obra (tabla 2), así como la secuencia mas recomendable de las mismas (tabla 3)

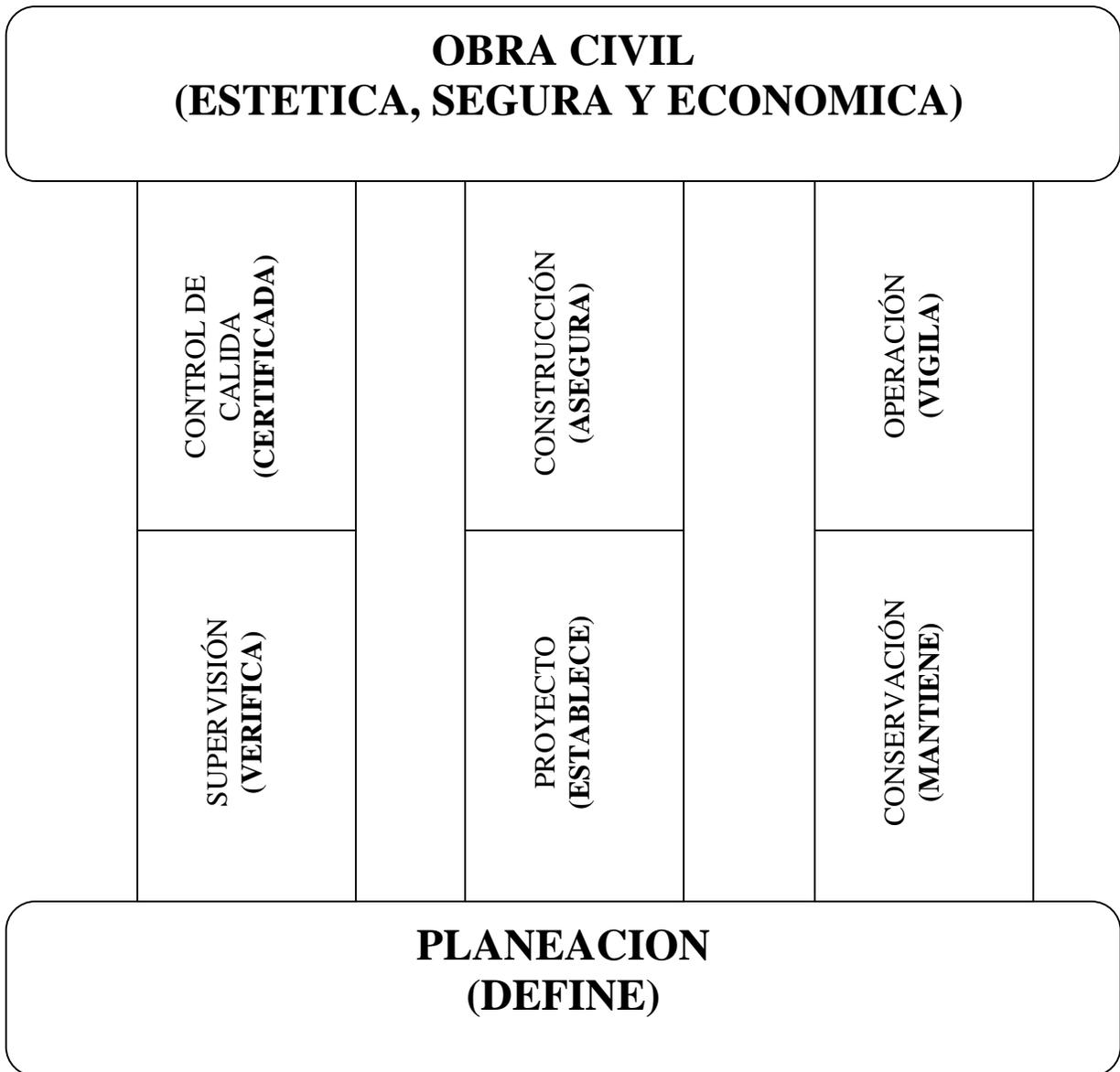
Lamina 1

ESTABILIDAD DE UNA OBRA CIVIL.



Lamina 2

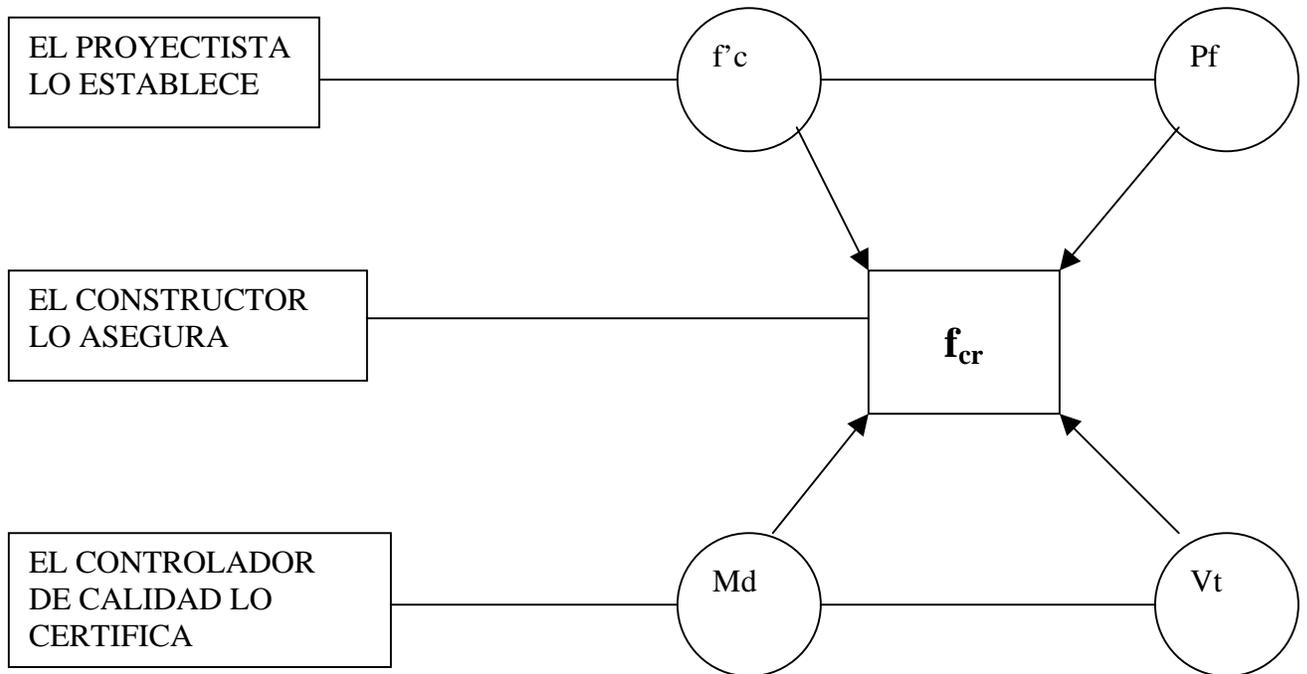
NIVELES DE CALIDAD



LAMINA 3

**SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD
EN EL CASO DEL CONCRETO HIDRAULICO**

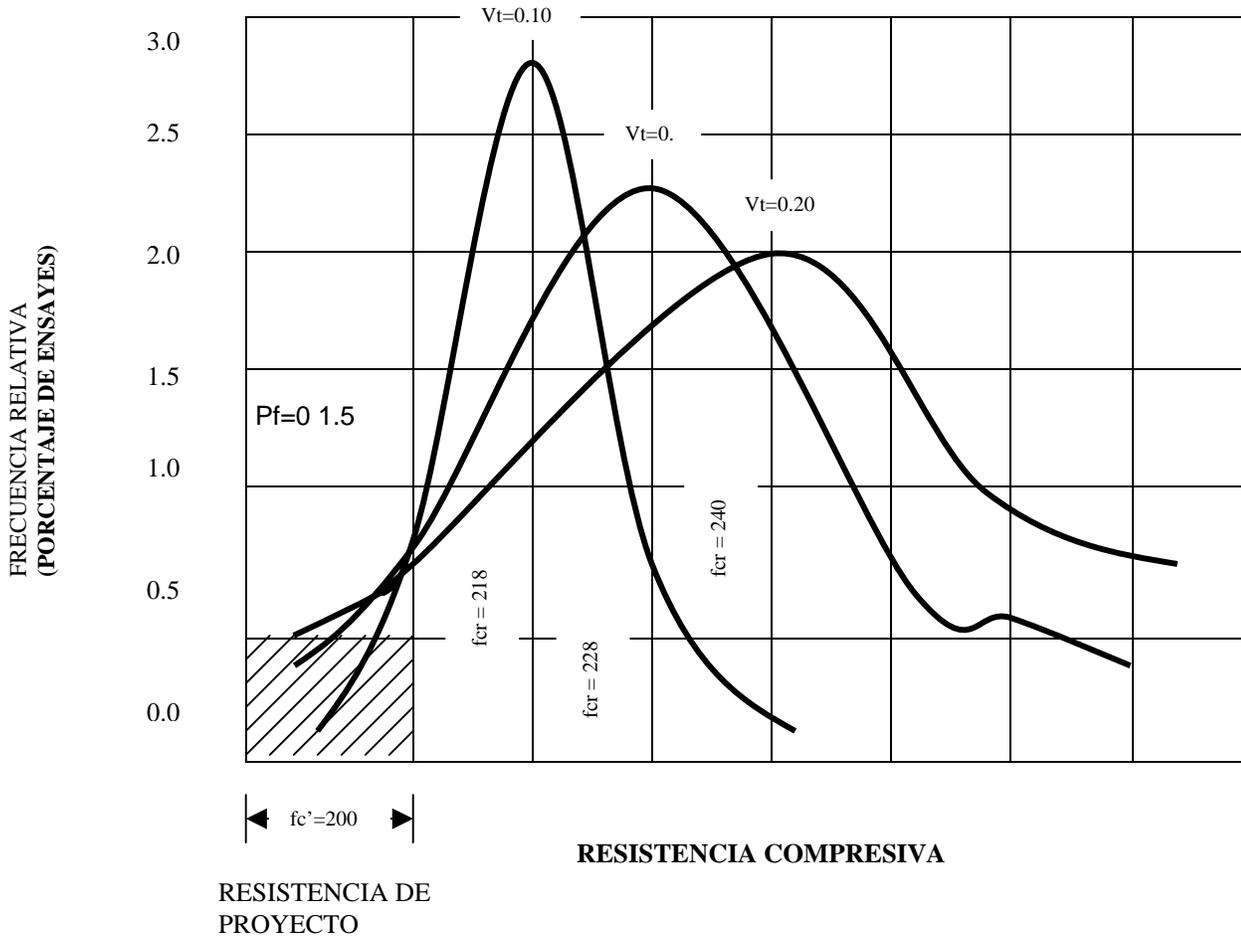
NIVEL DE CALIDAD



$f'c$ = resistencia de proyecto
 f_{cr} = resistencia media requerida
 Pf = Probabilidad de falla en los ensayos
 Md = mezcla de diseño
 Vt = Coeficiente de variación total

LAMINA 4

CURVAS NORMALES DE FRECUENCIA



- V_t = coeficiente de variación total
- P_f = probabilidad de falla de ensayos
- f_{cr} = resistencia media requerida
- f'_c = resistencia de proyecto

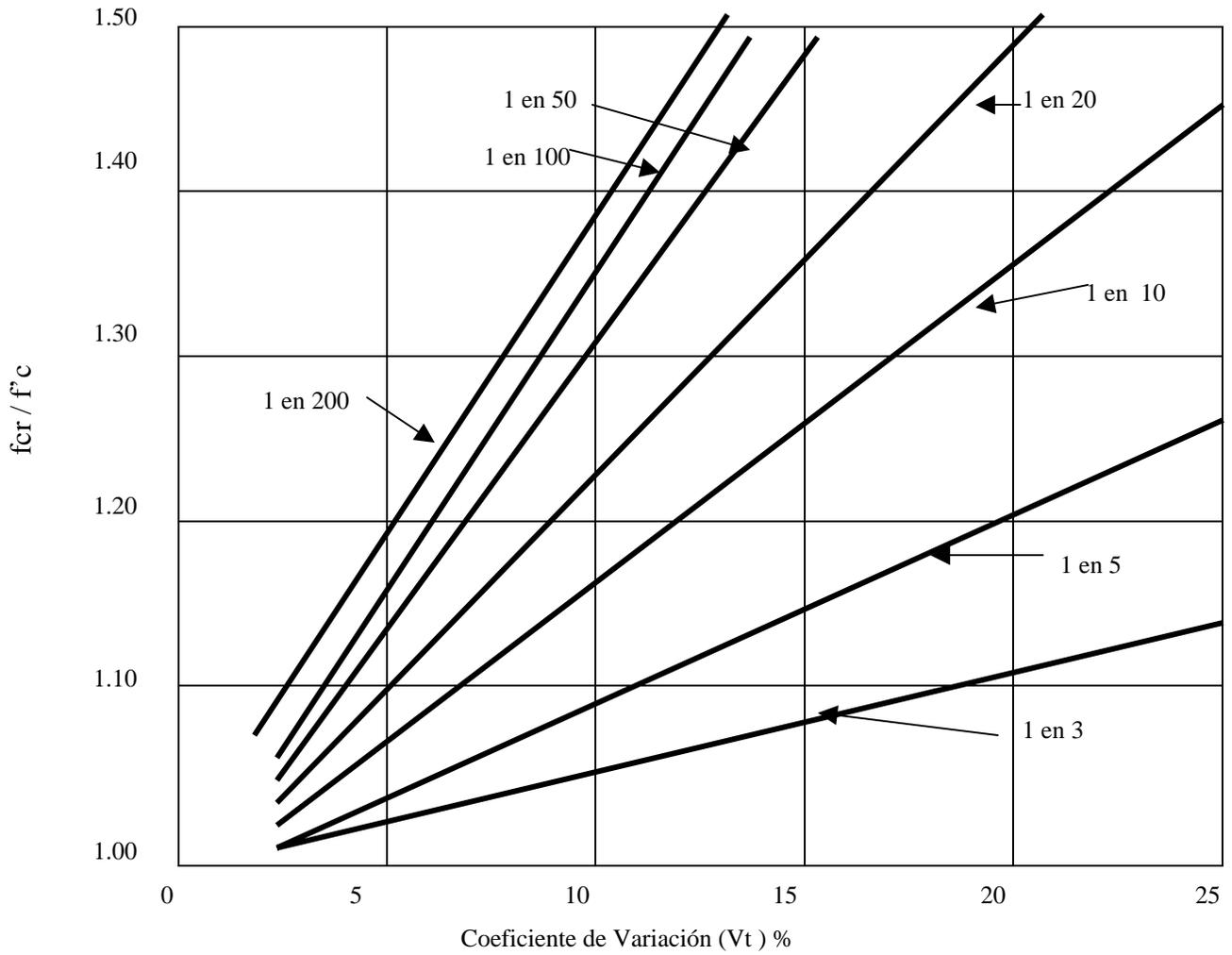
LAMINA 5

GRADO DE UNIFORMIDAD DEL CONCRETO

COEFICIENTE DE VARIACIÓN TOTAL (Vt)	CALIFICACION	CONDICION
0 A 0.05	EXCELENTE	LABORATORIO
0.05 A 0.10	MUY BUENO	PRECISO CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR PESO
0.10 A 0.15	BUENO	BUEN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR PESO
0.15 A 0.20	MEDIANO	ALGUN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR PESO
0.20 A 0.25	MALO	ALGUN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR VOLUMEN
mayor a 0.25	MUY MALO	NINGUN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR VOLUMEN

LAMINA 6

SELECCIÓN DE MEZCLA DE DISEÑO



$$\frac{f_{cr}}{f'_c} = \frac{\text{Resistencia media requerida}}{\text{Resistencia de Proyecto}}$$

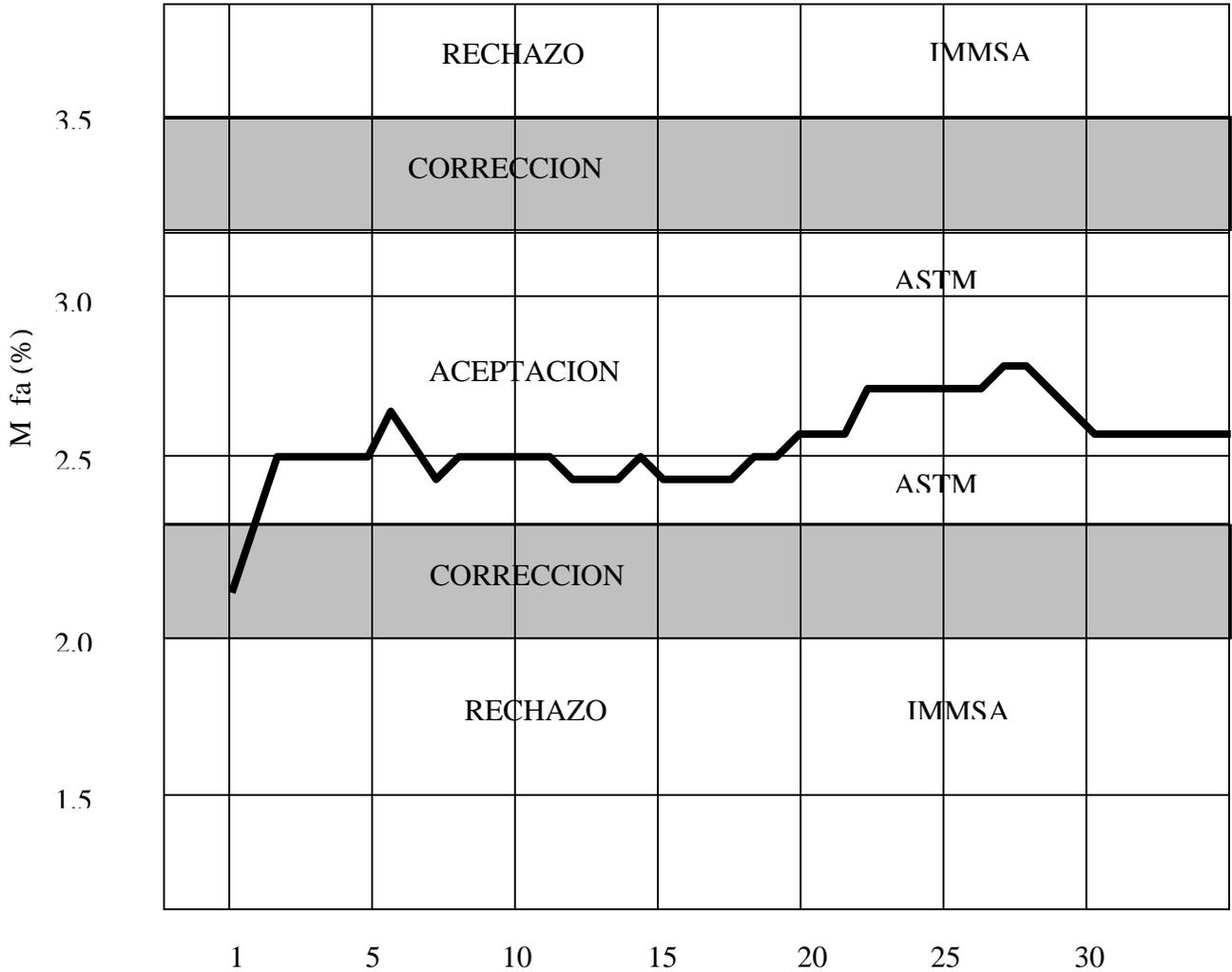
LAMINA 8

REVISIÓN DE INGREDIENTES SEPARADOS

ARENA	MODULO DE FINURA
	CONTENIDO DE FINOS
	CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA
	CONTENIDO DE GRAVA
GRAVA	MODULO DE FINURA
	CONTENIDO DE ARENA
	CONTENIDO DE FINOS
CEMENTANTE	PROPIEDADES FISICAS
	PROPIEDADES QUIMICAS
	RESISTENCIA COMPRESIVA
AGUA	PROPIEDADES FISICAS
	PROPIEDADES QUIMICAS
ADITIVOS	PROPIEDADES ESPECIFICAS

LAMINA 9

**CARTA DE CONTROL:
MODULO DE FINURA DE LA ARENA (M_{fa})**



MUESTRA

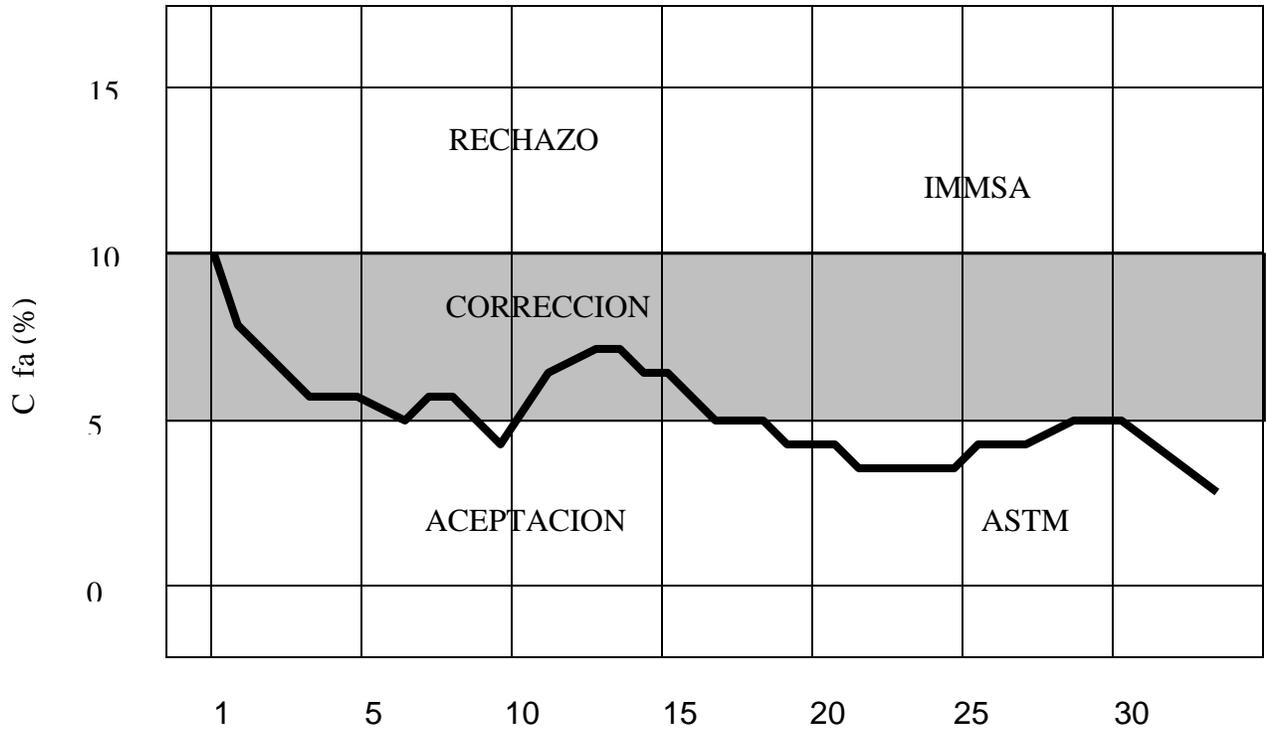
Promedio de 5 ensayos consecutivos

Industria Minera de México (IMMSA)

American Society of Testing Materials (ASTM)

LAMINA 10

**CARTA DE CONTROL:
CONTENIDO DE FINOS EN LA ARENA (C_{fa})**



MUESTRA

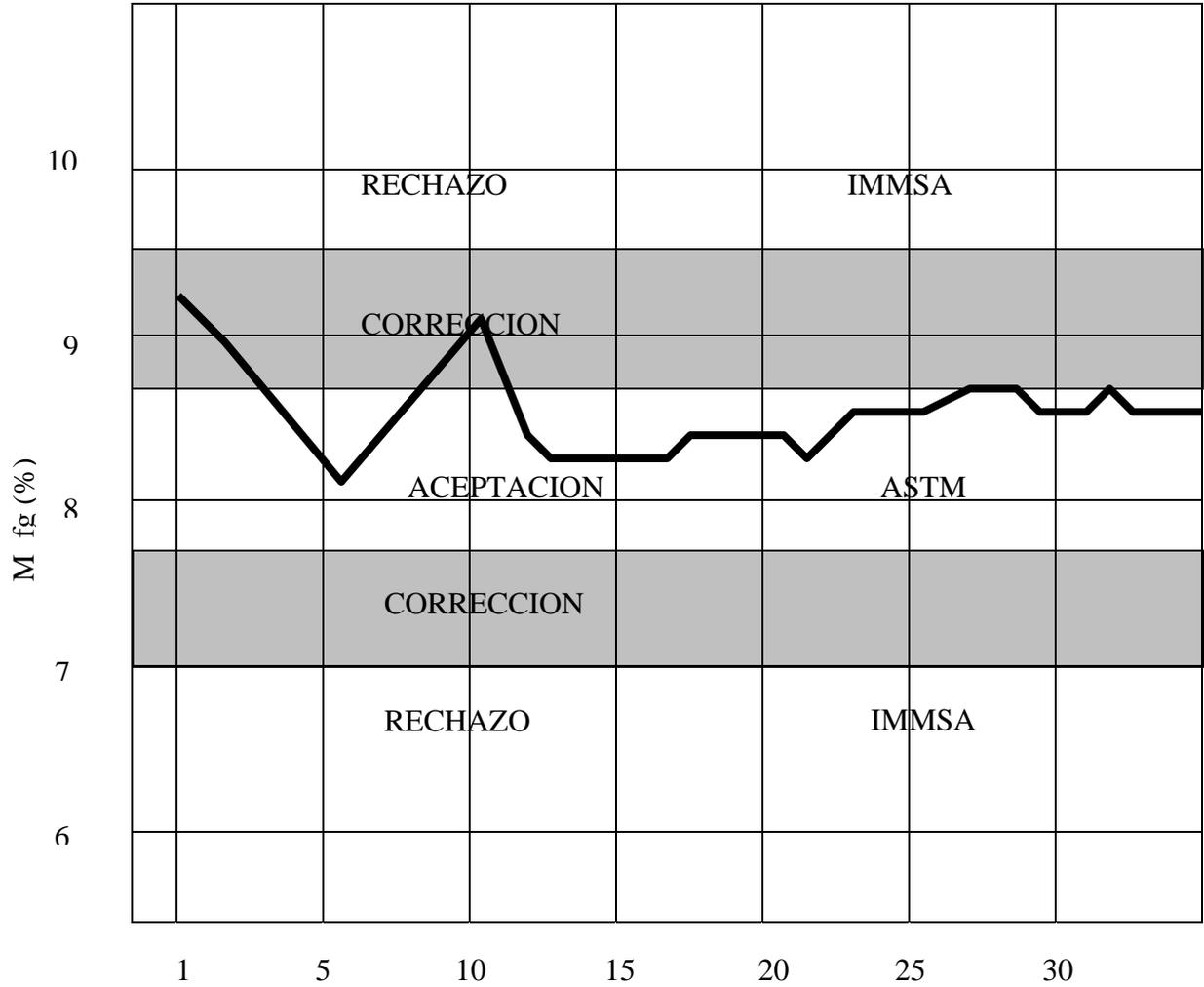
Promedio de 5 ensayos consecutivos

Industria Minera de México (IMMSA)

American Society of Testing Materials (ASTM)

LAMINA 11

**CARTA DE CONTROL:
MODULO DE FINURA DE LA GRAVA (M_{fg})**



MUESTRA

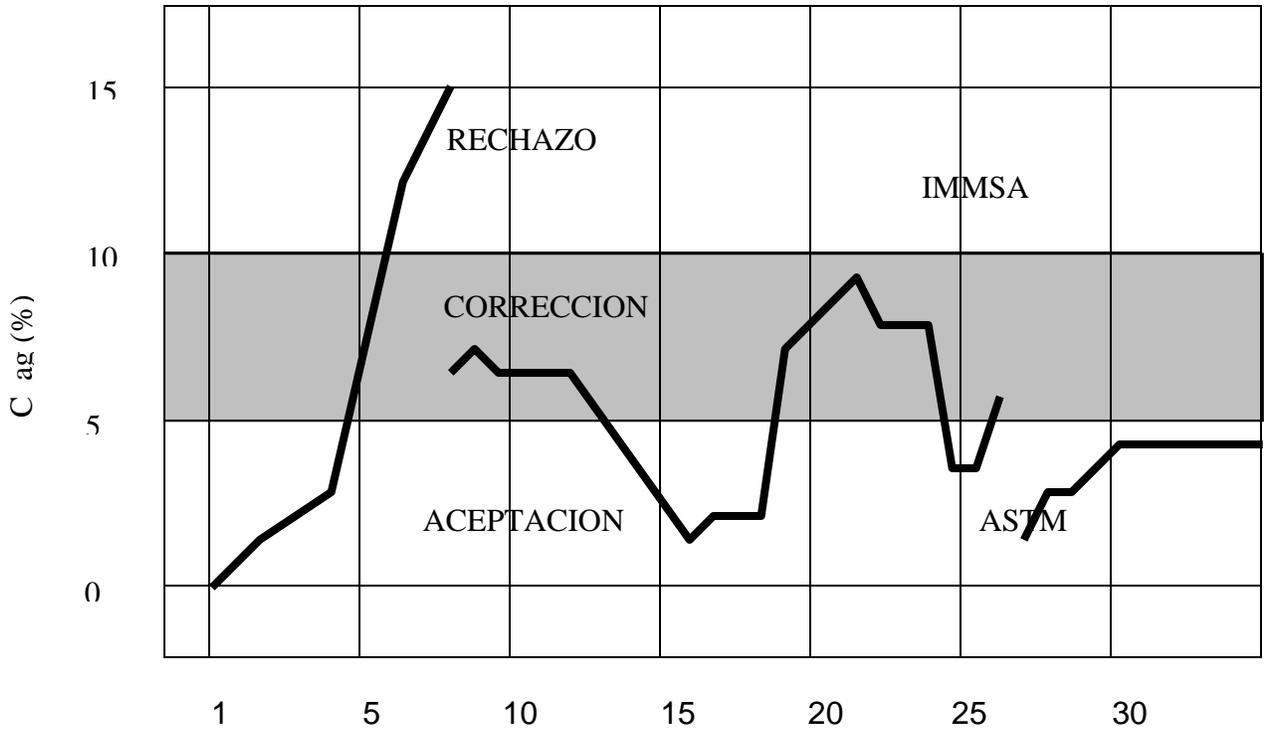
Promedio de 5 ensayos consecutivos

Industria Minera de México (IMMSA)

American Society of Testing Materials (ASTM)

LAMINA 12

**CARTA DE CONTROL:
CONTENIDO DE ARENA EN LA GRAVA (C_{ag})**



MUESTRA

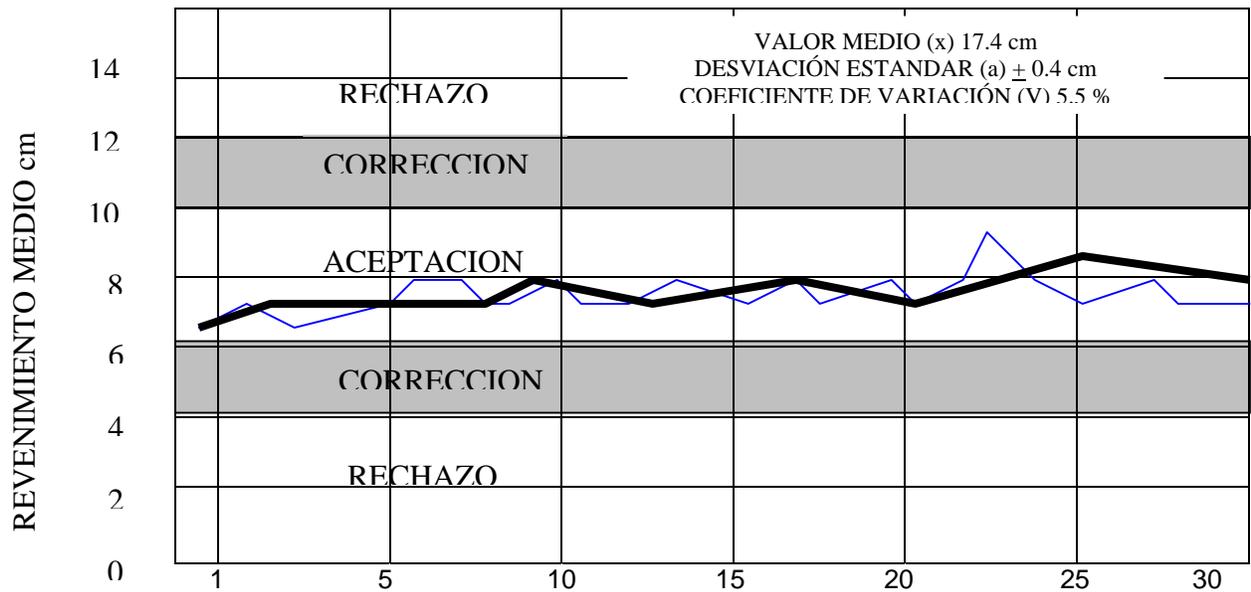
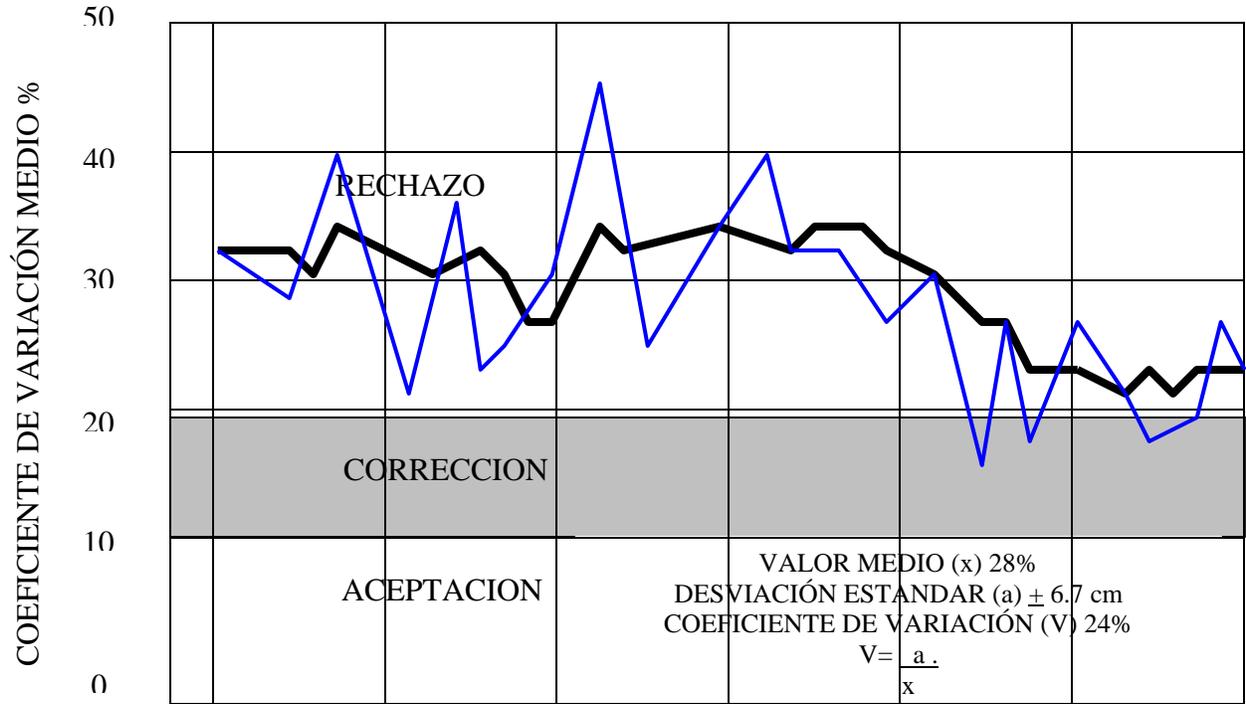
Promedio de 5 ensayos consecutivos

Industria Minera de México (IMMSA)

American Society of Testing Materials (ASTM)

LAMINA 13

**CARTA DE CONTROL:
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REVENIMIENTOS EN LA FORMA**



NUMERO DE ORDEN EN LOS ENSAYES (30 PRUEBAS)

— Promedio de 5 valores consecutivos
 — Promedio de 2 valores individuales

LAMINA 14

**CONTROL DE INGREDIENTES MEZCLADOS
(COMPOSICIÓN DEL CONCRETO FRESCO)**

RELACIONES

AGUA / CEMENTANTE

AGREGADOS / CEMENTANTE

GRAVA / ARENA

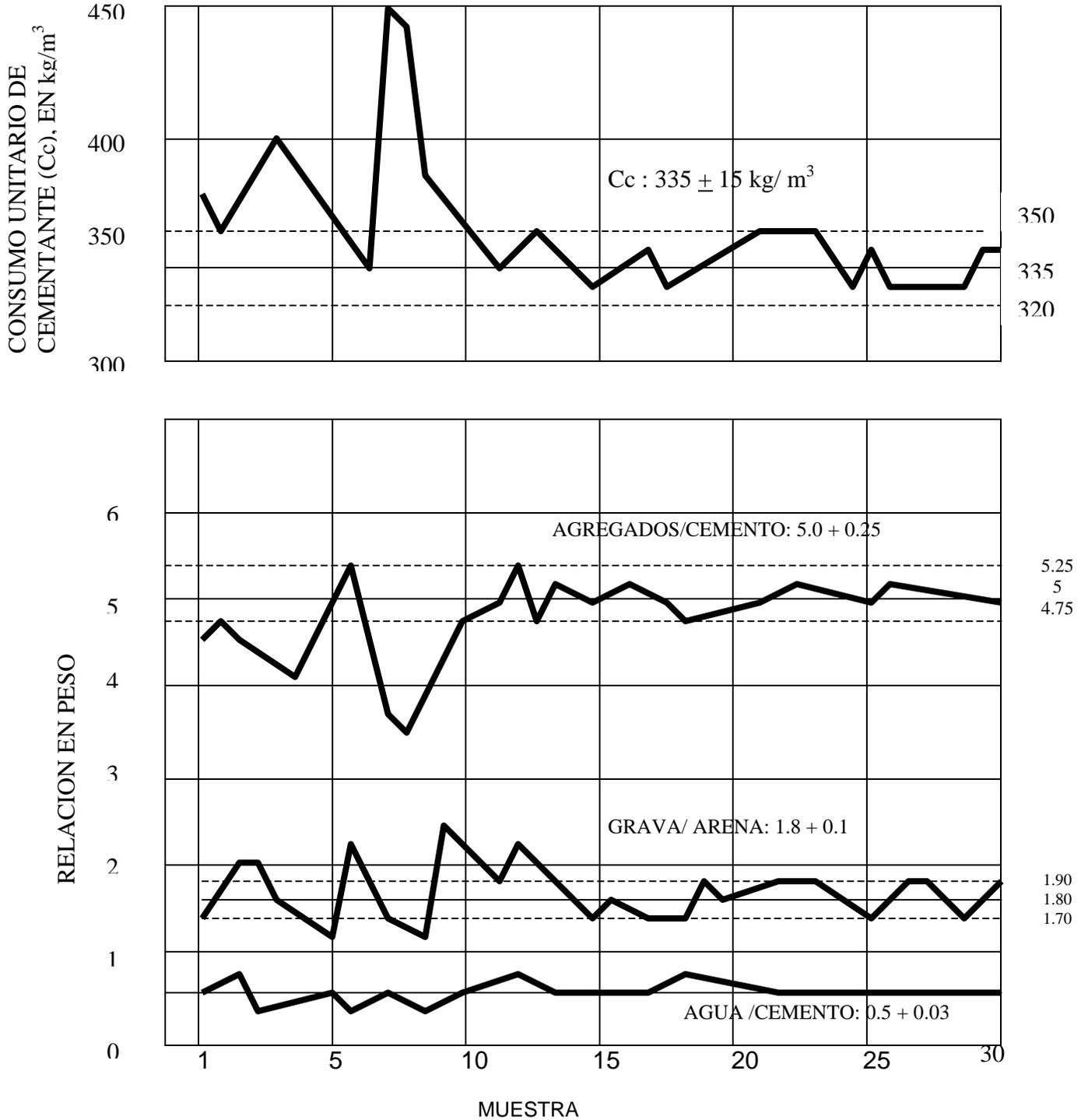
CONTENIDOS

CONSUMO UNITARIO DE
CEMENTANTE

PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO

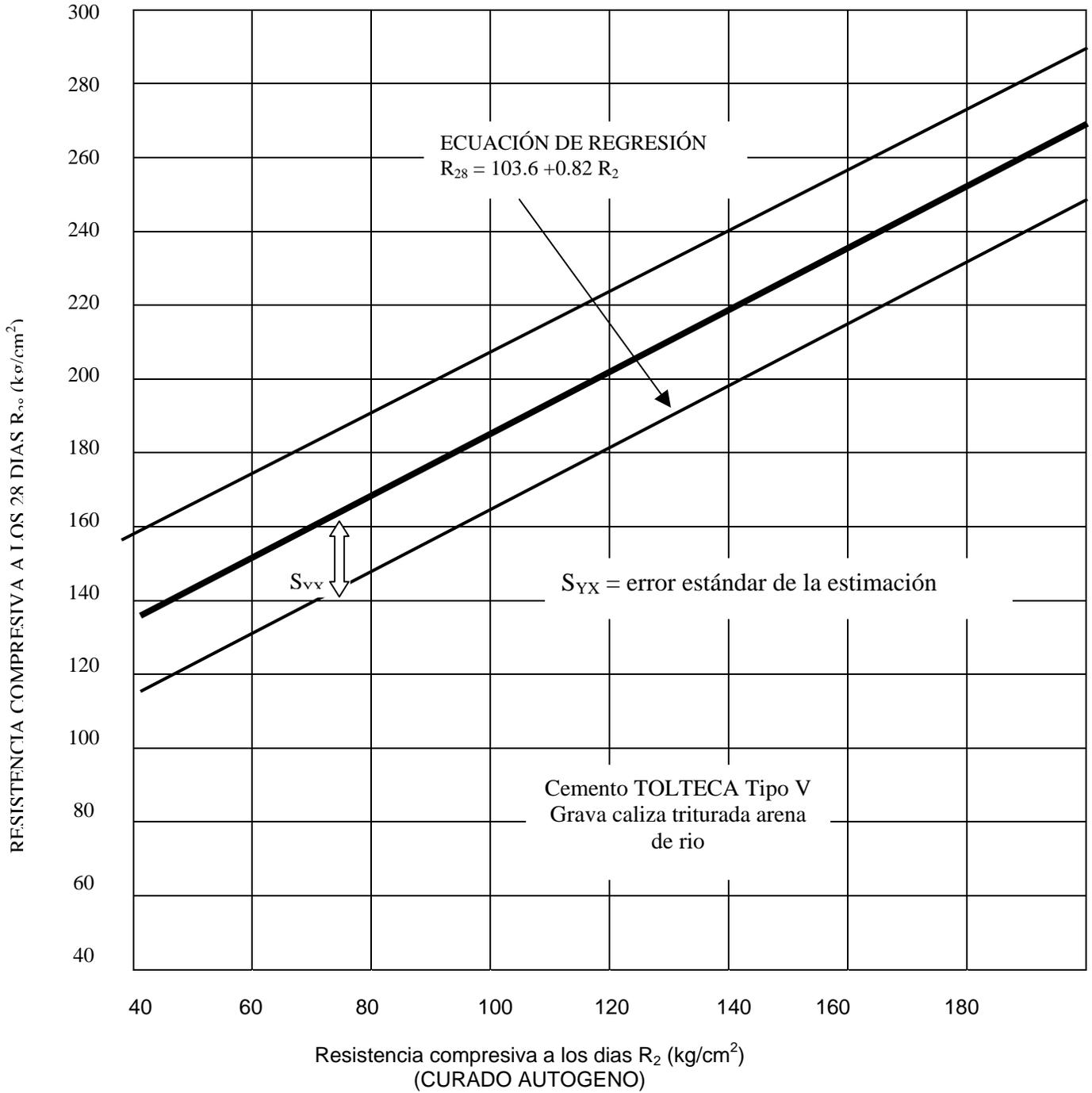
LAMINA 15

**CARTA DE CONTROL:
COMPOSICIÓN DEL CONCRETO TIERNO**
PRUEBA DE INMERSIÓN EN MUESTRAS TOMADAS DE LA FORMA



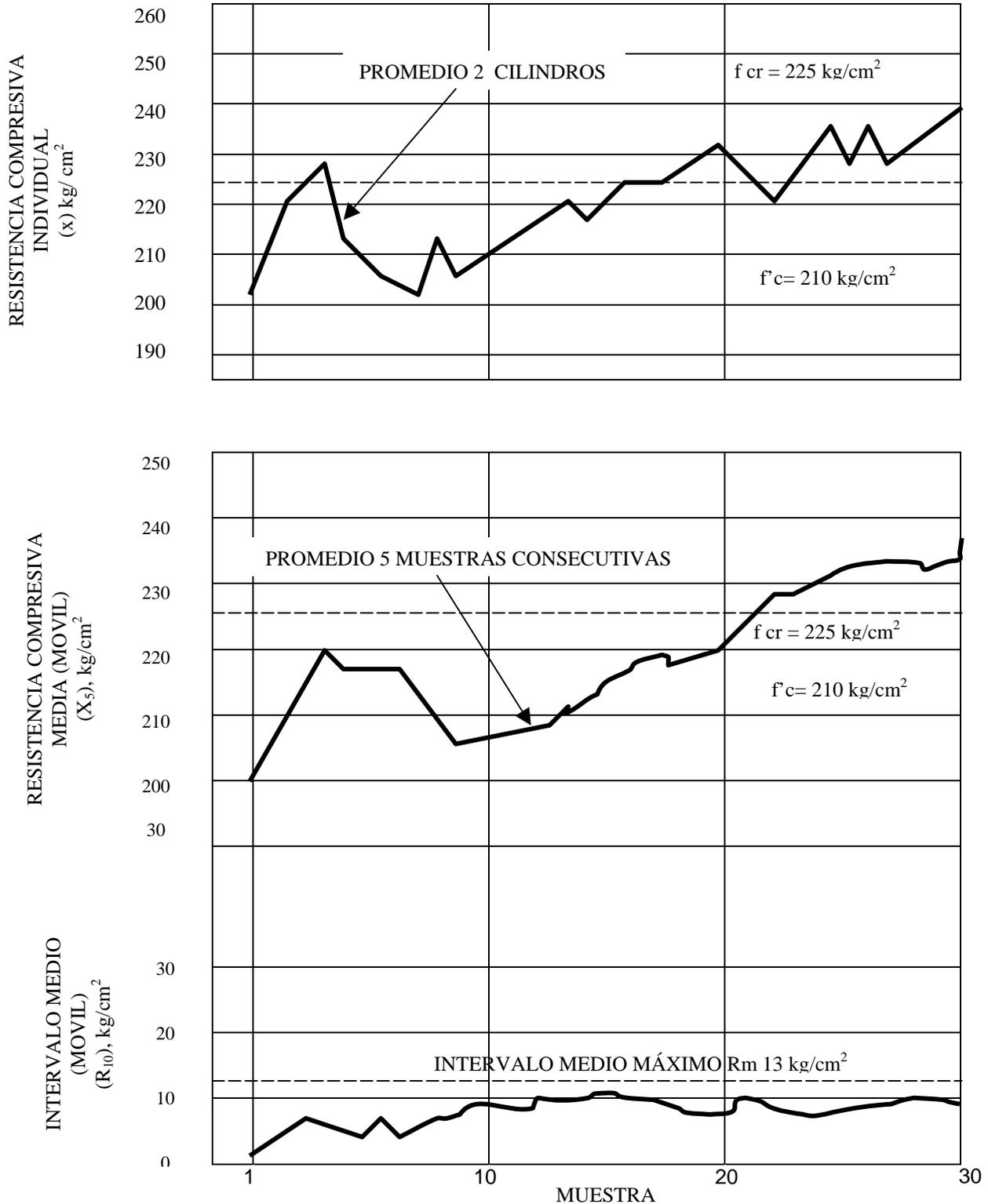
LAMINA 16

CORRELACION ENTRE RESISTENCIAS COMPRESIVAS R_{28} → R_2



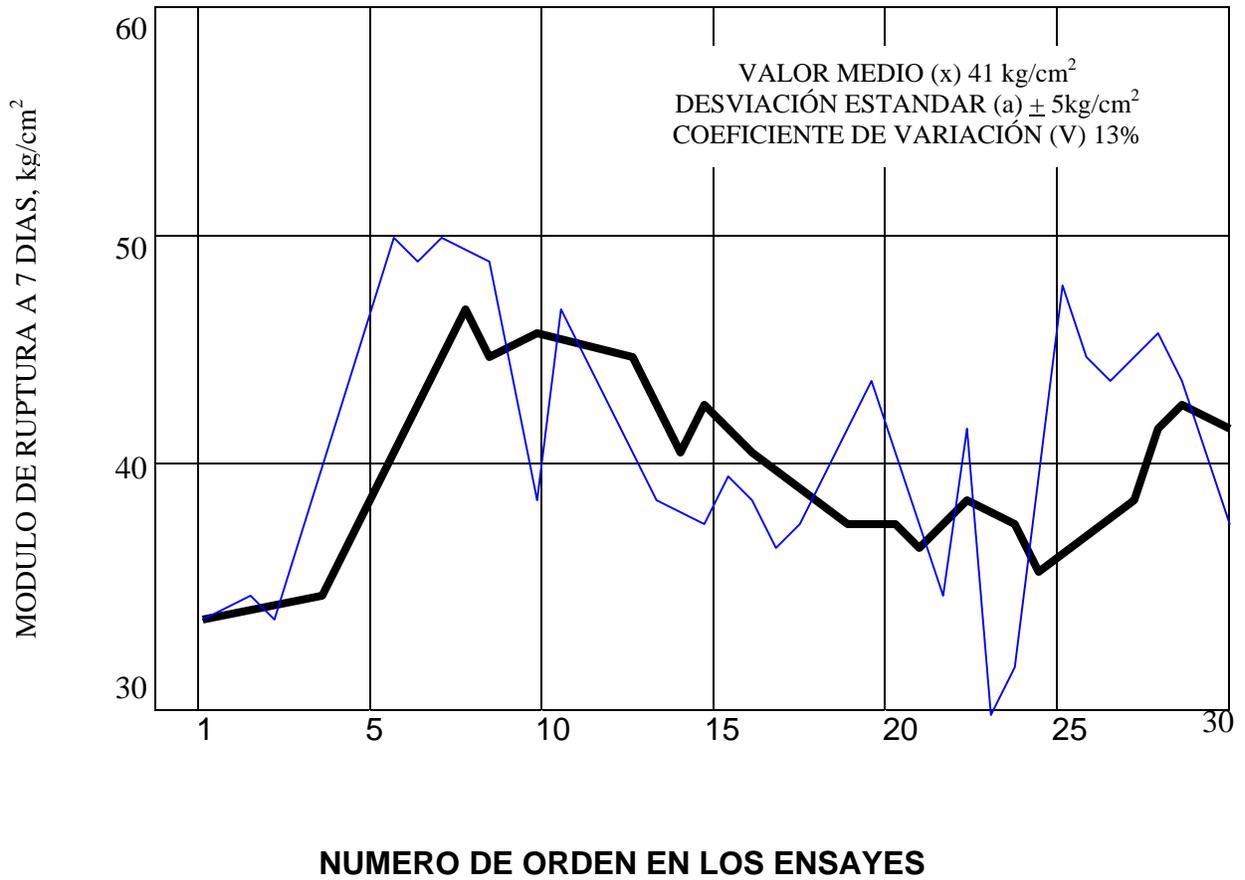
LAMINA 17

**CARTAS DE CONTROL:
ANÁLISIS DE RESISTENCIA COMPRESIVA A 28 DIAS**



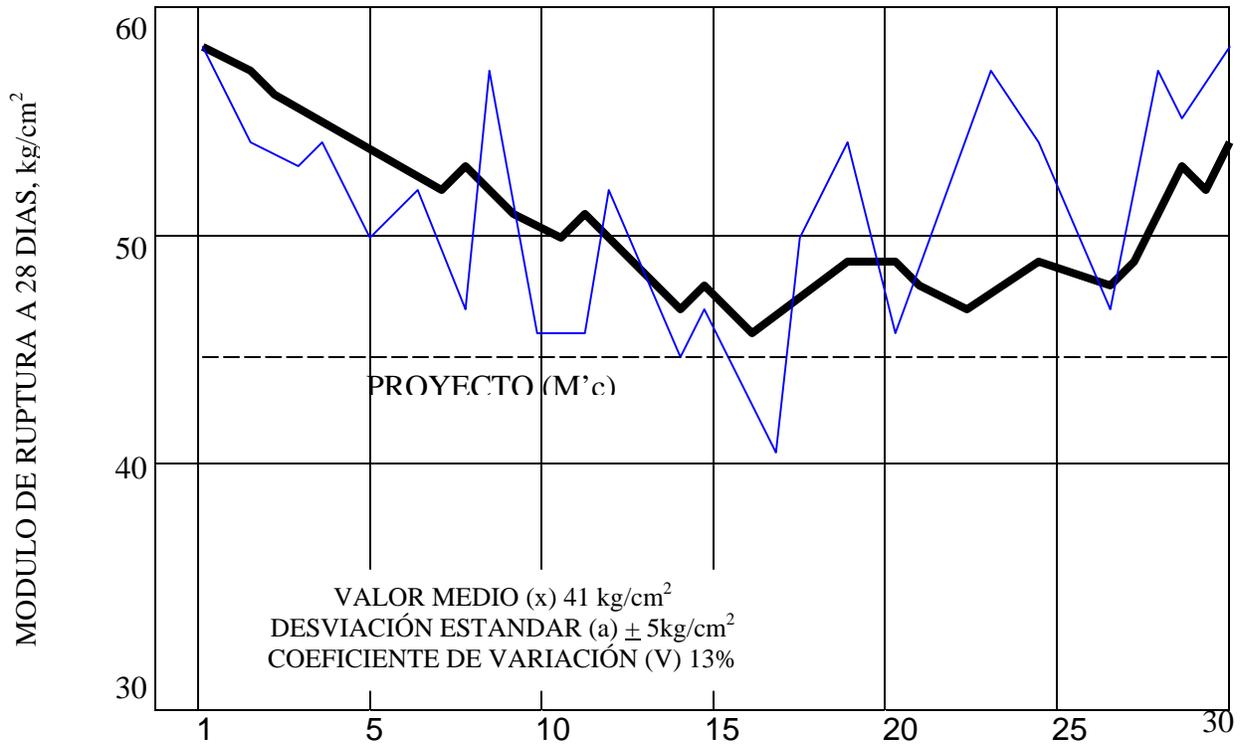
LAMINA 18

**CARTA DE CONTROL:
RESISTENCIA EN LOSAS**



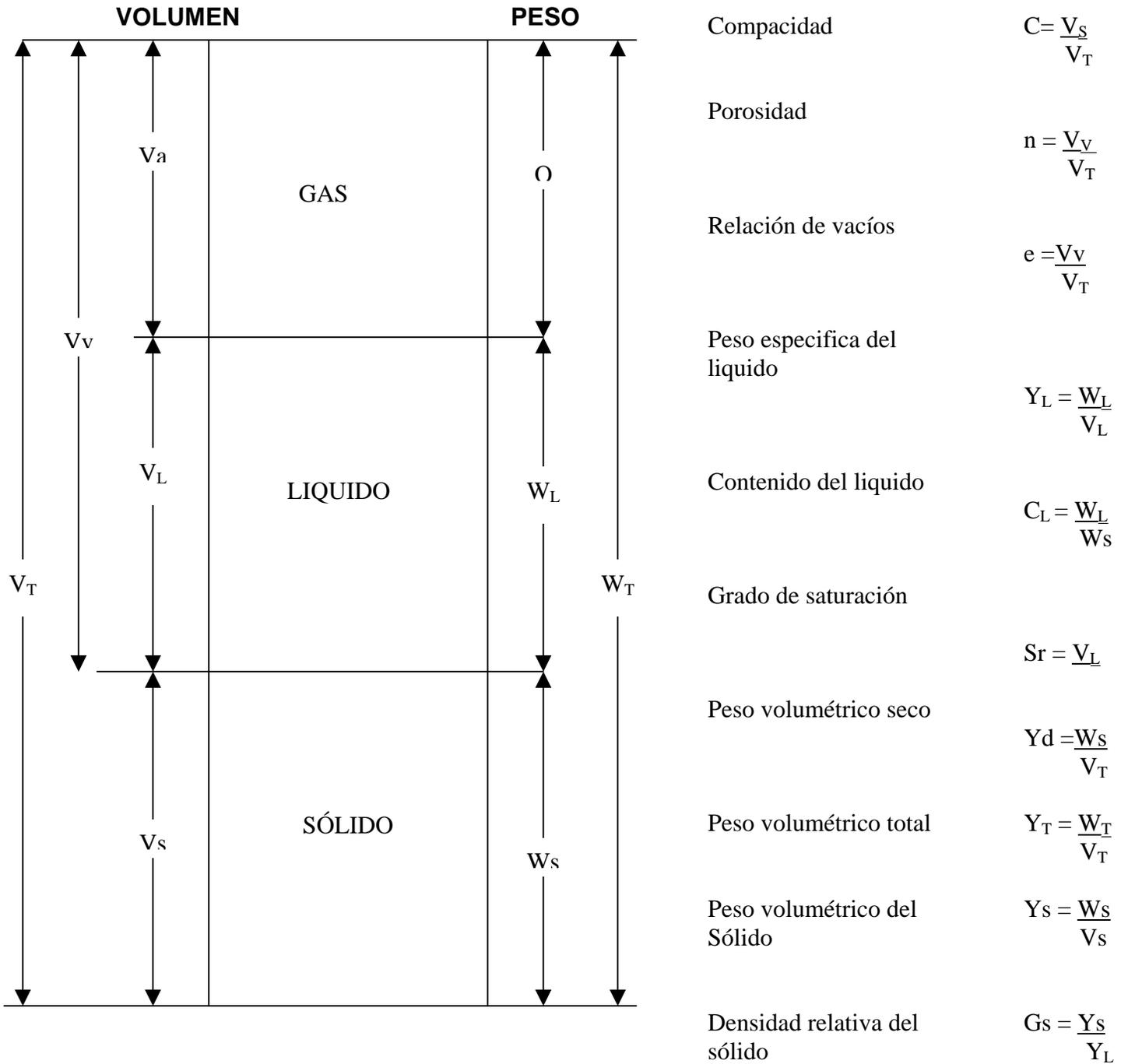
LAMINA 19

**CARTA DE CONTROL:
RESISTENCIA EN LOSAS**



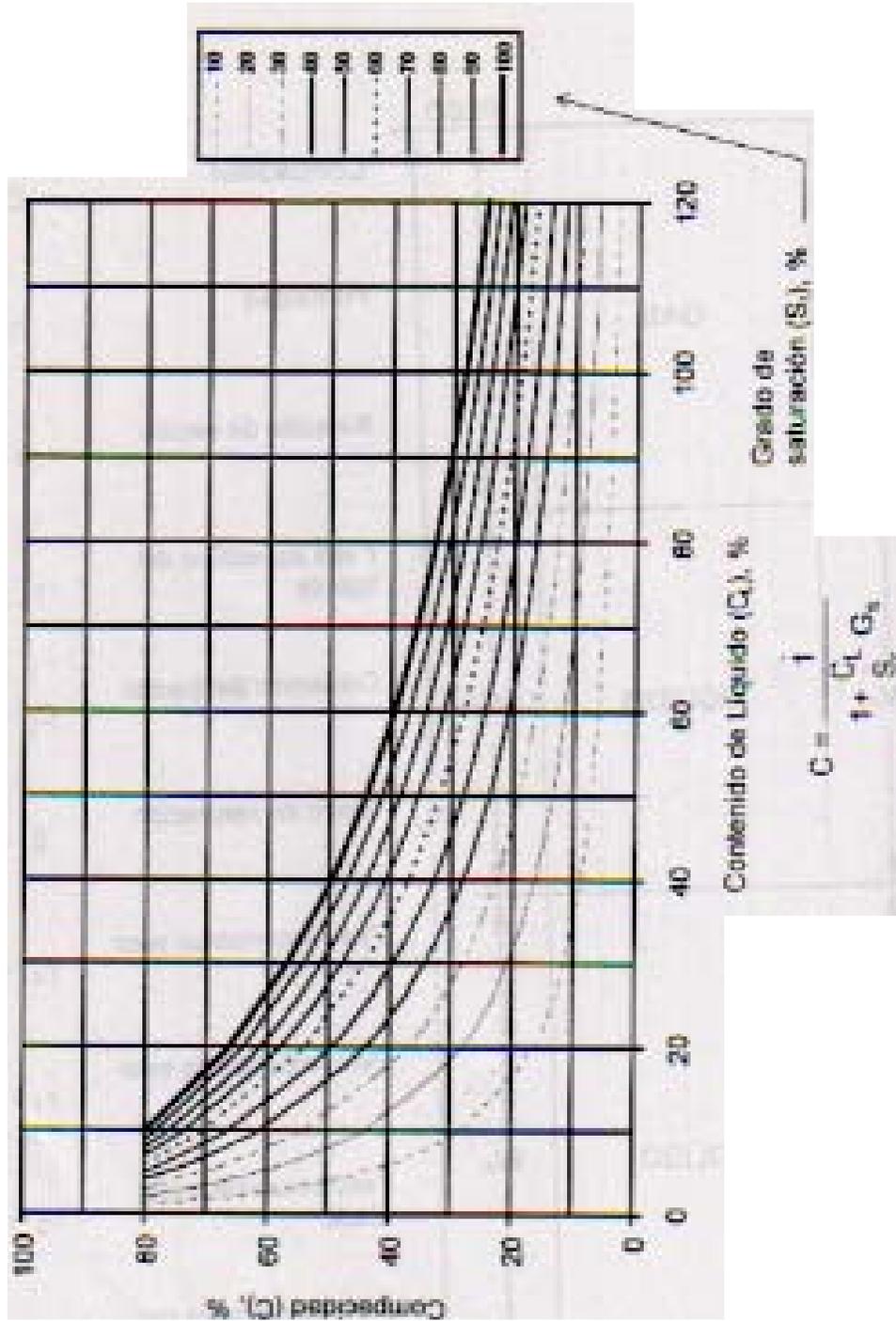
— Promedio de 5 valores consecutivos
— Promedio de 2 valores individuales

DEFINICIONES GRAVIMETRICAS FUNDAMENTALES EN UNA MEZCLA



LAMINA 21

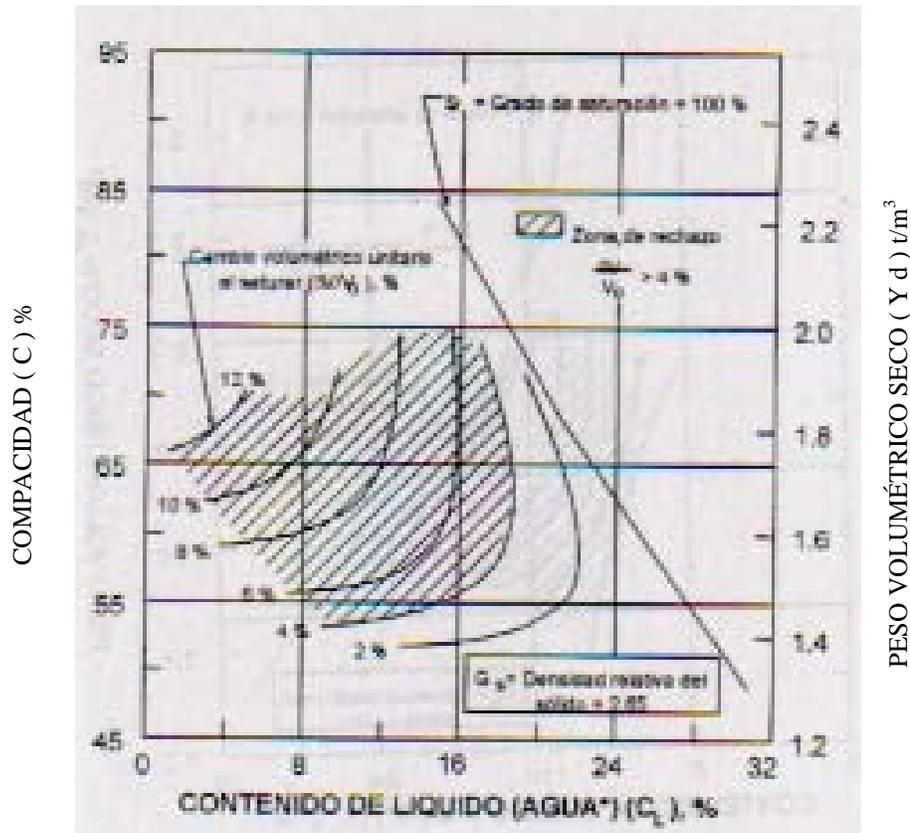
DIAGRAMA CAS (COMPACIDAD- AGUA O ASFALTO- SATURACION)



Gs = DENSIDAD RELATIVA DEL SOLIDO = 2.55

LAMINA 23

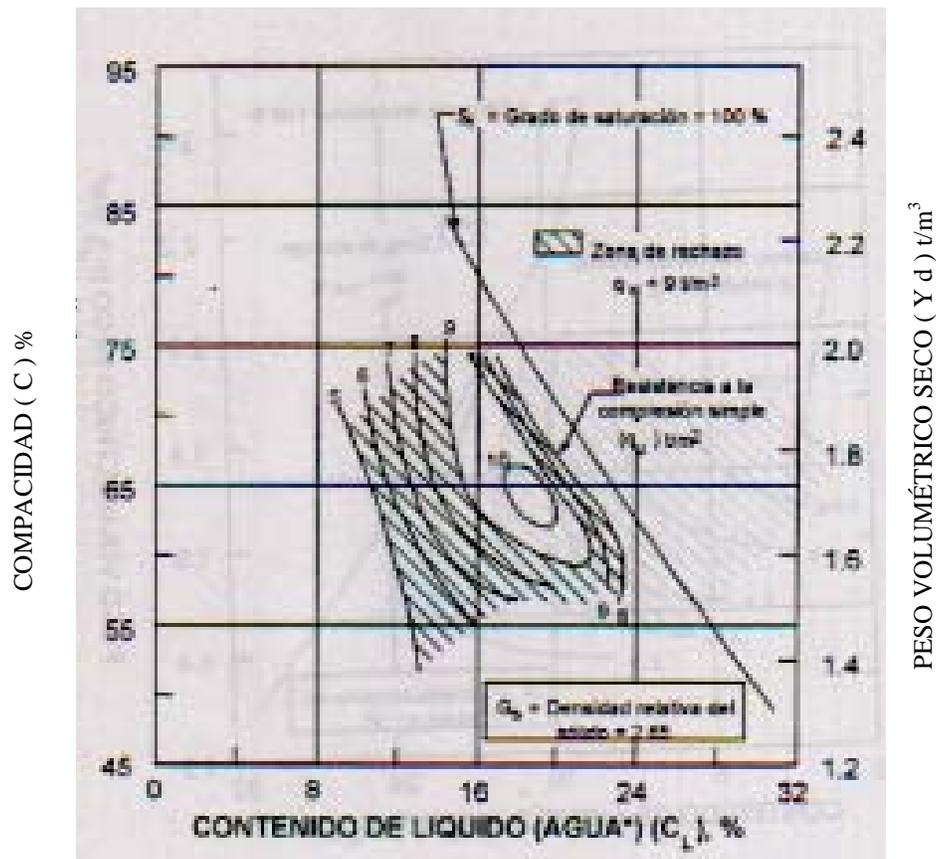
DIAGRAMA CAS₁ CURVAS DE IGUAL CAMBIO VOLUMÉTRICO AL SATURAR UN SUELO COMPACTADO



*En mecánica de suelos el contenido de agua o húmeda se designa con el símbolo w

LAMINA 23

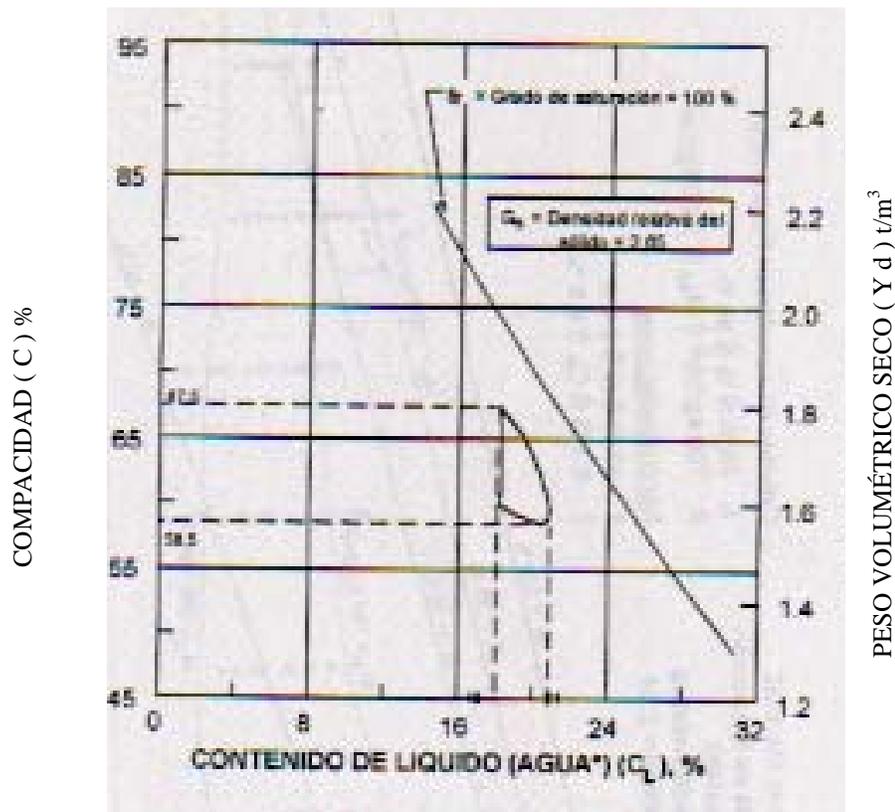
DIAGRAMA CAS₂ CURVAS DE IGUAL RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN UN SUELO COMPACTADO



*En mecánica de suelos el contenido de agua o húmeda se designa con el símbolo w

LAMINA 24

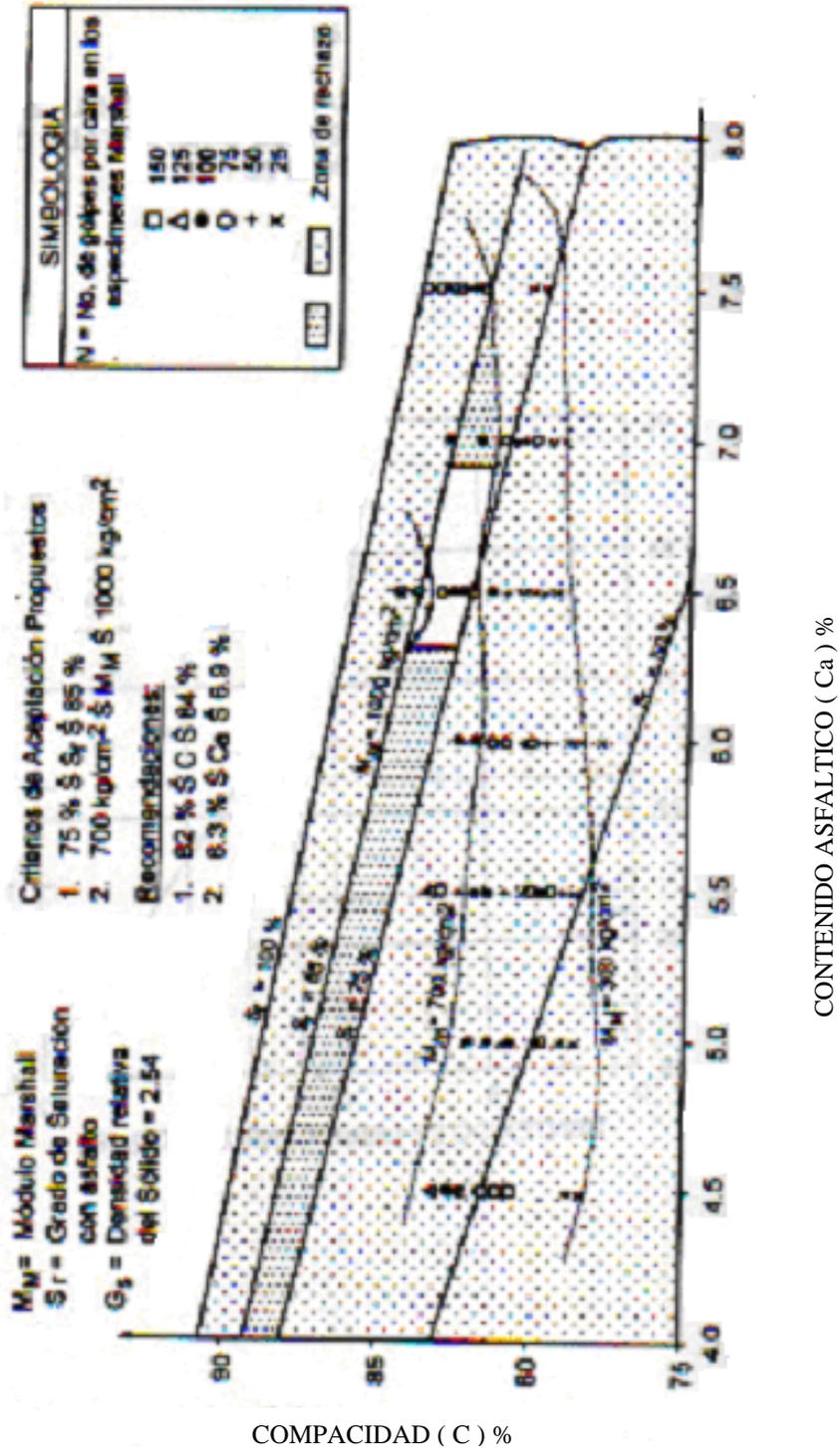
DIAGRAMA CAS PARA CARTA DE CONTROL.- ZONA DE ACEPTACIÓN PARA EL SUELO COMPACTADO DE LAS LAMINAS 22 Y 23



*En mecánica de suelos el contenido de agua o húmeda se designa con el símbolo w

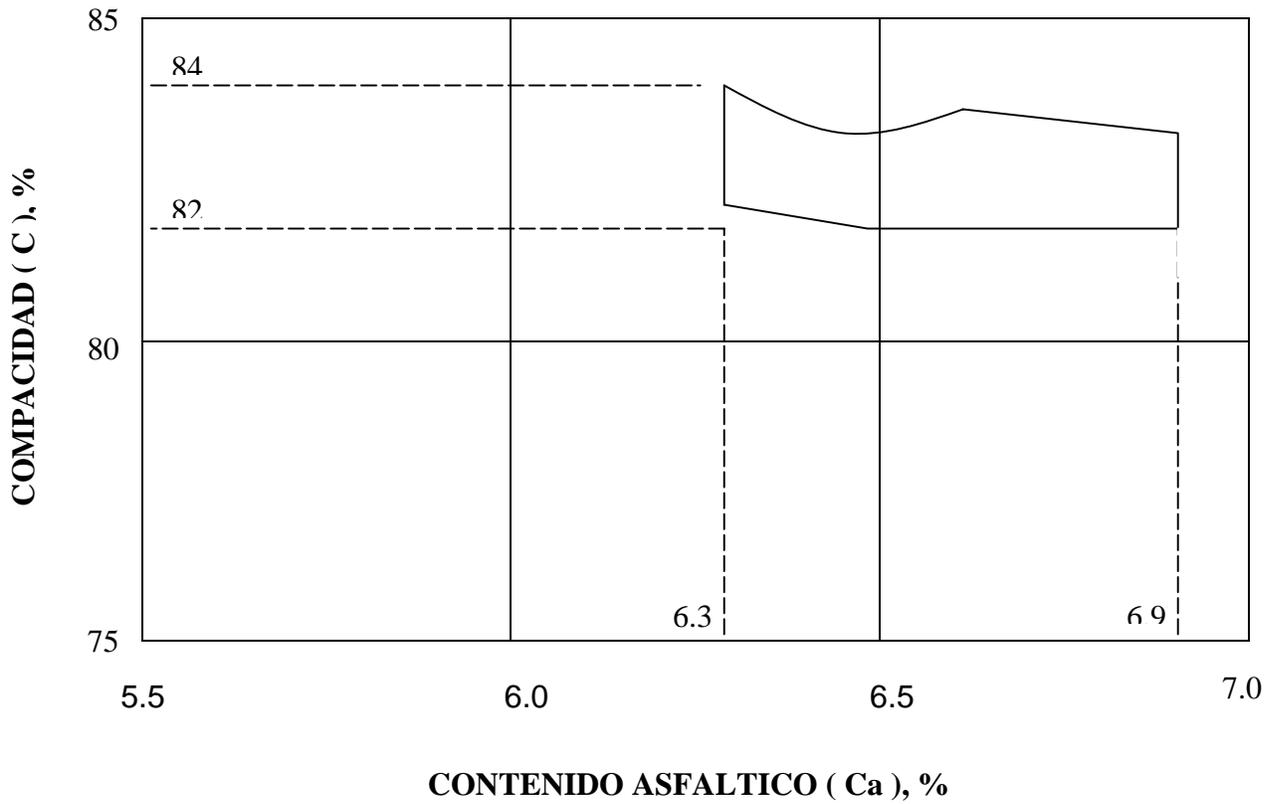
LAMINA 25

DIAGRAMA CAS.- CURVAS DE IGUAL MODULO MARSHALL



LAMINA 26

DIAGRAMA CAS PARA CRTA DE CONTROL.- ZONA DE ACEPTACIÓN PARA EL CONCRETO ASAFALTICO DE LA LAMINA 25



LAMINA 27

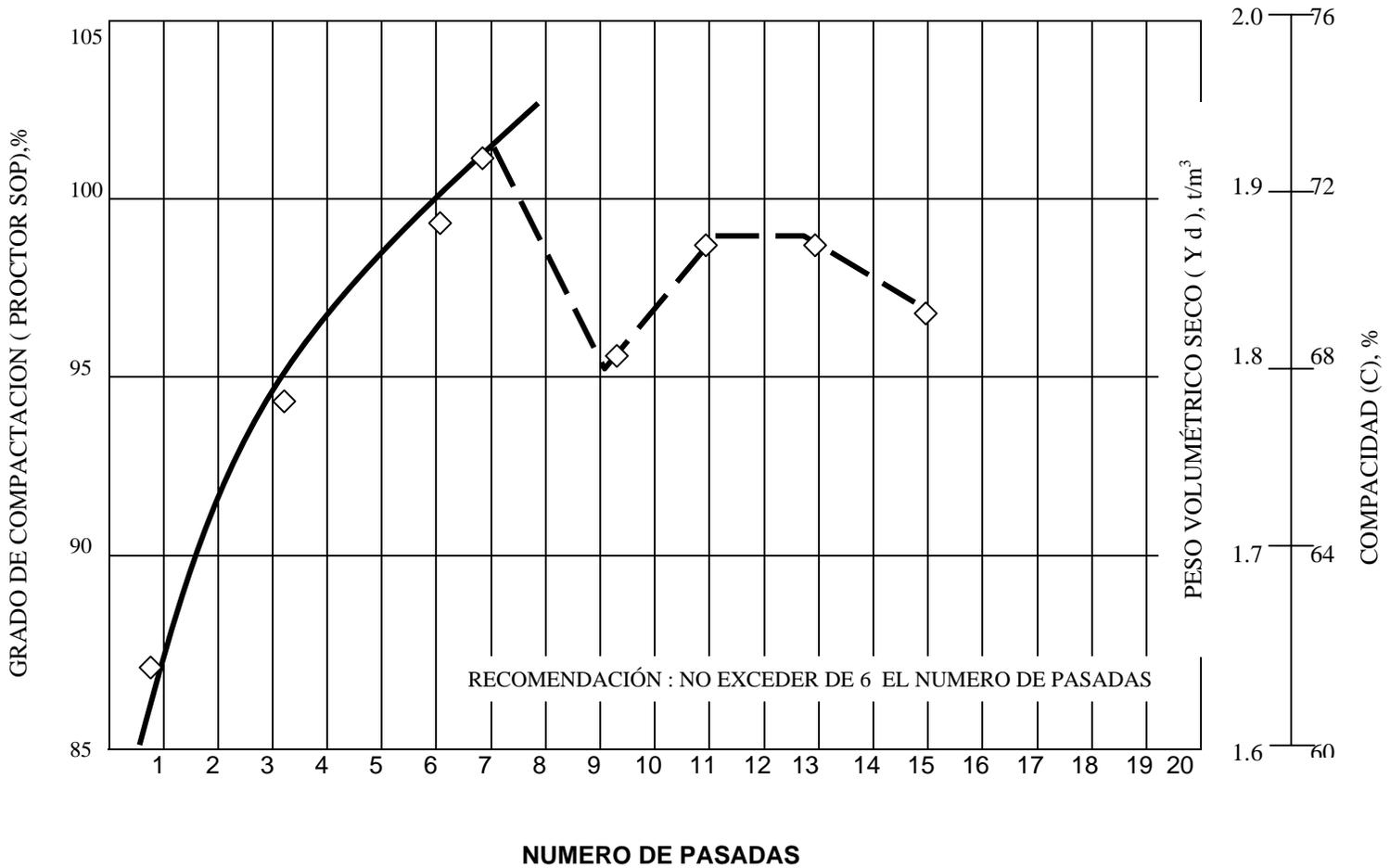
**TRAMO DE PRUEBA EN CAPA SUBRASANTE
AEROPUERTO "DOS MONTES" VILLAHERMOSA, TAB.**

CAPA COMPACTADA DE 25cm

RODILLO VIBRATORIO CA-25; 1500 vpm

HUMEDAD INICIAL $15.5 \pm 1.5\%$
HUMEDAD OPTIMA 18.5%

RELACION DE HUMEDAD = $\frac{15.5}{18.5} = 0.84$



CAPITULO III

**CONTROL DE CALIDAD DE LOS
AGREGADOS.**

CAPITULO III

CONTROL DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

III.1 CLASIFICACION DE LOS AGRAGADOS

No obstante que los agregados pétreos representan la mayor parte del volumen del concreto (aproximadamente del 60 al 80%). el importante papel que estos desempeñan como ingrediente principal, es a menudo subestimado a causa de su bajo costo en relación con el del cemento. Originalmente, los agregados eran considerados como un material inerte esparcido en la pasta del cemento sólo por razones económicas, siendo que en realidad no es un material inerte, sino que sus propiedades físicas, térmicas y químicas influyen grandemente en el comportamiento del concreto. Así tenemos que la durabilidad, economía, trabajabilidad, permeabilidad, propiedades térmicas, peso volumétrico, resistencia y elasticidad, pueden ser adversamente afectados o, al contrario, mejorados con sólo cambiar la calidad y granulometría de los agregados. Los agregados para concreto deben estar de acuerdo con la NOM-C-111-1980 (Agregados para concreto).

Estos se pueden clasificar de acuerdo a las siguientes características:

Por su origen

Por su peso

Por su tamaño

Por su forma y textura

III.1.1 CLASIFICACION POR SU ORIGEN

Las rocas se dividen en tres grupos principales que **son los** siguientes:

Rocas ígneas

Rocas sedimentarías

Rocas metamórficas

El origen de los agregados y su composición mineralógica es importante, principalmente en los estudios preliminares, para definir la posibilidad de reacciones nocivas. Con los componentes alcalinos del cemento.

Aun cuando esto no es muy común, no debe descartarse esta posibilidad, sobre todo si no se cuenta con estudios o experiencias, previas que aseguren la ausencia de efectos deprimentes al concreto.

III.1.2. CLASIFICACION POR PESO.

Esta forma de clasificar a los agregados tiene mucha, utilidad, principalmente para conocer o diseñar el peso de las estructuras de concreto. Así, los agregados quedan divididos en los siguientes tres grupos: ligeros, normales y pesados. El control de esta característica es importante cuando el peso de la estructura influye en su diseño o su comportamiento.

III.1.3 CLASIFICACION POR TAMAÑO

En forma general los agregados se clasifican en grueso y fino, para lo cual ha quedado establecido como norma que el límite que divide estas dos fracciones, en cuanto a su tamaño de partículas, es el de la malla No. 4, es decir, que el agregado grueso está formado por las partículas retenidas en dicha malla, hasta el tamaño máximo de partícula que se haya escogido para el concreto. Los tamaños máximos más utilizados son de 3/4" y 1'1/2, sin tocar el tema de concretos especiales o ciclópeos. A su vez, el agregado fino se compone del material que pasa, la malla No. 4, (4.76 mm.) hasta las partículas más finas malla No. 100 (0.15 mm).

La importancia de clasificar los agregados en grueso y fino es primordialmente para lograr, en la práctica, una combinación adecuada de estas dos fracciones, asegurando así una composición granulométrica correcta y suficientemente uniforme para obtener el producto final deseado.

III. 1. 4 CLASIFICACION POR SU FORMA Y TEXTURA

Las características de forma y textura tienen también efectos en el concreto, sobre todo en cuanto a su compactación y su trabajabilidad. Existen varias clasificaciones para la forma de la partícula, de las cuales la siguiente es un ejemplo:

Redondeada
Irregular
Alejada
Angular
Elongada

Otro ejemplo es el siguiente

Muy redonda
Redonda
Subredonda
Subangular
Angular

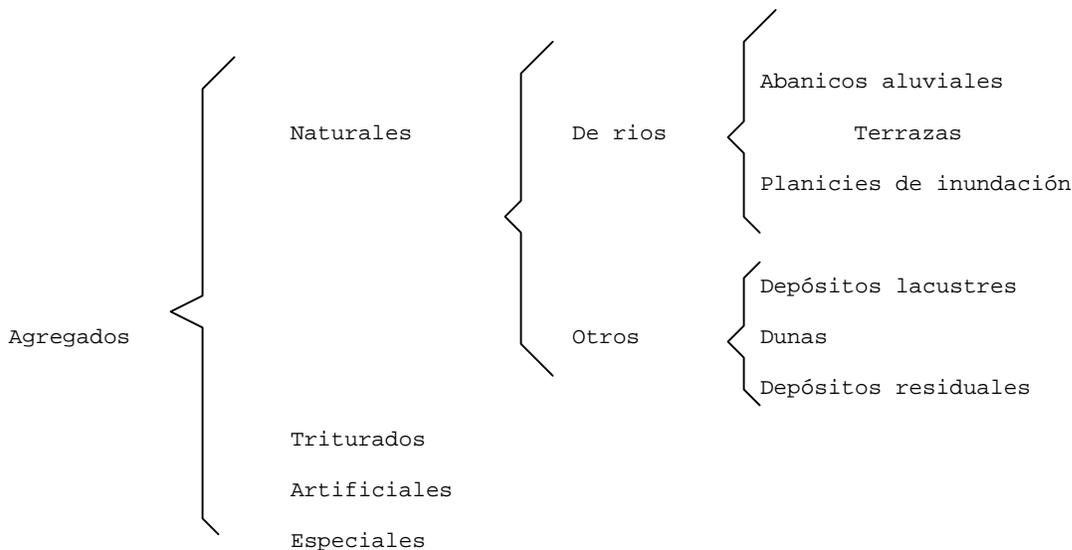
A la vez la textura puede clasificarse como sigue:

- Vítrea
- Lisa
- Granular
- Áspera
- Cristalina
- Porosa

La forma y textura pueden afectar la trabajabilidad del concreto, por lo cual también podrán alterar a la demanda del agua y del cemento y, por consiguiente, a la resistencia final. La textura afecta también a la adherencia que se desarrolla entre la partícula y la pasta de cemento, por lo cual nueva mente está influenciando a la resistencia del concreto.

Estas características se deberán tomar en cuenta para los estudios iniciales pero, una vez definidos los agregados, no es factible tratar de controlar sus variaciones, más que en casos muy contados, como sería por ejemplo, el empleo de equipo especial de trituración para mejorar la forma de la partícula.

Una clasificación muy general de los agregados la podemos manejar como sigue:



Los agregados más comúnmente usados como la arena, grava, piedra triturada y escoria de altos hornos enfriada al aire producen concreto de peso normal es decir concreto que pesa de 2100 a 2500 kilogramos por metro cúbico.

Las lutitas, arcillas, pizarras y escoria esponjadas se usan como agregados para producir concretos estructurales ligeros, con pesos unitarios que varían de 1300 a 1800 kilogramos por metro cúbico y otros materiales ligeros como la piedra pómez, la escoria, la perlita, la vermiculita y la diatomita se usan para producir concretos

aisladores que pesan de 240 a 1400 kilogramos por metro cúbico. Los materiales muy densos como la barita, limonita, magnetita, ilmenita, hierro y partículas de acero se usan para producir concreto muy denso.

Los agregados de peso normal deben satisfacer los requisitos de calidad de la especificación NOM-C-111-1980 Agregados para concretos. Los agregados estructurales ligeros deben satisfacer los requisitos de las Especificaciones de los Agregados Ligeros para concreto estructural (NOM-C-299-1980). Los agregados para concretos Aisladores deben satisfacer los requisitos de la Especificación para Agregados Ligeros para Concretos Aisladores (ASTM', C332). En la actualidad no existen especificaciones para los materiales de gran peso.

En la norma NOM-C-305-1980 Agregados para concreto, descripción de sus componentes minerales naturales" se describen los minerales más comunes o importantes que se encuentran en los agregados. La clasificación mineralógica ayuda a determinar las propiedades de un agregado, pero no ofrece ninguna base para predecir la actuación del concreto, pues no hay minerales universalmente deseables, y muy pocos resultan siempre indeseables.

III.2 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

- Composición granulométrica
- Peso específico
- Absorción
- Peso volumétrico
- Sanidad
- Resistencia
- Resistencia al desgaste
- Reacción álcali-agregado

III.2.1. COMPOSICION GRANULOMETRICA.

La composición granulométrica es la distribución de tamaños de partículas, determinada en laboratorio por medio de una separación mecánica efectuada con mallas reglamentarias. Los valores que se obtienen mediante esta prueba (NOM-C-77-1966 método de prueba para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos), expresados como porcentajes retenidos, o que pasen las diversas mallas, se tabulan y se grafican para su interpretación. La granulometría de los agregados juega un papel de máxima importancia en las características del concreto.

Las variaciones en graduación de los agregados alteran a una serie muy compleja de factores, empezando por el área específica del material pétreo, que a su vez

afecta a la trabajabilidad del concreto y a la demanda de agua y cemento. Como resultado también se afecta a la compactación de la masa de concreto y otras características tales como el acabado, la segregación y el sangrado.

La norma oficial señala límites de graduación óptima para los agregados grueso y fino. Aún cuando no siempre es posible ajustarse a ellos, constituye un criterio definido a las tendencias que deben buscarse para obtener el mejor comportamiento de los agregados.

III.2.2. PESO ESPECIFICO, ABSORCION Y PESO VOLUMETRICO

Estas características son importantes para los estudios iniciales del concreto, ya que todos estos valores intervienen en el diseño de los proporcionamientos para las resistencias especificadas de proyecto.

Además el peso específico da una buena idea de la composición física de las partículas individuales, que a su vez proporciona datos para clasificar al agregado como ligero o pesado (NOM-C-72-1968) y para tener un indicio inicial sobre resistencia potencial. El peso volumétrico también califica al agregado en características semejantes, para este caso se refiere al conjunto de partículas en vez de a las partículas individuales.

En la NOM-C-73-1972. Se contempla la determinación del peso unitario de los agregados.

Por su parte, la absorción proporciona idea de la porosidad del material. Que estará influenciado a su vez a características tales como su densidad aparente, textura, demanda de agua y resistencia estructural.

III.2.3. SANIDAD

Esta es la capacidad del agregado para resistir cambios excesivos en volumen, como consecuencia de los cambios en condiciones físicas, estos últimos causados por variaciones ambientales tales como: Congelamiento y deshielo, cambios térmicos y estados de saturación y secado.

Existen pruebas de laboratorio (NOM-C-75-1972 determinación de la sanidad de los agregados por medio de sulfato de sodio o del sulfato de magnesio) que pretenden reproducir en forma aproximada esta condición y por consiguiente dan valores relativos que clasifican al agregado en cuanto a su resistencia contra estos agentes.

III.2.4. RESISTENCIA

Es clara la importancia que tiene la resistencia de los agregados puesto que de ella dependerá la resistencia al concreto.

Se pueden considerar dos tipos principales de resistencia en las partículas que forman el agregado que son: Resistencia a la compresión y resistencia al impacto (tenacidad). Existen métodos para valuar ambas resistencias y, aunque principalmente se utilizan para los estudios iniciales de aceptación, también se emplean para control de calidad de los agregados ya que es muy factible que se presenten variaciones de estas características, aún en un mismo banco de material.

III.2.5 RESISTENCIA AL DESGASTE

La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del agregado. Esta característica es esencial cuando el agregado se usa en concreto sujeto a desgaste como en los pisos para servicio pesado.

El método de prueba más común para la resistencia al desgaste es el método del tambor giratorio de Los Ángeles. En el cual se utiliza un recipiente que parece tambor en el cual se coloca una losa de concreto y se le agregan pequeños fragmentos de rocas y se pone a girar para que al rozar con la losa se produce un desgaste y este se mide (NOMC-196-1978). Sin embargo, la comparación de los resultados de las pruebas de desgaste de los agregados con las hechas para determinar la resistencia al desgaste del concreto no muestran una correlación directa. La resistencia al desgaste del concreto puede determinarse con más precisión mediante pruebas de desgaste en el mismo concreto.

III.2.6. REACCION ALCALI-AGREGADO (NOM-C-298-1980)

Se considera que los agregados tienen estabilidad química cuando no reaccionan químicamente con el cemento en forma peligrosa, ni sufren la influencia química de otras fuentes externas. En algunas regiones, los agregados que tienen ciertos elementos químicos reaccionan con los álcalis del cemento. Esta reacción álcali agregado puede producir expansión anormal y agrietamientos irregulares en el concreto.

Si no existen registros sobre el comportamiento del agregado y se sospecha que es inestable químicamente, existen pruebas para identificar los agregados que reaccionan con los álcalis la NOM-C-180-1971 "Métodos de prueba para la determinación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento por medio de barras de mortero"

III.3 FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que en el concreto endurecido. Las partículas de superficie rugosa o las planas y alargadas requieren más agua para Producir un

concreto manejable que los agregados redondeados o con partículas cuboides. Por tanto, las partículas del agregado que son angulares requieren más cemento para mantener la misma relación

Agua-cemento. Sin embargo, cuando la gradación es buena, tanto los agregados triturados como los no triturados generalmente dan la misma resistencia, siempre que la dosificación de cemento sea la misma.

En la siguiente tabla se resumen las características antes mencionadas.

Característica	Significado o importancia	N.O.M.	Requisitos según las especificaciones
Resistencia al desgaste	Indicador de la calidad del agregado. Para los pisos de bodegas, plataformas de carga, pavimentos	c-196-1978	Máximo porcentaje de pérdida
Resistencia a la congelación o la fusión	Estructuras sujetas al intemperismo	c-75-1972	Numero de ciclos
Estabilidad química	Resistencia y durabilidad de todos los tipos de estructuras	c-180-1971	Máxima dilatación de la barra de mortero. Los agregados no deberán reaccionar con los álcalis del cemento
Forma de la partícula y textura superficial	Manejabilidad del concreto fresco		Porcentaje máximo de piezas
Granulometría	Manejabilidad del concreto fresco. Economía	c-77-1966	Porcentaje mínimo y máximo que pasa por las cribas estándar
Peso volumétrico unitario	Cálculos para los proyectos de mezclas. Clasificación	c-73-1992	Peso unitario mínimo o máximo (concretos especiales)
Absorción y humedad superficial	Control de calidad del concreto		

III.4 SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LOS AGREGADOS.

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, carbón de piedra, lignito y algunas partículas

blandas y ligeras. La mayor parte de las especificaciones limitan las cantidades permisibles de estas sustancias en los agregados.

Los métodos de prueba para descubrir las sustancias perjudiciales, cualitativa o cuantitativamente, se dan en la siguiente tabla:

Sustancias Perjudiciales	Efectos sobre el concreto	NOM
Impurezas orgánicas	Afectan el fraguado y el endurecimiento, y pueden producir deterioramiento	C-76-1966
Materiales mas finos que la malla N° 200	Afectan la adherencia y aumentan La cantidad de agua necesaria	C-71-1967
Carbón de piedra, lignito u otros materiales ligeros	Afectan la durabilidad y pueden producir manchas y reventones	C-72-1968
Partículas blandas	Afectan la durabilidad	
Partículas frágiles	Afectan la manejabilidad y la durabilidad y pueden producir reventones	

Resumiendo las características de los agregados que afectan las propiedades del concreto tenemos:

Propiedad del Concreto

Propiedad Sobresaliente del Agregado

DURABILIDAD:

Resistencia al congelamiento y deshielo

Sanidad
 Porosidad
 Permeabilidad
 Grado de Saturación
 Resistencia a la tensión
 Textura
 Presencia de Arcilla

Propiedad del Concreto	Propiedad Sobresaliente del Agregado
Resistencia al mojado y secado	Estructura de los Poros Módulo de elasticidad
Resistencia al calentamiento y enfriamiento	Coefficiente de expansión térmica
Resistencia a la abrasión	Dureza
Reacción álcali-agregados	Presencia de ciertos componentes Silícicos
RESISTENCIA:	Resistencia Textura superficial Limpieza Forma de la partícula Tamaño máximo
CONTRACCION:	Módulo de elasticidad Forma de la partícula Granulometría Limpieza Tamaño máximo Porcentaje de arcilla
COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA:	Coefficiente de expansión térmica Modulo de elasticidad
CONDUCTIVIDAD TERMICA:	Conductividad térmica
CALOR ESPECIFICO:	Calor específico

Propiedad del Concreto

Propiedad Sobresaliente del Agregado

PESO VOLUMETRICO:

Densidad
Forma de la partícula
Granulometría
Tamaño máximo

MODULO DE ELASTICIDAD:

Modulo de elasticidad
Relación de Poisson

DESLIZAMIENTO:

Tendencia al pulimento

ECONOMIA:

Forma de la partícula
Granulometría
Tamaño máximo
Cantidad de procesamiento
Disponibilidad

CAPITULO IV
CONTROL DE CALIDAD DEL
CONCRETO.

CAPITULO IV

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

IV. 1 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL CONCRETO FRESCO.

Para continuar con la finalidad de proporcionar al profesional, herramientas para el mejor conocimiento del concreto, así como para tener bases mas firmes para la interpretación de los resultados de ensayos de resistencia a compresión del mismo, daremos un pequeño repaso a las características principales del concreto fresco.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Entre las principales características del concreto fresco podemos considerar las siguientes:

IV.1.1. UNIFORMIDAD

Considerando que el concreto es un material heterogéneo que se produce mezclando diversos componentes en cantidades establecidas, es necesario que esta mezcla sea uniforme de buena cohesión y no segregable. Para que esto ocurra se requiere conjugar dos condiciones indispensables:

Que la mezcla este correctamente diseñada y con la consistencia adecuada a las condiciones de ejecución de la obra

Que se utilicen equipos y procedimientos de elaboración y colocación adecuados.

IV.1.2. TRABAJABILIDAD

Podemos definir el término "trabajabilidad" de un concreto como la facilidad que presenta para ser transportado, colocado y compactado. Es importante hacer notar que esta trabajabilidad es relativa: Un concreto trabajable para una presa puede no ser trabajable para una columna. Con base en esta definición se llega a la conclusión que no se conoce ningún procedimiento de ensaye que la mida directamente, sin embargo existen algunos que pueden proporcionar información útil dentro de intervalos razonables de variación.

IV.1.3. SEGREGACION Y SANGRADO

NOM-C-296-1980 Industria de la Construcción, concreto, determinación del sangrado.

Se conoce como segregación a la separación de los elementos que forman una mezcla heterogénea de modo que su distribución deje de ser uniforme. En el concreto se presenta debido a la diferencia de tamaño de las partículas de los agregados y a la densidad de los **componentes**. Ya que si hay mucha diferencia en los tamaños la hay en los pesos y los más pesados por efecto de la gravedad suelen ir a las partes más bajas de la mezcla.

El sangrado es una forma de segregación en la cual una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colocado.

IV.1.4. FRAGUADO

Se entiende por fraguado al cambio de un fluido al estado rígido. En concreto se emplea para describir la rigidez de la mezcla. En forma arbitraria para el concreto, se emplean dos términos: Fraguado inicial y Fraguado final. Se dice que el concreto alcanza el Fraguado inicial cuando su resistencia a la penetración es de (35 kg/cm²): el Fraguado final se alcanza cuando la resistencia a la penetración es de (280 kg/cm²).

Estas características son muy importantes, ya que para formar criterios de aceptación o rechazo es necesario conocer las mediante las pruebas que se realizan a dicho concreto fresco.

Estas pruebas se ubican dentro del Proceso de Control del Concreto Fresco, el cual puede dividirse en dos etapas, la primera que consiste en aquellos trabajos o verificaciones que se realizan previo o durante la elaboración del concreto y la segunda etapa que componen dichos ensayos o determinaciones que se realizan al concreto ya elaborado.

PRIMERA ETAPA

Los **trabajos de esta etapa consisten** básicamente de los siguientes pasos:

a) Verificación del funcionamiento y precisión de los equipos de dosificación y mezclado.

La verificación de los equipos de dosificación y mezclado, se realiza mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-C-155-1984 la cual presenta las siguientes especificaciones para el equipo de las Plantas dosificadoras.

Depósito y tolvas Las plantas dosificadoras deben estar provistas de depósitos con compartimiento separados, adecuados para el agregado fino y para cada uno de los tamaños de agregado grueso utilizado. Cada compartimiento del depósito debe ser marcado y operado en tal forma que la descarga a la tolva pesadora sea eficiente, libre y con una segregación mínima. Se debe contar con instrumentos de control, que pueden interrumpir la descarga del material en el momento que la tolva-bascula contenga la cantidad deseada. Esta tolva debe permitir acumulación de residuos y de materiales que puedan modificar la tara.

Bascula

Debe tener una precisión tal que al calibrarse con carga estática la tolerancia sea de + 0.4% de su capacidad total.

Las básculas para dosificar los ingredientes para el concreto pueden ser de balancín o de carátula, sin resortes. Se pueden aceptar otros equipos (eléctricos, hidráulicos, celdas de carga), diferentes a las básculas de balancín o de carátulas, sin resortes, siempre y cuando cumplan con las tolerancias señaladas.

Para la verificación y calibración de las básculas se requiere de taras normalizadas. Se debe mantener limpios todos los puntos de apoyo, abrazaderas y partes de trabajo similares de la báscula. Las básculas de balancín deben estar equipadas con un indicador suficientemente sensible para mostrar movimientos cuando una masa igual al 0.1% de la capacidad nominal de la báscula se coloque en la tolva-pesadora. La separación entre dos marcas debe ser cuando menos del 5% de la capacidad neta del brazo en su primera aproximación y del 4% del brazo menor en la segunda aproximación.

Medidores de agua

Los aparatos para la medición del agua añadida deben ser capaces de proporcionar a la revoltura la cantidad requerida. Deben estar arreglados de tal forma que las mediciones no sean afectadas por variaciones de presión en la tubería de abastecimiento del agua y los tanques de medición deben estar equipados con vertederos y válvulas para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque.

Medidores de aditivos

El equipo de medición del aditivo debe proporcionar a la revoltura la cantidad requerida y debe contar con válvulas y vertederos para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de aditivo en el dispositivo.

Mezcladoras y revolvedoras

Las mezcladoras pueden ser estacionarias o camiones -mezcladores y/o agitador.

El concreto debe ser mezclado por medio de los requisitos de uniformidad de mezclado del concreto indicados en la siguiente tabla. La, aprobación de la mezcladora puede ser otorgada da con el cumplimiento de cuatro pruebas de las cinco indicadas en dicha tabla.

PRUEBA

DIFERENCIA MAXIMA
PERMISIBLE ENTRE
RESULTADOS DE PRUEBA CON
MUESTRAS OBTENIDAS DE DOS
PORCIONES DIFERENTES DE LA
DESCARGA (*).

1. Peso volumétrico (Determinado según la Norma NOM-C-162 en Kgjm3).	15 Kg/m ³
2. Contenido de aire en % del volumen del concreto (determinado según Norma NOM-C-157) para concretos con aire incluido.	1 %
3. Revenimiento: Si el revenimiento promedio es menor de 5 cm.	1.5 cm.
Sí el revenimiento promedio está comprendido entre 5 y lo cm.	2.5 cm.
Si el revenimiento promedio es superior a 10 cm.	3.5 cm.
4. Contenido del agregado grueso retenido en la criba M 1.7 expresado en 1 del Peso de la muestra.	6 %
5. Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra. Expresado en % (**).	7.5 %

(*) Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla deben obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga. (Principio Del 10 al 15%; Final del 85* al 90% del volumen).

(**) La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada en - tanto se obtengan los resultados de la prueba de Resistencia.

b) Tolerancias en la medida de los materiales.

CEMENTO

El cemento debe ser pesado en una tolva-báscula. Cuando la cantidad de cemento de una revoltura de concreto sea igual o exceda al 30% de la capacidad total de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 1\%$ de la masa requerida. Para revolturas menores donde la cantidad de cemento es menor del 30% de la capacidad total de la tolva-báscula, la cantidad de cemento Pesado no debe ser menor que la requerida, ni mayor que 4%.

AGREGADOS

Cuando los agregados se les determine individualmente su masa, la cantidad indicada por la tolva-báscula debe tener una tolerancia de $\pm 2\%$ de la masa requerida. Cuando a los agregados se les determine su masa en forma acumulativa y su masa sea del 30% o más de la capacidad de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 1\%$ y si la masa es menor del 30%, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 0.3\%$ de la capacidad total de la báscula o de $\pm 3\%$ de la masa requerida acumulada, aceptando el valor que sea menor. En la masa de los materiales, se debe tomar en cuenta la humedad, y la absorción de los agregados.

AGUA

En el agua de mezclado se considera el agua que se adiciona a la revoltura, el hielo que se le agrega, el agua que esté en forma de humedad superficial en los agregados y el agua agregada con los aditivos. El agua agregada debe ser medida por masa o por volumen con una tolerancia de $\pm 1\%$. Al hielo agregado se le determina su masa. En el caso de camiones mezcladores, cualquier agua de lavado retenida en la olla para usarla en la siguiente revoltura de concreto se mide con precisión. Si esto no es práctico o es imposible, el agua de lavado se debe eliminar de la olla antes de cargar la siguiente revoltura de concreto. El agua de mezclado, cuando incluye el agua de lavado, se mide o se determina su masa con una tolerancia de $\pm 3\%$ de la cantidad calculada.

ADITIVOS

A las puzolanas, cenizas volátiles y aditivos en polvo se les dosifica por masa y a los aditivos en pasta o líquidos se pueden dosificar, por masa o por volumen con una tolerancia de $\pm 3\%$ de la cantidad requerida.

SEGUNDA ETAPA

En esta etapa es necesario conocer las características del concreto fresco mediante la realización de pruebas al concreto elaborado.

TRABAJABILIDAD

Como se mencionó anteriormente, aún cuando no exista un procedimiento de ensaye que mida directamente la trabajabilidad existen algunos que proporcionan información útil , entre los mas conocidos tenemos los siguientes:

REVENIMIENTO

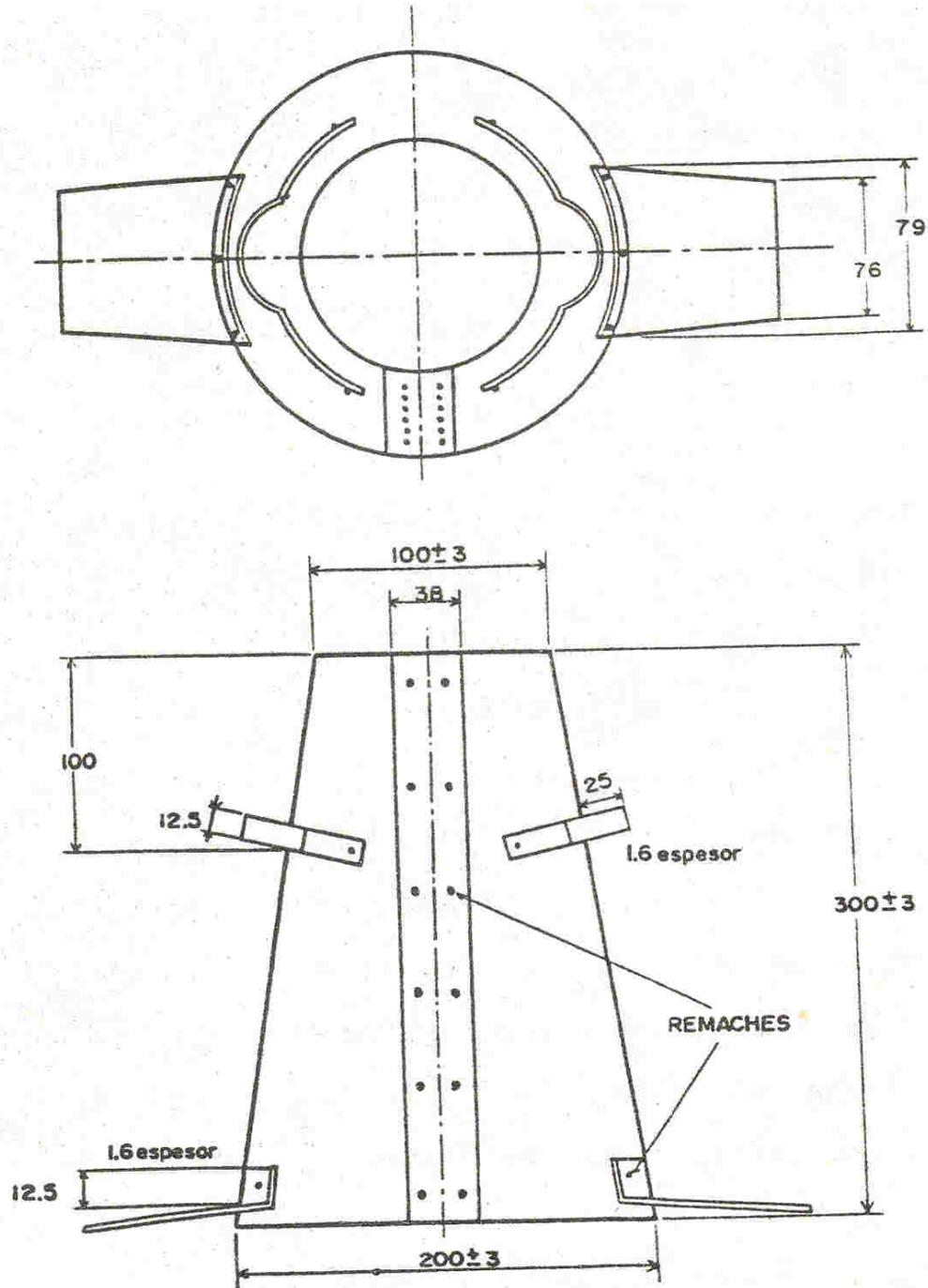
NOM-C-156-1980 Determinación del revenimiento del concreto fresco.

El ensaye que con mayor frecuencia se realiza en las obras, es la determinación rutinaria de la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, esto es debido principalmente a su facilidad y al hecho de que se obtienen resultados inmediatos. Se puede considerar al valor del revenimiento como indicativo de la uniformidad en la relación agua-cemento, **para una relación grava-arena determinada**. La variación en el revenimiento es con frecuencia un medio para detectar variaciones en la relación agua-cemento, por lo que es posible utilizar esta prueba como un criterio para la aceptación o rechazo del concreto fresco, desde el punto de vista de las variaciones que esto podría ocasionar en la resistencia, además de los efectos que puede ocasionar en los procesos de transporte, colocación, compactación y acabado del concreto en la estructura.

La Norma Oficial Mexicana NOM-C-156-1980 da la definición de Revenimiento como sigue:

Revenimiento es la medida de consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado, de un cono truncado de concreto fresco de dimensiones específicas, las cuales se muestran en la Fig. IV.1.

El equipo que se especifica para esta prueba es- Molde metálico, varilla de acero de sección circular, recta, lisa, de 16 mm. de diámetro aproximadamente 600 mm. de longitud, con uno de los extremos redondeados hemisféricamente con un radio de 8 mm. Equipo de cribado (malla 38 mm). y herramienta manual, como palas, cucharas, llanas metálicas y guantes de hule.



CONO METALICO

FIG IV.1 EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DEL REVENIMIENTO

En la NOM-C-155-1984 '«Concreto Premezclado y ASTM-C-94, en el se establecen las siguientes tolerancias en la medida del revenimiento.

Revenimiento Especificado	Tolerancia	
	NÚM.	ASTM
Hasta 5 cm.	± 1.5 cm.	± 1.3 cm.
Mis de 5 hasta 10 cm.	± 2.5 cm.	± 2.5 cm.
Más de 10 cm.	± 3.5 cm.	± 3.8 cm.

FACTOR DE COMPACTACION

Puede decirse que la prueba del factor de compactación es el método más confiable para medir la trabajabilidad del concreto. Consiste en determinar el grado de compactación alcanzado por una cantidad estándar de trabajo. El grado de compactación, llamado factor de compactación, se mide mediante la relación de peso específico, es decir, el cociente del peso específico realmente obtenido en la prueba entre el peso específico del mismo concreto totalmente compactado.

En la fig. IV.2 se muestra un aparato común para medir el factor de compactación. Su empleo es poco frecuente debido al tamaño del equipo y solamente se usa en laboratorios de - investigación o de algunas obras de gran tamaño. Para concretos con agregado hasta 19 mm., la altura del aparato es de aproximadamente 1.20 m.; para concreto con agregados de 19 a 28 mm. (3/4" a 1 1/2") debe usarse un aparato mayor, el cual tiene aproximadamente 1.8 m. de altura.

Para concretos de consistencia seca se obtienen resultados mas confiables que con la prueba de revenimiento.

ESFERA DE KELLY

Esta es una prueba más sencilla y rápida de realizar - que la del revenimiento, sin embargo en nuestro medio no se ha generalizado su uso. El método consiste en medir la penetración en el concreto de una esfera de 3" de radio y 30 lb., de peso. A fin de evitar efectos de frontera, la profundidad del -concreto que se prueba no debe ser menor de 20 cm., y la menor dimensión lateral de 46 cm. No existe una correlación directamente esta prueba y la de revenimiento ya que ninguna de las pruebas miden propiedades básicas del concreto. En la fig.III.3 se muestra este equipo.

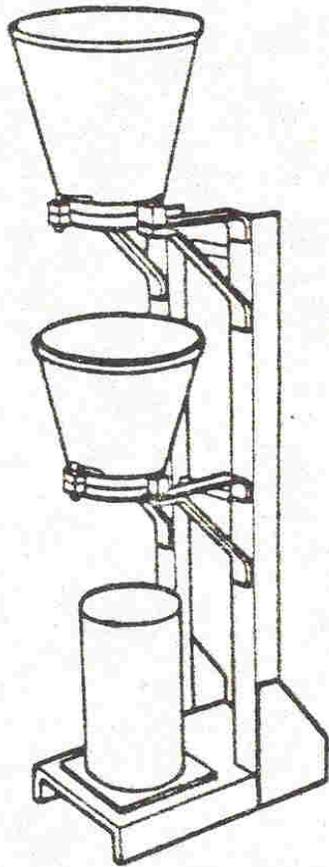


FIG. IV.2 APARATO PARA MEDIR EL FACTOR DE COMPACTACION

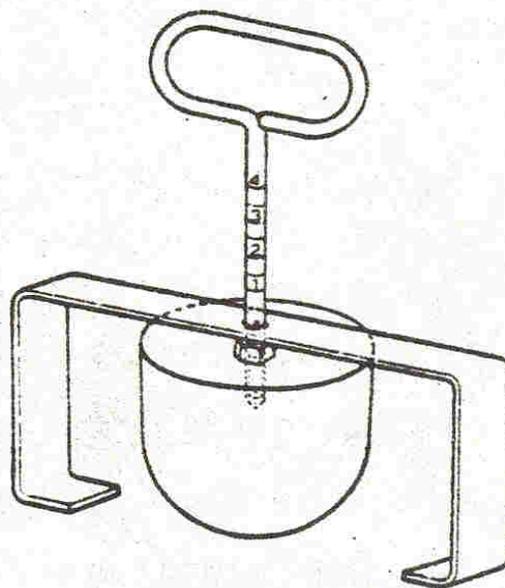


FIG. IV.3
ESFERA DE KELLY

PRUEBA DE REMOLDEO DE POWERS.

En esta prueba se mide la trabajabilidad en función del esfuerzo realizado para cambiar la forma de una muestra de concreto; esto es, de la forma de un cono truncado (cono de revenimiento) a la de un cilindro. Se realiza mediante una mesa de fluidez (fig. IV.4) y al esfuerzo realizado se expresa por el número de Impactos o golpes que se requieren. Esta prueba se considera de laboratorio exclusivamente.

PRUEBA VEBE

Al igual que la anterior es un procedimiento de remoldeo. para lo cual se ocupa una mesa vibratoria (fig. IV.5) en lugar de la mesa de fluidez. Se cuantifica la trabajabilidad como el tiempo en que este remoldeo se realiza. Por ser un juicio visual, la dificultad de establecer el final de la prueba puede ser una fuente de error.

CONTENIDO DE AIRE

Esta determinación se realiza básicamente en aquellos casos en los cuales se emplean aditivos inclusores de aire. principalmente en zonas con climas extremos en donde es necesario proteger al concreto de los efectos de hielo y deshielo.

TIEMPO DE FRAGUADO

Entre las pruebas que se realizan al concreto fresco, tal vez a la que menos atención se le presta, es la determinación de tiempos de fraguado, aún cuando es una prueba que debe considerarse como importante, principalmente en aquellos casos en los cuales se emplean aditivos.

PESO VOLUMETRICO

Este tipo de determinación se efectúa principalmente durante el control de producción de concreto con objeto de calcular los rendimientos. En algunas ocasiones, en estructuras **especiales**, se fijan límites máximos o mínimos, haciendo necesario en este caso para fines de control efectuar determinaciones.

ANALISIS DEL CONCRETO FRESCO

En la actualidad, principalmente en obras de gran magnitud, se realiza la determinación de la composición del concreto para conocer básicamente la relación agua-cemento o simplemente el consumo de cemento. Pueden ser dos

los objetivos que se buscan con la realización de estas pruebas; el primero de ellos es con fines de controlar la producción del concreto conociendo los consumos reales de cemento; el segundo objetivo es emplearlo como un procedimiento acelerado para predecir la resistencia del concreto mediante la determinación de la relación agua-cemento.

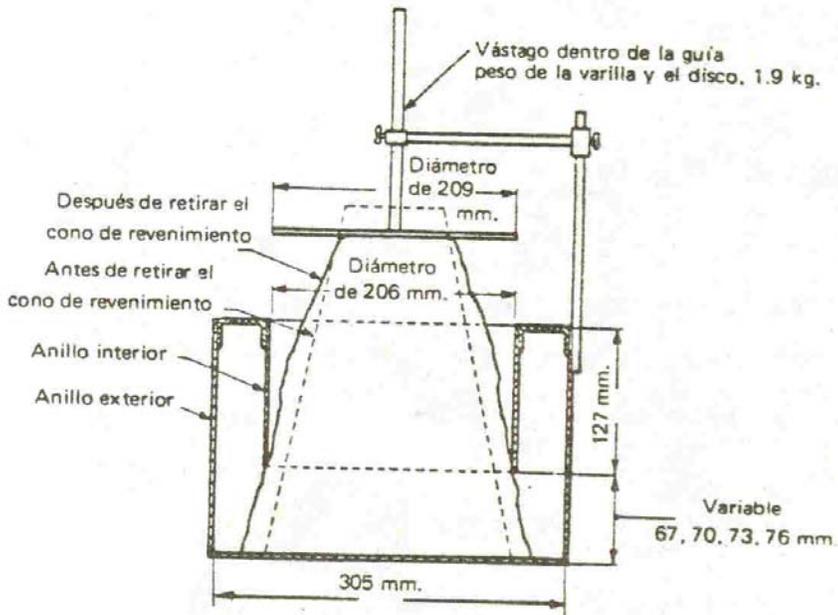


FIG. IV.4 APARATO PARA LA PRUEBA DE REMOLDEO

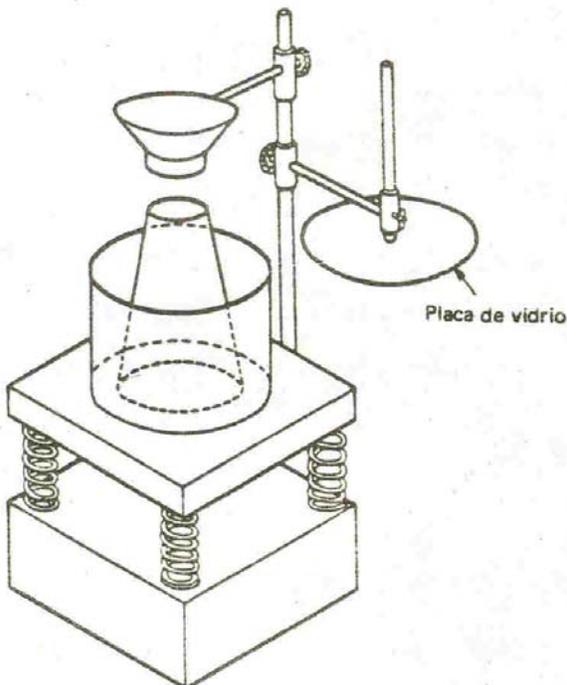


FIG. IV.5
APARATO VEBE

IV.2 PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES GENERALES DEL CONCRETO ENDURECIDO

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto tiende a aumentar su resistencia y en general, a mejorar sus características, con la edad.

Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente después del colado. Por lo tanto, las propiedades del concreto endurecido, dependen generalmente de las condiciones de curado a través del tiempo, no obstante como veremos más adelante, existen otros factores que afectan a éstas.

Las principales propiedades y características del concreto endurecido, son las siguientes:

- Resistencia a la Compresión Simple
- Resistencia a la Tensión
- Resistencia a la Flexión
- Resistencia al Esfuerzo Cortante
- Resistencia a la Compresión Triaxial
- Resistencia a la Torsión
- Resistencia al Impacto
- Resistencia a la Fatiga
- Resistencia al Intemperismo
- Resistencia a la Abrasión
- Resistencia al Fuego
- Adherencia
- Permeabilidad
- Durabilidad
- Conductividad Térmica y Acústica
- Flujo Plástico
- Absorción de Radiaciones
- Contracción por Hidratación del Cemento
- Contracción por Secado
- Expansión por Saturación
- Expansión por Reacción Química
- Expansión Térmica
- Módulo de Elasticidad a la Compresión
- Módulo de Elasticidad al Esfuerzo Cortante
- Coefficiente de Poisson
- etc.

De éstas la resistencia del concreto endurecido, se considera como su propiedad más importante, sin embargo, en algunos casos especiales, otras propiedades,

tales como: impermeabilidad, durabilidad, conductividad térmica, etc., pueden resultar más valiosas. Además, muchas de las características deseables del concreto, aunque no todas, se relacionan cualitativamente con su resistencia a la compresión, ya que ésta ofrece un panorama general de la calidad del concreto, porque está relacionada directamente con la estructura de la pasta de cemento endurecido. Sin embargo, la razón principal consiste en la importancia intrínseca que tiene dicha resistencia en el comportamiento de las estructuras de concreto, bajo la gama total de sollicitaciones a que pueden quedar sujetas.

Para determinar las características antes indicadas las pruebas de concreto endurecido pueden clasificarse en: ENSAYES DESTRUCTIVOS Y ENSAYES NO DESTRUCTIVOS, Las pruebas destructivas, se han venido usando desde hace muchos años, sin embargo, hasta la fecha no existe una prueba de este tipo que sea mundialmente aceptada; de aquí, que en diversos países se utilizan distintos métodos y técnicas. Por lo que respecta a pruebas no destructivas, establecen posible probar repetidamente la misma muestra, y consecuentemente, estudiar la variación de las propiedades del concreto con el paso del tiempo,

A continuación se describen brevemente las pruebas de concreto endurecido que se usan comúnmente en nuestro medio; de éstas las Pruebas Destructivas más comunes son Prueba a la Compresión Simple, Prueba de Flexión, Prueba Brasileña de Tensión; las Pruebas No Destructivas más comunes son: Prueba del Martillo de Rebote (Esclerómetro), Prueba de Resistencia a la Penetración (Pistola Windior), Prueba de Pulso Ultrasónico, Prueba de corazones extraídos del Concreto Endurecido y Prueba de Extracción (Pull,Out) en Concreto Endurecido, los tres últimos tipos de, pruebas son consideradas, por algunos autores como pruebas semidestructivas.

IV.2.1. PRUEBA DE FLEXION

El índice de resistencia a la flexión de concreto simple se obtiene del ensaye de vigas de sección cuadrada, simplemente apoyadas y sujetas a una o dos cargas concentradas, como puede observarse en la figura IV.6. Como en el caso de Pruebas de resistencia a la compresión, (NOM-C-84-1966) existen Normas en las cuales se especifica también el modo de muestreo, el curado y las condiciones del ensaye, en nuestro medio, las normas **usuales están basadas**, entre otras, en las NOM-C-161-1974, C-160-1976.

La resistencia en la flexión es mayor en especímenes sujetos a una carga concentrada que en aquellos sujetos a dos cargas simétricas porque en el segundo caso la zona de esfuerzos máximos se presentan en una porción mayor del espécimen, lo que aumenta las posibilidades de que una región de menor resistencia que la promedio se encuentre en dicha zona: como puede observarse

en la figura IV.7, donde se presentan los resultados de módulos de ruptura de vigas de diferentes tamaños, sometidas a cargas concentradas en el centro y a los tercios del claro.

La resistencia a la flexión (NOM-C-191-1978) se usa como índice de la resistencia de pavimentación de concreto simple. No obstante, el prisma de concreto simple se usa también para medir la resistencia del concreto en tensión (modulo de ruptura) originada por flexión.

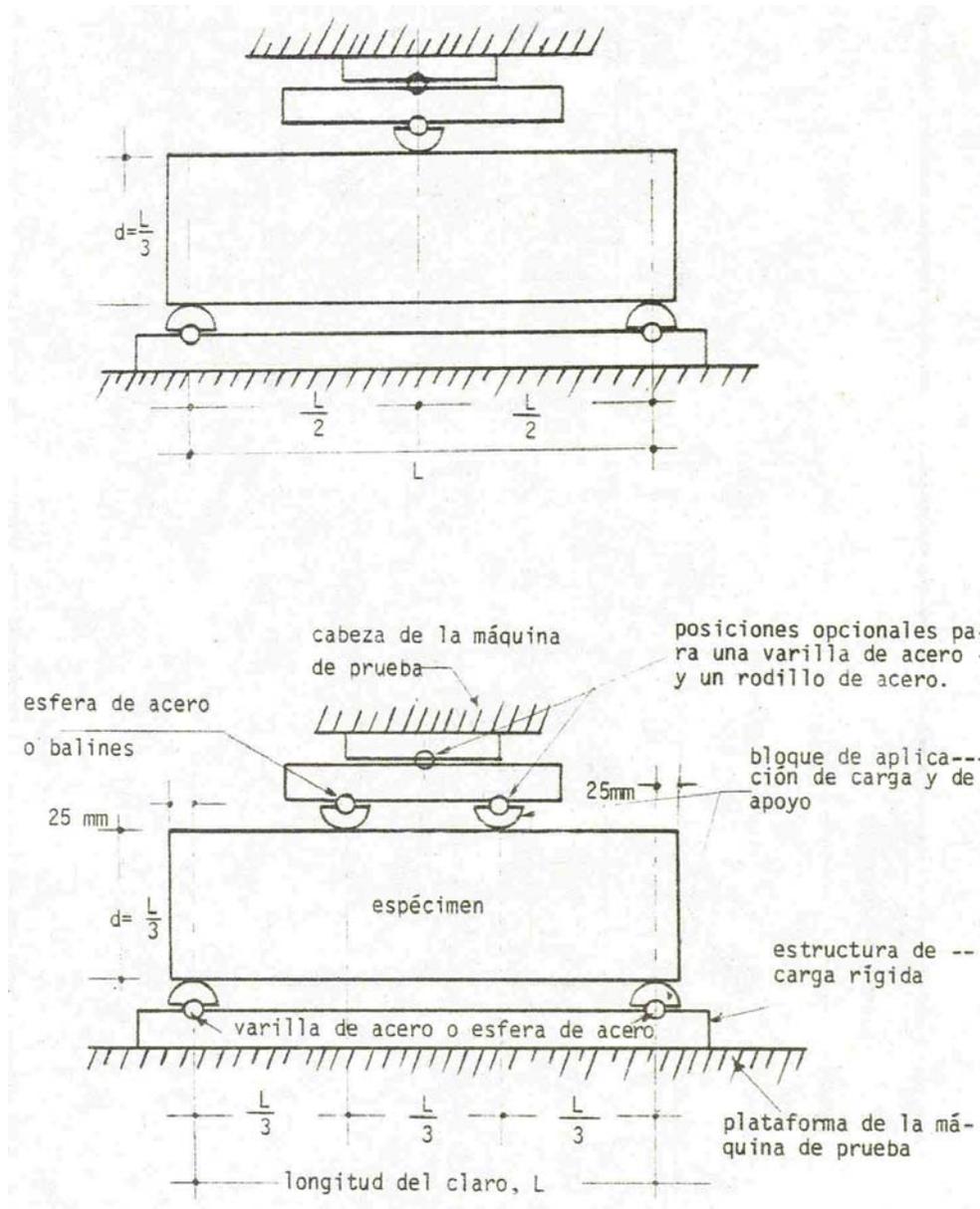


FIG. IV.6 EQUIPO PARA ENSAYAR A FLEXION POR EL METODO DE CARGA EN LOS TERCIOS Y AL CENTRO DEL CLARO

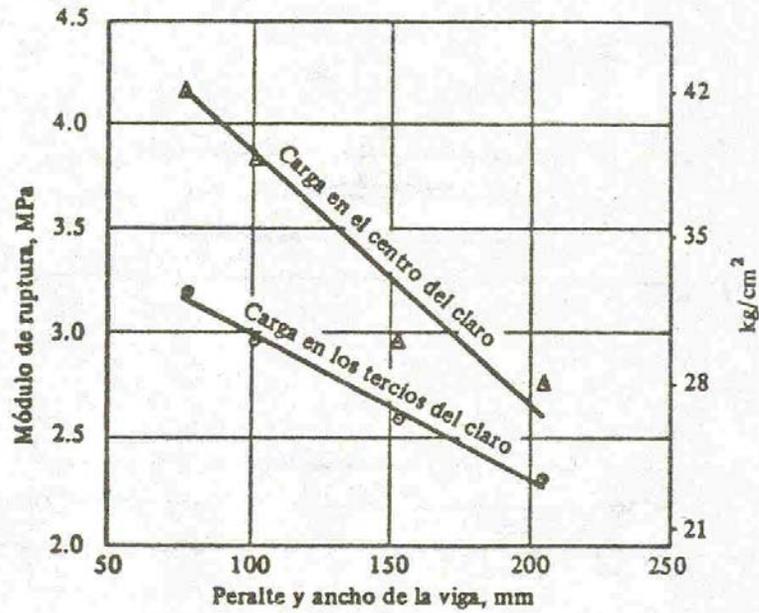


FIG. IV.7 MODULO DE RUPTURA DE VIGAS DE DIFERENTES TAMAÑOS

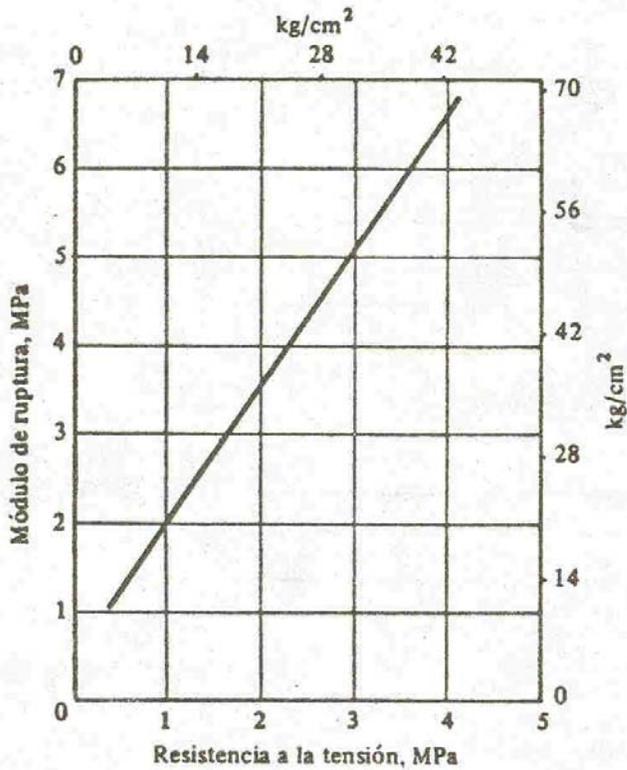


FIG. IV.7
RELACION ENTRE MODULO DE RUPTURA Y LA RESISTENCIA EN TENSIÓN DIRECTA

IV.2.2. PRUEBA BRASILEÑA DE TENSION

Esta prueba es utilizada debido a las dificultades que existen para realizar un ensaye en tensión uniaxial, tensión pura.

Por lo tanto un método indirecto de aplicar la tensión en forma de separación longitudinal, es la prueba brasileña, llamada así por deberse a Fernando Carneiro, de Brasil, aun cuando independientemente, también se desarrolló en Japón. En esta prueba, un cilindro de concreto de los que se utilizan para las pruebas de compresión se coloca con su eje en posición horizontal entre las platinas de una máquina de prueba, y se aumenta la carga hasta observar una falla de separación por compresión a lo largo del diámetro vertical.

En esencia consiste en someter un cilindro a compresión lineal diametral, como se muestra en la figura IV.8. la carga se aplica a través de un material relativamente suave, como triplay o corcho. Si el material fuera perfectamente elástico, se originarían esfuerzos de tensión uniformemente distribuidos en la mayor parte del plano diametral de carga. Como se muestra en la figura IV.8. La resistencia en tensión se calcula con la expresión.

$$F_t = \frac{2p}{DL}$$

Dónde

- P - Carga máxima
- D - Diámetro del espécimen
- L = Longitud del espécimen

El muestreo, curado y ensaye de los especimenes, deberá realizarse de acuerdo con las Normas establecidas, que para esta prueba están basadas.

La prueba brasileña se basa en la NOM-C-163-1978 (determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto), es fácil de efectuar y produce resultados más uniformes que otras pruebas de tensión. La resistencia determinada en la prueba brasileña es, según se cree más apegada a la verdadera resistencia a la tensión del concreto que en el módulo de ruptura; la resistencia a la tensión longitudinal es del 5 al 12% más alta que la resistencia a la tensión directa. Otra de las ventajas de la prueba brasileña consiste en que se puede usar el mismo tipo de muestra para las pruebas de compresión y de tensión.

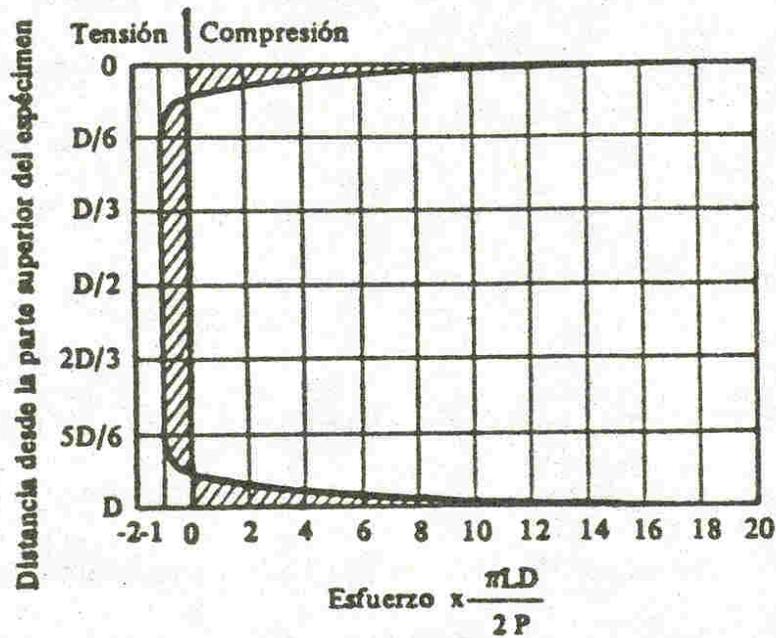
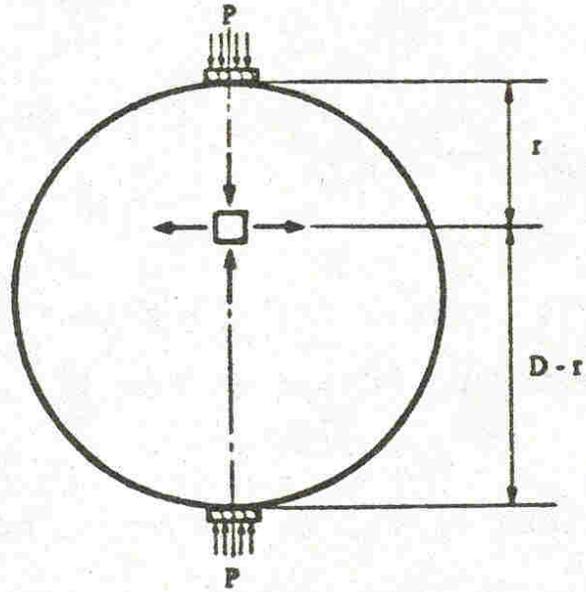


FIG. IV.8 DISTRIBUCION DEL ESFUERZO HORIZONTAL EN UN CILINDRO CARGADO SOBRE UN ANCHO IGUAL A $\frac{1}{2}$ DEL DIAMETRO

RESISTENCIA A LA COMPRESION

En virtud que la resistencia a la compresión del concreto, es la característica que se utiliza normalmente para definir la calidad de este, hablaremos de las pruebas principales que se utilizan para medirla.

IV.2.3. PRUEBAS DE CORAZONES

Cuando por algún motivo existen dudas sobre la resistencia de un elemento de concreto, se procede a extraer un corazón por medio de una herramienta cortante giratoria con diamante en sus bordes, estos especímenes pueden ser cilindros o prismas. dependiendo si se requieren para determinar la resistencia a la compresión o a la flexión, respectivamente.

Como en los casos anteriores, existe una Norma que especifica el modo de obtención, preparación y ensaye de especímenes de concreto endurecido para ensaye de resistencia a la compresión y flexión.

La resistencia de los corazones es, en general, inferior a la de los cilindros estándar de laboratorio, porque el curado en la obra es siempre de menor calidad que el curado bajo condiciones estándar de humedad en laboratorio. Además, la relación de la resistencia de corazones a la resistencia de cilindros estándar de laboratorio (de la misma - edad) no es constante, sino que decrece al aumentar el nivel de resistencia del cilindro.

IV.2.4. PRUEBA DEL MARTILLO DE REBOTE

Se han realizado diversos intentos para elaborar pruebas no destructivas, pero pocas han tenido éxito, Uno de los métodos que se le ha encontrado aceptación práctica, dentro de alcances limitados, es el de martillo de rebote, una prueba se llama también prueba de martillo de impacto o del esclerometro; en la figura IV.9 se muestra un esquema de éste.

Esta prueba se basa en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie en contra de la cual la masa incide. En la prueba del martillo de rebote, una masa impulsada por medio de un resorte recibe una determinada cantidad de energía al extender el resorte a una posición constante; esto se lleva a cabo al presionar el émbolo contra la superficie del concreto por probar. Al ser liberada la masa, rebota al émbolo que sigue en contacto con la superficie de concreto, y la distancia recorrida por la masa, que se expresa como porcentaje de la extensión inicial del resorte, se llama número de

rebote, este número queda señalado por un indicador móvil sobre una escala graduada.

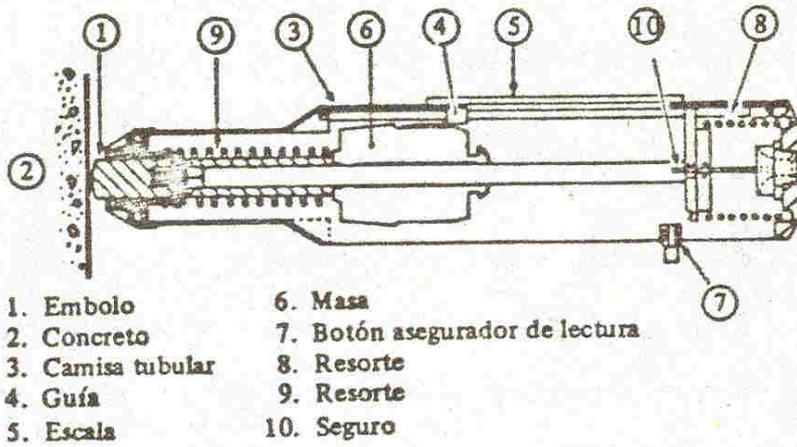


FIG. IV 9 MARTILLO DE REBOTE

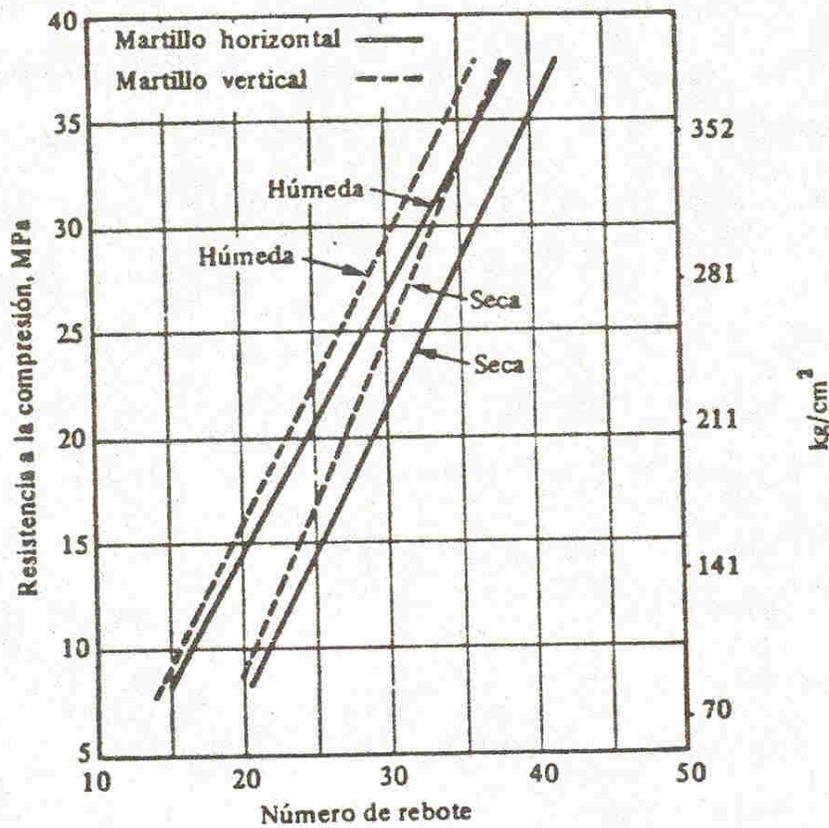


FIG. IV. 10 RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS Y EL NUMERO DE REBOTE, PARA LECTURAS DE MARTILLO EN POSICIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL, SOBRE UNA SUPERFICIE DE CONCRETO HUMEDA Y SECA.

Esta prueba determina, en realidad, la dureza de la superficie de concreto y, aún cuando no existe una relación simple entre la dureza y la resistencia del concreto, se puede determinar relaciones empíricas para concretos similares, como la mostrada en la figura IV.10 y IV.11, donde podemos observar, que el número de rebote se ve afectado por factores tales como grado de saturación de la superficie, entre otros.

Esta prueba tiene carácter tan solo comparativo. y no se justifican las afirmaciones de algunos fabricantes de que el número de rebote puede convertirse directamente a un valor de resistencia a la compresión. De cualquier manera. la prueba es útil como medida de la uniformidad del concreto y tiene gran valor para verificar la calidad del material sobre toda una estructura, es especial cuando se cuenta con una correlación entre el número de rebote y la resistencia a la compresión, determinadas en pruebas destructivas del mismo tipo de concreto. Una utilidad más es, durante la construcción de una estructura de concreto, probar con el martillo para determinar si el número de rebote alcanza un valor que se conoce como correspondiente a la resistencia deseada.

IV.2.5. PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PENETRACION

Mediante la prueba con Pistola Windsor o de resistencia a la penetración, es posible calcular la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de un proyectil metálico impulsado por una carga estándar de pólvora. El principio básico es que, la penetración es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto, pero, en la escala de Mohs debe determinarse la dureza del agregado y esto no presenta dificultad. Hay cuadros publicados de la resistencia vs. la penetración (o longitud del sondeo expuesto) para agregados con dureza entre 3 y 7 en la escala, pero en la práctica la resistencia a la penetración debe relacionarse con la resistencia a la compresión de muestras de prueba estándar o corazones del concreto utilizado, En la figura IV,8 aparece una relación característica, Debe tenerse presente que la prueba mide básicamente la dureza, y no puede producir valores absolutos de resistencia. pero resulta de gran utilidad para determinar la resistencia relativa, es decir para comparaciones.

La prueba de resistencia a la penetración es por lo menos en parte, superior a la prueba del martillo de rebote, porque la medida no se limita a la superficie del concreto, sino en su profundidad: el Proyectil, fractura el agregado y comprime el material en el cual se introduce.

Los sondeos se hacen en grupos de tres en estrecha vecindad, y la penetración promedio se utiliza para estimar la resistencia.

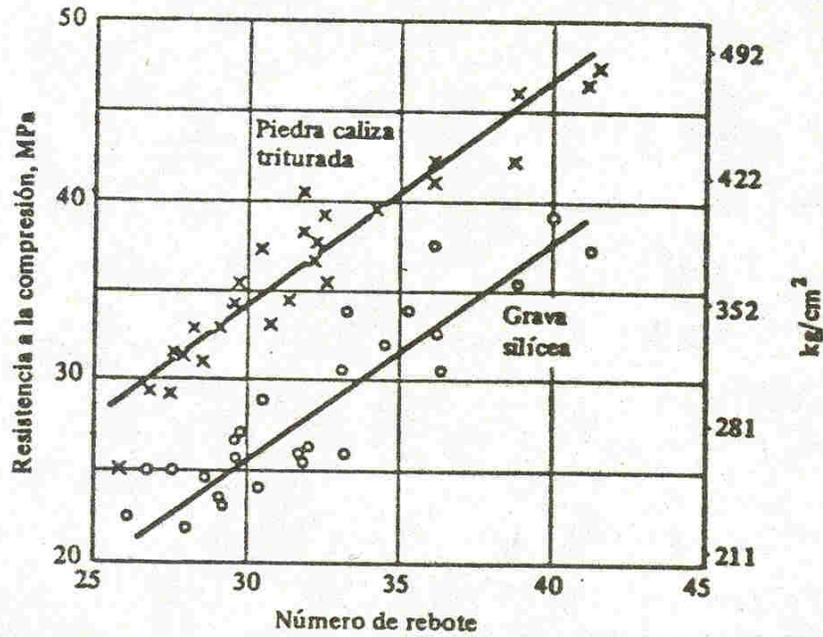


FIG. IV. 11 RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL NUMERO DE REBOTE.

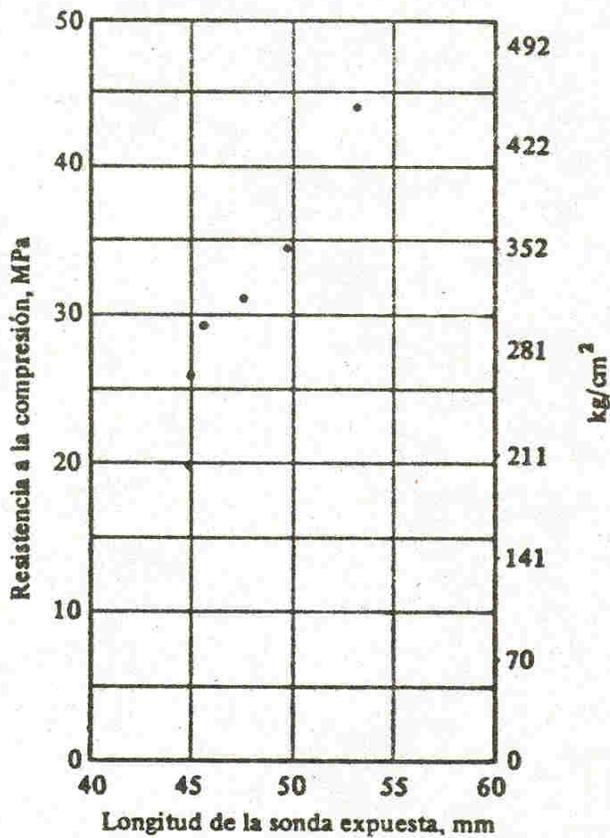


FIG IV. 12
RELACION ENTRE LA LONGITUD EXPUESTA DE LA SONDA Y LA RESISTENCIA DE CUBOS ASERRADOS DE 152 mm. A LA EDAD DE 35 DIAS.

IV.2.6 PRUEBA DE PULSO ULTRASONICO

Aunque no existe una relación directa entre la velocidad de onda longitudinal en el concreto y la resistencia de éste, las dos cantidades si tienen una relación directa con el peso específico del concreto. Por lo tanto, una disminución en el peso específico ocasionada por un aumento en la relación agua / cemento reduce tanto la resistencia a la compresión del concreto como la velocidad de un pulso transmitido a través de él.

La velocidad de onda no se determina directamente, si no se calcula a partir del tiempo que tarda un pulso en recorrer una distancia medida. Este pulso ultrasónico, se mide mediante un aparato de pulso ultrasónico, como el representado esquemáticamente en la figura IV.13. y cuya técnica se describe en la Norma B.S 4408: parte 5.

El transductor está en contacto con el concreto, de modo que las vibraciones viajan a través de él y son recogidas por otro transductor en contacto con la cara opuesta de la muestra probada. Normalmente, se pueden probar concretos de 0.1 a 2.5 m de espesor, sin embargo, se han efectuado pruebas de concretos con espesor hasta de 15 m.

La técnica de velocidad de un pulso ultrasónico se usa como medio de control de calidad en productos que supuestamente están elaborados de concretos semejantes, así, se detectan con facilidad la falta de compactación y un cambio en la relación agua / cemento. Sin embargo, la técnica no se puede emplear para determinar la resistencia en concretos elaborados con distintos materiales en proporciones desconocidas, no obstante, es posible hacer una clasificación de la calidad del concreto, como la mostrada en la tabla de la fig. IV. 14.

Además del control de la calidad del concreto, las medidas de pulso ultrasónico pueden usarse para detectar el desarrollo de grietas, oquedades y deterioro en el concreto endurecido.

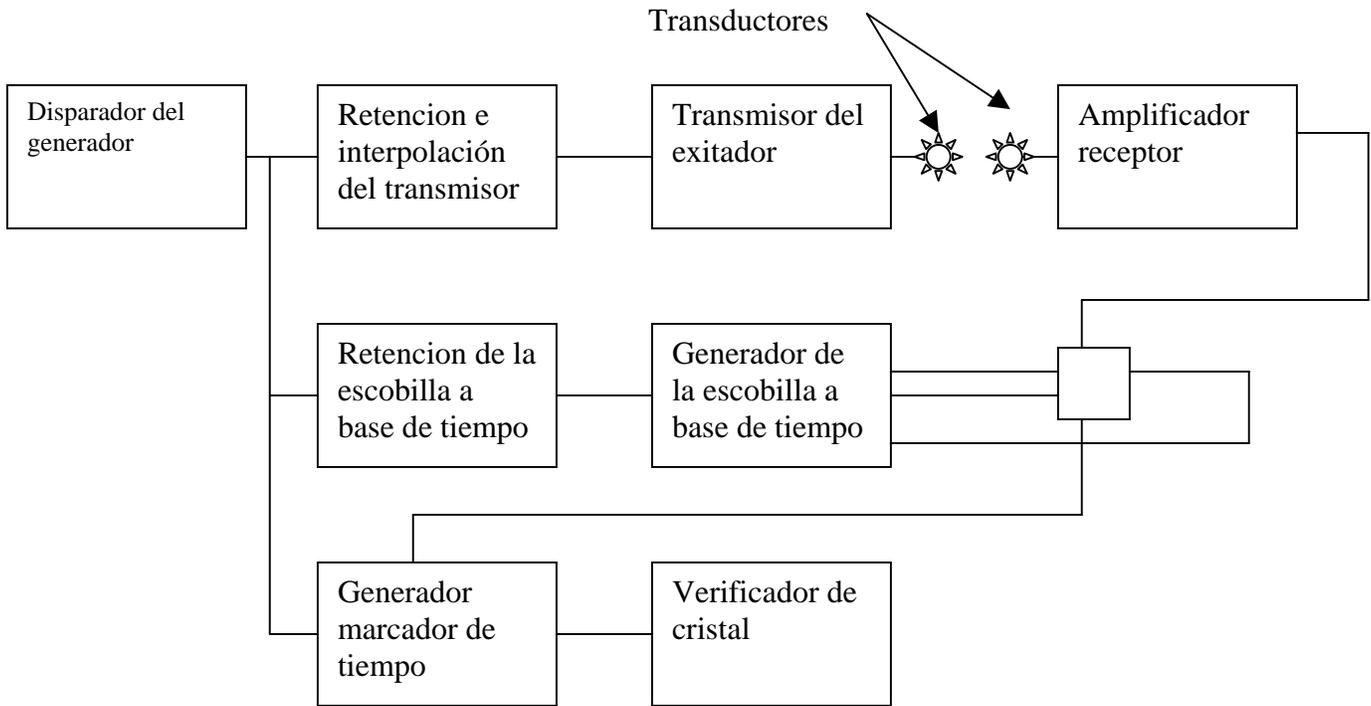


FIG. IV 13 ESQUEMA DEL APARATO DE PULSO ULTRASONICO

<i>Velocidad longitudinal del pulso km/s</i>	<i>Calidad del concreto</i>
Mayor de 4.5	Exelente
3.5 – 4.5	Buena
3.0 – 3.5	Dudosa
2.0 – 3.0	Deficiente
menor de 2.0	Muy deficiente

FIG. IV.14. CLASIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO CON BASE EN LA VELOCIDAD DE PULSO

IV.2.7. PRUEBA DE EXTRACCION

Es una prueba que mide, mediante un ariete de tensión, la fuerza requerida para desprender una varilla de acero, con su extremo de mayor sección transversal previamente empotrada generalmente de 25 mm. de diámetro (fig. IV.15). Durante la operación se extrae un cono de concreto y la fuerza requerida para ello esta relacionada con la resistencia a la compresión del concreto original.

Debido a su forma, la varilla de acero se arranca adherida a un trozo de concreto, este último de forma troncocónica. La resistencia a la extracción se calcula como la relación de la fuerza de extracción con el área idealizada del cono truncado,

Esta prueba es superior a la prueba del martillo y a la resistencia a la penetración, pues la de extracción implica mayor volumen y mayor profundidad del concreto. El aspecto negativo es que hay necesidad de reparar el concreto. Además, las varillas para la prueba deben situarse antes del colado, por lo que la prueba debe ser planeada de antemano,

Ya que la más común de todas las pruebas de concreto endurecido es la prueba de resistencia a la compresión simple, lo cual en parte obedece a que es una prueba fácil de ejecutar y en parte a que muchas de las características deseables del concreto, aunque no todas, se relacionan cualitativamente con su resistencia; a un más, a través de los años, se a correlacionado la resistencia a la compresión simple, con la resistencia de elementos estructurales de diversos tipos, sujetos a distintas sollicitaciones, hablaremos pues de ella.

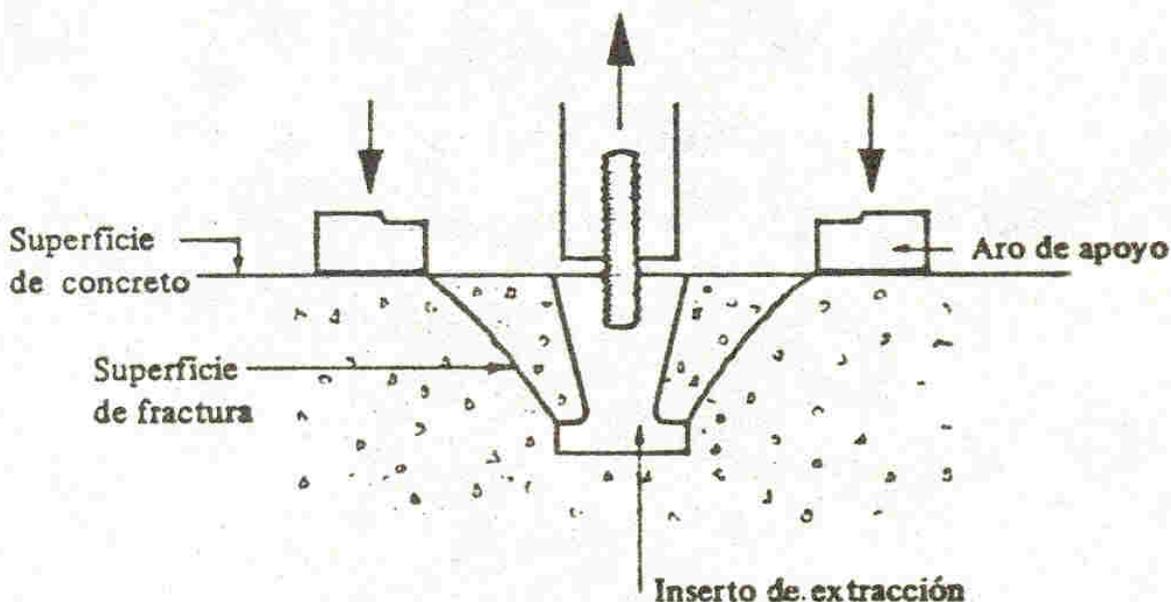


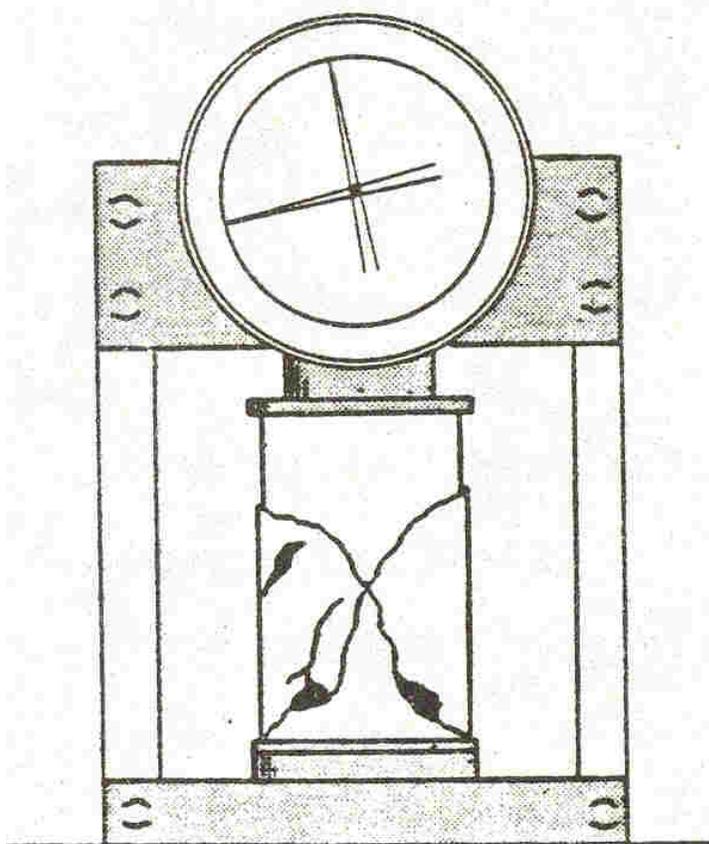
FIG. IV.15 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA PRUEBA DE EXTRACCION

IV.2.8. PRUEBA A LA COMPRESION SIMPLE

No existe una convención aceptada universalmente sobre que tipo de espécimen es el mejor para realizar ensayos en compresión. Comúnmente se usan especímenes de tres tipos: cilindros, cubos y prismas.

En nuestro medio, y en numerosos países del mundo, se usan cilindros con una relación de esbeltez igual a dos. En estructuras de concreto reforzado el espécimen usual es el cilindro de 15 x 30 cm. En estructuras construidas con concreto en masa, donde se usan agregados de gran tamaño (10 a 15 cm), se usan cilindros de 30 x 60 cm., y en ocasiones moldes hasta de 60 x 120 cm, para establecer índices de resistencia. Siguiendo la notación de la NOM-C-155-84. se acostumbra designar con f'_c la resistencia a la compresión especificada de un cilindro estándar a los 28 días o a la edad en que el concreto vaya a recibir su carga de servicio,

Una vez seleccionado el tipo de espécimen es necesario fijar con gran detalle las condiciones de muestreo, fabricación, curado y ensaye teniendo entre estas ultimas particular importancia la velocidad de carga.



**PRUEBA A
COMPRESION
SIMPLE**

En la Tabla de la figura IV.16 se presentan factores de corrección para obtener la resistencia de un cilindro de 15 x 30 cm. A partir de la obtenida con un espécimen de otra forma o dimensiones, para concretos fabricados con cemento normal y ensayados a los 28 días.

Para lograr la prueba a la compresión aceptable es necesario que las cabezas de la maquina de ensayen estén totalmente en contacto con las superficies del espécimen en ambos extremos, de manera que la presión ejercida sea lo mas uniforme posible. Esto se logra fácilmente si el espécimen es un cubo o un prisma.

En nuestro medio, las normas usuales están basadas entre otras en las NOM-C84, C-161 y C-162

Espécimen	Dimensiones cm.	Factores por los que deben multiplicar las resistencias de un espécimen para obtener las equivalentes de un cilindro de 15 x 30 cm.	
		Variación normal	Valor medio aceptable
Cilindro	15 X 30	----	1.00
	10 X 20	0.94-1.00	0.97
	25 X 50	1.00-1.10	1.05
Cubo	10	0.70-0.90	0.80
	15	0.70-0.90	0.80
	20	0.75-.090	0.83
	30	0.30-1.00	0.90
Prisma	15 X 15 X 45	0.90-1.20	1.05
	20 X 20 X 60	0.90-1.20	1.05

FIG. IV. 16 FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA ENSAYES A LA COMPRESION

Por otra parte, los cilindros se fabrican generalmente en moldes de acero apoyados en una placa en su cara interior y libres en su parte superior, donde es necesario dar un acabado manualmente.

Esta operación llamada cabeceado, y que consiste en aplicar un cierto material generalmente azufre o pasta de cemento, a los extremos del cilindro para producir una superficie lisa de apoyo, prolonga el tiempo necesario para la preparación del ensaye, e introduce una variable adicional en los resultados: el material y la forma del cabeceado

Aún cuando se sigan cuidadosamente las especificaciones y el proceso sea realizado por operadores experimentados, los resultados que se obtengan no serán uniformes, siempre existirá dispersión en los datos, como en cualquier proceso de medición. Estas dispersiones pueden ser inherentes al tipo de ensaye, debidas a errores accidentales o a la no-uniformidad del material ensayado.

Algunos factores, que afectan directamente a los resultados obtenidos en especimenes de ensaye son:

Efecto de las condiciones de curado

Efecto de la esbeltez

Efecto de la velocidad de carga

Efecto de la velocidad de deformación

Efecto de las condiciones de humedad y temperatura durante la prueba.

Efecto del tamaño del espécimen sobre la resistencia

Efecto del tamaño del molde y tamaño del agregado

Efecto de la edad

Algunos de estos factores no solamente afectan a los resultados de pruebas a la compresión, sino también, a los resultados obtenidos en otro tipo de ensayes, como son los de tensión y flexión, aun más, aunque en menor número, a los resultados obtenido en pruebas no destructivas.

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD EN LOS
MATERIALES COMO EL ACERO Y
LA MADERA.

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD EN LOS MATERIALES COMO EL ACERO Y LA MADERA

V . 1 TIPOS DE ACERO.

ACERO

Aleación de hierro y carbono en diferentes proporciones, a veces llega a contener hasta 2% de carbono; para mejorar algunas de sus propiedades se le adicionan otro elementos tales como:

Tungsteno 2.0 a 18.0%

Cromo 3.0 a 6.0%

Vanadio 1.0 a 3.0%

Molibdeno 1.0 a 8.0%

Cobalto 3.0 a 10.0%

Con estos elementos y algunos otros se pueden modificar las características mecánicas del acero que prácticamente puede fabricarse cualquier tipo de acero para cada tipo de necesidad; sin embargo, en este trabajo se tratará lo relativo al acero estructural, acero de refuerzo y preesfuerzo para concreto.

Los productos de acero estructural que se suministran para la construcción de puentes y edificios se clasifican en: acero estructural al carbono, acero estructural de alta resistencia, acero estructural de alta resistencia y baja aleación y acero estructural de alta resistencia y baja aleación, al manganeso / vanadio.

ACERO ESTRUCTURAL

Es un producto que se suministra en forma de planchas, perfiles estructurales, tablaestacas, barras y perfiles-barras.

Planchas

Producto de acero laminado en caliente, que debe reunir las siguientes características:

Ancho en mm

Más de 203

Más de 1219

Espesor en mm

Más de 5.8

Más de 4.5

Perfiles estructurales

Producto de acero laminado cuya sección transversal puede ser en forma de I, H, canal o ángulo, en donde la dimensión mayor debe ser como mínimo de 76 mm.

Tablaestacas

Acero laminado fabricado en formas y tamaños que permite que se empalmen entre sí para formar una pared continua.

Barras

Acero laminado con sección transversal circular, cuadrada o hexagonal, en todos los tamaños; soleras con espesor mayor o igual a 5.16mm y ancho de 152mm; soleras con espesor de 5.84mm y ancho de 152mm hasta 203mm.

Perfiles-barras

Producto de acero laminado cuya sección transversal puede ser de la forma I,H,Z, canal o ángulo, en donde la dimensión mayor debe ser menor de 76mm.

Los productos de acero estructural que se suministran para la construcción de puentes y edificios se clasifican en: acero estructural al carbono, acero estructural de alta resistencia, acero estructural de alta resistencia y baja aleación y acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso/vanadio.

ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO

El acero estructural al carbono se suministra en la modalidad y formas de perfiles, planchas y barras, para construcciones remachadas, atornilladas o soldadas, en puentes y edificios y para usos estructurales en general.

Requisitos químicos

- a) El análisis de colada y de producto deberá de cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXIV.
- b) El análisis de producto no es aplicable a perfiles-barra ni a soleras, con espesores de 12.7mm o menores.
- c) Cuando se omitan las pruebas de tensión de acuerdo con el inciso c) de los requisitos mecánicos, el material deberá cumplir con los requisitos químicos de la tabla LXIV.

Requisitos mecánicos

El acero estructural al carbono deberá cumplir con los requisitos de la prueba de tensión indicada en la tabla LXV.

No será necesario someter a pruebas de tensión los perfiles con sección transversal menor de 6.45cm^2 y las barras que nos sean soleras, menores de 1.27cm de espesor o de diámetro.

No se requieren pruebas mecánicas para planchas con espesores mayores de 38.1mm usadas como placas de apoyo en estructuras que no sean puentes, pero el acero deberá contener de 0.20 a 0.33% de carbono en análisis de colada.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9mm deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200mm, de 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7.9mm.

Para efectuar esta deducción puede emplear la ecuación del cuadro número 1.

La probeta para doblado deberá soportar un dobléz en frío hasta de 180° sobre un mandril cuyo diámetro se indica en la tabla LXVI, sin que se agriete el exterior de la porción doblada.

ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA

El acero estructural de alta resistencia se presenta en las modalidades y forma de perfiles, planchas y barras en espesores hasta de 102 mm, para construcciones de puentes y edificios remachados o atornillados y para uso estructural en general.

Requisitos químicos

El acero estructural deberá cumplir con los requisitos de composición química indicados en la tabla número LXVII.

Requisitos mecánicos

También deberá cumplir con los requisitos mecánicos de las tablas LXVIII y LXIX.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9mm, deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200mm, de 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto al espesor nominal de 7.9mm. La deducción se puede efectuar empleando la ecuación del cuadro número 1.

Las probetas para la prueba de doblado deberán soportar un dobléz en frío hasta de 180° sobre un mandril, cuyo diámetro se especifica en la tabla LXIX, sin que se agriete el exterior de la porción doblada.

ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION

Bajo esta denominación se agrupan los perfiles, placas y barras de acero que se emplean en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas, destinados principalmente a la construcción de miembros estructurales. Estos aceros tienen una resistencia a la corrosión atmosférica casi del doble que la de los aceros estructurales al carbono con cobre; deberá cumplir con los siguientes requisitos de composición química.

Requisitos químicos

Los resultados del análisis de colada deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXX.

El fabricante podrá usar los elementos de aleación, tales como cromo, níquel, silicio, vanadio, titanio y circonio, combinados con el carbono, manganeso, fósforo, azufre y cobre, dentro de los límites prescritos en la tabla LXX para obtener las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión atmosférica requeridas.

Requisitos mecánicos

El acero deberá satisfacer los requisitos de tensión y doblado indicadas en las tablas LXXI y LXXII.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9mm deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200mm, de 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7.9mm. Para efectuar la deducción puede emplear la ecuación del cuadro número 1.

Las probetas para la prueba de doblado deberán soportar un doblado en frío hasta de 180° sobre un mandril, cuyo diámetro se especifica en la tabla LXXII, sin que se agriete el exterior de la porción doblada.

ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION, AL MANGANESO/VANADIO

Bajo esta denominación se agrupan los perfiles, planchas y barras de acero que se emplean en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas; destinados principalmente a la construcción de puentes y edificios soldados miembros estructurales. Estos aceros tienen una resistencia a la corrosión atmosférica casi del doble que la de los aceros estructurales al carbono. Los requisitos que a continuación se indican se refiere a elementos hasta de 203mm de espesor.

Requisitos químicos

Este acero deberá satisfacer los requisitos de composición química de colada y de producto, indicada en la tabla LXXIII.

Requisitos mecánicos

Por otra parte, este acero deberá cumplir con los requisitos mecánicos de la tabla LXXIV y LXXV.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9mm deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200mm, de 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7.9mm. Para efectuar la deducción puede emplear la ecuación del cuadro número 1.

El acero deberá soportar un doblado en frío hasta de 180°, ensayado sobre un mandril, cuyo diámetro se especifica en la tabla LXXV, sin que se agriete la parte exterior de la porción doblada.

CUADRO NUMERO 1

ECUACION:										
a: porcentaje de alargamiento después de deducir el 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor de 7.9mm.										
A: porcentaje de alargamiento obtenido de la prueba.										
e: espesor de la probeta, menor de 7.9mm										

Producto	Perfiles (a)	Planchas Espesores					Barras Espesores			
		Hasta 19.1mm incl.	Más de 19.1 hasta 38.1mm incl.	Más de 38.1 hasta 63.5mm incl.	Más de 63.5 hasta 101.6mm incl.	Más de 101.6mm	Hasta 19.1mm incl.	Más de 19.1 hasta 38.1mm incl.	Más de 38.1 hasta 101.6mm incl.	Más de 101.6mm
Carbono, máximo, %	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganeso, %...			0.80	0.80	0.85	0.85		0.60	0.60	0.60
			a	a	a	a		a	a	a
			1.20	1.20	1.20	1.20		0.90	0.90	0.90
Fósforo, máximo, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, máximo, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio, % ...				0.15	0.15	0.15				
				a	a	a				
				0.30	0.30	0.30				
Cobre, mínimo, % cuando se especifique...	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

a) En perfiles con peso mayor de 634kg/m, se requiere un contenido de manganeso de 0.85 a 1.35%, y un contenido de silicio de 0.15 a 0.30%.

TABLA LXV. REQUISITOS DE TENSION

Concepto	Requisitos
Planchas, perfiles (a) y barras: Esfuerzo máximo, kg/cm ² , mínimo Límite elástico aparente, kg/cm ² , mínimo	4 060 a 5 600
Planchas y barras: Alargamiento en 200m, por ciento, mínimo Alargamiento en 50mm, por ciento, mínimo	20 (c) 23
Perfiles: Alargamiento en 200m, por ciento, mínimo Alargamiento en 50mm, por ciento, mínimo	20 (c) 21 (a)

a) Para perfiles de ala ancha, con peso mayor de 634 kg/m, solamente se especifica el esfuerzo máximo de 4 060 kg/cm² como mínimo y alargamiento de 50mm, de 19% mínimo.

b) Para planchas con espesor mayor de 200mm, el límite elástico será de 2 240 kg/cm², mínimo.

c) Ver párrafo (005-F.07.c) de este Capítulo.

TABLA LXVI REQUISITOS DE LA PRUEBA DE DOBLADO

Espesor del elemento en mm	Relación del diámetro del mandril al espesor de la probeta para planchas, perfiles y barras (a)
Hasta 19.1 incl.	0.5
Mayor de 19.1 hasta 25.4 incl.	1.0
Mayor de 25.4 hasta 38.1 incl.	1.5
Mayor de 38.1 hasta 50.8 incl.	2.5
Mayor de 50.8	3.0

a) Estas relaciones se aplican únicamente para el comportamiento de un espécimen bajo la acción del doblado; dicho espécimen se toma siempre en dirección longitudinal y generalmente se le hace una preparación en sus aristas. Cuando las planchas se doblan para una operación de fábrica, se deben usar unos radios mayores, particularmente si el eje de doblado se encuentra en la dirección desfavorable (longitudinal).

TABLA LXVII. REQUISITOS DE COMPOSICION QUIMICA

ELEMENTOS	CONTENIDO EN %
Carbono, máximo	0.28
Manganeso	1.10 a 1.60
Fósforo, máximo	0.04
Azufre, máximo	0.05
Silicio, máximo	0.30
Cobre, máximo	0.20

TABLA LXVIII. REQUISITOS DE TENSION

Concepto	Planchas y Barras				Perfiles estructurales		
	Para espesores hasta de 19.1mm incl.	Para espesores de más de 19.1 hasta 38.1mm incl.	Para espesores de más de 38.1 hasta 101.6 mm incl.	Para espesores de más de 101.6 hasta 203.2mm incl.	Grupos 1 y 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupos 4 y 5 (a)
Esfuerzo máximo, kg/cm ² , mínimo (b)	4920	4710	4430	4220	4920	4710	4430
Punto de fluencia en kg/cm ² , mínimo (b)	3520	3230	2950	2810	3520	3230	2950
Alargamiento en 200mm, en % mínimo	18 (c)	18	18		18 (c)	18	18
Alargamiento en 50mm. en % mínimo		21	21	21			21 (d)

a) Ver tabla XXIV-A

b) Cuando el material esté normalizado, el esfuerzo máximo y el límite elástico aparente, deberán reducirse en 350 kg/cm²

c) Véase párrafo (005-1.05.b) de este Capítulo. En perfiles de ala ancha, con peso mayor de 634 kg/m, el alargamiento en 50mm, deberá ser de 19% como mí.

TABLA LXIX. REQUISITOS DE LA PRUEBA DE DOBLADO

Espesor del elemento	Relación del diámetro del mandril a espesor de la probeta (a)
Hasta 19.1 inclusive	1.0
Mayor de 19.1 hasta 25.4 inclusive	1.5
Mayor de 25.4 hasta 38.1 inclusive	2.0
Mayor de 38.1 hasta 50.8 inclusive	2.5
Mayor de 50.8 hasta 101.6 inclusive	3.0

TABLA LXX. REQUISITOS QUIMICOS (ANALISIS DE COLADA)

ELEMENTO	CONTENIDO EN % TIPO	
	I	II
Carbono, máximo	0.15	0.20
Manganeso, máximo	1.00	1.35
Fósforo, máximo	0.15	0.04
Azufre, máximo	0.05	0.05
Cobre, máximo	0.20	0.20 (a)

TABLA LXXI. REQUISITOS DE TENSION, PLACAS Y BARRAS

Concepto	Planchas y Barras				Perfiles estructurales		
	Para espesores hasta de 19.1mm incl.	Para espesores de más de 19.1 hasta 38.1mm incl.	Para espesores de más de 38.1 hasta 101.6 mm incl.	Para espesores de más de 101.6 hasta 203.2mm incl.	Grupos 1 y 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupos 4 y 5 (a)
Esfuerzo máximo, kg/cm ² , mínimo (b)	4920	4710	4430	4220	4920	4710	4430
Punto de fluencia en kg/cm ² , mínimo (b)	3520	3230	2950	2810	3520	3230	2950
Alargamiento en 200mm, en % mínimo	18 (c)	18	18		18 (c)	18	18
Alargamiento en 50mm. en % mínimo		21	21	21			21 (d)

TABLA LXXII. REQUISITOS DE DOBLADO

Espesor del elemento	Relación del diámetro del mandril a espesor de la probeta (a)
Hasta 19.1 inclusive	1.0
Mayor de 19.1 hasta 25.4 inclusive	1.5
Mayor de 25.4 hasta 38.1 inclusive	2.0
Mayor de 38.1 hasta 50.8 inclusive	2.5
Mayor de 50.8 hasta 101.6 inclusive	3.0

TABLA LXXIII. REQUISITOS DE COMPOSICION QUIMICA

ELEMENTO	CONTENIDO EN %
Carbono, máximo	0.22
Manganeso	0.85 a 1.25
Fósforo, máximo	0.04
Azufre, máximo	0.05
Silicio, máximo	0.60
Cobre, máximo	0.50
Vanadio, mínimo	0.02

TABLA LXXIV. REQUISITOS DE TENSION

Concepto	Planchas y Barras				Perfiles estructurales		
	Para espesores hasta de 19.1mm incl.	Para espesores de más de 19.1 hasta 38.1mm incl.	Para espesores de más de 38.1 hasta 101.6 mm incl.	Para espesores de más de 101.6 hasta 203.2mm incl.	Grupos 1 y 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupos 4 y 5 (a)
Esfuerzo máximo, kg/cm ² , mínimo (b)	4920	4710	4430	4220	4920	4710	4430
Punto de fluencia en kg/cm ² , mínimo (b)	3520	3230	2950	2810	3520	3230	2950
Alargamiento en 200mm, en % mínimo	18 (c)	18	18		18 (c)	18	18
Alargamiento en 50mm. en % mínimo		21	21	21			21 (d)

a) Ver Tabla XXIV-A

b) Cuando el material esté normalizado, el esfuerzo máximo y el límite elástico aparente, deberán reducirse en 350 kg/cm². Véase párrafo (00.5-1.05.b) de este Capítulo. En perfiles de ala ancha, con peso mayor de 634 kg/m, el alargamiento en 50mm, deberá ser de 19% como mínimo.

TABLA LXXV. REQUISITOS DE DOBLADO

Espesor del elemento material mm	Relación del diámetro del mandril a espesor de la probeta (a)
Hasta 19.1 inclusive	1.0
Mayor de 19.1 hasta 25.4 inclusive	1.5
Mayor de 25.4 hasta 38.1 inclusive	2.0
Mayor de 38.1 hasta 50.8 inclusive	2.5
Mayor de 50.8 hasta 203.2 inclusive	3.0

a) Estas relaciones se aplican exclusivamente al comportamiento de un espécimen bajo la acción del doblado, dicho espécimen se toma siempre en dirección longitudinal y generalmente se le hace una preparación en sus aristas. Cuando las planchas se doblan para una operación de fabricación se deben usar radios mayores, particularmente si el eje de doblado se encuentra en la dirección desfavorable (longitudinal).

Acero estructural

ACERO ESTRUCTURAL	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO (Perfiles, Planchas y barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos Requisitos Mecánicos Muestreo	Estruct.Soldada, remachada o atornillada Libro 4.01.02.005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno eléct. Análisis de Colada Tabla LXIX. 4.01.02.005-F.04 Análisis de Producto Tabla LXIV 4.01.02.005-F.06.c y 4.01.02.005-E Tabla LXV y LXVI Libro 6.006
	ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA(Perfiles, Planchas y barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos Requisitos Mecánicos Muestreo	Estruct.Soldada, remachada o atornillada Libro 4.01.02.005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno eléct. Análisis de Colada Tabla LXVII Análisis de Producto Tabla LXVII Tabla LXVIII y LXIX Libro 6.006
	ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION (Perfiles, Planchas y barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos Requisitos Mecánicos Muestreo	Estruct.Soldada, remachada o atornillada Libro 4.01.02.005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno eléct. Análisis de Colada Tabla LXX Análisis de Producto Tabla LXX Tabla LXXI y LXXII Libro 6.006
	ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION AL MANGANESO VANADIO (Perfiles, Planchas y barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos Requisitos Mecánicos Muestreo	Estruct.Soldada, remachada o atornillada Libro 4.01.02.005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno eléct. Análisis de Colada Tabla LXXIII Análisis de Producto Tabla LXXIII Libro 4.01.02.005-E Tabla LXXIV y LXXV Libro 6.006

ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO

El acero, varillas corrugadas torcidas en frío, empleado como refuerzo del concreto armado, se fabrica a partir de lingotes, rieles o ejes.

Las varillas se identifican con el grado y el número. El grado es el valor del límite de fluencia del acero en kg/mm^2 ; y el número, es el número de octavos de pulgada que indica el diámetro de la varilla. Los números de designación, pesos unitarios, dimensiones nominales y requisitos de corrugación se resumen en las tablas XII y XIII; así mismo, la clasificación de acuerdo con los distintos grados de la varilla se indica en la tabla XIV.

El acero de refuerzo fabricado a partir de lingotes no deberá contener más de 0.625% de fósforo.

Las varillas corrugadas de acero deberán someterse a una inspección metalúrgica macroscópica, cuyos resultados deben ser congruentes con lo que se indica en las figuras 3 a 7.

Figura Núm. 3

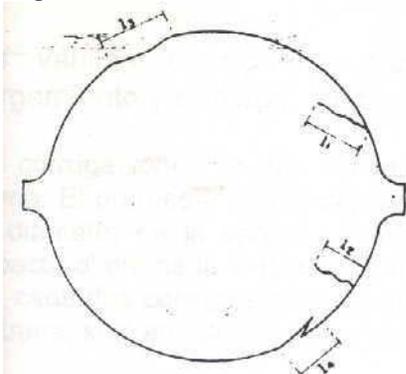
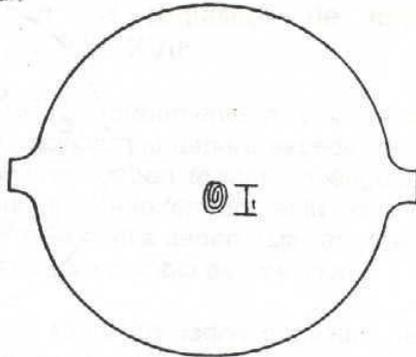


Figura Núm. 3

DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Grietas de laminación radiales o tangenciales (1_1 y 1_2)	Ninguna de las grietas deberá tener longitud 1 mayor del 5% de "d" la longitud total de las grietas "L" no debe ser mayor del 10% de "d".
Traslape o tajeadura y defectos superficiales con reducción de área (1_3 y 1_4)	Ninguno de los traslapes, lajeaduras o defectos superficiales será mayor del 5% de "d". La suma de las longitudes "L" no debe ser mayor del 10% de "d". El perímetro total dañada "P" no debe ser mayor del 30% de "d".

d = Diámetro de la varilla
 P= longitud total de los defectos perimetrales
 L = longitud total de las grietas o defectos ($\sum 1$)
 1 = dimensión del defecto

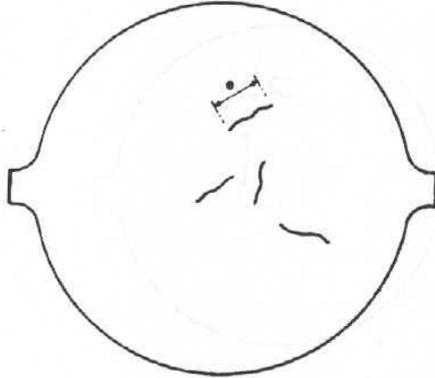
Figura Núm. 4



DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Tubo de laminación	La dimensión máxima del defecto "t", no debe ser mayor del 10% de "d". El área máxima del defecto no debe ser mayor del 1% de "A".

d = Diámetro de la varilla
 A = área de la varilla
 t = dimensión máxima del defecto

Figura Núm. 5



DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Grietas de enfriamiento distribuidas en el interior de la sección transversal de la varilla.	Ninguna de las grietas deberá tener una longitud " mayor del 4% de "d". La longitud total de las grietas "E" no será mayor del 8% de "d".

d = Diámetro de la varilla
 = dimensión del defecto
 L = longitud total de las grietas (Σ)

Figura Núm. 6

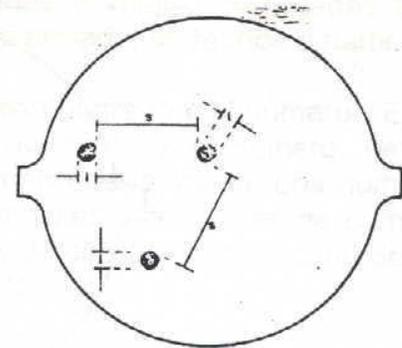


Figura Núm. 6

DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Inclusiones de materia extraña "i"	La dimensión máxima "i" de cada inclusión, no debe ser mayor del 3% de "d" y la suma de estas no deberá exceder del 10% de "d" o la suma de las áreas de las inclusiones no será mayor del 1% de "A". La distancia "s" entre inclusiones no será menor del 30% de "d".

d = Diámetro de la varilla
 A = área de la varilla
 i= dimensión máxima del defecto
 s = distancia entre defectos

Figura Núm. 7

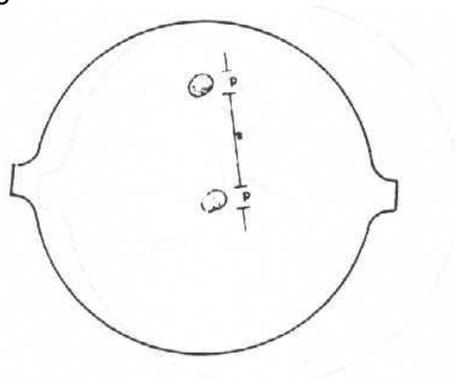


Figura Num. 7

d = Diámetro de la varilla
 A = área de la varilla
 p= dimensión máxima del defecto
 s = distancia entre defectos

DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Porosidad "p"	La distancia máxima de cada zona porosa "p" no debe ser mayor del 5% de "d" y la suma de estas no excederá del 20% de "d" o la suma de las áreas de las zonas porosas no deberá ser mayor del 1% de "A". La distancia "s" entre zonas porosas no será mayor del 30% de "d".

El acero deberá tener buena apariencia, sin defectos exteriores perjudiciales como grietas, traslapes, quemaduras y oxidación excesiva.

Las varillas corrugadas deberán cumplir con los requisitos de tensión, alargamiento y doblado indicadas en las tablas XV, XVI y XVII.

Las corrugaciones de las varillas estarán espaciadas uniformemente a lo largo de la misma. El promedio de las separaciones entre corrugaciones no deberá exceder de 7/10 del diámetro de la varilla. Asimismo, las corrugaciones deben formar un ángulo con respecto al eje de la varilla, no menor de 45°. Cuando el ángulo formado está entre 70° y 45°, cada dos corrugaciones de ambos lados del eje de la varilla deben estar en dirección contraria; si el ángulo es mayor de 70°, no es necesario este cambio de dirección.

La separación entre los extremos de corrugaciones, sobre los lados opuestos de las varillas, no deberá ser mayor del 12.5% del perímetro nominal de la misma. Si los extremos terminan en una costilla longitudinal, el ancho de ésta se considera como la separación en cuestión. Cuando existan dos o más costillas longitudinales, el ancho total de todas ellas no deben ser mayor del 25% del perímetro nominal de la varilla.

El peso unitario y la sección transversal de las varillas, consideradas individualmente, no excederá del 6% en menos, con respecto a los valores nominales individuales indicados en las tablas XII y XIII.

Los requisitos de espaciamiento, altura, separación y demás dimensiones de las corrugaciones, se indican en las tablas XII y XIII.

TABLA XII. NUMERO DE DESIGNACION, PESOS UNITARIOS, DIMENSIONES NOMINALES Y REQUISITOS DE CORRUGACION PARA LAS VARRILAS

Número de Designación (b)	Peso unitario kg/m	Dimensiones nominales (a)			Requisitos de corrugación		
		Diámetro mm	Área de la sección transversal mm ²	Perímetro mm	Espaciamiento máximo promedio mm	Altura mínima promedio mm	Distancia máxima entre extremos de corrugaciones transversales (cuerda) mm
2	0.248	6.4	32	20	4.5	0.2	2.5
2.5	0.384	7.9	49	24.8	5.6	0.3	3.1
3	0.560	9.5	71	29.8	6.7	0.4	3.7
4	0.994	12.7	127	39.9	8.9	0.5	5.0
5	1.552	15.9	198	50	11.1	0.7	6.3
6	2.235	19.0	285	60.0	13.3	1.0	7.5
7	3.042	22.2	388	69.7	15.5	1.1	8.7
8	3.973	25.4	507	79.8	17.8	1.3	10.0
9	5.033	28.6	642	89.8	20.0	1.4	11.2
10	6.225	31.8	794	99.9	22.3	1.6	12.5
11	7.503	34.9	957	109.8	24.4	1.7	13.7
12	8.938	38.1	1140	119.7	26.7	1.9	15.0

a) El diámetro nominal de una varilla corrugada corresponde al diámetro de una varilla lisa que tenga el mismo peso unitario que la varilla corrugada.

b) El número de designación de las varillas corresponde al número de octavos de pulgadas de su diámetro nominal.

TABLA XIII. NUMERO DE DESIGNACION, PESO UNITARIO, DIMENSIONES NOMINALES Y REQUISITOS DE CORRUGACION PARA LAS VARRILAS TORCIDAS EN FRIJO

Número de designación (b)	Dimensiones Nominales (a)				Requisitos para las corrugaciones						
	Peso unitario kg/m	Diámetro mm	Perímetro mm	Área de la sección transversal mm ²	Transversales					Longitudinales	
					Altura mínima a la mitad de la corrugación mm	Altura mínima a los tercios de la corrugación mm	Espaciamiento entre corrugaciones mm	Ancho mínimo mm	Longitud mínima mm	Altura mínima mm	Ancho mínimo mm
2	0.248	6.4	20	32	0.5	0.4	3.9 a 4.5	0.6	12.8	0.6	0.6
2.5	0.348	7.9	24.8	49	0.6	0.5	4.9 a 5.5	0.8	15.8	0.8	0.8
3	0.560	9.5	29.8	71	0.7	0.6	5.8 a 6.7	1.0	19.0	1.0	1.0
4	0.994	12.7	39.9	127	0.9	0.8	7.8 a 8.9	1.3	25.4	1.3	1.3
5	1.552	15.9	50.0	198	1.1	1.0	9.7 a 11.1	1.6	31.8	1.6	1.6
6	2.235	19.0	60.0	285	1.3	1.1	11.7 a 13.3	1.9	38.0	1.9	1.9
7	3.042	22.2	69.7	388	1.6	1.3	13.7 a 15.5	2.2	44.4	2.2	2.2
8	3.973	25.4	79.8	507	1.8	1.5	15.6 a 17.8	2.5	50.8	2.5	2.5
9	5.033	28.6	89.8	642	2.0	1.7	17.6 a 20.0	2.9	57.2	2.9	2.9
10	6.225	31.8	99.9	794	2.2	1.9	19.6 a 22.3	3.2	63.6	3.2	3.2
11	7.503	34.9	109.8	957	2.4	2.1	21.5 a 24.5	3.5	69.8	3.5	3.5
12	8.938	38.1	119.7	1140	2.7	2.2	23.4 a 26.7	3.8	76.2	3.8	3.8

- a) El diámetro nominal de una varilla torcida corresponde al diámetro de una varilla lisa que tenga el mismo peso unitario que la varilla torcida.
 b) Los números de designación de las varillas torcidas en frío corresponden al número de octavos de pulgada de su diámetro nominal.

TABLA XIV. GRADOS DE VARILLAS CORRUGADAS DE ACERO

PROCEDENCIA	GRADOS		
De lingotes	30	42	52
De rieles	35	42	
De ejes	30	42	
Torcidas en frío	42	50	60

TABLA XV. REQUISITOS A LA TENSION DE VARILLAS CORRUGADAS

Concepto	Varillas procedentes de lingotes			Varillas procedentes de rieles		Varillas procedentes de ejes		Varillas torcidas en frío		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 35	Grado 42	Grado 30	Grado 42	Grado 42	Grado 50	Grado 60
Límite de fluencia, en kg/cm ² , mínimo	3000	4200	5200	3500	4200	3000	4200	4200	5000	6000
Esfuerzo máximo, en kg/cm ² , mínimo	5000	6300	7000	5600	6300	5000	6300	5200	6000	7000

TABLA XVI. REQUISITOS DE ALARGAMIENTO MINIMO EN PORCIENTO, EN LA PRUEBA DE TENSION DE VARILLAS CORRUGADAS (a)

Número de designación	Varillas procedentes de lingotes			Varillas procedentes de rieles		Varillas procedentes de ejes		Varillas torcidas en frío		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 35	Grado 42	Grado 30	Grado 42	Grado 42	Grado 50	Grado 60
2	11	9	8	6	6	11	8	8	8	8
2.5	11	9	8	6	6	11	8	8	8	8
3	11	9	8	6	6	11	8	8	8	8
4	12	9	8	7	6	12	8	8	8	8
5	12	9	8	7	6	12	8	8	8	8
6	12	9	8	7	6	12	8	8	8	8
7	11	8	7	6	5	11	8	8	8	8
8	10	8	7	5	4.5	10	7	8	8	8
9	9	7	7	5	4.5	9	7	8	8	8
10	8	7	7	5	4.5	8	7	8	8	8
11	7	7	5	5	4.5	7	7	8	8	8
12	7	7	5	5	4.5	7	7	8	8	8

- a) El porciento de alargamiento se refiere a una longitud calibrada de 200mm.

TABLA XVII. REQUISITOS PARA LA PRUEBA DE DOBLADO DE VARILLAS CORRUGADAS

Número de designación	Varillas procedentes de lingotes Doble z a:			Varillas procedentes de rieles Doble z a:		Varillas procedentes de ejes Doble z a:		Varillas torcidas en frío		
	180°		90°	180°		180°		180°		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 35	Grado 42	Grado 30	Grado 42	Grado 42	Grado 50	Grado 60
2	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
2.5	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
3	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
4	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
5	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
6	D=5d	D=5d	D=6d	D=6d	D=6d	D=5d	D=5d	D=5d	D=7d	D=7d
7	D=5d	D=6d	D=7d	D=6d	D=6d	D=5d	D=6d	D=5d	D=7d	D=7d
8	D=5d	D=6d	D=7d	D=6d	D=6d	D=5d	D=6d	D=5d	D=7d	D=7d
9	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d
10	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d
11	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d
12	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d

D= Diámetro del mandril

D= Diámetro nominal de la varilla

ALAMBRE DE ACERO ESTIRADO EN FRIO PARA REFUERZO DE CONCRETO

El acero de refuerzo estirado en frío también se emplea en mallas para refuerzo de concreto; se identifica por un número de calibre, tal como se indica en la tabla XVIII.

El alambre estirado en frío se obtiene a partir de alambión laminado en caliente, procedente de lingote o palanquilla; debe cumplir con los siguientes requisitos de tensión determinados empleando su área nominal.

Límite de fluencia, mínimo 5 000 kg/cm²

Esfuerzo máximo, mínimo 5 700 kg/cm²

Reducción de área, mínima 30%

Si el esfuerzo máximo del alambre es mayor de 7 000 kg/cm², la reducción de área no deberá ser menor de 25%.

La probeta para doblado deberá soportar un doblez en frío de 180° sobre un mandril, cuyo diámetro se indica en la tabla XIX.

El diámetro del alambre tendrá una tolerancia de ±3% y la diferencia entre los diámetros máximos y mínimos, medidos en cualquier sección transversal, no deberá ser menor de 5%.

El acero estructural, acero de refuerzo y el alambre deberán tener una buena apariencia, sin defectos perjudiciales y satisfacer los siguientes requisitos de la inspección metalúrgica macroscópica.

Grietas de laminación radiales o tangenciales, ninguna de las grietas deberá tener una longitud mayor del 5% con respecto al diámetro de la varilla, y la longitud total de las grietas no deberá ser mayor del 10%.

Traslapes o lajeaduras y defectos superficiales con reducción de área, ninguno de los traslapes, lajeaduras o defectos superficiales será mayor del 5% con respecto al diámetro de la varilla. La suma de las longitudes de estos defectos no deberá ser mayor del 10%. El perímetro total dañado no deberá ser mayor del 30% respecto del diámetro de la varilla.

Tubos de laminación o rechupe. La dimensión máxima de este defecto no deberá ser mayor del 10% respecto del diámetro de la varilla. El área máxima del defecto no debe ser mayor del 1% respecto del área de la varilla.

Grietas de enfriamiento distribuidas en la sección transversal de la varilla. Ninguna de las grietas deberá tener una longitud mayor del 4% respecto del diámetro de la varilla y la longitud total de las mismas no será mayor del 8%.

Inclusiones de materias extrañas. La dimensiones máxima de cada inclusión no deberá ser mayor del 3% respecto del diámetro de la varilla y la suma de éstas no deberá exceder del 10% o la suma de las áreas de las inclusiones no será mayor del 1% respecto del área de la varilla. La distancia entre inclusiones no será menor del 30% del diámetro.

Porosidad. La distancia máxima de cada zona porosa no debe ser mayor de 5% del diámetro de la varilla y la suma de éstas no excederá del 20%, o la suma de las áreas de las zonas porosas no deberá ser mayor del 1% del área de la varilla. La distancia entre zonas porosas no será mayor del 30% del diámetro.

TABLA XIX. MANDRILES PARA LA PRUEBA DE DOBLADO DEL ALAMBRE DE ACERO ESTIRADO EN FRIO

Diámetro del alambre en mm	Diámetro del mandril
Menor o igual a 8	d*
Mayor de 8	2 d*

ALAMBRE DE ACERO PARA PRESFUERZO DE CONCRETO

Alambre redondo de acero de alto carbono, sin recubrimiento y relevado de esfuerzo, obtenidos por el proceso de estirado en frío; se usa generalmente en la construcción de concreto presforzado.

Se obtiene mediante estiramiento en frío a partir de producto laminado en caliente hasta alcanzar su diámetro nominal, después se somete a un tratamiento térmico continuo para relevarlo de esfuerzos, a fin de obtener las características deseadas.

El acero deberá cumplir con los requisitos químicos, en el análisis de colada, indicadas en la tabla XX; asimismo, deberá cumplir con las tolerancias de la tabla XXI para análisis de producto con respecto del análisis de colada de la tabla XX.

Por otra parte, el alambre deberá cumplir con los requisitos mecánicos, tensión, alargamiento y doblado, señalados en las tablas XXII, XXIII y XXIV respectivamente.

El límite de fluencia debe determinarse por el método “offset” para una deformación unitaria de 0.2%. También puede determinarse mediante el método de extensión bajo carga para una deformación unitaria de 1.0%.

En la prueba de doblado, deberá resistir sin agrietarse ni romperse dos pruebas de doblado, en planos perpendiculares entre sí. Cada prueba consistirá de cinco doblados alternados a 90° sobre mandriles cilíndricos cuyos diámetros se indican en la tabla XXIV. Un doblado es la acción de llevar el alambre desde su posición inicial hasta formar un ángulo de 90° y retornar a su posición original.

Cada muestra de alambre deberá practicársele una inspección metalúrgica macroscópica, cuyos resultados deberán mostrar la estructura del acero con gran uniforme en toda el área, estar libre de grietas en cualquier dirección y de otros defectos perjudiciales.

El diámetro de cualquier sección del alambre no deberá variar en $\pm 0.05\text{mm}$ con respecto al diámetro nominal; así mismo, la diferencia entre los diámetros máximo y mínimo no deberá ser mayor de 0.05mm.

El alambre deberá ser autodesenrollable. Cuando se coloque libremente sobre una superficie plana, deberá tener una flecha no mayor de 20cm en una longitud de 5m. Deberá presentar buen acabado, esto es, no deberá presentar dobleces ni torceduras, estar aceitado o engrasado, picaduras notables producto de la oxidación a simple vista y coloración no uniforme.

TABLA XX. REQUISITOS QUIMICOS

Elemento	Contenido en por ciento
Carbono	0.72 a 0.93
Manganeso	0.40 a 1.10
Fósforo	0.04, ,máximo
Azufre	0.05, máximo
Silicio	0.10 a 0.35

TABLA XXI. VARIACIONES PERMISIBLES EN ANALISIS DE PRODUCTO

Elemento	Tolerancias en más para límites máximos y en menos para límites mínimos, en por ciento
Carbono	0.04
Manganeso	0.06
Fósforo	0.008
Azufre	0.008
Silicio	0.02

TABLA XXII. REQUISITOS DE RESISTENCIA A TENSION

Diámetro mm	Límite de fluencia mínimo kg/cm ²	Resistencia máxima, mínimo kg/cm ²
2.0	17 600	22 000
5.0	14 000	17 500
7.0	13 200	16 500

TABLA XXIII. REQUISITOS DE ALARGAMIENTO

Diámetro mm	Longitud de calibración	Alargamiento mínimo (después de la ruptura) en por ciento
2.0	20	4.0
5.0	180	3.5
7.0	250	3.5

TABLA XXIV. REQUISITOS DE DOBLADO

Diámetro mm	Diámetro del mandril mm
2.0	10
5.0	30
7.0	40

ACERO DE PRESFUERZO PARA CONCRETO, TORON DE SIETE ALAMBRES SIN RECUBRIMIENTO, RELEVADO DE ESFUERZOS

El torón está formado por seis alambres colocados en forma helicoidal sobre un alambre central con un paso uniforme no menor de 12 a 16 veces el diámetro nominal del torón.

El torón para concreto presforzado se clasifica en dos grupos de acuerdo con resistencia.

Grado 176 ($176\text{kg/mm}^2=1725\text{N/mm}^2$)

Grado 190 ($19\text{ kg/mm}^2=1860\text{N/mm}^2$)

Se fabrica con alambre redondo de acero de alto carbono, sin recubrimiento, obtenidos por el proceso de estirado en frío; el trenzado de los alambres se realiza

exclusivamente por medios mecánicos y tratamiento térmico de relevado de esfuerzos.

La prueba de resistencia deberá realizarse mediante el método de deformación bajo carga, considerando una deformación del 1.0%, cuyos resultados estarán de acuerdo con los requisitos de resistencia a la ruptura y de fluencia indicados en la tabla 1. La resistencia de fluencia no deberá ser menor del 85% de la ruptura mínima especificada.

El alargamiento total del torón bajo carga debe ser como mínimo de 3.5%.

Se considera que una muestra satisface los requisitos de alargamiento si la probeta rompe fuera de la zona de ubicación del extensómetro o en las mordazas y que sin embargo, cumple con los valores mínimos de alargamiento.

Si cualquier probeta rompe dentro de las mordazas o del dispositivo de sujeción de la máquina de prueba y los valores de resistencia de ruptura, de fluencia o de alargamiento resultan ser menores a los especificados, deben invalidarse los resultados y repetirse la prueba.

El diámetro del torón debe expresarse como el diámetro, en mm y el diámetro del alambre central debe ser mayor que el de cualquier alambre exterior.

El diámetro nominal para torones del grado 176 debe tener una tolerancia de $\pm 0.40\text{mm}$ y para el grado 190 de $+0.66$ a -0.15mm , medido en la corona de los alambres.

Las variaciones en el área de la sección transversal y la variación en los esfuerzos, como consecuencia de lo anterior, no debe ser motivo de rechazo, siempre y cuando las diferencias en el diámetro de los alambres individuales y el del torón estén dentro de las tolerancias especificadas.

Los torones relevados de esfuerzos y de bajo relajamiento, de dimensiones especiales con diámetros nominales hasta 19.0mm, pueden emplearse, siempre y cuando la resistencia de ruptura se defina y que la resistencia de fluencia no sea menor de 85% y 90% de la resistencia de ruptura mínima especificada para torones relevados de esfuerzo y de bajo relajamiento, respectivamente.

Los torones deben tener un diámetro uniforme, buen acabado y sin defectos perjudiciales. No se permiten juntas y traslapes en cualquier longitud.

Los torones no deben presentar los alambres fuera de posición después de un corte, cuando este se haga sin sujetadores. Si los alambres quedan fuera de posición y sin embargo pueden ser regresados manualmente, este hecho no deberá considerarse como defecto.

Los torones no debe estar aceitados o engrasados. Tampoco deben presentar picaduras visibles producto de la oxidación. Una oxidación ligera, no debe ser motivo de rechazo.

TABLA 1. CARACTERISTICAS Y REQUISITOS MECANICOS DE TORONES DE SIETE ALAMBRES

Diámetro nominal		Diferencia mínima entre los alambres central y exterior	Área nominal	Peso nominal aproximado	Carga inicial		Carga mínima al 1% (límite de fluencia)		Carga a la ruptura		
in	mm				mm	mm ²	Kg/1 000m	N	kgf	N	kgf
Grado 176											
1/4	6.35	0.025	23.22	182	4000	410	34000	3470	40000	4080	
5/16	7.94	0.038	37.42	294	6500	660	54700	5580	64500	6580	
3/8	9.53	0.051	51.61	405	8900	910	75600	7710	89000	9070	
7/16	11.11	0.063	69.68	548	12000	1220	102300	10430	120100	12250	
1/2	12.70	0.076	92.90	730	16000	1630	136200	13880	160100	16330	
0.6	15.24	0.102	139.35	1094	24000	2450	204200	20820	240200	24500	
Grado 190											
3/8	9.53	0.051	54.84	432	10200	1040	87000	8870	102300	10430	
7/16	11.11	0.063	74.19	582	13800	1410	117200	11950	137900	14060	
1/2	12.70	0.076	98.71	775	18400	1870	156100	15920	183700	18730	
0.6	15.24	0.102	140.00	1102	26100	2660	221500	22590	260700	26580	

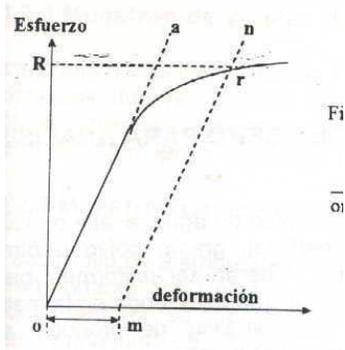


Fig. 20. Diagrama esfuerzo-deformación para la determinación del límite de fluencia por el método de la deformación permanente
om = deformación permanente especificada

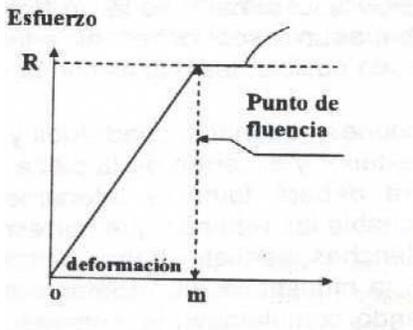


Fig. 21. Diagrama esfuerzo-deformación mostrando la zona de fluencia en el quiebre de la curva

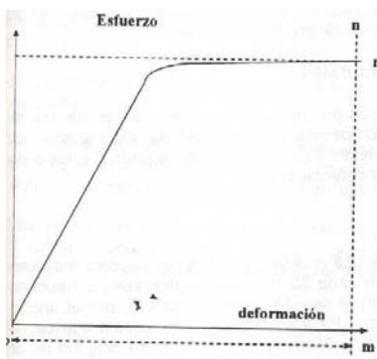


Fig. 2. Diagrama esfuerzo-deformación mostrando el límite de fluencia o el límite elástico aparente por el método de alargamiento bajo carga.

V.1.1 MUESTREO

MUESTREO DE MATERIALES Y PRODUCTOS DE ACERO PARA ANALISIS QUIMICO

Las muestras se obtendrán con algún tipo de herramienta sin el empleo de agua, aceite o algún otro lubricante y deberán estar libres de costras, metal superficial, grasas, polvo u otras sustancias extrañas. La muestra consistirá de rebaba o viruta; deberán ser uniformes, bien mezcladas y libres de polvo. El tamaño de la viruta deberá ser aquel que se retenga en la malla número 16 y las rebabas no ser largas ni enroscadas. Para análisis de producto se suministrarán, cuando sea posible, las piezas con la sección original completa.

Las muestras en planchones, redondos, cuadrados y perfiles, deberán ser tomadas en cualquier punto medio, entre el exterior y el centro de la pieza, con taladros paralelos entre sí; si esto no es posible, la muestra deberá tomarse lateralmente hacia el centro; cabe señalar que únicamente es aprovechable las rebabas que corresponden a la porción media entre el exterior y el centro. Para las planchas, perfiles y barras, si no es aplicable el procedimiento de muestreo descrito anteriormente, la muestra deberá tomarse maquinando la sección completa, o si esto no es posible, barrenando completamente a través del material en un punto medio entre dos aristas.

MUESTREO DE PRODUCTOS DE ACERO PARA PRUEBAS FISICAS

El muestreo de producto de acero para las pruebas físicas correspondientes, consiste en la obtención de muestras representativas de lotes de acero estructural, acero de refuerzo, alambres y barras de preesfuerzo. El término lote se refiere a todos los productos de las mismas características y tamaño que corresponden a una colada o a un embarque.

Muestreo de barras y perfiles estructurales

Por cada lote de 30 toneladas o menos, se tomarán dos muestras consistentes en tramos de 60cm. En caso de lotes mayores de 30 toneladas, deberá tomarse

además de la muestra por cada 30 toneladas adicionales o fracción. Las muestras se cortarán con segueta o equipo de oxiacetileno, eliminando de las piezas los extremos defectuosos.

Muestreo de planchas y láminas

Por cada lote de 30 toneladas o menos, se tomará una muestra. En el caso de lotes mayores de 30 toneladas, deberá tomarse una muestra por cada 30 toneladas adicionales o fracción. Las muestras deberán ser de 60cm de longitud en el sentido de la laminación, por el ancho completo de la pieza cuando éste sea de 20 a 30cm. Para anchos menores deberá duplicarse la longitud de las muestras. Para anchos mayores de 30cm deberá limitarse la longitud de la muestra a 60cm. El corte se hará con segueta o equipo de oxiacetileno.

Muestreo de varillas de acero de refuerzo para concreto

Por cada lote de varillas, hasta de 10 toneladas, se tomarán 4 muestras. Para lotes mayores de 10 toneladas, deberán tomarse además de las 4 primeras muestras, una muestra por cada 10 toneladas o fracción. Las muestras se cortarán con segueta o equipo de oxiacetileno, con una longitud de 1.20m, procurando que sean de los extremos de las varillas.

Muestreo de acero de preesfuerzo para concreto

Para cada rollo de alambre se deberá tomar una muestra de 120cm de longitud. Las muestras deberán cortarse con tijeras o cizalla, descartando 1m del extremo del rollo y para cada 20 toneladas de torón se deberá tomar una muestra, descartando cualquier probeta en donde se encuentre una junta de alambre.

V.1 .2. PRUEBAS FISICAS

Dimensiones de probetas

Para ensayar muestras de barras, perfiles estructurales, planchas y láminas, es necesario efectuar algunas preparaciones para obtener los resultados confiables esperados. La longitud de calibración para determinar tensión y alargamiento, en ningún caso será menor de 25mm. Las probetas para ensayar materiales metálicos planos con espesores nominales iguales o mayores de 225mm, deberán

tener una longitud total de 450mm, longitud de la zona de sección reducida de 225mm, longitud de cada zona de sujeción de 75mm y longitud calibrada de 200mm \pm 2mm; el espesor de la probeta deberá ser el espesor original del material y el radio de la zona de transición será de 25mm.

Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la elaboración de probetas con una longitud total de 450mm:

1. Deberán marcarse los puntos para medir el alargamiento dentro de la zona de sección reducida.
2. Es posible emplear una probeta más angosta. En tal caso deberá ser tan grande como lo permita el ancho del material bajo carga. Si el ancho del material es menor o igual de 40mm, los lados serán paralelos en toda la longitud de la probeta.
3. Los anchos de los extremos de la sección reducida no diferirán entre sí en más de 0.10mm. Puede haber una reducción gradual del ancho desde los extremos al centro, pero el ancho en cualquiera de los extremos no será mayor de 0.4mm, que el ancho en el centro.
4. Es espesor mínimo de las probetas será de 5mm.
5. Se permite un radio mínimo de 13mm en las zonas de transición para probetas de acero con una resistencia máxima menor de 7000 kg/cm², siempre y cuando se utilice una fresadora para el maquinado de la zona de sección reducida.
6. La zona de sujeción deberá tener una longitud mínima equivalente a las dos terceras partes de la longitud de las mordazas.
7. Los extremos de la probeta serán simétricos en el eje de la zona de sección reducida con tolerancia de 2.5mm.

Las probetas para ensayar materiales metálicos planos tipo lámina, con espesores nominales desde 0.1mm hasta 16mm, deberán tener una longitud total de 200mm, longitud de la zona de sección reducida de 60mm, longitud de cada zona de sujeción de 50mm y longitud calibrada de 50mm \pm 0.1mm; el ancho de la zona de sujeción será de 20mm y el ancho de la sección reducida de 12.5mm \pm 2mm; el espesor de la probeta deberá ser el espesor original del material y el radio de la zona de transición será de 13mm.

Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la elaboración de probetas con una longitud total de 200mm:

1. Es posible emplear una probeta más angosta; en tal caso deberá ser tan grande como lo permita el ancho del material bajo carga. Si el ancho del material es menor o igual de 13mm, los lados serán paralelos en toda la longitud de la probeta.
2. Los anchos de los extremos de la sección reducida no diferirán entre sí en más de 0.05mm. Puede haber una reducción gradual del ancho desde los extremos al centro, pero el ancho en cualquiera de los extremos no será mayor de 0.10mm, que el ancho en el centro.
3. El espesor máximo de las probetas será de 16mm.
4. La zona de sujeción deberá tener una longitud mínima equivalente a las dos terceras partes de la longitud de las mordazas. Si el espesor de la probeta es

mayor de 10mm pueden necesitarse mordazas y zonas de sujeción más largas, para prevenir fallas en estas zonas.

5. Los extremos de la probeta serán simétricos en el eje de la zona de sección reducida con tolerancia de 0.25mm; sin embargo, puede considerarse satisfactoria una tolerancia de 1mm en la simetría de las probetas de acero, excepto en pruebas de peritaje.

Las probetas de alambres y varillas redondas tendrán la sección original siempre que sea posible. La longitud de calibración para alambres con diámetro menor de 6mm deberá apegarse a las especificaciones del producto. El ensaye de alambres con diámetro de 6mm o mayor, deberá usarse una longitud de calibración de cuatro veces su diámetro. La longitud total de la probeta será como mínimo igual a la de calibración mas lo que se requiera para la sujeción.

En alambres, varillas y barras de sección octagonal, hexagonal o cuadrada así como en varillas y barras de sección redonda cuando no se puedan obtener las probetas descritas en el párrafo anterior. Las probetas con la sección original del material pueden ser reducidas ligeramente en la zona de prueba con lija o maquinado, lo suficiente para provocar la fractura en las marcas de calibración. Para material que no exceda de 4.8mm de diámetro o de distancia entre caras planas, el área de la sección transversal puede reducirse como máximo un 10% del área original, sin cambiar la forma de la sección transversal. Para material mayor de 4.8mm de diámetro o de distancia entre caras planas, el diámetro o la distancia entre caras planas del material pueden reducirse como máximo 0.25mm sin que cambie la forma de la sección transversal. Los alambres o varillas cuadradas, hexagonales o octagonales que no excedan de 4.8mm entre caras planas, pueden tornearse a redondas, de manera que quedan con un área de sección transversal no menor de 90% del área del círculo inscrito. Las transiciones entre la zona de sección reducida y las zonas de sujeción, se harán preferiblemente con un radio de 10mm pero no menor de 3mm. Las varillas de sección cuadrada, hexagonal u octagonal de más de 4.8mm entre caras planas pueden tornearse a redondas, de manera que queden con un diámetro no menor de 0.25mm menos que la distancia original entre caras planas.

Las varillas y barras se pueden emplear en lugar de la probeta de sección original de fabricación, el mayor tamaño práctico de probeta redonda estándar.

Determinación del área de la sección transversal y los pesos unitarios de perfiles, planchas, barras-perfil y acero de refuerzo

El área de la sección transversal se determina con las dimensiones obtenidas directamente, mediante los procedimientos geométricos adecuados; cuando no sea posible determinar el área mediante este procedimiento, se deberá emplear la siguiente formula:

$$P = \frac{P}{7.84L} = 0.1276 \frac{P}{L}$$

El peso unitario por metro cuadrado se calculará con la siguiente formula:

$$P = \frac{P}{A}$$

p: peso del producto de acero en kilogramos por metro cuadrado

P: peso del tramo del producto considerado, en kg

A: área de la sección transversal en cm²

Y el peso unitario por metro lineal, con la formula:

$$P = \frac{P}{L}$$

p: peso del producto de acero en kilogramos por metro

P: peso del tramo del producto considerado, en kg

L: área de la sección transversal en cm²

Para determinar el peso unitario de una varilla, corrugada, debe tomarse un tramo de aproximadamente un metro, para obtener resultados representativos. Se pesa el tramo de varilla en una balanza con aproximación de un gramo. El peso por metro lineal de varilla se calcula con la siguiente formula:

$$P = \frac{P}{L}$$

p: peso unitario de la varilla en kilogramos por metro lineal

P: peso del tramo de varilla en kg

L: Longitud del tramo de varilla en metros

Para obtener el área neta de las varillas corrugadas se utiliza un tramo de varilla de aproximadamente 10cm de longitud con sus extremos paralelos entre sí y afinados con torno. Se imprime por algún método adecuado los contornos de los extremos de la varilla sobre papel milimétrico; se efectúa el conteo de los milímetros cuadrados en cada superficie impresa y su promedio se considera como el área neta de la varilla, la que debe reportarse en centímetros cuadrados con aproximación de dos decimales.

Por otra parte, por medición directa del volumen de un tramo de varilla de 10cm de longitud por inmersión en agua; el volumen de aguas desplazada corresponde al volumen del tramo de varilla sumergido. El área neta de la varilla se calcula con formula siguiente.

$$A = \frac{V}{L}$$

A: área neta de la varilla, en cm²

V: volumen obtenido por inmersión directa en agua, en cm³

L: longitud de la varilla en cm

También puede determinarse el volumen del tramo de varilla a partir de la formula de su peso específico.

$$V = \frac{P}{7.84}$$

$$V = A * L$$

Igualando las dos ecuaciones se tiene:

$$\frac{V}{7.84} = A * L \quad \text{Y despejando A.}$$

$$V = \frac{P}{7.84L} = \frac{0.1276 P}{L} = 0.1276 P$$

A: área neta de la sección transversal de la varilla en cm^2

L: longitud de la barra igual a 1m

P: Peso del tramo de varilla en kilogramos

p: peso unitario en kilogramos por metro lineal

7.84: Es el valor del peso específico del acero en g/ cm^2

El peso unitario de alambres y alambrones para refuerzo de concreto y de alambres o cable de acero para preesfuerzo deberá aplicarse el procedimiento para acero de refuerzo corrugado.

El área de los alambres de acero para preesfuerzo se determinará midiendo el alambre en tres secciones diferentes con un calibrador con aproximación al décimo de milímetro, tomando por lo menos dos lecturas en cada lugar, a 90° entre sí, promediando estos valores para obtener el diámetro de los alambres de acero.

El área de obtendrá con la siguiente formula:

$$A=6.2832r^2$$

A: área neta de la sección transversal en cm^2 , que se reportará con cuatro decimales

r: es el radio del alambre en cm, que se reportará con dos decimales

El área neta de los cables de acero para preesfuerzo se deberá calcular el área de cada uno de los alambres que forman el cable mediante el procedimiento descrito en el párrafo anterior y la suma de las áreas de cada uno de los mismos se reportará como el área neta.

Medición de corrugaciones en varillas de acero de refuerzo para concreto hidráulico

Las características de corrugación deberá ser determinado mediante la medición de la distancia entre éstas, su altura, el ancho de las corrugaciones transversales y longitudinales, la longitud de las corrugaciones transversales y su inclinación.

La distancia entre corrugaciones deberá determinarse en un tramo de varilla que comprenda por lo menos diez espacios entre corrugaciones. La distancia se medirá centro a centro de corrugaciones a lo largo de una línea paralela al eje de la varilla y se dividirá esa distancia entre el número de corrugaciones completas incluidas en la misma longitud. El valor de la medición se reportará en milímetros.

La altura de las corrugaciones se mide con un calibrador en tres lugares de una corrugación, al centro y en los tercios de su longitud. Esta determinación deberá

hacerse por lo menos en tres tramos alternados y opuestos de la varilla reportando el promedio de estas lecturas como la altura de las corrugaciones en milímetros.

En ancho de las corrugaciones transversales se medirá en la parte superior de la corrugación con un calibrador en cinco corrugaciones diferentes, al centro y en los tercios de su longitud. El promedio de las mediciones efectuadas se reportará como el ancho de las corrugaciones longitudinales, en milímetros.

La longitud de la corrugación se medirá con un flexómetro sobreponiéndolo directamente a ésta. El valor de la longitud de corrugación deberá tomarse del promedio de cinco lecturas tomadas en cinco diferentes lugares, que se reportará en centímetros.

La inclinación de las corrugaciones, se medirá con un transportador de tamaño adecuado el ángulo que existe entre el eje de la varilla y una corrugación transversal. Deberán tomarse por lo menos cinco lecturas en diferentes corrugaciones y el valor promedio de éstas deberá reportarse como la inclinación de las corrugaciones en grados sexagesimales.

PRUEBA DE TENSION

La máquina de ensaye para la prueba de tensión deberá tener una estructura, capacidad y precisión adecuadas; también deberá contar con los dispositivos de sujeción (mordaza de cuña, mordazas de rosca y de resalte, mordazas para lámina, mordazas para alambre y mordazas de torones) apropiados para cada tipo material. Por otra parte, deberá contar con el certificado de calibración vigente (un año de vigencia máximo).

Una vez instalada la muestra en las mordazas se inicia la aplicación de carga a una velocidad conveniente de prueba hasta la mitad del límite de fluencia especificado para cada producto o hasta la cuarta parte de la resistencia máxima, lo que sea menor. A partir de este punto, la carga deberá aplicarse a la velocidad especificada para cada producto o en caso de que no se especifique, deberá ser tal que permita registrar las cargas y las deformaciones correspondientes a los intervalos requeridos.

Durante la ejecución de la prueba, para determinar la resistencia de fluencia o el punto de fluencia, la velocidad de aplicación de esfuerzos no deberá exceder de 7000 kg/cm^2 por minuto. Esta velocidad puede incrementarse después de quitar el extensómetro, pero no excederá de 0.5mm/mm de calibración por cada minuto.

Los materiales que tengan un diagrama esfuerzo-deformación sin punto de fluencia definido, la resistencia de fluencia se determinará por cualquiera de los siguientes procedimientos.

Para materiales que tengan un diagrama esfuerzo-deformación con una zona de fluencia bien definida, el punto de fluencia se determinará por los métodos de detección directa del indicador de la máquina y por el método “offset”.

Deformación permanente especificada “offset” a partir de gráficas esfuerzo-deformación generadas durante el ensaye de especímenes, las cuales son dibujadas a través de dispositivos instalados para este propósito, en la máquina, se fija una abscisa, om , igual al valor especificado de la deformación permanente, después se dibuja una recta, una recta mn paralela a la recta inicial oa del diagrama y así se localiza el punto r , que es la intersección de la recta mn con el diagrama esfuerzo-deformación. La ordenada del punto r dará el valor de la resistencia de fluencia.

Extensión bajo carga. Se aplica en pruebas de aceptación o rechazo de materiales cuyas características de esfuerzo-deformación son bien conocidas, a partir de pruebas anteriores en materiales semejantes, en las que se dibujaron los diagramas esfuerzo deformación para determinar la resistencia de fluencia según una deformación permanente especificada. En pruebas de comprobación deberá obtenerse los diagramas esfuerzo deformación, empleando el método “offset”, para determinar la resistencia de fluencia.

La resistencia máxima a tensión así como de la de fluencia se calculará dividiendo la carga correspondiente entre el área de su sección original.

El alargamiento se determina juntando entre sí los extremos de la probeta fracturada y midiendo la distancia entre las marcas de calibración, con una aproximación de 0.5%, se puede usar una escala graduada en porcentajes que aproximen hasta 0.5% de la longitud de calibración. El alargamiento se reportará como un porcentaje de aumento de la longitud de calibración original.

Si la fractura se localiza fuera de las dos cuartas partes centrales de la longitud de calibración o en una de las marcas dentro de la zona de la sección reducida, el valor del alargamiento obtenido puede no ser representativo del material. Si el alargamiento así medido será dentro del mínimo especificado, será aceptado, pero si el alargamiento es menor del mínimo requerido, la prueba deberá repetirse.

El alargamiento antes de la fractura puede determinarse mediante métodos autográficos o bien con extensómetros.

La estricción (reducción de área) se determinará juntando entre sí los extremos de la probeta fracturada y midiendo el menor diámetro o el menor ancho y espesor en la parte de la sección transversal donde se ha obtenido la máxima reducción. La diferencia entre el área así determinada y el área de la sección transversal original, expresada en porcentaje del área original, es el por ciento de reducción de área o estricción.

PRUEBAS DE DOBLADO

La prueba de doblado es un método para evaluar la ductibilidad de los aceros, pero no puede considerarse como un índice para predecir las características de servicio en operaciones de doblado durante la construcción. La severidad de la prueba es función de los factores como el diámetro del mandril sobre el que se hace el doblado, sección transversal de la probeta y el ángulo de doblado. Las condiciones de prueba variarán de acuerdo con la localización y orientación de la probeta, la composición química del acero y sus propiedades físicas.

La probeta deberá doblarse a temperatura ambiente y sin impactos, a un ángulo especificado y sobre un mandril cuyo diámetro también está fijado. Para pasar satisfactoriamente esta prueba, la probeta no deberá presentar grietas en la parte exterior de la porción doblada. La velocidad de ejecución de esta prueba generalmente no es un factor importante.

En la preparación de las probetas para la prueba de doblado, redondearse sus aristas longitudinales, para evitar pequeñas grietas que desvirtúen el resultado de la prueba. También deberá tenerse cuidado de que la probeta tenga la longitud suficiente y que tenga libertad de movimiento en los puntos de apoyo.

Durante la operación de doblado deberá haber un contacto uniforme entre la probeta y el mandril. La prueba se desarrollará en forma continua y uniforme.

INSPECCION METALURGICA MACROSCOPICA

Este método de prueba permite conocer la condición interna de los productos de acero, detectando y evaluando los defectos de fabricación, tales como los tubos, grietas, inclusiones, porosidad y segregación, para lo cual se trata con un producto químico una sección del material para hacer resaltar dichos defectos y poderlos observar con instrumentos ópticos de bajo aumento; se aplica principalmente a productos de acero estructural, acero de refuerzo, acero de preesfuerzo y juntas soldadas.

La inspección metalúrgica macroscópica en productos de acero comprende el corte y preparación de probetas, su ataque químico, la observación microscópica y la evaluación de defectos.

Las probetas deberán tomarse de las muestras de los productos de acero cortándolas con una longitud aproximada de 12mm, con excepción del acero de preesfuerzo en que se requiere una longitud aproximada de 50mm. El corte deberá efectuarse en frío usando medios mecánicos como sin segueta, sierra, discos abrasivos o torno, procurando alejarse un mínimo de 10cm del extremo de la muestra cuando ésta se haya obtenido mediante el corte con soplete. La superficie del corte deberá quedar lo más plana posible eliminando las rebabas mediante limas o esmeril. En el caso de acero para preesfuerzo, la superficie de

corte deberá terminarse mediante torneado evitando esmerilar las aristas. Antes de someter las probetas al ataque químico, deberán limpiarse perfectamente con solventes, tales como gasolina o éter, con objeto de eliminar cualquier vestigio de grasa, aceite o pintura.

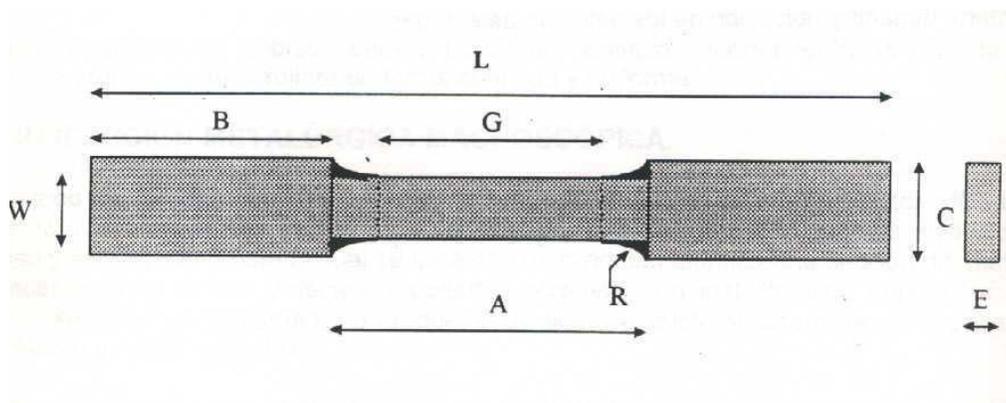
El ataque químico se iniciará colocando las probetas ya preparadas en un recipiente de vidrio resistente al calor y a los ácidos tales como vasos Pirex o cápsulas de porcelana; se agrega una solución de ácido clorhídrico rebajado con agua al 50% hasta cubrir las completamente. La solución se llevará a una temperatura de entre 70 y 80°C y se mantendrá en este rango durante 30 minutos para acero de refuerzo, acero estructural y juntas soldadas, o 10 minutos para acero de preesfuerzo. Para aceros de medio y alto carbono, el tiempo podrá variar de acuerdo con su contenido de carbono.

En juntas soldadas el ataque químico también se puede efectuar puliendo finamente las superficies de las probetas por examinar hasta hacer desaparecer razonablemente las huellas del corte. Las superficies de las probeta se someterán al ataque de una solución compuesta de 15 gramos de persulfato de amonio en 100 mililitros de agua, la cual se aplicará frotando la superficie con mota de algodón impregnada en la solución, hasta que aparezcan bien diferenciados el metal base y el de aporte.

Después de realizar el ataque químico correspondiente, las probetas se lavarán con agua corriente y se frotran con un cepillo de cerdas duras, se humedecen con alcohol y secan con un paño absorbente o papel filtro para su observación.

Las superficies de las probetas tanto las de corte como las laterales, se observan ya sea simple vista, con lupa o con microscopio estereoscópico de 10 a 20 aumentos. Se tomará nota del tipo, número, tamaño y ubicación de los defectos detectados.

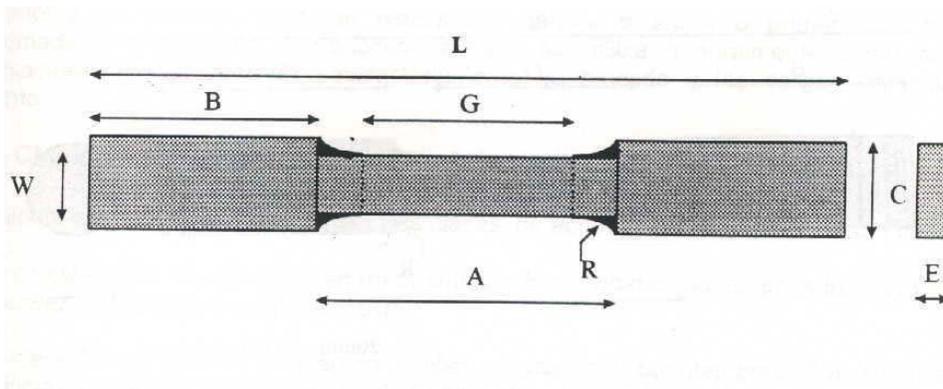
PROBETA ESTANDAR RECTANGULAR NUM. 6 PARA LA PRUEBA DE TENSION DE 200mm DE LONGITUD DE CALIBRACION



DIMENSIONES

G: Longitud de calibración	200.00 ± 0.2mm
W: Ancho	40.00 ± 2.0mm
E: Espesor	Espesor del material
R: Radio de la zona de transición	25.00mm mínimo
L: Longitud total	450.00mm mínimo
A: Longitud de la zona de sección reducida	225mm mínimo 75mm mínimo
B: Longitud de la zona de sujeción	50mm aprox.
C: Ancho de la zona de sujeción	

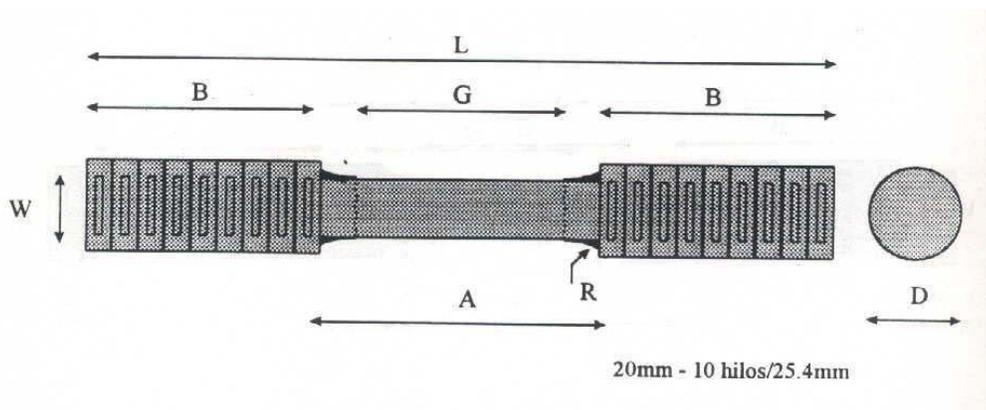
PROBETA ESTANDAR RECTANGULAR NUM. 7 PARA LA PRUEBA DE TENSION DE 50mm DE LONGITUD DE CALIBRACION



DIMENSIONES

G: Longitud de calibración	50.00 ± 0.1mm
W: Ancho	12.50 ± 0.2mm
E: Espesor	Espesor del material
R: Radio de la zona de transición	13.00mm mínimo
L: Longitud total	200.00mm mínimo
A: Longitud de la zona de sección reducida	60.00mm mínimo 50.00mm mínimo
B: Longitud de la zona de sujeción	20.00mm aprox.
C: Ancho de la zona de sujeción	

PROBETA ESTANDAR RECTANGULAR NUM. 6 PARA LA PRUEBA DE TENSION DE 200mm DE LONGITUD DE CALIBRACION



	DIMENSIONES
G: Longitud de calibración	50.00 ± 0.1mm
W: Diámetro de la sección reducida	12.50 ± 0.2mm
D: Diámetro de la zona de sujeción	Espesor del material
R: Radio de la zona de transición	10.00mm mínimo
L: Longitud total	125.00mm aprox.
A: Longitud de la zona de sección reducida	60.00mm mínimo 35.00mm mínimo
B: Longitud de la zona de sujeción	

V. 2. TIPOS DE MADERA ESTRUCTURAL

Producto de origen natural que se emplea en pilote, o como madera estructural que se utilice en obras falsa, tablaestacas, viaductos puentes y edificios.

PILOTES

Los Pilotes de madera.- son las piezas de madera o cruda o preservada, de forma aproximadamente cilíndrica o troncocónica que se utilizan generalmente como apoyo en cimentaciones y que resisten satisfactoriamente su hincado y las cargas transmitidas al cimiento.

Clasificación de pilotes de acuerdo con su uso.

Los pilotes de madera se clasifican en tres clases, de acuerdo con el uso al que son destinados.

Pilotes clase A.- son los que se usan en puentes u otras construcciones pesadas cuyo diámetro de la calesa será como mínimo de 35cm.

Pilote clase B.- son los que se usan en muelles, atracaderos puentes pequeños, cimentaciones de edificios y construcciones en general. El diámetro mínimo de la cabeza será de 30cm.

Pilotes clase C.- son los que se usan un ataguías, obras falsas, construcciones ligeras y pilotes de apoyo de cimentaciones que vallan a estar permanentemente sumergidos. El diámetro mínimo de la cabeza será de 25cm, para longitudes de 6m o menores de 30cm para longitudes mayores.

Los pilotes deberán ser de manera sana, libre de indicios de putrefacción o de ataques por insectos, exceptuando los casos siguientes.

- a) En los pilotes de cedro y ciprés, el extremo correspondiente a la cabeza podrá tener tubo o huella del tronco, que no exceda los 40mm de diámetro.
- b) Los pilotes del ciprés podrán tener picaduras que en conjunto no excedan los 40mm de diámetro de la zona defectuosa.
- c) Los pilotes de pino podrán tener nudos no sanos menores de la mitad del tamaño permitido de cualquier nudo sano, siempre y cuando la falta de sanidad no se extienda a mas de 40mm de profundidad y no afecten las áreas adacentes. En general, podrán aceptarse los pilotes que tengan cicatrices de trementina no atacadas por insectos.

Los árboles que se empleen para pilotes deberán cortarse arriba del nivel del suelo y deberán tener una disminución gradual un su diámetro desde la cabeza hasta la punta.

El tamaño de los nudos no deberán exceder al que se indica los párrafos subsecuentes y no deberán aceptarse agrupamientos de nudos. La distancia ente nudos deberán considerarse de centro a centro de los mismos.

TABLA LXXXI. LONGITUD DE PILOTES

Longitud Especificada m	Múltiplos de variación de longitud m	Tolerancia en la longitud especificada m
De 4.80 a 12.00	0.60 inclusive	± 0.30
Más de 12.00	1.5	± 0.60

El agrupamiento de los nudos es el conjunto de dos o más de ellos, siempre y cuando las fibras de la madera rodeen el grupo, ya que si estas rodean a cada uno independientemente, no se considerara como agrupamiento aunque estos se encuentren próximos.

Todos los pilotes deberán cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXXXI.

El perímetro de los pilotes, medidos sin considerar la cabeza, deberán cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXXXII, excepto que no mas del 10% de los pilotes de una remesa dada, podrá tener un perímetro 5cm menor que los valores mínimos dados en la tabla anteriormente citada, y la relación entre los diámetros máximo y mínimo en la cabeza de cualquier pilote no deberá exceder de 1.2.

Si se quiere un alto contenido de madera de duramen en los pilotes sin tratamiento, el diámetro de la madera de duramen no deberá ser menor de 0.8 del diámetro de la cabeza del pilote.

Los pilotes de madera de albura que se vayan a tratar con preservativos, no deberán tener menos de 2.5cm de espesor de madera de albura en cabeza.

Las cabezas y puntas de los pilotes se deberán aserrar perpendicularmente al eje del pilote y los nudos y ramas deberán cortarse al ras de la superficie de este, excepto las ramas que puedan cortarse a mano al ras de la superficie del borde que rodea al nudo.

TABLA LXXXII. CIRCUNFERENCIAS Y DIAMETROS DE PILOTES DE MADERA

Longitud m	Clase "A"				Clase "B"				Clase "C"									
	En la cabeza		En la punta		En la cabeza		En la punta		En la cabeza		En la punta							
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo						
	C cm	D aprox. cm	C cm	D aprox. cm	C cm	D aprox. cm	C cm	D aprox. cm	C cm	D aprox. cm	C cm	D aprox. cm						
PNOS, ABETOS Y HOYAMELES																		
Menos de 12																		
12 a 15incl.	112	35	145	46	71	23	97	30	160	51	64	20	*97	*31	160	51	64	20
15.5 a 21.5incl.	112	35	145	46	71	23	97	30	160	51	64	20	97	31	160	51	48	15
21.5incl. a 27.5incl.	112	35	160	51	56	18	104	33	160	51	48	15	97	31	160	51	48	15
Más de 27.5	112	35	160	51	48	15	104	33	160	51	41	13	97	31	160	51	41	13
ENCINOS, CIPRES Y OTRAS MADERAS DURAS																		
Menos de 9.20																		
9.20 a 12incl.	112	35	145	46	74	23	97	30	145	46	64	20	*97	*31	160	51	64	20
Más de 12.0	112	35	145	46	64	20	104	33	160	51	48	15	97	31	160	51	48	15
CEDRO																		
Menos de 9.20																		
9.20 a 12incl.	112	35	175	56	71	23	97	30	175	56	64	20	*97	*31	175	56	64	20
Más de 12.0	112	35	152	56	64	20	104	33	175	56	56	18	97	31	175	56	56	18

*En pilotes de clase C puede especificarse una circunferencia mínima de 79cm o un diámetro de 25 cm en la cabeza para longitudes de 6m o menos.

Clasificación de los pilotes de acuerdo retirarles con la corteza que hay que

De acuerdo con la cantidad de corteza que deberá ser retirado, los pilotes se clasifican de la siguiente manera:

- a) Pilotes de descortezado completo. Son aquellos a los que se les quita toda la corteza exterior y además, en forma bien distribuida, por lo menos el 80% de la corteza interior. Para un tratamiento adecuado con preservativos, no deberán quedar fajas de corteza interior de más de 12mm de ancho.
- b) Pilotes de descortezado tosco. Son aquellos a los que se le elimina totalmente, sólo la corteza.
- c) Pilotes sin descortezar. Son aquellos a los que no se les quita la corteza.

Pilotes clase A y B

En los pilotes, la línea recta imaginaria que una el centro de la cabeza con el centro de la punta. Deberá quedar íntegramente dentro del cuerpo del pilote.

Los pilotes largos sometidos a carga no muy alta, pueden aceptarse si la línea recta que una el centro de la cabeza con el centro de la punta, queda parcialmente fuera del cuerpo del pilote, siempre y cuando la distancia máxima entre dicha línea

y el pilote, no exceda de 0.5% de la longitud de éste o de 7.5cm, lo que sea menor.

Los pilotes también deberán estar libres de curvaturas cortas en las que la desviación respecto a la condición recta, en cualquier tramo de 1.5m, como se indica en la figura número 26, exceda de 6cm. Los pilotes con curvaturas cortas deberán satisfacer la condición de que la línea recta imaginaria que una el centro de la cabeza con el centro de la punta, deberá quedar íntegramente dentro del cuerpo del pilote.

La curvatura de las fibras en espiral, en cualquier tramo de 6m de longitud, no deberá exceder de la mitad de la circunferencia.

Los pilotes con longitud hasta de 15m y en las tres cuartas partes de la longitud a partir de la cabeza, en pilotes que tengan longitudes mayores de 15m, los nudos sanos no deberán ser mayores de 10cm o de 1/3 del diámetro del pilote en la sección donde se presenten, lo que sea menor.

En la cuarta parte restante de los pilotes con longitudes mayores de 15m, los nudos sanos no deberán ser mayores de 12.5cm o de la mitad del diámetro del pilote en la sección donde se presenten, lo que sea menor.

No se permitirán nudos, no sanos, excepto en los casos que ya se describieron anteriormente.

No se aceptarán agrupamientos de nudos, en los cuales las fibras de la madera se curven rodeando toda la unidad. Un grupo de nudos sencillos, en donde las fibras se curven alrededor de cada uno por separado, no se considera agrupamiento aún cuando los nudos estén cerca uno de otro.

La suma de los tamaños de los nudos en cualquier tramo de 30cm de longitud del pilote, no deberá exceder del tamaño máximo de nudos que se permita.

Podrán permitirse agujeros que tengan un diámetro promedio menor de 13mm, siempre y cuando la suma de los diámetros promedio de todos los agujeros, en cualquier superficie de un 0.10m² del pilote, no exceda de 38mm.

La longitud de las rajaduras no deberá ser mayor que el diámetro de la cabeza de los pilotes. La abertura de cualquier grieta o la suma de las aberturas de un conjunto de grietas, medidas sobre el anillo de crecimiento anual, situado en la mitad del radio de la cabeza del pilote, tampoco deberá exceder del diámetro de la cabeza del pilote.

Pilotes clase C

En los pilotes, la línea imaginaria que una el centro de la cabeza con el centro de la punta, podrá quedar parcialmente fuera del cuerpo del pilote, pero la distancia máxima entre dicha línea y el pilote, no deberá exceder del 1% de la longitud del pilote o de 7.5cm, lo que sea menor.

Los pilotes deberán estar libres de curvaturas en las que la desviación de la condición recta en cualquier tramo de 1.5m, como se indica en la figura 26, en ningún caso excederá de 6cm.

Las curvaturas cortas podrán aceptarse siempre que el pilote cumpla los requisitos de rectitud descritos anteriormente para pilotes clase C.

Las fibras en espiral no deberán exceder de una vuelta completa en cualquier tramo de 6m.

Los nudos sanos no deberán tener un diámetro mayor de 12.5cm o de la mitad del diámetro del pilote en la sección en donde se encuentren, lo que sea menor.

La magnitud de un nudo es la dimensión medida perpendicularmente al eje del pilote.

No se permitirán nudos no sanos, excepto en los casos descritos en los requisitos generales.

No se aceptarán nudos agrupados; la suma de los tamaños de todos los nudos, en cualquier tramo de 30cm de longitud del pilote, no deberá exceder del doble del tamaño del mayor nudo permitido.

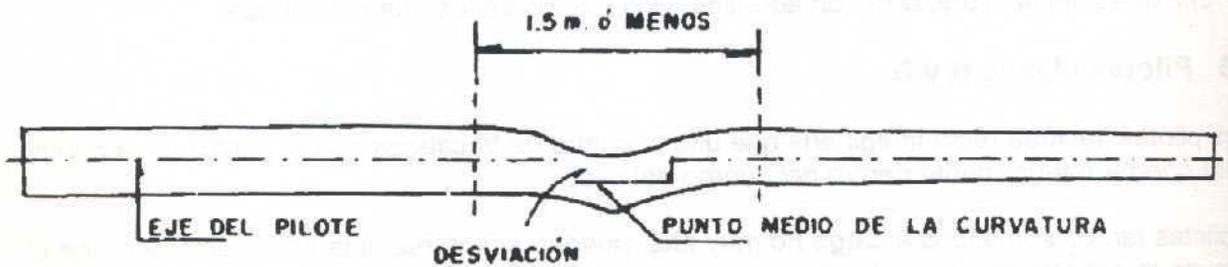
Se podrán permitir agujeros que tengan un diámetro promedio menor de 13mm, siempre y cuando la suma de los diámetros promedio de todos los agujeros, en cualquier superficie de 0.1m² del pilote, no exceda de 75mm.

La longitud de las rajaduras no deberá ser mayor de 1.5 veces de diámetro de la cabeza del pilote.

La abertura de cualquier grieta o la suma de las aberturas de un conjunto de ellas, medidas sobre el anillo de crecimiento anual situado en la mitad del radio de la cabeza del pilote, tampoco deberá exceder de 1.5 veces de diámetro de la cabeza del pilote.



CASO 1.- LOS EJES DE LA SECCION ABAJO Y ARRIBA DE LA CURVATURA SON APROXIMADAMENTE PARALELOS



CASO 2.- LOS EJES DE LA SECCION ABAJO Y ARRIBA DE LA CURVATURA COINCIDE O SON PRACTICAMENTE COLINEALES



CASO 3.- LOS EJES DE LA SECCION ARRIBA DE LA CURVATURA NO SON PARALELOS NI COLINEALES CON EL EJE ABAJO DE LA CURVATURA

FIGURA 26

MADERA ESTRUCTURAL

La madera estructural, es aquella empleada para la construcción de viaductos, puentes, edificios, tablaestacas, moldes, obras falsas, etc., para lo cual sus propiedades mecánicas y resistencia deben ser controladas.

La madera empleada podrá ser caoba, roble, oyamel, guapaque, sabino, pino, encino, abeto, nogal, ciprés, pinocote y cedro; para determinar su calidad la madera estructural se clasificará en calidad A, B y C, de acuerdo con la tabla LXXXIII.

La madera deberá estar libre de daños por ataques biológicos que disminuyan su resistencia o durabilidad, tales como putrefacción y acción de hongos o de insectos. La mancha azul no se considera como deterioro y se permite en cualquier clase de madera.

No se aceptará ninguna pieza de madera con peso volumétrico menor de 300kg/m^3 .

Cuando las piezas de madera tengan rebajo se removerá la corteza completamente y el rebajo se medirá donde éste tenga la mayor profundidad, para determinar la sección efectiva de la pieza.

Las piezas de madera aserrada podrán usarse sin preservativos, dependiendo del uso y ubicación de las piezas.

La inclinación de las fibras se determinará en una distancia suficientemente grande, para encontrar un valor general, sin tomar en cuenta las desviaciones cortas o locales.

La madera aserrada podrá tener un tercio o más de albura de verano, que es la porción más oscura y más dura del anillo anual, sobre una porción de 7.5cm de una línea radial situada como se describe en el párrafo siguiente. Las piezas que en medio tengan menos de 12 anillos anuales en 5cm, se aceptarán si en promedio tiene $\frac{1}{2}$ o más de albura de verano.

La velocidad decreciente del crecimiento se determinará en una línea radial que sea representativa del crecimiento promedio, en una sección transversal. Si la línea radial escogida no se considera representativa, se cambiará de sitio lo suficiente para obtener un promedio razonable, pero la distancia de la médula al principio de la porción de 7.5cm, sobre la que se cuentan los anillos, no se cambiará. En caso de duda se tomarán dos líneas radiales y el número de anillos y porcentaje de albura de verano será el promedio de estas líneas.

En la figura 27 se indican las zonas en que se divide un elemento estructural de madera sometida a flexión, para su calificación y ubicación de defectos.

La ubicación y dimensiones máximos tolerables de nudos y agujeros que provengan de nudos o de otras causas, se indican en la tabla LXXXIV.

Las rajaduras anuales se polines, tablones, vigas y largueros, deberán medirse en los extremos de la pieza. Solamente se tendrán en cuenta aquellas rajaduras que queden en los dos cuartos centrales del peralte de la pieza.

El tamaño de rajadura anular en columnas o postes de sección rectangular, es la dimensión del menor rectángulo que contenga a la rajadura anular y que tenga sus lados paralelos a las aristas de la sección extrema de la pieza.

El tamaño una rajadura anular en columnas o postes de sección rectangular, es la dimensión del menor rectángulo que contenga a la rajadura anular y que tenga sus lados paralelos a las aristas de la sección extrema de la pieza.

El tamaño de hendeduras y rajaduras radiales en columnas y postes, dentro de tres veces el ancho de la pieza a partir de cualquier extremo, será igual a su área estimada a lo largo de la sección longitudinal dividida entre tres veces el ancho de la pieza.

Se considera como tamaño de una fisura o grieta, la máxima profundidad de ésta medida con un alambre de 0.125mm de diámetro. Para elementos en compresión se permitirá incrementar los valores correspondientes dados en la tabla LXXXIII en un 50%.

Las dimensiones normales de las piezas de madera estructural aserrada, con las indicadas en la tabla LXXXV, considerándose como madera de corte especial en su aserrado, cuando el proyecto indique dimensiones diferentes a las aquí consignadas.

TABLA LXXXIII. CARACTERISTICAS ADMISIBLES DE LA MADERA ESTRUCTURAL

Tipo de defecto	Calidad A	Calidad B	Calidad C
Velocidad de crecimiento máximo	16 anillos/5cm	12 anillos/5cm	8 anillos/5cm
Fisuras o Grietas, profundidad máxima	¼ del espesor	3/8 del espesor	½ del espesor
Inclinación de la fibra, no mayor de	1 en 14	1 en 11	1 en 8
Aristas faltantes o gema, no mayor de	1/8 de cualquier superficie	1/8 de cualquier superficie	¼ de cualquier superficie
Bolsas de resina de menos de 3mm de ancho, profundidad máxima de	¼ del espesor	1/3 del espesor	½ del espesor

ZONAS EN LAS QUE QUEDA DIVIDIDO UN ELEMENTO ESTRUCTURAL DE MADERA PARA SU CLASIFICACION

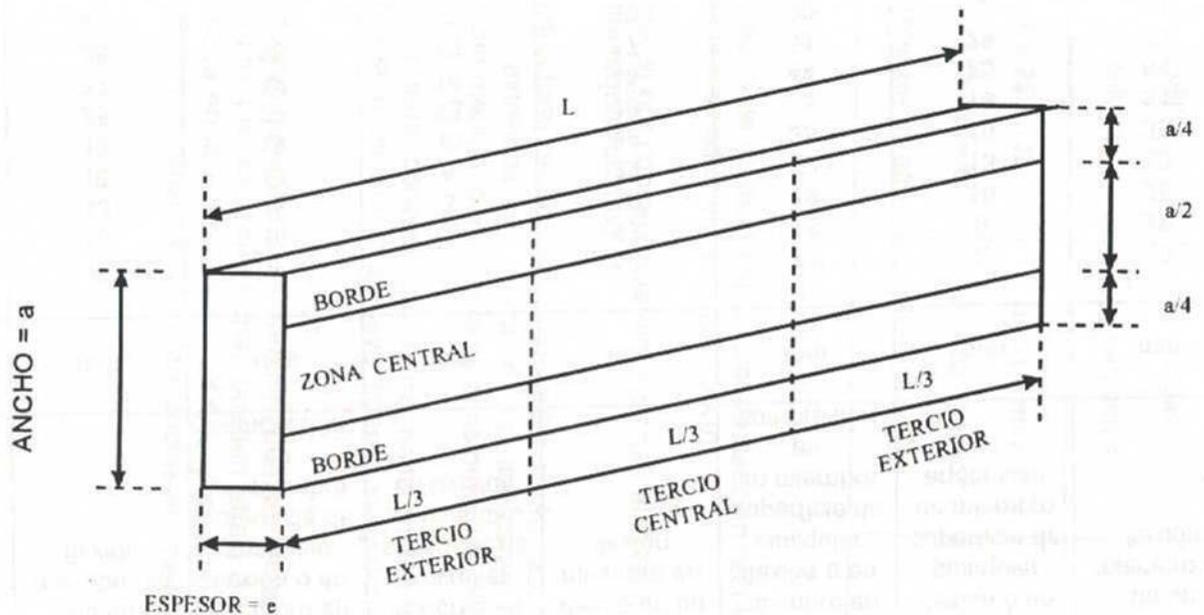


FIGURA 27.

TABLA NUM. LXXXIV DIMENSIONES MÁXIMAS TOLERANTES DE NUDOS

Ancho nominal de la superficie de la pieza		CALIDAD A			CALIDAD B			CALIDAD C		
		Nudos en el canto dentro tercio medio de un miembro en flexión	Nudos en la zona central de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en compresión	Nudos en las aristas de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en tensión	Nudos en el canto dentro tercio medio de un miembro en flexión	Nudos en la zona central de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en compresión	Nudos en las aristas de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en tensión	Nudos en el canto dentro tercio medio de un miembro en flexión	Nudos en la zona central de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en compresión	Nudos en las aristas de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en tensión
Pulg.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	25	6	6	-	10	10	3	13	13	6
1 1/2	38	10	10	-	13	13	6	13	16	10
2	51	13	13	3	19	19	10	25	22	13
2 1/2	64	16	16	6	22	22	13	32	29	19
3	76	19	19	10	29	25	16	38	32	22
4	102	25	25	13	38	35	19	51	44	29
5	127	32	32	16	48	44	25	64	57	38
6	152	38	38	19	57	51	29	76	61	44
7	178	41	44	22	60	60	32	83	76	50
8	203	44	51	29	67	67	38	89	86	60
9	220	48	54	32	70	73	44	92	92	67
10	254	56	60	35	73	79	51	98	102	76
11	279	56	64	38	76	86	54	102	108	83
12	305	64	70	41	79	92	60	108	114	89

No se permite la presencia de dos o más nudos de dimensión máxima en un mismo tramo de 305mm. Para miembros sujetos a flexión, de un solo claro, las dimensiones de nudos que aparecen en la tabla pueden aumentarse cuando éstos se localicen en los tercios exteriores de la pieza; estas dimensiones podrán aumentarse hacia los extremos hasta valores por 25%.

TABLA LXXXV. DIMENSIONES DE MADERA ESTRUCTURAL

Concepto	Polines y Tablones	Vigas y Largueros	Columnas y Postes
Espesor nominal en mm	De 25 a 102	De 51 o mayor	De 127 o mayor
Ancho nominal en mm	De 102 o mayor	De 102 o mayor	De 127 o mayor
Longitud nominal en cm	Múltiplos de 60	Múltiplos de 61	Múltiplos de 61

Las dimensiones reales de las piezas de madera estructural de sección rectangular, sin secado, deberán sujetarse a las tolerancias indicadas en la tabla LXXXVI.

No se aceptarán lotes de madera, si por concepto de dimensiones el 20% o más de las piezas que lo forman no cumplen con los requisitos fijados.

Todas las piezas de madera estructural de sección rectangular serán razonablemente rectas, bien aserradas, cortadas en sus extremos con sierra, o con las caras opuestas paralelas descortezadas completamente y sin médula, donde ésta se considera perjudicial.

La madera estructural sin cepillar será cortada con sierra hasta obtener las dimensiones nominales, permitiéndose en forma ocasional que haya ligeras variaciones al efectuar los cortes.

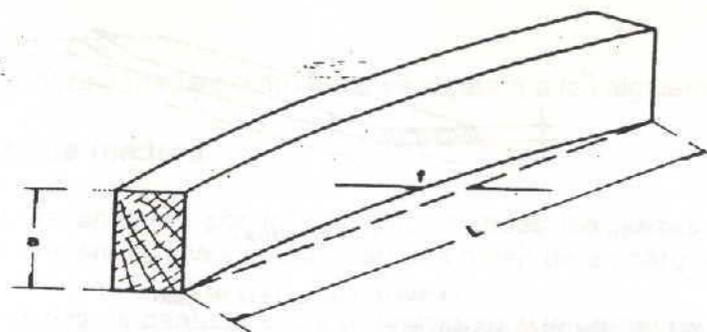
En ninguna parte de la longitud de cualquier pieza se permitirá que las variaciones causadas al efectuar los cortes con sierra, hagan que las dimensiones quedan debajo de las nominales, en una cantidad mayor que la señalada en la tabla número LXXXV y en ningún lote se permitirá que haya más del 20% de piezas con dimensiones con tolerancias en menos de los anotados en la tabla número LXXXVI.

TABLA LXXXVI. TOLERANCIAS DE LAS DIMENSIONES EN PIEZAS DE MADERA

Concepto	Espesor nominal mm	En espesor sin cepillar mm	En espesor cepillado mm	Ancho nominal mm	En ancho sin cepillar mm	En ancho cepillado mm
Polines, tablonces y otros miembros para tablero con carga aplicada sobre cualquiera de sus caras	25	±3	±10	102	±5	±10
	76	±5	±10	152	±5	±10
	102	±5	±10	203	±6*	±13*
	o mayor			o mayor		
Vigas, largueros y otros miembros con carga aplicada sobre la cara menor	51	±5	±13	102	±5*	±10*
	152	±6	±13	o mayor		
	203	±8	±13*			
	o mayor					
Columnas y postes de sección rectangular y otros miembros con cargas aplicadas sobre la cara menor	127	±5	±10	127	±5	±10
	152	±5	±13	152	±5	±13
	203	±6	±13*	203	±6*	±13*
	o mayor			o mayor		

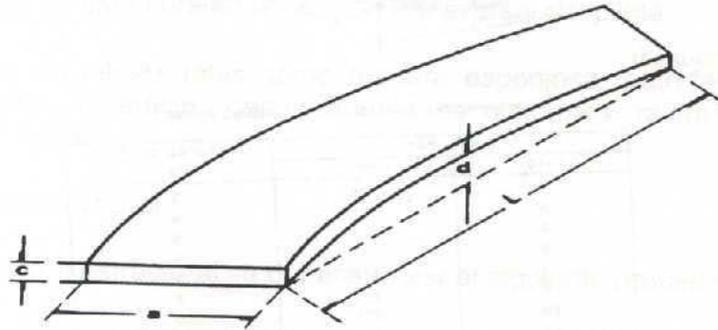
* Según la dimensión nominal que le corresponda.

FIGURA 28



Ancho "a"		Largo "L"		
		244cm (8')	366cm (12')	487cm (15')
Pulg.	mm	Valores de f en mm		
3	76	11	25	44
4	102	9	19	33
5	127	6	16	25
6	152	6	13	22
7	178	5	11	19
8	203	5	9	17
10	254	3	8	14
12	305	3	6	11

FIGURA 29



Ancho "c"		Largo "L"		
		244cm (8')	366cm (12')	487cm (15')
Pulg.	mm	Valores de d en mm		
1	25	33	75	135
1 1/2	38	22	51	90
2	51	17	38	68
2 1/2	64	14	30	57
3	76	11	25	44
4	102	8	19	33

FIGURA 30. TOLERANCIAS PARA t EN LA TORCEDURA

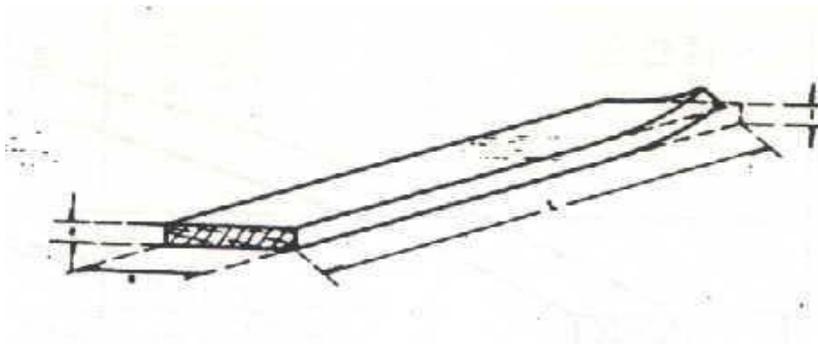
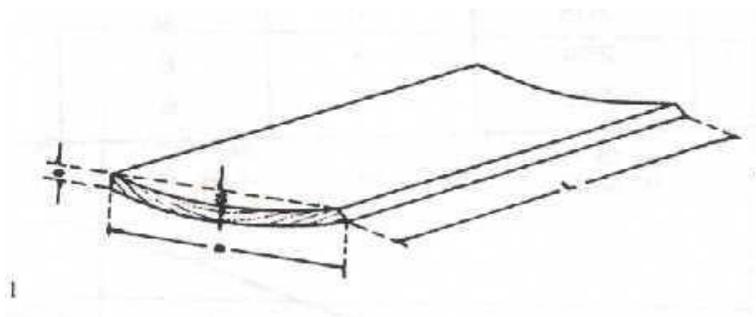


FIGURA 31. TOLERANCIAS PARA S EN LA ACANALADURA



Ancho “		Valores de S mm
Pulg.	mm	
3	76	3
4	102	4
5	127	5
6	152	6
7	178	7
8	203	8
10	254	10
12	305	12

V.2.1 MUESTREO

El muestreo de pilotes de madera y madera estructural se sujetará a los siguientes lineamientos.

Muestreo de pilotes de madera

Para efectos de muestreo, se entiende por lote de pilotes todas las piezas de las mismas dimensiones nominales, de la misma clase y que forman una orden de embarque.

La determinación de dimensiones, la derecha, las desviaciones y la presencia de defectos, se deberá hacer a la totalidad de los pilotes que forman el lote, ya que se trata de pruebas no destructivas.

La determinación de las dimensiones de los pilotes, así como del diámetro de la madera de duramen y de los defectos, se hará empleando un flexómetro o cinta métrica, aproximando al centímetro.

La derecha de los pilotes se podrá determinar uniendo con un cordel tenso los extremos de los diámetros de la cabeza y la punta y midiendo la distancia máxima entre el cordel y la superficie del pilote, aproximando a 0.5cm. Esta determinación

deberá hacerse en dos planos a 90° entre sí. Las curvaturas locales deberán medirse haciendo mediciones similares dentro de una longitud de 1.5m.

Las desviaciones de fibras en pilotes, marcará en el pilote un tramo de 6m y a partir de un extremo de este tramo, se seguirá una fibra, la cual en general describirá una hélice y se determinará el ángulo central que quede comprendido entre los radios de los puntos de proyección de los extremos de esta fibra en la sección transversal del pilote.

La presencia de defectos en pilotes tales como madera esponjosa, putrefacción, manchas, plagas, hongos, estalladuras, superficies desgarradas o no uniformes, rajaduras y nudos, se detectarán por inspección visual.

Muestreo de madera estructural

Para el muestreo de la madera estructural se deberá seguir el siguiente procedimiento.

- a) La selección del material de cada lote, que servirá para fabricar probetas que se requieran en las determinaciones y pruebas, se hará escogiendo tramos que estén libres de daños ocasionados por condiciones inadecuadas de almacenamiento o por intemperismo.
- b) Se escogerán tramos en que las fibras sean sensiblemente rectas y sanas, teniendo en cuenta que puede permitirse la presencia de nudos ubicados de manera que no afecten fundamentalmente la resistencia de la probeta o puedan constituir un principio de falla.
- c) De cada lote se obtendrán 12 tramos con dimensiones de 6 x 6 x 120cm, que servirán para fabricar las probetas de flexión, compresión, tensión, dureza, cortante, desgarramiento y extracción de clavos, y para las determinaciones de peso volumétrico, contracciones y humedad.
- d) Por cada lote se obtendrán dos tramos con dimensiones de 2.5 x 2.5 x 10cm, cortados transversalmente a las fibras, para determinación de la contracción tangencial.
- e) Cuando el tamaño de la sección de las piezas por muestrear sea mayor de 15 x 15cm o de más de 20cm de diámetro y muestren claramente los anillos de crecimiento, se fabricarán 2 probetas de 2.5 x 2.5 x 10cm, cortándolas de tal modo que su longitud coincida con la dirección radial.

V.2.2 PRUEBAS EN MADERA ESTRUCTURAL

De acuerdo con el uso al que será destinada la madera estructural, ésta deberá ser muestreada y sometida a las siguientes pruebas para conocer su calidad.

Flexión estática
Compresión paralela a las fibras
Compresión perpendicular a las fibras
Dureza
Esfuerzo cortante
Desgarramiento
Tensión paralela a las fibras
Tensión perpendicular a las fibras
Peso volumétrico
Contracción volumétrica
Grado de humedad

Flexión estática

La prueba de flexión estática se inicia con la preparación de 6 probetas de aproximadamente 5 x 5 x 76cm, las cuales se colocarán en dos apoyos con un claro de 70cm. La carga se aplica por medio de una cabeza de madera dura instalada en el cabezal de la maquina de ensaye. La velocidad de aplicación de carga será de 2.5mm por minuto.

Durante la prueba se deberá medir la fecha que en forma progresiva teniendo durante la aplicación de carga hasta obtener flecha máxima. Se traza la gráfica con las cargas y flechas registradas hasta la carga máxima o hasta una carga ligeramente menor a ésta en cada una de las probetas. Cuando no se alcance la ruptura, las mediciones de las flechas deben continuarse cuando menos en una tercera parte de las probetas, para que el trazo de la gráfica sea llevado hasta alcanzar una flecha de 15cm o hasta una carga de 90kg. Las gráficas deben mostrar claramente la carga y deformación registrada al ocurrir la primera falla, los cambios bruscos observados en el comportamiento de las probetas y la carga máxima alcanzada.

Después de efectuada deberá ser clasificado el tipo de falla a través de una inspección visual.

El reporte de los resultados de la prueba de flexión estática deberá contener los siguientes datos.

Módulo elástico

$$E=(P/f) (L^3/481)$$

E: módulo elástico de la madera, en kg/cm^2

P: carga correspondiente a la flecha f, dentro del rango elástico

f: flecha medida en centímetros, producida por la carga P

L: claro de la viga en centímetros

I: momento de inercia de la sección transversal, con relación al eje que pasa por su centroíde, en centímetros a la cuarta potencia

Módulo de ruptura

$$MR = 3PL / 2bd^2$$

MR: módulo ruptura en kg/cm^2

P: carga de ruptura de kg

L: claro de la viga en centímetros

b: ancho de la probeta en centímetros

d: peralte de la probeta en centímetros

Debe reportarse el promedio, tanto del módulo elástico como del módulo de ruptura, determinados en cada una de las probetas que forman un lote. También deberán incluir el valor del grado de humedad.

Compresión paralela a las fibras

La prueba de compresión paralela a las fibras deberá efectuarse previa la elaboración de 6 probetas de 5 x 5 x 20cm, midiendo cuidadosamente sus dimensiones, para determinar la sección transversal y la longitud de las probetas terminadas. Se aplica la carga en dirección del eje longitudinal de la probeta empleando una máquina de ensaye con asiento de rótula. La carga se aplica de manera continua a una velocidad de 0.6mm por minuto.

Durante la prueba deberán registrarse las cargas y las deformaciones correspondientes a intervalos regulares y hasta que se sobrepase ampliamente el límite elástico de la madera, teniendo cuidado de registrar la carga máxima alcanzada.

En esta prueba deberán reportarse lo siguiente.

Resistencia máxima

$$R=P/A$$

R: resistencia a la compresión paralela a las fibras, en kg/cm^2

P: carga máxima alcanzada en kg

A: área de la sección transversal original de la probeta, en cm^2

En caso de que se tenga la gráfica esfuerzo-deformación, podrá calcularse el módulo elástico de la madera en compresión, en kg/cm^2 . Este módulo será la pendiente de esta gráfica en su zona inicial; cuando la zona inicial no sea recta, podrá usarse cualquier otro concepto de módulo como el secante o tangente, para una resistencia especificada.

Después de efectuada la prueba deberá ser clasificado el tipo de falla a través de una inspección visual. También se reportará el grado de humedad de la madera.

Compresión perpendicular a las fibras

La prueba de compresión perpendicular a las fibras deberá ser efectuado empleando probetas de 5 x 5 x 15cm, la cual se coloca horizontalmente, para recibir carga a través de una placa rígida de 5cm de ancho, colocado en el tercio medio de la cara mayor de la probeta. Esta carga de compresión debe aplicarse por medio de un sistema de rótula y procurando que la dirección de la carga se aplique normal a los anillos de crecimiento; la velocidad de desplazamiento del cabezal de la maquina deberá ser continua y de 0.3mm por minuto.

Durante la ejecución de la prueba deberán registrarse las deformaciones y las cargas correspondientes desde el inicio de la prueba hasta que se alcance una deformación de 2.5mm, después de la cual la prueba debe interrumpirse.

La carga requerida para producir la deformación de 2.5mm se reportará como la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras. También se debe reportar el peso volumétrico y el grado de humedad de la probeta.

Dureza

La prueba de dureza deberá efectuarse empleando probetas de 5 x 5 x 15cm y un penetrador de acero con punta esférica, con diámetro de 11.3mm.

La prueba consisten en hacer que el penetrador se introduzca a través de la superficie de la probeta hasta una profundidad de 5.65mm, el equivalente del radio de la esfera del penetrador ($r=11.3/2=5.65\text{mm}$).

Se efectúan dos penetraciones sobre una superficie tangencial y dos sobre una superficie radial de los anillos de crecimiento. Estas penetraciones se harán alejándose de los bordes de cada superficie seleccionada, para prevenir desgarramiento o rajaduras. La carga se aplicará de manera continua, con velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina de 6mm por minuto.

La carga necesaria para alcanzar la penetración de 5.65mm, se considera como la dureza de la madera; se debe reportar el promedio de los valores de dureza determinados en cada cara de la probeta, así como el grado de humedad.

La prueba de esfuerzo cortante paralelo a las fibras, deberá efectuarse empleando probetas de 5 x 5 x 6cm. La probeta tiene un rebaje de 1cm para provocar la falla en una de las caras de 5 x 5cm. Se aplicará la carga empleando el dispositivo de corte. La superficie de falla y el borde de la superficie de apoyo más cercana a dicho plano, será de 3mm.

La carga se aplica sobre la cara que muestra los extremos de las fibras; se tendrá cuidado de verificar que al colocar las probetas, el travesaño del dispositivo se sujete de tal modo que las aristas longitudinales de la probeta queden colocadas verticalmente.

Durante la prueba, la carga se aplica de manera continua, con una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina, de 0.6mm por minuto; no se tomarán en cuenta las pruebas en las que la falla localizada en la base de la probeta, se extienda dentro de la superficie de apoyo.

El reporte de resultados deberá consignar, además de las características dimensionales y de la humedad de la probeta, la carga máxima registrada en el ensaye y el esfuerzo cortante calculado con la siguiente fórmula.

$$v=V/A$$

v: esfuerzo cortante en kg/cm²

V: carga máxima en kg

A: área de la sección resistente en cm²

Desgarramiento

La prueba de desgarramiento deberá efectuarse usando probetas elaboradas con las características específicas para esta prueba. Durante el ensaye la probeta se sujeta con mordazas y la carga se aplica de manera continua, con una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina de 2.5mm por minuto.

En esta prueba, además de las características dimensionales y de humedad de la probeta, se reporta la carga máxima registrada en el ensaye y la resistencia unitaria al desgarramiento, calculada con la siguiente fórmula.

$$D=P/l$$

D: resistencia unitaria al desgarramiento en kg/cm²

P: carga máxima en kg

l: ancho del área de desgarramiento

Deberá reportarse también el esquema descriptivo de la falla.

Tensión paralela a las fibras

La prueba de tensión paralela a las fibras deberá efectuarse usando probetas de sección reducida, elaboradas de tal manera que los anillos de crecimiento queden perpendicularmente al lado mayor de la sección transversal crítica de la probeta.

La carga se aplica a una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina de ensaye, de 1mm por minuto. La sujeción se hace preferentemente con mordazas especiales y en caso de requerirse ala medición de las deformaciones éstas se tomarán en una longitud de 5cm en la porción central de la probeta. Las lecturas simultáneas de carga y deformación se suspenden cuando se rebase el límite de proporcionalidad.

En esta prueba debe reportarse lo siguiente.

- 1) Esfuerzo máximo, calculado en la carga máxima y el área de la sección crítica original de la probeta.
- 2) Gráfica carga-deformación, cuando se requiera.
- 3) Esfuerzo en el límite de proporcionalidad, cuando se requiera.
- 4) Características dimensionales y de identificación de la probeta.
- 5) Grado de humedad.
- 6) Diagrama del tipo de falla, cuando se requiera.

Tensión perpendicular a las fibras

La prueba de tensión perpendicular a las fibras deberá efectuarse usando probetas elaboradas con las características específicas para esta prueba, las cuales se sujetarán con mordazas a la máquina de ensaye. La carga se aplica en forma continua a una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina, de 2.5mm por minuto durante toda la prueba.

En esta prueba debe reportarse lo siguiente.

- 1) Características dimensionales y de identificación de la probeta.
- 2) Esfuerzo máximo, calculado con la carga máxima dividida entre el área de la sección crítica original de la probeta.
- 3) Diagrama del tipo de falla si se requiere.
- 4) Grado de humedad.

2.4.9 Peso volumétrico y contracción volumétrica

La determinación del peso volumétrico y la contracción volumétrica, deberán efectuarse empleando la misma probeta, cuyas dimensiones nominales son de 5 x 5 x 15cm secados a un grado de humedad de 12% aproximadamente y en la condición de secado al horno.

Se pesan las probetas y se determina su volumen por el método de inmersión al recibirse la madera en el laboratorio. Se dejan secar a la temperatura ambiente, teniendo cuidado de que al dejarla reposar no estén en contacto entre si para que el aire pueda circular libremente entre ellas, hasta que tenga un grado de humedad del 12% aproximadamente; posteriormente se vuelven a pesar las probetas y se determina nuevamente su volumen por inmersión.

Después se secan las probetas en un horno, de tal modo que el aire circule libremente entre ellas a una temperatura de $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta que alcancen un peso aproximadamente constante. Se pesan después del secado y mientras permanecen calientes, se sumergen en un baño de parafina fundida, extrayéndose rápidamente, para conseguir que queden recubiertas por una capa delgada.

El peso volumétrico y la contracción volumétrica se determinan a partir de la probeta secada al horno y con 12% de humedad, con la siguiente formula.

$$P_v = P/V$$

P_v : peso volumétrico en g/cm^3

P : peso de la probeta en gramos

V : volumen de la probeta en cm^3

Se debe reportar 3 valores de peso valores de peso volumétrico, tomando el volumen de la probeta en condición de recepción, con 12% de humedad y secada en horno. La contracción volumétrica se calcula con la fórmula siguiente.

$$C_v = 100(V_i - V_f)/(V_i)$$

C_v : contracción volumétrica en %

V_i : volumen de la probeta en condición de recepción en cm^3

V_f : volumen de la probeta en cm^3

2.4.10 Grado de humedad

La determinación del grado de humedad debe efectuarse de acuerdo al siguiente procedimiento.

En cada prueba de resistencia mecánica se requiere determinar y reportar el grado de humedad, para lo cual, inmediatamente después de efectuar la prueba, se toma una muestra en la zona cercana a la ruptura, de aproximadamente 70 cm³.

En cuanto se obtiene la muestra se eliminan las astillas y se determina el peso de la misma, con aproximación de ±0.2%.

Las muestras se colocan en un horno de modo que el aire caliente circule libremente entre ellas y se secan a una temperatura de 103±2°C, hasta que se alcancen aproximadamente peso constante, después de lo cual se vuelven a determinar su peso con la misma aproximación.

El grado de humedad se calcula con la siguiente fórmula.

$$H=100(P_h-P_s)/(P_s)$$

H: grado de humedad en %

Ph: peso de la muestra en estado húmedo en g

Ps: peso de la muestra secada al horno en g

CAPITULO VI

METODOS ESTADÍSTICOS PARA EL
CONTROL DE CALIDAD.

CAPITULO VI

METODOS ESTADISTICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Para realizare el control de calidad de algún material mediante métodos estadísticos, se requiere determinar qué característica del mismo es la que se revisará para evaluar si se encuentra con valores aceptables. Para esta revisión es entonces necesario obtener, mediante pruebas o experimentación, los valores que tiene dicha característica del material en algunos momentos o lugares de colocación seleccionados adecuadamente.

Al hacer las pruebas se encontrará que los resultados o valores que se obtienen con diferentes especimenes varían entre sí, por lo que la característica bajo análisis es, en sí misma, una variable.

El análisis estadístico de los distintos valores o datos que se obtienen de las pruebas, permite determinar, con determinados niveles de confianza, si éstos se encuentran dentro de rangos aceptables o si cumplen ciertas especificaciones.

VI. 1 DEFINICION DE CONCEPTOS

EXPERIMENTO

Para fines de este curso, se entenderá por experimento a todo proceso de observación de un fenómeno o variable de interés. Así, un experimento puede ser planeado y realizado por el hombre, o puede ser efectuado por la naturaleza, en caso de un fenómeno natural.

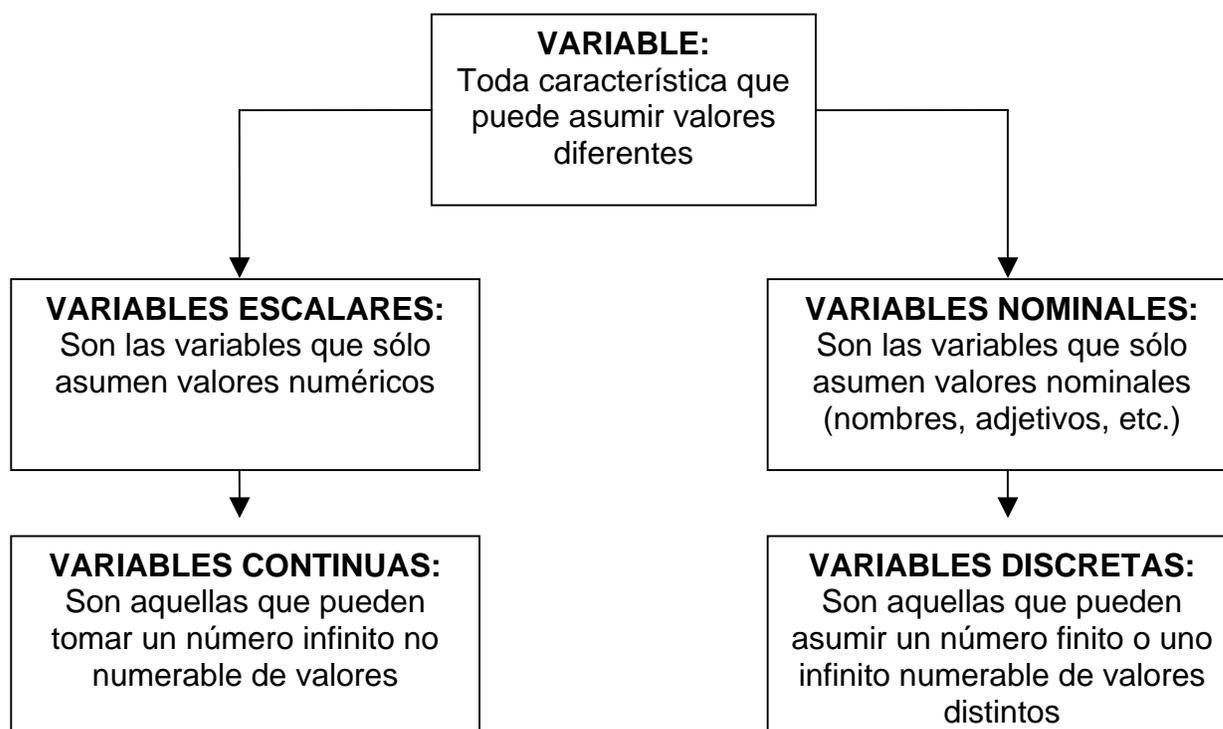
Por ejemplo, el lanzar una moneda o un dado y observar la cara que queda hacia arriba, es un experimento planeado y realizado por el hombre. El observar la cantidad de agua que llueve anualmente en una localidad, es un experimento asociado a un fenómeno natural.

DATO: Es el resultado de la realización de un experimento.

MUESTRA: Es un grupo o colección de datos.

VARIABLES ALEATORIAS

De acuerdo con ciertas características, las de variables se clasifican de la siguiente manera:



Una variable aleatoria es una variable tal que no puede predecirse con certeza el valor que asumirá al realizarse un experimento. Por ejemplo, la resistencia o carga de falla de unas vigas es una variable aleatoria, ya que antes de romper una viga tomada al azar no se puede precisar cuál será su resistencia. En la siguiente tabla se presenta los resultados experimentales con 15 vigas de concreto reforzado, observándose que éstos varían de unas a otras de manera aleatoria.

Pruebas de vigas de Concreto Reforzado

Número de la Viga	Carga de Agrietamiento, en Kg, X	Carga de Falla en Kg, Y
1	4700	4790
2	3840	4220
3	3270	4360
4	2310	4680
5	2950	4270
6	4810	4810
7	2720	4590
8	2720	4490
9	4310	4310
10	2950	4630
11	4220	4920
12	2720	4340
13	2720	4340
14	2630	4770
15	2950	4630

A todo experimento se le puede asociar al menos una variable aleatoria, dependiendo ésta del problema que se tenga planteado; por ejemplo, en el caso de la resistencia de las vigas, la variable aleatoria puede ser directamente dicha resistencia, en cuyo caso su espacio de valores sería:

$$S1 = (X : 0 < X < \infty)$$

La variable también pudo haber sido una cuyo espacio de valores fuera:

$$S2 = (\text{Existo, Fracaso})$$

En donde el éxito ocurriría si la viga cumpliera alguna especificación de que resistiera más de cierta cantidad, por ejemplo 4600 Kg, y el fracaso ocurriera si resistiera menos, es decir:

Éxito: si $X \geq 4600$ Kg

Fracaso: si $X < 4600$ Kg

PROBABILIDAD: Es una medida de la certidumbre que se le asocia a la ocurrencia u observación de un resultado determinado, al realizarse el experimento correspondiente a un fenómeno o variable.

La teoría de probabilidades es una rama de las matemáticas aplicadas que trata lo concerniente a la asignación y manejo de probabilidades.

ESTADISTICA: Es la rama de las matemáticas que se encarga de enseñar las reglas para coleccionar, organizar, presentar y procesar los datos obtenidos al realizar varias veces el experimento asociado a un fenómeno de interés, y para inferir conclusiones acerca de este último. Proporciona, además, los métodos para el diseño de experimentos y para tomar decisiones cuando aparecen situaciones de incertidumbre.

ESTADISTICA	<p>DESCRIPTIVA.- Trata lo concerniente a la obtención, organización, procesamiento y presentación de datos.</p> <p>INFERENCIAL.- Trata lo concerniente a los métodos para inferir conclusiones acerca del fenómeno del cual provienen los datos.</p>
-------------	--

MUESTREO: Es el proceso de adquisición de una muestra.

MUESTREO	<p>CON REEMPLAZO.- Cuando cada elemento observado se reintegra al lote del cual fue extraído, antes de extraer el siguiente.</p> <p>SIN REEMPLAZO.- Cuando cada elemento observado no se reintegra al lote.</p>
----------	---

POBLACION: Total de datos que se pueden obtener al realizar una secuencia exhaustiva de experimentos sobre el fenómeno de interés.

POBLACION DISCRETA.- Tiene un número finito o un número infinito numerable de datos posible.
CONTINUA.- Tiene un número infinito no numerable de datos posibles.

Ejemplos:

- | | |
|-----------------|--|
| 1. Experimento: | Lanzamiento de una moneda diez veces. |
| Experimento: | Sucesión infinita numerable de “caras” y “cruces”: discreta. |
| Muestra: | Grupo de 10 observaciones. |
| 2. Experimento: | Medición de la resistencia a compresión simple del concreto hidráulico utilizado en una carretera, al probar 87 corazones extraídos de la carpeta. |
| Población: | Sucesión infinita de valores no numerables: continua. |
| Muestra: | Grupo de 87 observaciones. |

MUESTRA ALEATORIA: Es una muestra obtenida de tal manera que todos los elementos de la población tiene la misma probabilidad de ser observados y, además la observación de un elemento no afecta la probabilidad de observar cualquier otro, es decir, si son independientes.

VI. 2 MUESTREO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Quando se obtiene una muestra, ésta debe ser ALEATORIA para que represente adecuadamente a la población de procedencia.

TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS: Es una tabla que contiene números que constituyen una muestra aleatoria.

Las tablas que se usen para obtener una muestra aleatoria deben contener números con mayor número de dígitos que los que tiene el total de elementos de la población que se va a muestrear. Por ejemplo, si se va a obtener una muestra aleatoria de un lote de varillas que tiene 10,000 elementos, la tabla que se use deberá tener números aleatorios con cinco o más dígitos.

Método de Muestreo Aleatorio

1. Se enumeran los elementos de la población.
2. Se fija el criterio de selección de los números aleatorios (por ejemplo, se define que renglones y qué columnas se van a leer).
3. Se indica qué dígitos se van a eliminar en caso de que los números de la tabla tengan más dígitos que los necesarios.
4. Se leen los números, de acuerdo con lo fijado en los puntos 2 y 3, y se extraen del lote los elementos que tienen los números leídos. Estos constituyen la

muestra física con la cual realizar los experimentos; las observaciones constituirán la muestra aleatoria deseada.

Ejemplo:

Se tiene un lote de 1,000 pernos cuya calidad se va a verificar estadísticamente, para lo cual se decide tomar una muestra representativa de 40 elementos, usando la tabla de números aleatorios anexa, para medir su resistencia al esfuerzo cortante.

Se decide el criterio de tomar todos los renglones impares eliminando el último dígito.

Para esto, se identifican todos los pernos con números del uno al mil; la muestra física quedaría integrada por los pernos correspondientes a los números 0415, 0006, 0394, 0998, 0530, 0394, 0160, etc. La muestra estadística sería el grupo de las 40 resistencias que se obtengan al probar los pernos.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR PUNTOS DE MUESTREO EN UN TRAMO CARRETERO.

Para obtener muestras o realizar pruebas en un segmento carretero, se puede utilizar la Tabla 1 de Números Aleatorios, con el fin de seleccionar los sitios donde se colectarán los datos. El procedimiento es el siguiente:

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

Ejemplo:

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

1. Longitud de cada tramo:

Tramo 1: 10 + 00 a 28 + 90 (1890m)

Tramo 2: 28 + 90 a 42 + 62 (1372m)

Tramo 3: 42 + 62 a 60 + 30 (1768m)

2. Número de datos para cada tramo

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

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

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

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

3. Determinación de las columnas de la Tabla 1 para el muestreo

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

4. Números aleatorios obtenidos

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

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

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

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

Para el tramo 3, se usa la columna 15:

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

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

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

Para el tramo 1, de 1890 m:

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

Para el tramo 2, de 1372 m:

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

Para el tramo 3, de 1768 m:

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

6. Determinación de las posiciones transversales de muestreo

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

Para el tramo 1:

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

Para el tramo 2:

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

Para el tramo 3:

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

7. Puntos de muestreo

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

Estos puntos de muestreo se presentan en la Figura 1.

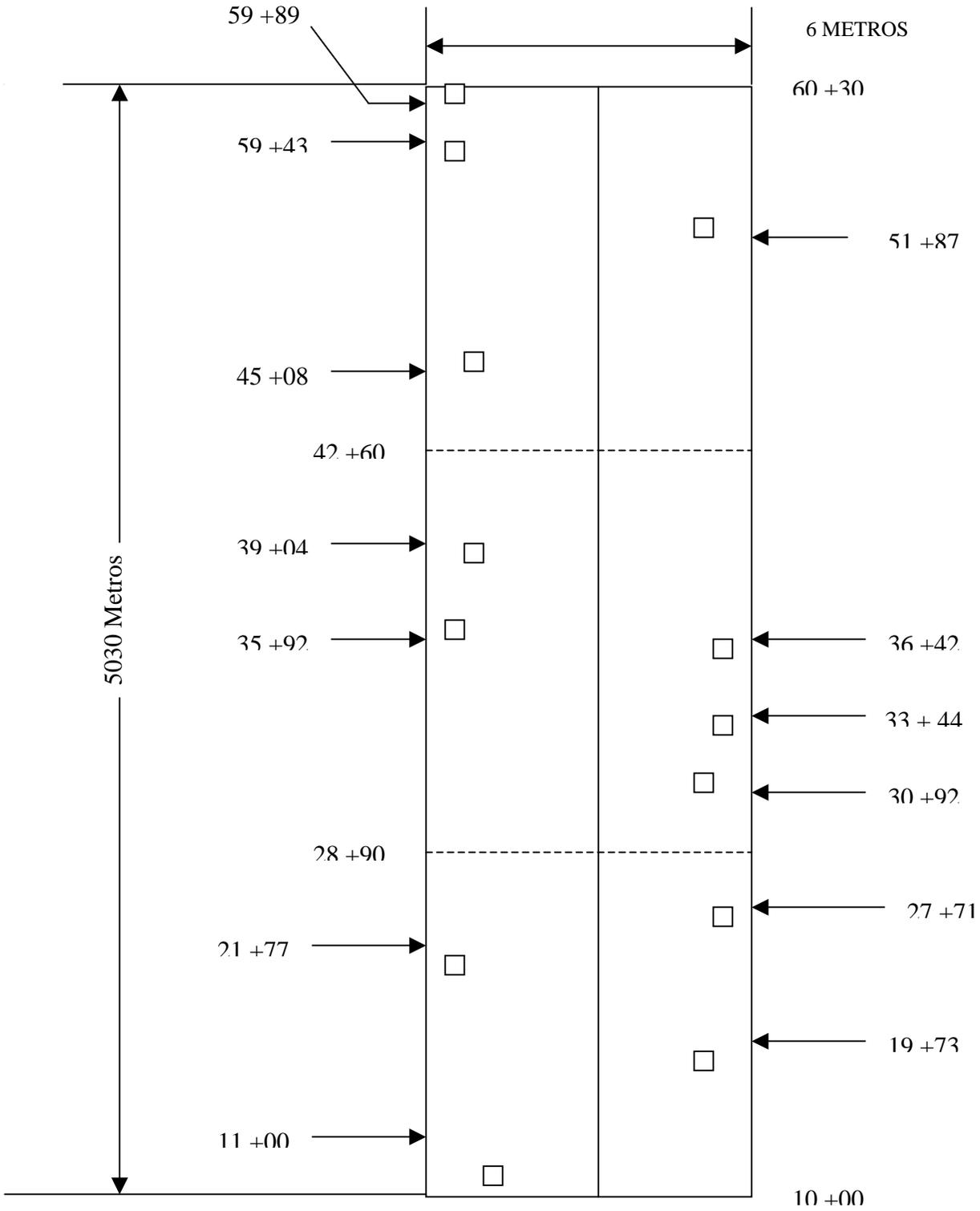


Figura 1 puntos de muestreo

VI.3 DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS

FRECUENCIA DE UN EVENTO.- Es el número de veces que ocurre el evento al obtener una muestra de la población correspondiente.

FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA.- Es la acumulación (suma) de las frecuencias relativas hasta un valor dado, partiendo del valor (o del intervalo) más pequeño. En otras palabras, es la frecuencia de valores menores o iguales que un valor dado.

FRECUENCIA COMPLEMENTARIA.- Es la frecuencia de valores mayores que un valor dado = número de datos – frecuencia acumulada.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS.- Con objeto de facilitar la interpretación de los datos que se tienen en una muestra, es conveniente agruparlos por valores o por intervalos de valores, formando así una tabla de distribución de frecuencias.

Para facilitar el cálculo de las frecuencias, se ordenan los datos en forma creciente o decreciente de valores, formando así una tabla de datos ordenados.

El cálculo de las frecuencias se ilustrará con el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

En un tramo carretero se determino la compacidad relativa de la sub-base, seleccionando al azar 30 sitios para obtener la muestra correspondiente. Los datos, redondeados a las unidades y ordenados en forma creciente, fueron:

<u>57, 59</u>	<u>65, 67, 67, 67, 69,</u>	<u>72, 73, 73, 77, 78, 78,</u>
A	B	C
	<u>81, 81, 83, 83, 83, 84, 84, 88, 89, 89,</u>	
	D	
	<u>91, 91, 93, 95, 97, 99</u>	
	E	

Determinar las distribuciones de frecuencias de los valores individuales obtenidos y de un agrupamiento por intervalos de los mismos.

En la Tabla A se muestra la distribución de frecuencias por valores individuales.

TABLA A

Distribución de Frecuencias por valores

Compacidad Relativa	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
57	1	1/30	1/30
59	1	1/30	2/30
65	1	1/30	3/30
67	3	3/30	6/30
69	1	1/30	7/30
72	1	1/30	8/30
73	2	2/30	10/30
77	1	1/30	11/30
78	2	2/30	13/30
81	2	2/30	15/30
83	3	3/30	18/30
84	2	2/30	20/30
87	1	1/30	21/30
88	1	1/30	22/30
89	2	2/30	24/30
91	2	2/30	26/30
93	1	1/30	27/30
95	1	1/30	28/30
97	1	1/30	29/30
99	1	1/30	30/30

¿Cuál es la frecuencia relativa de valores menores o iguales que 84?: 20/30

¿Cuál es la frecuencia relativa de 83?: $3/30 = 1/10 = 10\%$

¿Cuál es la frecuencia del valor 67?: 3

DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS POR INTERVALOS

Para la distribución de frecuencias por intervalos se requieren los siguientes conceptos:

Limites de clase: Son los valores mínimo y máximo de cada intervalo.

Marcas de clase: Son los valores medios de cada intervalo de clase.

Limites reales de clase: Son los valores mínimo y máximo que son frontera entre los intervalos. Estos deben tener una cifra decimal más que los datos.

Para el ejemplo en cuestión se tienen los siguientes resultados:

Evento	Límites de Clase		Límites Reales de Clase		Marcas de Clase
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
A	51	60	50.5	60.5	55.5
B	61	70	60.5	70.5	65.5
C	71	80	70.5	80.5	75.5
D	81	90	80.5	90.5	85.5
E	91	100	90.5	100.5	95.5

Las distribuciones de frecuencias correspondientes se muestran en la Tabla B.

Tabla B

Distribuciones de Frecuencias por intervalos

Evento	Elementos en los intervalos	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
A:51-60	59,57	2	$2/30=0.067(6.7\%)$	2	0.067
B:61-70	67,65,69,67,67	5	$5/30=0.166(16.6\%)$	$2+5=7$	$0.067+0.166=0.233$
C:71-80	72,73,73,77,78,78	6	$6/30=0.200(20\%)$	$13+11=24$	$0.233+0.200=0.433$
D:81-90	83,88,84,89,83,84,89,87,81,83,81	11	$11/30=0.367(36.7\%)$	$13+11=24$	$0.433+0.367=0.800$
E:91-100	99,91,97,95,91,93	6	$6/30=0.200(20\%)$	$24+6=30$	$0.800+0.200=1.000$
		30	1		

VI. 4 PROCEDIMIENTO DE AGRUPAMIENTO

A mayor número de datos se requiere mayor número de intervalos. Pero se recomienda que este número esté entre 5 y 20, suponiendo que en promedio caigan 5 o más elementos en cada intervalo. Así, si se tienen 30 datos, se recomienda usar $30/5=6$ intervalos.

Ejemplo:

El proceso de agrupamiento se indicará al mismo tiempo que se realiza el siguiente ejemplo:

En el proceso de control de calidad del concreto utilizado en la cimentación de un puente, se obtuvieron 30 datos de resistencia a compresión correspondientes a otros tantos cilindros elaborados con muestras del material. Los datos redondeados a las unidades y ordenados en forma creciente de valores, fueron los siguientes: 159, 161, 163, 163, 163, 167, 167, 167, 167, 168, 168, 168, 169, 169, 170, 171, 171, 173, 174, 175, 175, 175, 178, 179, 181, 181, 183, 184, 187, 191 Kg/cm². Obtener la tabla de distribución de frecuencias.

Solución:

1. Determinación del rango de la muestra

Rango=valor máximo-valor mínimo = 191-159=32

2. Determinación del número de intervalos

Número de intervalos =30/5=6

3. Determinación de los límites de clase

Ancho de los intervalos=Rango/número=32/6=5.3

Tomaremos un ancho de 6cm, con lo cual el rango del agrupamiento es 6 X 6=36 cm. La diferencia de rangos es 36-32=4, que se reparte en los dos intervalos extremos equitativamente. Por lo tanto, los intervalos resultan ser:

157-162, 163-168, 169-174, 175-180, 181-186, 187-192.

4. Integración de la tabla:

Intervalo	Límites Reales		Frec.	Frecuencia Relativa	Frec. acum.	Frecuencia Relativa Acumulada
	Inferior	Superior				
157-162	156.5	162.5	2	2/30=0.067	2	0.067
163-168	162.5	168.5	10	10/30=0.333	12	0.400
169-174	168.5	174.5	7	7/30=0.233	19	0.533
175-180	174.5	180.5	5	5/30=0.167	24	0.800
181-186	180.5	192.5	4	4/30=0.133	28	0.933
187-192	185.5	192.5	2	2/30=0.067	30	1.000
			$\Sigma=30$	$\Sigma=1.000$		

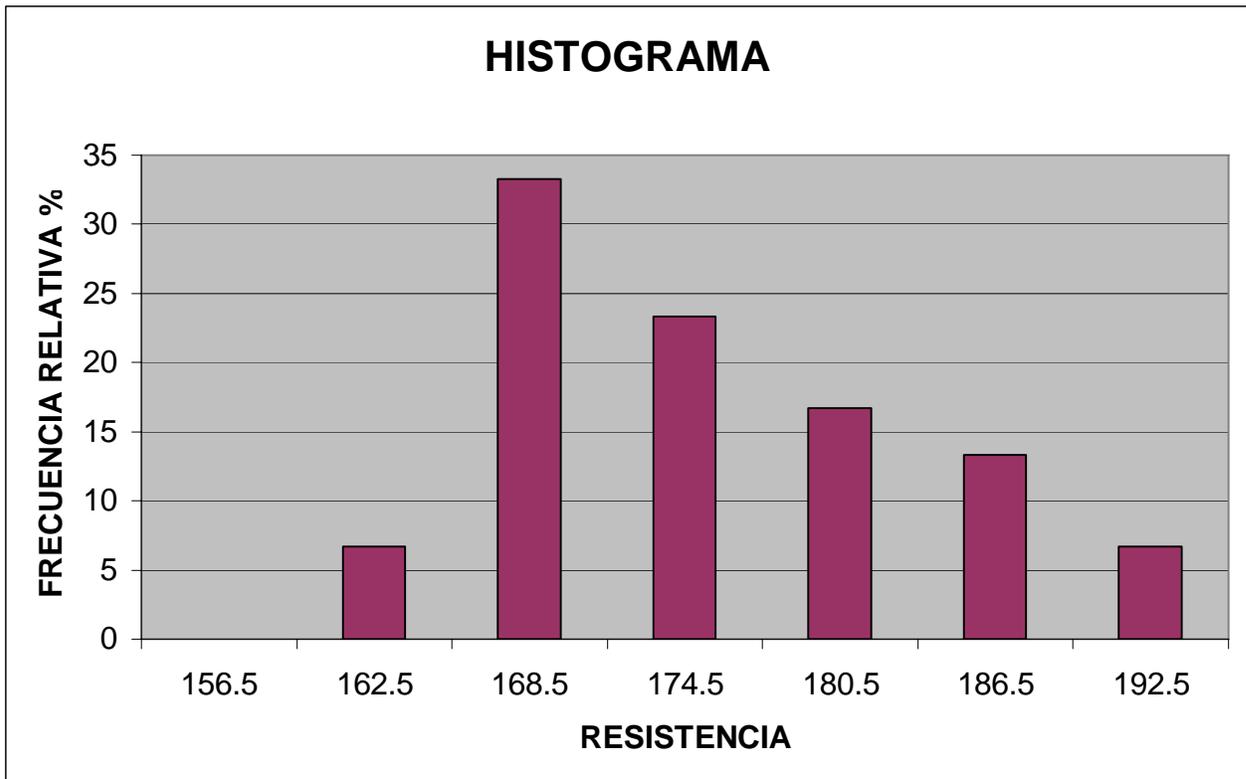
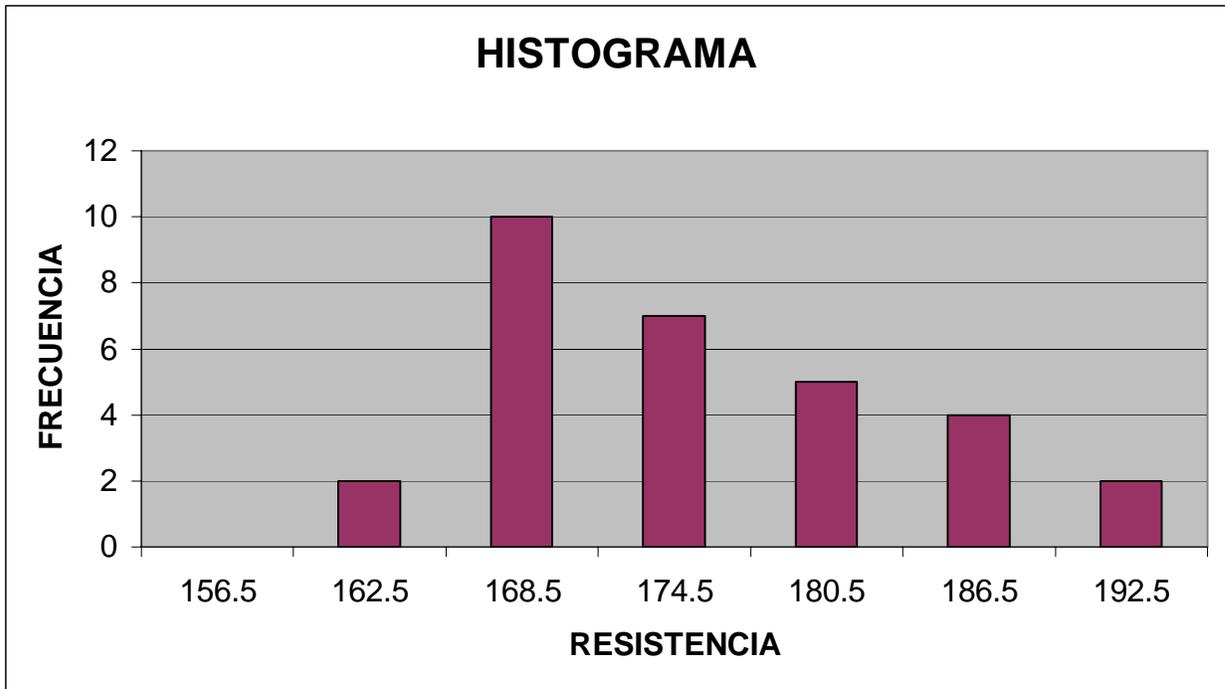
PRESENTACION GRAFICA DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS

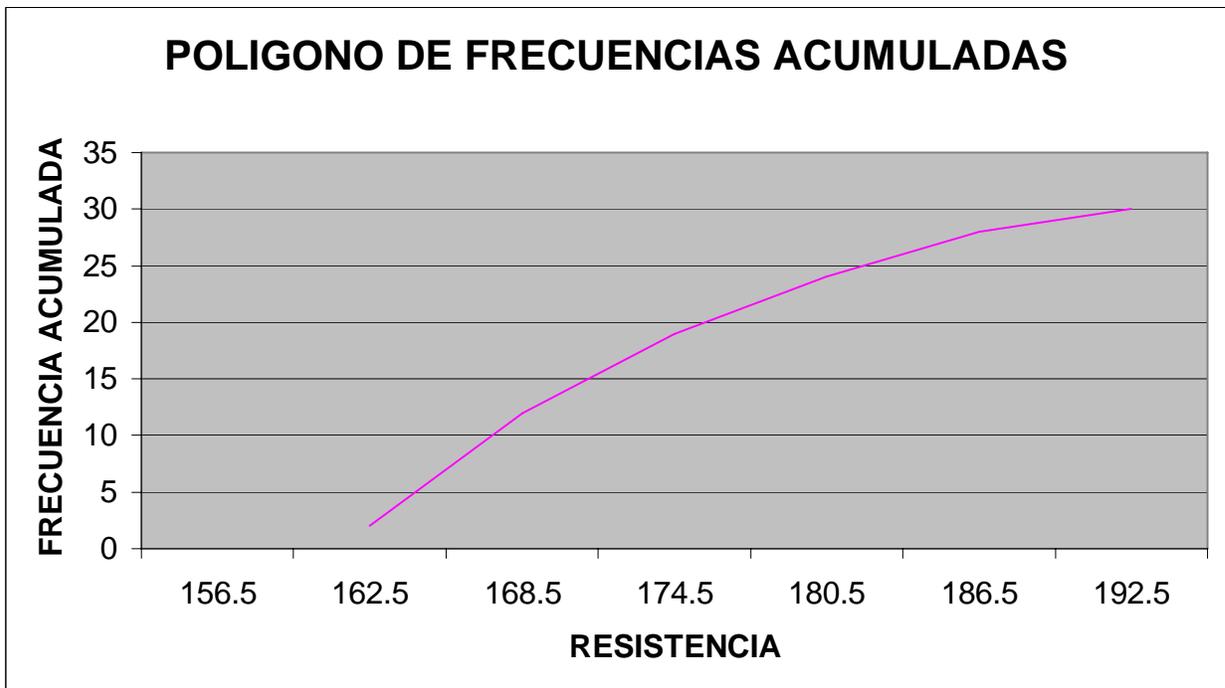
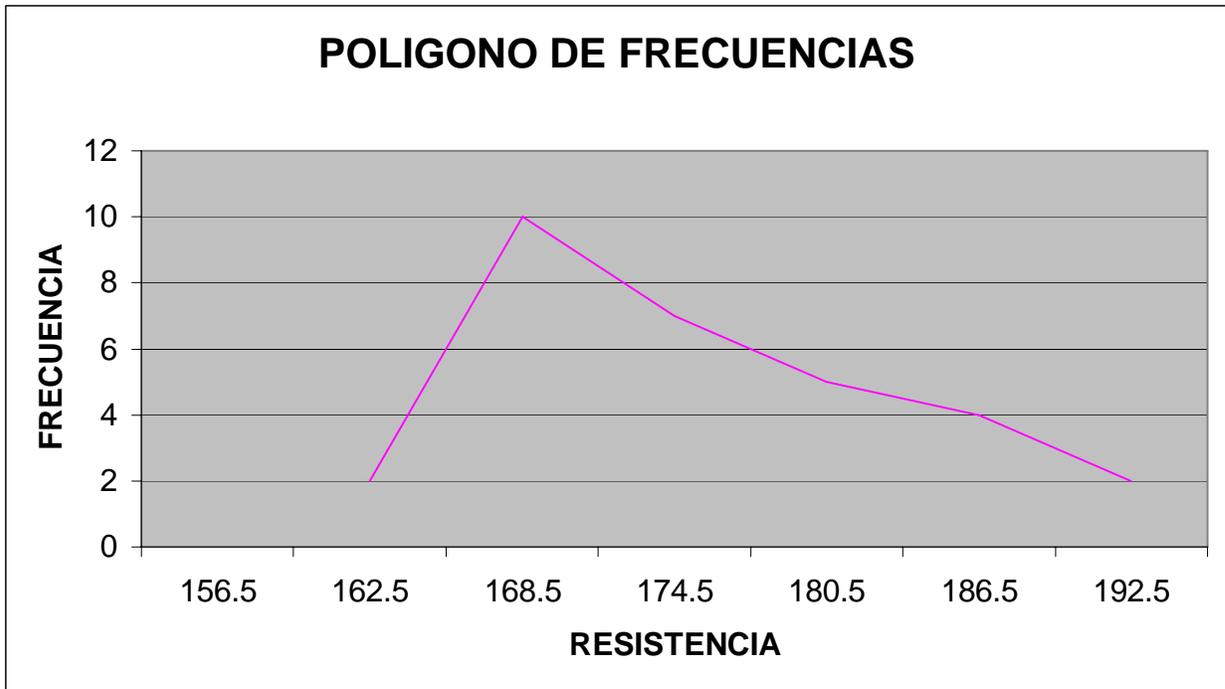
Las distribuciones de frecuencias y de frecuencias relativas, se pueden presentar en forma gráfica mediante el HISTOGRAMA, que es una gráfica de barras en la que la altura de cada barra corresponde a la frecuencia asociada a cada intervalo a valor.

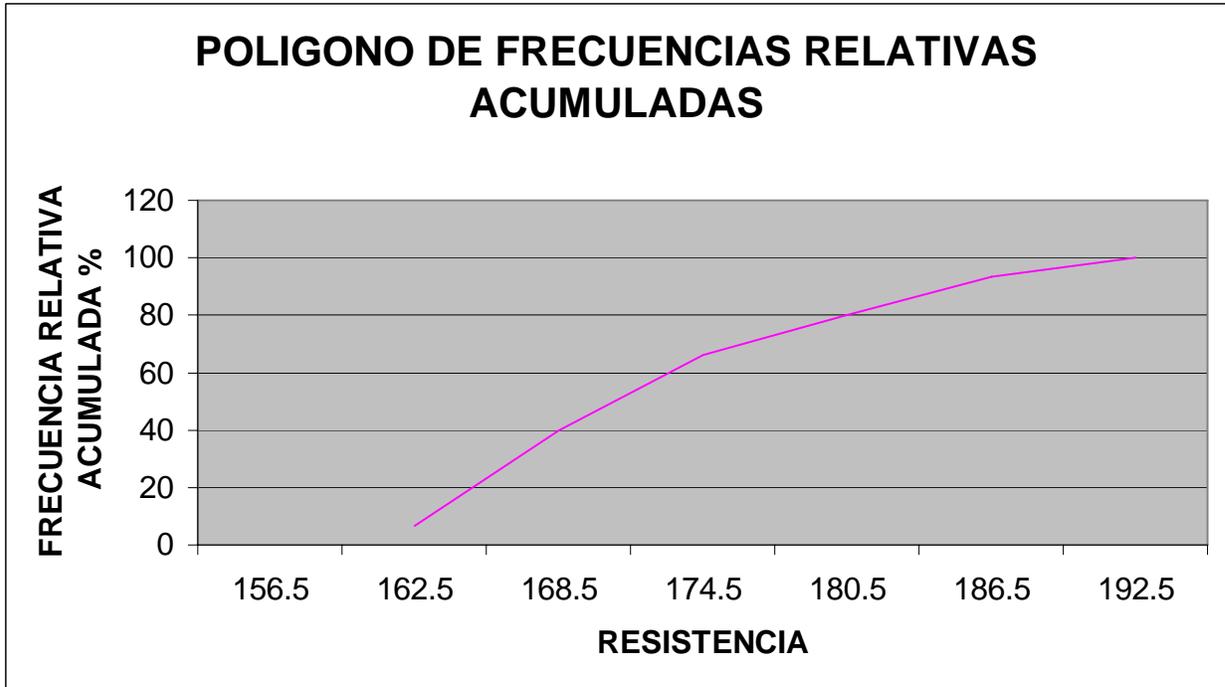
Otra opción consiste en unir con rectas los puntos definidos por las marcas de clase, tomadas como abscisas, y las frecuencias correspondientes, tomadas como ordenadas, formando así la gráfica denominada POLIGONO DE FRECUENCIAS.

Por otra parte, las distribuciones de frecuencias acumuladas, relativas acumuladas y complementarias, se pueden representar mediante gráficas denominadas POLIGONOS DE FRECUENCIAS ACUMULADAS. En las dos primeras, las abscisas de los puntos son los límites reales superiores de clase de cada intervalo, y las ordenadas son las frecuencias acumuladas hasta el intervalo correspondiente.

En las siguientes cinco figuras se muestran las gráficas asociadas al ejemplo que se está presentando.







Ejemplo:

En un estudio sobre la calidad de las soldaduras ejecutadas en el proceso de ensamble de elementos de acero, se obtuvo una muestra aleatoria de 100 secciones, a las cuales se les contó el número de defectos de la soldadura colocada.

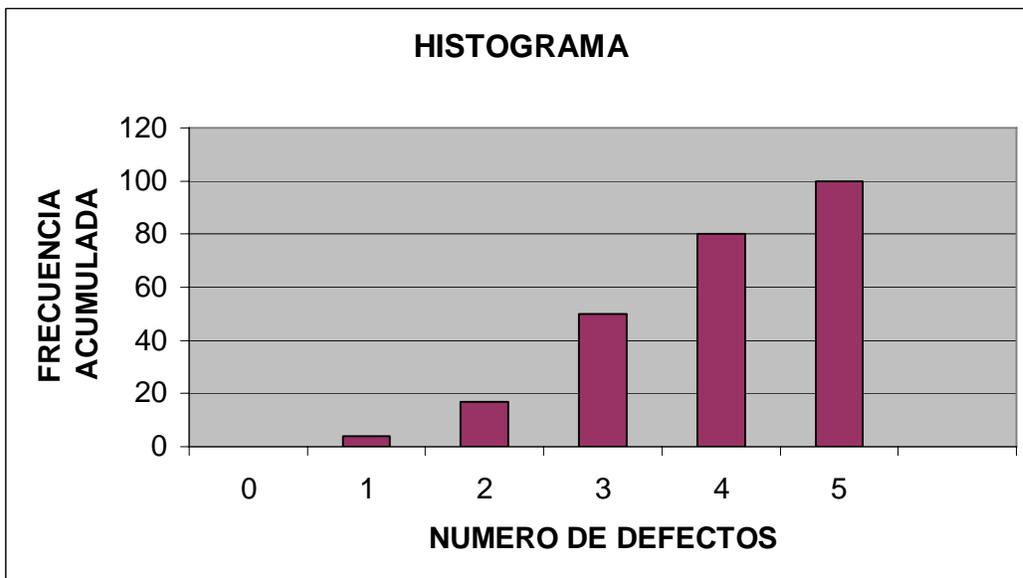
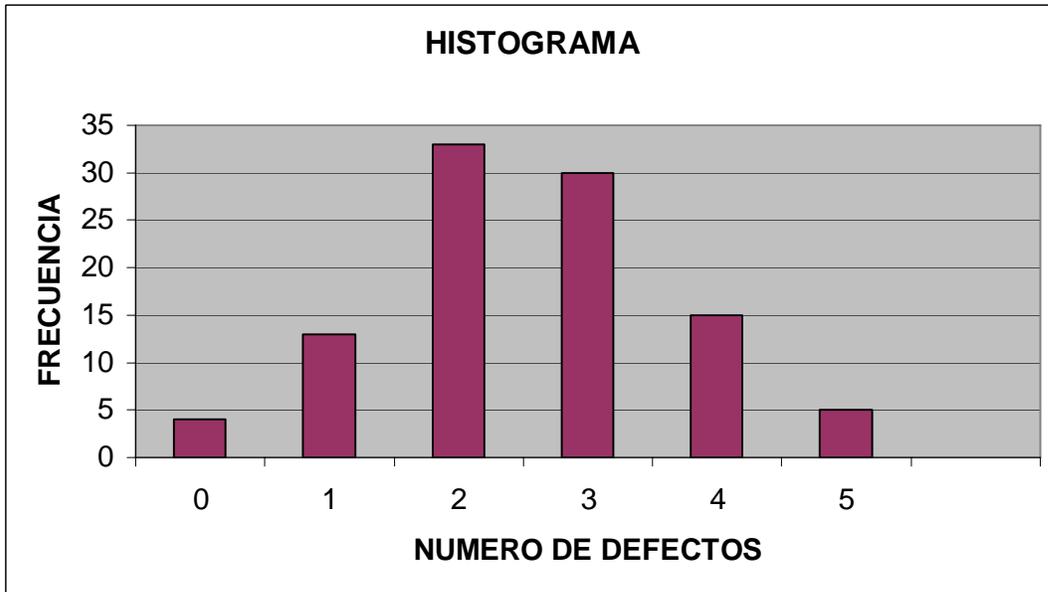
La distribución de frecuencias que se obtuvo fue la siguiente:

Número de defectos	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Acumulada Complementaria
0	4	4	96(100-4)
1	13	17	83(100-17)
2	33	50	50(100-50)
3	30	80	20(100-80)
4	15	95	5(100-95)
5	5	100	0(100-100)
	100		

El histograma, en este caso, no se forma con barras rectangulares sino con líneas verticales que parten de las marcas de clase, en el eje horizontal, y tiene altura igual a la frecuencia correspondiente.

Por su parte, el polígono de frecuencias se dibuja ahora como una “escalera”, en la que cada peldaño tiene una altura igual a la frecuencia acumulada asociada a cada intervalo de clase.

En las siguientes dos figuras se presentan estas dos gráficas.



VALORES CARACTERISTICOS DE POSICION CENTRAL Y DE DISPERSION

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
VALOR MEDIO O PROMEDIO ARITMETICO

Para datos no agrupados

Donde xi son los valores de los datos y n es el tamaño de la muestra.
Si los datos están agrupados, fj es la frecuencia del j-enésimo intervalo y xj es la marca de clase correspondiente, entonces.

Ejemplo:

Sea el ejemplo enunciado anteriormente de los defectos en secciones de soldadura. Calcular el promedio aritmético.

J	Número de defectos x	Frecuencia	f x
1	0	4	4x0=0
2	1	13	13x1=13
3	2	33	33x2=66
4	3	30	30x3=90
5	4	15	15x4=60
K=6	5	5	5x5=25
		100	254

$X=254/100= 2.54$ defectos por monoblock

MODA: Es el valor de la variable que aparece con mayor frecuencia en una muestra. Si los datos están agrupados, el modo es la marca de clase del intervalo que tiene la mayor frecuencia.

MEDIANA: Es el valor de la variable que corresponde al 50% de las frecuencias relativas acumuladas.

Ejemplo:

En el problema de los defectos de secciones de soldadura el modo y la mediana valen 2. En el problema de las resistencias del concreto el modo es 165.5 Kg/cm².

MEDIDAS DE DISPERSION

RANGO= Máximo valor observado – mínimo valor observado

VARIANCIA. Si los datos no están agrupados:

3-J

Si los datos están agrupados:

Donde las X_j son los valores de las marcas de clase de los intervalos o son los valores de agrupamiento, según corresponda.

DESVIACION ESTANDAR

COEFICIENTE DE VARIACION

Ejemplo:

En un proceso de control de calidad, se obtuvo una muestra de 30 datos de la compacidad relativa de un suelo compactado, de los cuales se obtuvo la distribución de frecuencias indicada en la siguiente tabla. Calcular las medidas de dispersión.

j	Compacidad Relativa	Marca de Clase	Frecuencia	xf	x-x	(x-x) ²	(x-x) ² f
1	55-63	59	2	118	-21.3	453.7	907.4
2	64-72	68	6	408	-12.3	151.3	907.8
3	73-81	77	7	539	-3.3	10.9	76.3
4	82-90	86	9	774	5.7	32.5	292.5
5	91-99	95	6	570	14.7	216.1	1296.6
			30	2409			3480.6

$$X=2409/30=80.3$$

$$S^2= 3480.6/30=116$$

$$S= 116=10.8$$

$$V=10.8/80.3 =0.134 (13.4\%)$$

VI. 5 LEYES DE PROBABILIDAD

El comportamiento de una variable aleatoria se describe mediante su ley de probabilidades, la cual puede especificarse de diferentes formas. La manera más común de hacerlo es mediante su DISTRIBUCION O DENSIDAD DE PROBABILIDADES. A fin de evitar confusión, se empleará una letra mayúscula para denotar una variable aleatoria, y la minúscula correspondiente para los valores que puede asumir.

Por ejemplo, en la figura que aparece en la siguiente hoja, se muestra el histograma asociado al muestreo realizado a una variable aleatoria continua X y, superpuesta, se presenta una curva que corresponde a una función analítica, que

se asocia a una ley de probabilidades, que sigue aproximadamente la forma del histograma y puede servir para “modelar” matemáticamente el comportamiento aleatorio de la variable X.

Existen varias leyes de probabilidades de carácter teórico; en la práctica, para cada variable aleatoria se escoge una que modele adecuadamente su comportamiento aleatorio, lo cual se establece al compararla con el histograma de los datos correspondientes a un muestreo.

Es importante mencionar que cada distribución de probabilidades tiene parámetros que caracterizan su posición central y su dispersión. De los primeros se tiene a la media, la mediana y el modo; de los segundos se tiene a la variancia, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Los valores que se asignan a estos parámetros en cada caso particular, se estiman con base en una muestra aleatoria de la variable que se trate; la media se estima con el promedio aritmético, y la desviación estándar con la desviación estándar de la muestra.

LEYES DE PROBABILIDADES PARA VARIABLES ALEATORIAS DISCRETAS

Si la variable aleatoria X es discreta y puede asumir los valores x_i . su distribución de probabilidades, $f(x)$, será el conjunto de todas las probabilidades:

$$P(X_i) = P(X=x_i); i=1,2,\dots,n$$

La cual se lee “probabilidad de que $x = x_i$ ”. Esto es $f(x) = \{P(X=x_i)\} i=1,2,\dots,n$

Para que una distribución de probabilidades satisfaga los tres axiomas de la teoría de probabilidades, se deben cumplir los siguientes requisitos:

Donde n es el número total de valores que puede asumir X

Donde las X_i están ordenadas en forma creciente, es decir

Otra forma de especificar la ley de probabilidades de una variable aleatoria es mediante la DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES ACUMULADAS, $F(x)$, que se define como el conjunto de las sumas parciales de las probabilidades $P(X_i)$, correspondientes a todos los valores de X menores o iguales que X_i . Por lo tanto, esta función da las probabilidades de que la variable aleatoria tome valores menores o iguales que X_m para cualquier m, es decir:

En donde

Ejemplo:

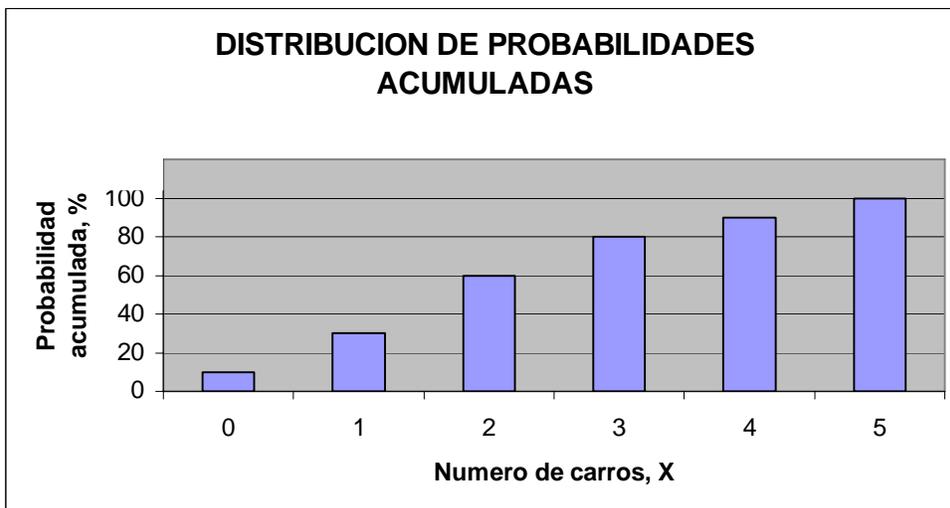
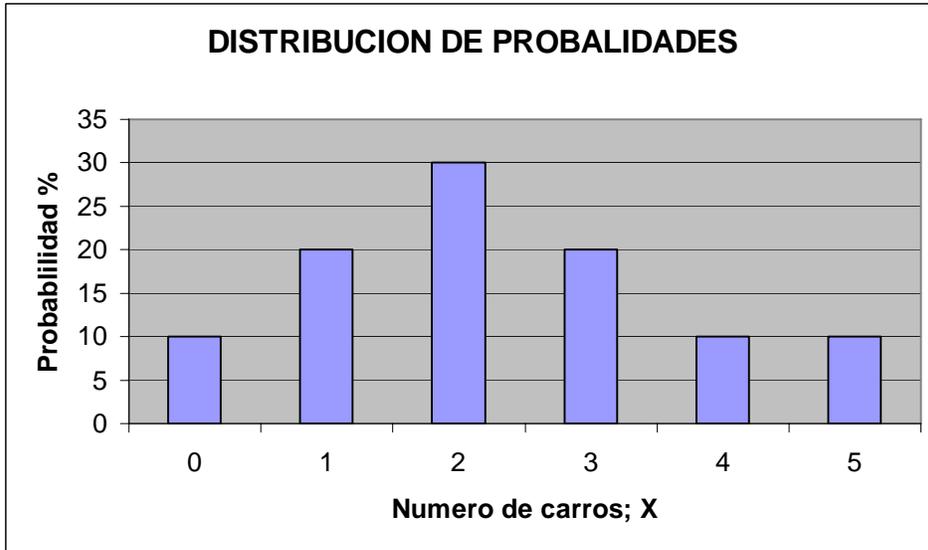
Sea X la variable aleatoria discreta “número total de carros que se detienen en una esquina debido a la luz roja de un semáforo”. Si las probabilidades asociadas a cada valor, son

$$P(x) = \begin{cases} 0.1 & \text{Si } x=0 \\ 0.2 & \text{Si } x=1 \\ 0.3 & \text{Si } x=2 \\ 0.2 & \text{Si } x=3 \\ 0.1 & \text{Si } x=4 \\ 0.1 & \text{Si } x=5 \\ 0 & \text{Si } x=6 \end{cases}$$

Las distribuciones de probabilidades y la probabilidades acumuladas correspondientes serán:

x	F(x)	F(x)	O sea F(x) =	$\begin{cases} 0, & \text{Si } x < 0 \\ 0.1, & \text{Si } 0 < x \leq 1 \\ 0.3, & \text{Si } 1 < x \leq 2 \\ 0.6, & \text{Si } 2 < x \leq 3 \\ 0.8, & \text{Si } 3 < x \leq 4 \\ 0.9, & \text{Si } 4 < x \leq 5 \\ 1.0, & \text{Si } 5 < x \end{cases}$
0	0	0		
0	0.1	0.1		
1	0.2	0.3		
2	0.3	0.6		
3	0.2	0.8		
4	0.1	0.9		
5	0.1	1.0		
6	0	1.0		

Las gráficas de estas distribuciones se presentan en las figuras de las siguientes dos páginas.



LEYES DE PROBABILIDADES PARA VARIABLES ALEATORIAS CONTINUAS

En el caso de una variable aleatoria continua, X , la probabilidad de que ésta tome un valor comprendido entre x y $x+ dx$ está dada por $f(x)dx$, donde $f(x)$ es la densidad de probabilidades de x . Por lo tanto, la probabilidad de que x asuma valores comprendidos en el intervalo $x_1 \leq x \leq x_2$ es:

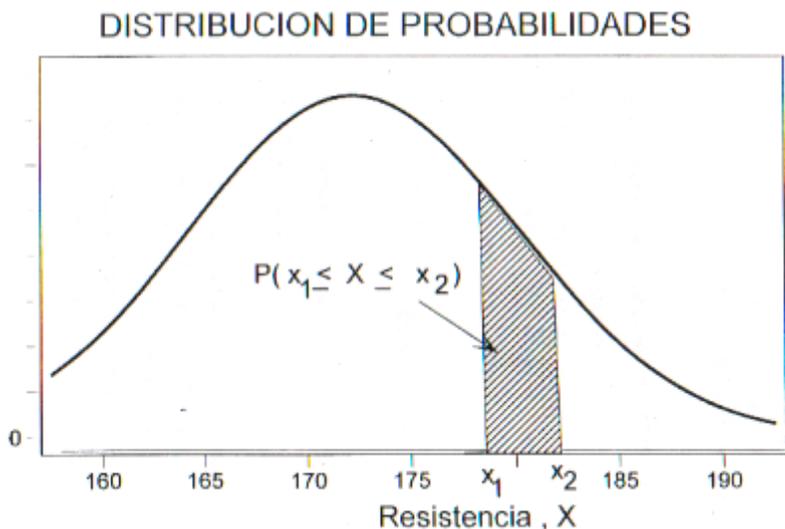
La interpretación gráfica de esta probabilidad es que corresponde al área bajo la curva de $f(x)$ comprendida entre x_1 y x_2 , como se muestra en la figura de la siguiente hoja.

Puesto que $P(X \leq x) = P(-\infty < X \leq x)$ y en virtud de la ecuación anterior, se tiene que la distribución de probabilidades acumuladas es:

Donde U es sólo una variable muda de integración. El valor de esta integral es igual al área bajo la curva $f(x)$ a la izquierda de x . De esta ecuación se concluye que:

Algunas propiedades de $F(x)$ son:

Para satisfacer los axiomas de la teoría de probabilidades se necesita que:



DISTRIBUCION NORMAL

Una de las distribuciones de variables aleatorias continuas más útil, porque su forma se asemeja bastante a los histogramas de algunas variables aleatorias, como se muestra en la figura de la siguiente hoja, es la distribución normal o de Gauss, definida por la ecuación.

Donde μ es la media y σ la desviación estándar de X .

Si se hace la transformación: $Z = (X-\mu)/\sigma$

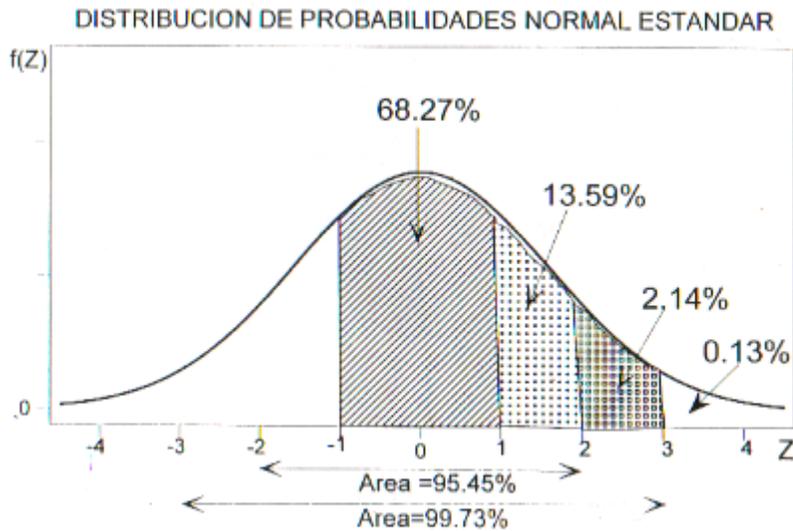
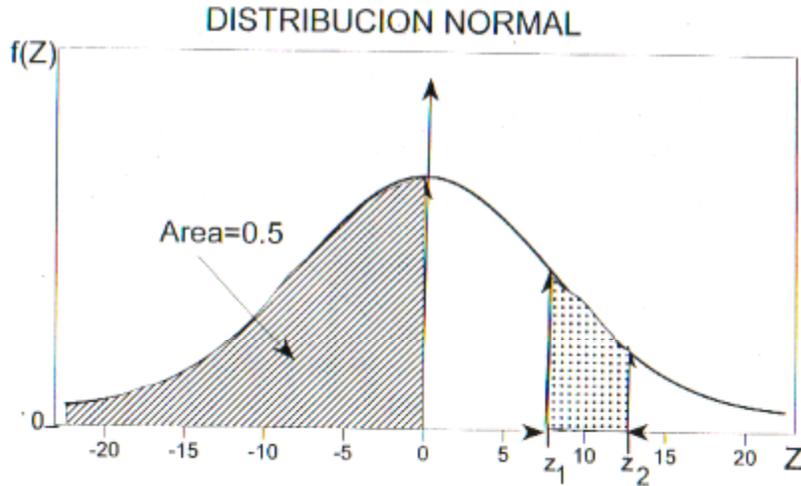
Entonces la ecuación anterior se reduce a la llamada forma estándar, cuya ecuación es:

En este caso la variable aleatoria Z tiene distribución normal con media igual a cero y variancia igual a uno.

Existen tablas para calcular las probabilidades de una variable asociada a una distribución normal estándar semejantes a la Tabla A. En las figuras de las siguientes tres páginas se muestra la forma de campana de esta distribución; en las dos últimas se observa la simetría respecto a $Z=0$, que es asintótica al eje Z y algunas áreas cuantificadas. En el caso de la variable X , la simetría se da respecto al valor de μ .

La utilidad de la distribución normal estándar radica en que

Donde



Ejemplo:

Como resultado de una larga serie de experimentos probando a compresión cilindros de concreto, se ha estimado que la media de la resistencia es de 240 Kg/cm² y la desviación estándar de 30 Kg/cm².

Suponiendo que la distribución de probabilidades es normal,

- A) ¿Cuál es la probabilidad de que otro cilindro tomado al azar resista menos de 240 kg/cm²?
- B) ¿Cuál es la probabilidad de que resista más de 330 kg/cm²?
- C) ¿Cuál es la probabilidad de que su resistencia esté en el intervalo de 210 a 240 kg/cm²?

Solución:

A) Para emplear las tablas de la distribución normal es necesario estandarizar la variable X , empleando $\mu=240$ y $\sigma=30$, con $X=240$:

Recurriendo a la tabla de la distribución normal se obtiene:

$$P[X \leq 240] = p[Z \leq 0] = 0.5$$

B) El valor estandarizado de la variable, para $x=330 \text{ kg/cm}^2$, es:
Por lo que

$$P[X \geq 330] = p[Z \geq 3] = 1 - 0.9987 = 0.0013$$

C) Los valores estandarizados de la variable, para $x^1 = 210$ y $x^2 = 240$ son:

Por lo que

$$P[210 \leq X \leq 240] = P[-1 \leq Z \leq 0] = 0.3413$$

Ejemplo:

Se ha encontrado que la variable aleatoria "error en la medición de las distancias entre dos puntos" tiene distribución normal con media cero. Si se sabe que el tamaño verdadero de una línea es de 2m y que la variancia de su medición es de 9 cm^2 , calcular la probabilidad de que en una medición la longitud que se registre sea

- a. Menor de 195cm.
- b. Mayor de 203 cm.
- c. Comprendida entre 198 y 202 cm.

Solución

ESTIMACIÓN DE LOS PARAMETROS DE UNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES

A menudo resulta necesario inferir información acerca de una población mediante el uso de muestras extraídas de ella; una parte básica de dicha inferencia consiste en estimar los valores de los parámetros de la población (media, variancia, etc.) a partir de las estadísticas correspondientes de la muestra.

Una estadística es una variable aleatoria que se obtiene mediante una función que se calcula con los datos de las muestras: por ejemplo, el promedio aritmético y la desviación estándar son dos estadísticas.

Si el estimador de un parámetro de la población consiste en un solo valor de una estadística, se le conoce como estimador puntual del parámetro.

La estimación de un parámetro de una población mediante un par de números entre los cuales se encuentra, con cierta probabilidad, el valor de dicho parámetro, se llama estimación por intervalos del mismo.

Una estadística es una variable aleatoria que se obtiene mediante una función que se calcula con los datos de las muestras: por ejemplo, si promedio aritmético y la desviación estándar son dos estadísticas.

Sea S una estadística obtenida de una muestra de tamaño n para estimar el valor del parámetro θ , y sea σ_s la desviación estándar (conocida o estimada) de su distribución muestral. La probabilidad $1-\alpha$, de que el valor de θ se localice en el intervalo de $S-z_C \sigma_s$ a $S+z_C \sigma_s$, donde z_C es una constante, se escribe en la forma:

$$P[S- z_C \sigma_s \leq \theta \leq S+ z_C \sigma_s] = 1-\alpha$$

Si se fija el valor de $1-\alpha$, se puede obtener el valor de z_C necesario para que se satisfaga la ecuación anterior, con lo cual que da definido el intervalo de confianza del parámetro $\theta(S \pm z_C \sigma_s)$, correspondiente al nivel de confianza $1-\alpha$.

La constante z_C que fija el intervalo de confianza se conoce como valor crítico. Si la distribución de S es normal, el valor de z_C correspondiente a uno de α se obtiene de la tabla de áreas bajo la curva normal o de la tabla siguiente:

Valores de z_C para distintos niveles de confianza

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

Ejemplo:

Sea el promedio aritmético X una estadística con distribución normal. Las probabilidades o niveles de confianza de que μ (o μ de la población) se encuentre localizada entre los límites son 68.26, 95.44 y 99.73%, respectivamente, obteniéndose dichos valores de la tabla de áreas bajo la curva normal. Lo anterior significa que el intervalo contendrá a μ en el 99.73 por ciento de las muestras de tamaño n , por lo que los intervalos de confianza de 68.26, 95.44 y 99.73 por ciento para estimar a μ son:

Lo cual se aprecia en la figura inmediata anterior.

ESTIMACION DE INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA

Los límites de confianza para la media de una población con variable aleatoria X asociada están dados por:

En donde z_C depende del nivel de confianza deseado. Si X tiene distribución normal, z_C puede obtenerse en forma directa de la tabla anterior. Por ejemplo los límites de confianza de 95 y 99 por ciento para estimar la media, μ , de la población son: respectivamente. Al obtener estos límites hay que usar el valor calculado de X para la muestra correspondiente.

Entonces, los límites de confianza para la media de la población quedan dados por:

Ejemplo:

Las mediciones de los diámetros de una muestra aleatoria de 100 tubos de albañal mostraron una media de 32 cm y una desviación estándar de 2 cm. Obténgase los límites de confianza de : a. 95 por ciento
b. 97 por ciento
para el diámetro medio de todos los tubos.

Solución

a. De la tabla anterior los límites de confianza del 95 por ciento son:

O sea 31.608 y 32.392, en donde se ha empleado el valor de la desviación estándar de la muestra para estimar el de σ de la población, puesto que la muestra es suficientemente grande (mayor de 30 elementos). Esto significa que con una probabilidad de 95 por ciento, el valor de μ se encuentra entre 31.608 y 32.392 cm.

b. Si $Z = z_C$ es tal que el área bajo la curva normal de la derecha de z_C es 1.5 por ciento del área total, entonces el área entre 0 y z_C es $0.5 - 0.015 = 0.485$, por lo que de la tabla de áreas bajo la curva normal se obtiene $z_C = 2.17$. Por lo tanto, los límites de confianza del 97 por ciento son:

Y el intervalo de confianza respectivo es (31.566cm, 32.434cm).

Ejemplo:

Una muestra aleatoria de 50 valores de compacidad relativa tiene un promedio aritmético de 72 puntos, con desviación estándar igual a 10.

Calcular:

- El intervalo de confianza del 95% para la media del total de calificaciones.
- El tamaño de muestra necesario para que el error en la estimación de la media no exceda de 2 puntos, considerando el mismo nivel de confianza.

Solución:

a. Si se estima a σ de la población con la desviación estándar S_x de la muestra y considera que la población es finita, los límites de confianza son, puesto que

$$X=72, z_c = 1.96, S_x = 10 \text{ y } n=50,$$

$$72 \pm 1.96(10/50)$$

$$72 \pm 1.96(1.4142)$$

$$72 \pm 2.77$$

y el intervalo de confianza respectivo es: (69.23, 74.77)

b. Puesto que el error en la estimación de la media es

$$\text{Error en la estimación} = z_c \sigma /$$

$$\text{En este caso se tendría} = z_c \sigma / < 2$$

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

$$1.96 (10/n) < 2$$

$$1.96 / n < 2$$

Elevando al cuadrado la desigualdad, queda

$$3.94.16/n < 4$$

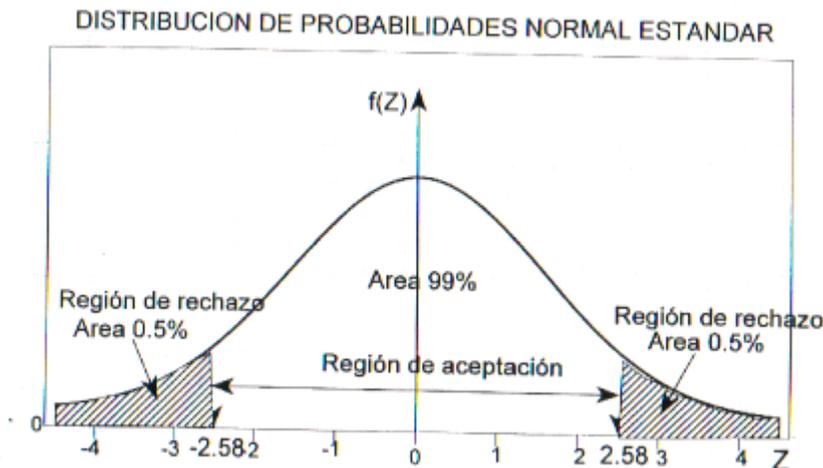
$$\text{O sea } 96 < n$$

Por lo cual, se requieren al menos 96 elementos en la muestra para que el error en la estimación no exceda de 2 puntos, para

$$1\alpha=0.95$$

PRUEBA ESTADISTICA DE QUE LA MEDIA DE UNA VARIABLE VALE μ

Al intervalo de los valores de una estadística en el que se rechaza una hipótesis bajo prueba se le denomina región crítica o de rechazo. Por el contrario, al conjunto de los valores de la estadística en que se acepta la hipótesis, se le llama región de aceptación.



Considérese que la distribución probabilidades de la estadística X es normal con desviación estándar σ_X y que la variable Z resulta de estandarizar a X . La hipótesis bajo prueba es que la media de X vale μ . Y la hipótesis alternativa es que dicha media es diferente de μ Bajo la hipótesis por probar, $Z=(X-\mu)/\sigma_X$.

Por ejemplo, si se adopta la regla de decisión de aceptar la hipótesis bajo prueba, si el valor de Z cae dentro del intervalo central que encierra al 99 por ciento del área de la distribución de probabilidades, entonces ésta se aceptará en el caso en que: $-2.58 \leq Z \leq 2.58$.

Pero si el valor estandarizado de la estadística se encuentra fuera de dicho intervalo, se concluye que esto puede ocurrir con probabilidad de 0.01 si la hipótesis bajo prueba es verdadera (área rayada total de la siguiente figura). En tal caso, se concluye que el valor Z de la variable estándar difiere significativamente del que se podría esperar de acuerdo con la hipótesis bajo la prueba, lo cual inclina a rechazarla a un nivel de confianza del 99 por ciento. En este caso se tendrían las regiones de aceptación y de rechazo mostradas en la siguiente figura.

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

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

Para el caso de una población infinita (o finita en que se muestre con reemplazo), cuya desviación estándar σ se conoce o se puede estimar adecuadamente, entonces la desviación estándar es $\sigma_X = \sigma/n$, en donde μ y σ son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la variable aleatoria X asociada a la población, y n es el tamaño de la muestra. En tal correspondiente será: $Z=(X-\mu)/(\sigma/N)$.

Ejemplo.

Se sabe que el promedio de una muestra aleatoria de 100 espesores de una placa de acero es de 7.6 mm con una desviación estándar de 0.2 mm. Si μ denota la media de la población de esa variable, X , y si se supone que X tiene distribución normal, probar la hipótesis $\mu=7.65$ en contra de la hipótesis alternativa $\mu \neq 7.65$ usando un nivel de significancia de:

a. 0.05

c. 0.01

Solución:

Para la solución se deben considerar la hipótesis

Por probar $\mu=7.65$

Alternativa $\mu\neq 7.65$

La estadística bajo consideración es el promedio aritmético, \bar{X} , de la muestra que se supone, extraída de una población infinita. La distribución muestral de \bar{X} tiene media $\mu_{\bar{X}} = \mu$, y desviación estándar σ/\sqrt{n} .

Considerando la hipótesis bajo prueba como verdadera, se tiene que:

$\mu_{\bar{X}} = 7.65$

y utilizando la desviación estándar de la muestra con una estimación de σ , lo cual se supone razonable por tratarse de una muestra grande,

$\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n} = 0.2/\sqrt{100} = 0.2/10 = 0.02$

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

Aceptar la hipótesis bajo prueba si el valor Z correspondiente al valor del promedio de la muestra se encuentra dentro del intervalo de -1.96 a 1.96 (de la tabla anterior). En caso contrario, rechazarla.

En este caso se tiene que:

Valor que se encuentra fuera del rango de -1.96 a 1.96, por lo que se rechaza la hipótesis bajo prueba a un nivel de significancia de 0.05.

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

Ejemplo:

Mediante una larga serie de pruebas, se ha determinado que la resistencia media a la ruptura de ciertos cables de acero fabricados por una empresa X es de 905 kg. En un momento dado se sospechaba que el proceso de fabricación sufrió alguna alteración, por lo que, para confirmarlo se extrae una muestra aleatoria de 50 cables, obteniéndose para ellos una resistencia promedio de 926 kg, con desviación estándar igual a 42 kg. ¿Se puede considerar que este resultado es congruente con la resistencia media del proceso con un nivel de confianza de 99%?

En este caso, se debe plantear una prueba de hipótesis en que:

Hipótesis por probar $\mu=905$ kg.

Hipótesis alternativa $\mu\neq 905$ kg.

Considerando a la población infinita con distribución normal y suponiendo como verdadera la hipótesis por probar, se tiene que:

Para la prueba con un nivel de confianza de 99%, la regla de decisión es:

Aceptar hipótesis bajo prueba si el valor estandarizado de X de la muestra esta entre $Z_c=\pm 2.810$ (tabla); en caso contrario, rechazarla.

En este caso se tiene que:

Que es mayor de 2.810, por lo que se rechaza la hipótesis bajo prueba a un nivel de significancia de 1%, concluyéndose que en realidad el proceso si se ha alterado.

CARTAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD

Cualquier proceso de manufactura, aun cuando sea muy bueno, se encuentra siempre caracterizado por una cierta variación que es de naturaleza aleatoria, y que no puede ser eliminada.

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

Tal estado se puede alcanzar cuando se eliminan aquellos problemas que ocasionan otro tipo de variación, llamada variación sistemática, y que se puede deber, por ejemplo, a operadores mal entrenados, materia prima de baja calidad, máquinas en mal estado, etc.

Ya que los procesos de manufactura rara vez se encuentran libres de estos problemas, conviene contar con algún método para detectar desviaciones serias de un estado de control estadístico cuando ocurren o inclusive, antes de que sucedan tales desviaciones.

Un método confiable para detectar dichas desviaciones consiste en el empleo de una herramienta estadística denominada Carta de Control.

VI. 6 TIPOS DE CARTAS PARA EL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD.

En lo que sigue distinguiremos entre las cartas de control para variables y las cartas de control para atributos, dependiendo de que las cantidades que estamos analizando sean mediciones numéricas de variables continuas o datos que resulten de observaciones cualitativas, respectivamente.

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

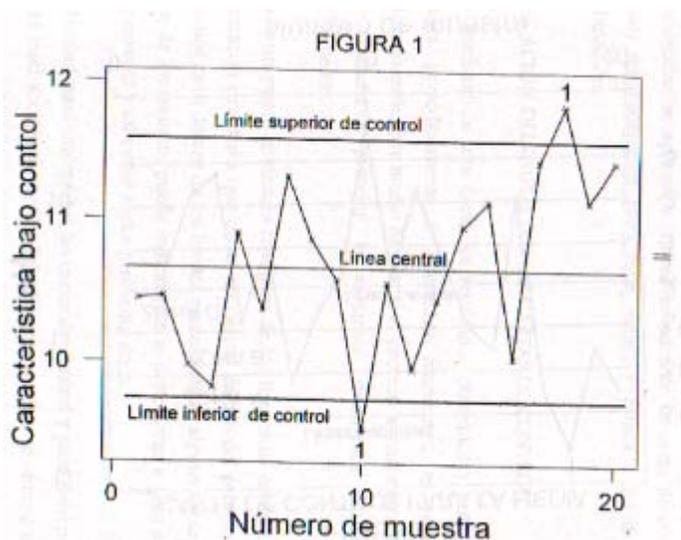
CONFIGURACION DE LAS CARTAS DE CONTROL

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

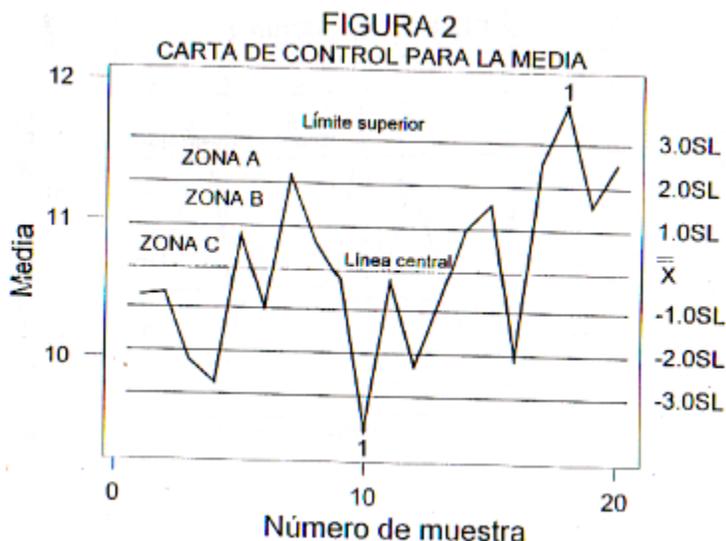
Estos limites se escogen en forma tal que las diferencias entre los valores que se encuentren dentro de ellos se puedan atribuir al azar, en tanto que los valores que caigan fuera de ellos se puedan considerar como indicaciones de falta de control.

No obstante la idea anterior, conviene mencionar que en la figura 2, se pueden considerar otras situaciones de "tendencia a la falta de control" que ameritan investigarse.

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



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



EXPLICACION DEL EMPLEO DE LAS CARTAS DE CONTROL

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

Cuando un punto graficado cae fuera de los límites de control, es necesario encontrar el problema que causó tal evento dentro del proceso. Pero aún si los puntos caen dentro de los límites mencionados, alguna tendencia, o cierto patrón de los mismos, puede indicar que se deben llevar a cabo alguna acción para prevenir y así evitar algún problema serio.

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

CARTAS DE CONTROL PARA VARIABLES

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

La primera meta se logra al graficar los promedios de muestras extraídas periódicamente en la llamada Carta de Control para los promedios, o simplemente Carta X.

La variabilidad se puede controlar de igual forma si se grafican los rangos o las desviaciones estándar de las muestras, en las llamadas Cartas R o Cartas σ , respectivamente, dependiendo de cuál estadística se emplee para estimar la desviación estándar de la población.

Si se conoce la media μ y la desviación estándar σ de la población (proceso), y es razonable suponer las mediciones obtenidas como muestras extraídas de una población normal, se puede probar la hipótesis, con probabilidad $1-\alpha$, que el promedio aritmético de una muestra aleatoria de tamaño n se encontrará entre.

Puesto que para el caso de la distribución de probabilidades del promedio aritmético, cuando se muestrea de una población infinita. La suposición de que la extracción de muestras aleatorias se hace una población infinita es válida en el caso presente, puesto que, por ejemplo, la producción de cierto producto en una fábrica tiende al infinito conforme pasa el tiempo.

Los dos límites anteriores proporcionan, entonces, límites inferiores y superiores de control y, bajo las suposiciones anteriores, permiten al practicante del control de calidad determinar si se debe o no llevar a cabo algún ajuste en el proceso, al graficar los promedios aritméticos obtenidos de muestras de tamaño n en una carta como la que se muestra en la figura 1.

Conviene resaltar que al emplear una carta de control para los promedios, lo que se hace realmente es probar la hipótesis de que, a un cierto nivel de confianza $1-\alpha$, el valor de la media de distribución de probabilidades de los promedios es igual al valor de la calidad nominal del proceso, o al de la calidad media calculada para el mismo, μ_0 . Para estas pruebas secuenciales de hipótesis, se emplean como estadísticas de prueba los valores de los promedios aritméticos que se obtienen de muestras aleatorias extraídas durante el proceso; es decir, se realizan pruebas de hipótesis para las cuales

Hipótesis por probar: $\mu = \mu_0$

Hipótesis alternativa: $\mu \neq \mu_0$

En donde μ es la media de la distribución de probabilidades del promedio aritmético, μ_0 es la calidad nominal o calidad media calculada del proceso, y X_i ($i=1,2,3,\dots$) es el promedio aritmético obtenido de la i enésima muestra aleatoria.

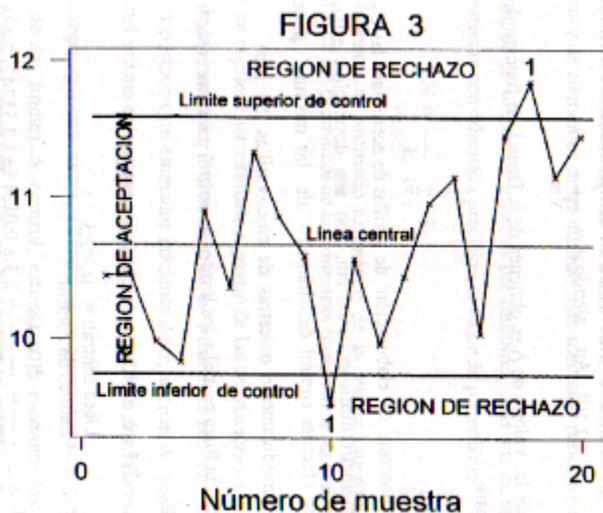
La forma secuencial de estas pruebas de hipótesis se muestra en la figura 3.

Si se consideran problemas prácticos, los valores de μ y σ del proceso se desconocen, y es entonces necesario estimar sus valores a partir de muestras tomadas mientras el proceso se encuentra "bajo control", tal como se explican más adelante.

Un caso usual es considerar los límites de control “tres desviaciones estándar”, que se obtienen al sustituir a $z_{\alpha/2}$ por un 3, al calcular los límites de control.

Conforme a lo anterior, con los límites de control

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



ELABORACION DE LA CARTA DE CONTROL PARA LOS PROMEDIOS X

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

Línea central ----- μ
 Límites de control ----- μ

En donde los valores de A se obtienen de la Tabla 1, en función del tamaño de la muestra.

Ejemplo:

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

Solución

Siendo $\mu=2.5\text{cm}$, $\sigma=0.01$ y $n=5$, se tiene que:

Línea central= $\mu=2.5$

Límites de control:

O, de la tabla I, con $A=1.342$

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

2. Caso en que se desconoce μ y σ

Para este caso, que es el más común, es necesario estimar a μ y σ con base en muestras de 4 o 5 elementos, obtenidas consecutivamente cuando el proceso esta "bajo control".

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

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

Donde X_i denota al promedio aritmético de la i enésima muestra, y \bar{x} es el promedio de los promedios de las muestras (también se suele denotar con el símbolo \bar{x}).

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

Sin embargo, es conveniente, cuando se requiere bastante precisión en el cálculo de los límites de control, estimar a σ mediante las desviaciones estándar de las muestras. Tal es el caso, por ejemplo, de muestras de productos que son caros y que necesitan destruirse para poder tomar las mediciones.

Estimación de σ mediante los rangos de las muestras

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

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

Línea Central ----- \bar{x}
Límites de control -----

Donde A_2 se ofrece en la Tabla 1.

Estimación de σ mediante las desviaciones estándar de las muestras

Se debe obtener primero el valor de σ , que es el promedio de las desviaciones estándar de las muestras, es decir:

En donde S_i denota la desviación estándar de la i enésima muestra. En tal caso:

Estimador de

Los valores de c_2 se reportan en la Tabla 1 en función del tamaño de la muestra, por lo que

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

Línea Central ----- \bar{x}

Límites de control

Donde A_1 se obtiene de la Tabla 1, con lo cual los límites de control quedan como

NUMERO MINIMO DE MUESTRAS REQUERIDO PARA LA ELABORACION DE CARTAS X

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

El asegurar que un mínimo de 20 o 25 muestras con 4 o 5 elementos cada una son necesarias para obtener los valores de \bar{x} , R o σ , frecuentemente choca con el argumento de que por razones de costo, tiempo, etc., se debe emplear un número menor de ellas. Por ello, se han preparado tablas como las 1 y 3, que permiten obtener una solución práctica para este problema.

Cuando se emplea el rango R como estimador de σ para la elaboración de una carta \bar{x} , y como se verá más adelante, para una carta R , la tabla 2 permite determinar el número mínimo, m , de muestras de tamaño n que se deben emplear, para tener poco más de un 98% de nivel de confianza de que los promedios aritméticos obtenidos de las muestras se encuentren dentro de los límites de control que se calculen para la carta \bar{x} , suponiendo únicamente la presencia de variación aleatoria.

De la misma manera, se establecen en la Tabla 3 los valores óptimos de m y n , cuando se emplean las desviaciones estándar de las muestras, para obtener el estimador σ de la desviación estándar de la población.

Ejemplo:

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

Solución

Puesto que se desconoce la media del proceso, ésta se puede estimar mediante el promedio:

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

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

a. Estimando a σ mediante los rangos de las muestras

El valor de R es:

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

Los límites de control para la carta de los promedios son:

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

y de la tabla 1, para $n=5$, se obtiene $A_2=0.577$, quedando

o sea

Línea Central ---- 10.66

$$\text{Límites de control ---- } 10.66 \pm 0.92 \Rightarrow (11.58, 9.74)$$

b. Estimación de σ mediante las desviaciones estándar de las muestras

El valor de σ es

Los límites de control son ahora

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

De la Tabla 1, para $n=5$, se obtiene

$A_1=1.596$, quedando

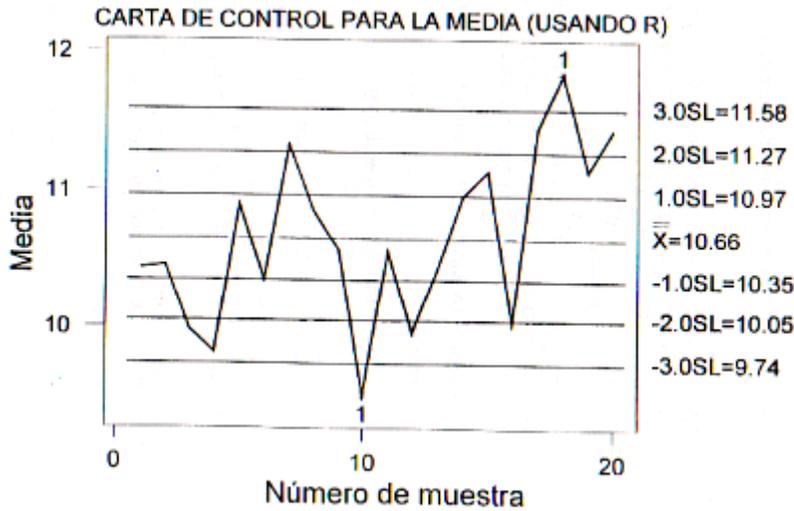
$$10.66 \pm 1.596(0.5665) = 10.66 \pm 0.90$$

o sea

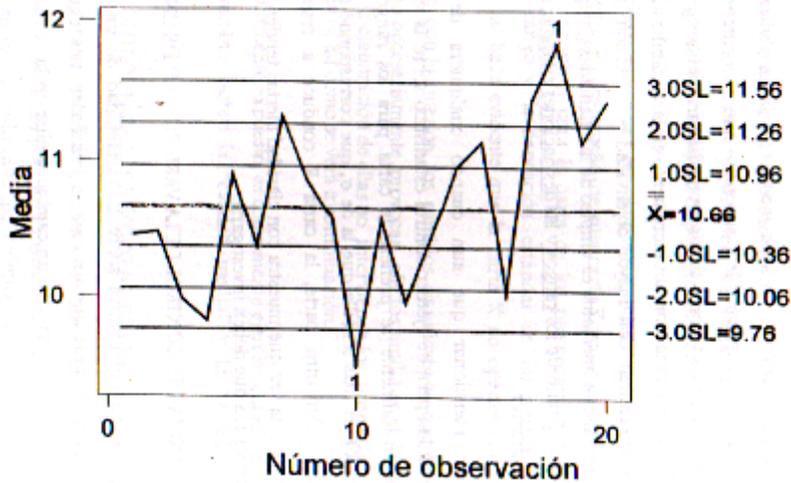
Línea Central ---- 10.66

$$\text{Límites de Control ---- } 10.66 \pm 0.90 \Rightarrow (11.56, 9.76)$$

En las siguientes figuras se muestran las cartas de control obtenidas empleando ambos procedimientos.



CARTA DE CONTROL PARA LA MEDIA (USANDO S)



CARTAS PARA CONTROLAR LA VARIABILIDAD DE UN PROCESO

Al controlar estadísticamente la calidad con que se produce un material o componente, puede no ser suficiente fijar la atención en su "calidad media", sino también se debe monitorear la variabilidad del mismo. Aún cuando es razonable suponer que un incremento en las fluctuaciones de los valores de los promedios aritméticos graficados en una carta x se relaciona con un incremento en la variabilidad del proceso, es posible determinar con mayor objetividad y precisión los cambios que experimenta ésta mediante el empleo de las llamadas Cartas R y σ , que se elaboran a partir de los rangos y las desviaciones estándar de las muestras, respectivamente.

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

IMPORTANCIA DEL CONTROL DE LA VARIABILIDAD DE UN PROCESO

La importancia del control sobre la variabilidad de un proceso se hace evidente al considerar que un cambio brusco en esta característica es de consecuencias más serias que un cambio similar en la “calidad media”. Si el proceso experimenta un cambio en ésta última, normalmente se puede regresar a la situación bajo control efectuando ajustes simples en los dispositivos de producción (por ejemplo, recalibración de herramientas de corte, dosificadoras, etc.).

Sin embargo, si el proceso sufre un cambio brusco en su variabilidad, para afinar el proceso son a menudo necesarios ajustes más costosos y tardados, tales como reparaciones mayores en los dispositivos de producción, o inclusive la compra de un nuevo dispositivo de procesamiento.

Los cambios efectivos en la variabilidad de un proceso afectan necesariamente el desempeño de una carta X, ya que, como se recordará, los límites de control para la carta de los promedios se amplían si los valores de rango y la desviación estándar de las muestras aumentan, por lo que se hace evidente que la carta X no operará correctamente.

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

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

CARTA DE CONTROL PARA LOS RANGOS (CARTA R)

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

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

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

Línea Central ---- μ_R

Límites de control ---- $\mu_R \pm 3\sigma_R$

Línea Central ---- $d_2 \sigma$

Límite Inferior de Control ---- $D_1 \sigma$

Límite Superior de Control ---- $D_2 \sigma$

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

En este caso es necesario estimar a μ_R de la distribución de probabilidades de los rangos mediante R , empleando un número adecuado de muestras preliminares, normalmente el mismo que se emplea para la elaboración de una carta X .

Línea Central ---- R

Límite Inferior de Control ---- $D_3 R$

Límite Superior de Control ---- $D_4 R$

Donde D_3 y D_4 se obtienen en la Tabla 1.

CARTA DE CONTROL PARA LAS DESVIACIONES ESTANDAR (CARTA σ)

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

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

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

Línea Central ---- $c_2 \sigma$

Límite Inferior de Control ---- $B_1 \sigma$

Límite Superior de Control ---- $B_2 \sigma$

Donde B_1 y B_2 se obtienen en la Tabla 1.

b. Caso en el que se desconoce la desviación estándar σ mediante σ , empleando un número suficiente de muestras aleatorias preliminares.

De acuerdo con lo anterior:

Línea Central ---- σ

Límite Inferior de Control ---- $B_3 \sigma$
 Límite Superior de Control ---- $B_4 \sigma$

Donde B_3 y B_4 se obtienen en la Tabla 1.

Ejemplo:

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

Solución

a. Carta R

Puesto que se conoce el valor de la desviación estándar de la población y en virtud de que $n=5$, se obtiene, empleando la Tabla 1:

Línea Central ---- $d_2 \sigma = 2.326 (0.01) = 0.02326$
 Límite Inferior de Control ---- $D_1 \sigma = 0(0.01) = 0.0000$
 Límite Superior de Control ---- $D_2 \sigma = 4.918(0.01) = 0.04918$

b. Carta σ

En este caso, puesto que $\sigma=0.01$ y $n=5$, se obtiene, con el uso de la Tabla 1:

Línea Central ---- $c_2 \sigma = 0.8407(0.01) = 0.008407$
 Límite Inferior de Control ---- $B_1 \sigma = 0(0.01) = 0.0000$
 Límite Superior de Control ---- $B_2 \sigma = 1.756(0.01) = 0.01756$

Ejemplo:

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

Solución:

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

a. Carta R

El valor de R, obtenido durante el proceso de elaboración de la carta R correspondiente, es $R=1.59$. Considerando este valor, y empleando la Tabla 1, los parámetros de la carta de control R resultan

Línea Central ---- $\bar{R}=1.590$

Límite Inferior de Control ---- $D_3 \bar{R}=0(1.59)=0$

Límite Superior de Control ---- $D_4 \bar{R}=2.115(1.59)=3.362$

En la Figura 4 se presenta la carta R para este problema.

b. Carta σ

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

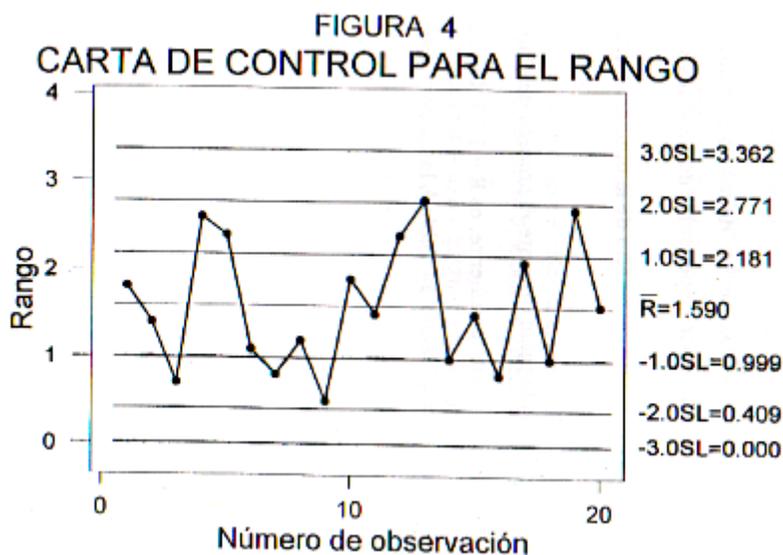
Línea Central ---- $\sigma=0.57$

Límite Inferior de Control ---- $B_3 \sigma=0(0.57)=0$

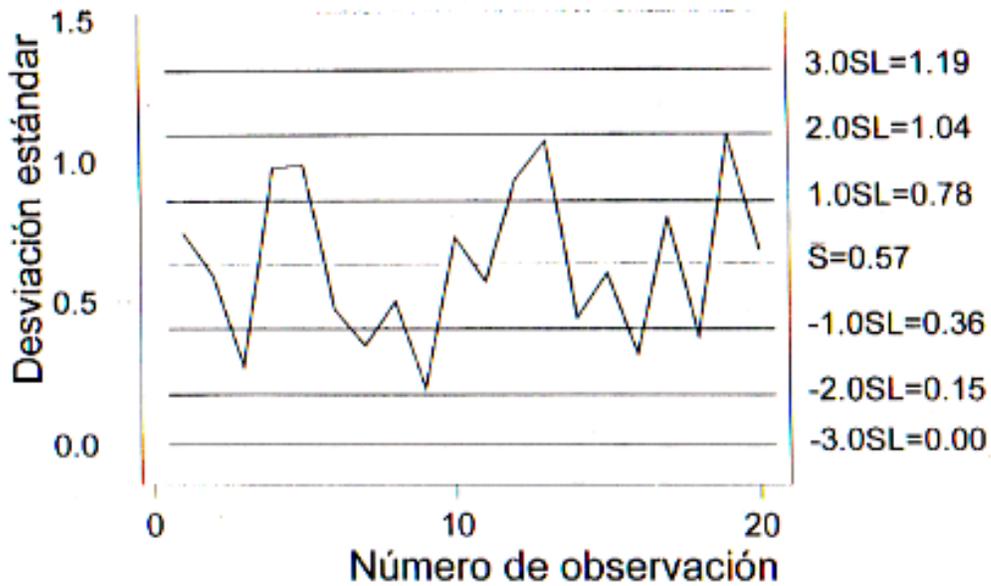
Límite Superior de Control ---- $B_4 \sigma=2.089(0.57)=1.19$

En la siguiente figura se muestra la carta de control σ correspondiente.

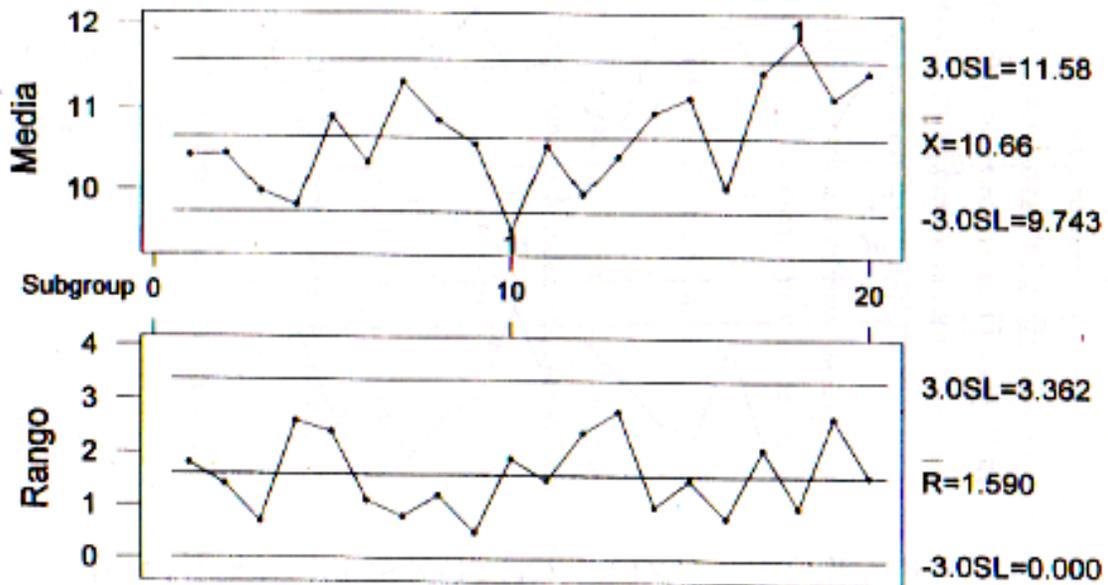
Es también conveniente, para interpretación más fácil de las cartas de control, dibujar en una sola hoja la correspondiente a la media con alguna de las de variabilidad, como se muestra en dos de las siguientes figuras:

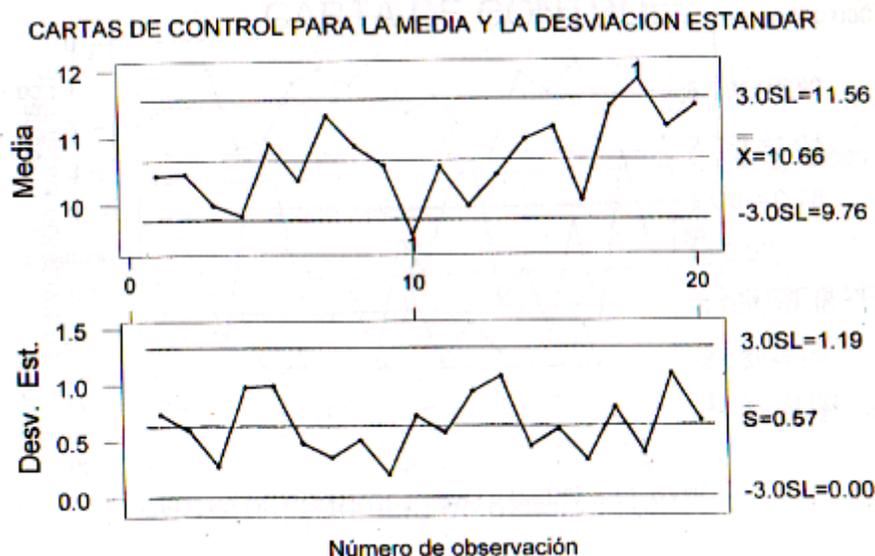


CARTA DE CONTROL



CARTAS DE CONTROL PARA LA MEDIA Y EL RANGO





CARTAS DE CONTROL PARA ELEMENTOS INDIVIDUALES

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

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

$$|x_i - x_{i+1}|; 1 \leq i \leq n-1$$

Es decir

$$|x_1 - x_2|, |x_2 - x_3|, \dots, |x_{n-1} - x_n|$$

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

$$|x_i - x_{i+2}|; 1 \leq i \leq n-2$$

Es decir

$$|x_1 - x_3|, |x_2 - x_4|, \dots, |x_{n-2} - x_n|$$

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

Por ejemplo, si se tienen los datos consecutivos 4,6,4,3 y 7, los rangos móviles de orden dos son:

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

Y los de orden tres son:

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

El empleo de los rangos móviles para la obtención de los límites de control es importante en este caso, ya que el calcular un rango móvil de orden dos equivale a formular una muestra “ficticia” de tamaño dos. En la misma forma, un rango móvil de orden tres tiene que obtenerse a partir de tres elementos individuales, lo cual permite “crear” muestras de tamaño tres.

De acuerdo con lo anterior, es factible establecer los límites de control para las cartas de control, en el caso de elementos individuales, empleando los factores de la Tabla 1, que se encuentran tabulados a partir de muestras de tamaño dos.

a. Elaboración de la carta X (elementos individuales)

En este caso, la línea central está dada por

En donde $x_i (i=1,2,\dots,K)$ denota a los valores de los datos individuales.

En este caso la carta de control se formula con

Línea Central ---- \bar{X}

Límite Inferior de Control ---- $\bar{X}-E_2R$

Límite Superior de Control ---- $\bar{X}+E_2R$

Donde E_2 se obtiene en la Tabla 1.

b. Elaboración de la carta R (rangos móviles)

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

Los parámetros de la carta de control R^* para los rangos móviles son:

Línea Central ---- \bar{R}

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

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

En donde los valores de D_3 y D_4 se obtienen de la Tabla 1 en función de n , el tamaño “ficticio” de la muestra, u orden de los rangos móviles.

Ejemplo:

Considérese un proceso de control de calidad del espesor de las placas de neopreno para apoyo de puentes. A lo largo de cierto tiempo se mide cada vez el espesor de una placa tomada al azar. Los valores se presentan en la tabla siguiente y se pide construir cartas X y R^* , considerando rangos móviles de orden dos.

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

Solución

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

a. Carta X

La línea central de esta carta X, cuyo valor es

De la Tabla 1 se obtiene $E_2=2.66$ para $n=2$, siendo los límites de control

$$X \pm E_2 R = 4.99927 \pm 2.66 (0.288) \\ = 4.927 \pm 0.766$$

Finalmente, los parámetros de la carta X quedan como

Línea Central ---- 4.927

Límite Inferior de Control ---- $4.927 - 0.766 = 4.161$

Límite Superior de Control ---- $4.927 + 0.766 = 5.693$

En la Figura 5 se presenta la gráfica correspondiente:

b. Carta R*

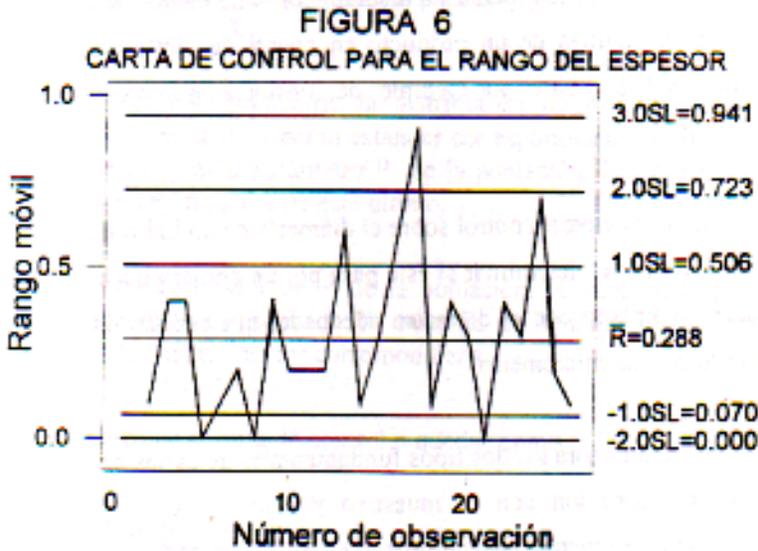
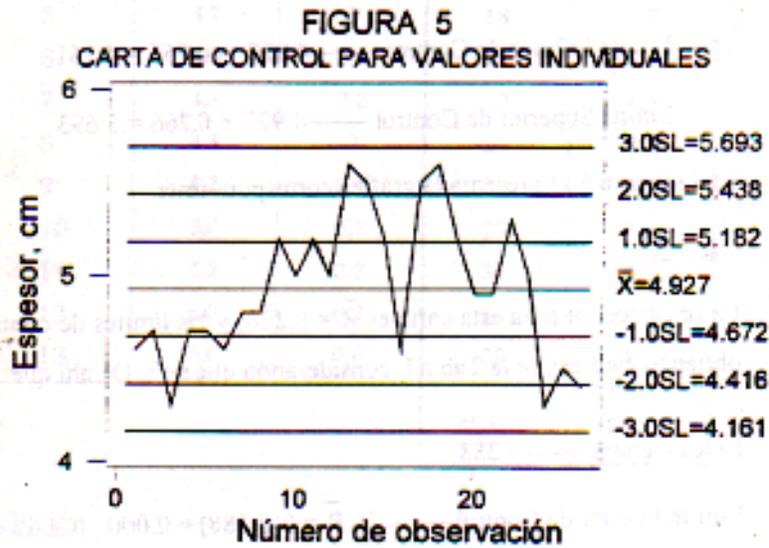
La línea central para esta carta es $R=0.288$, y los límites de control se obtienen empleando la Tabla 1, considerando que $n=2$. De ahí que

Línea Central ---- 0.288

Límite Inferior de Control ---- $D_3R = 0(0.288) = 0.000$

Límite Superior de Control ---- $D_4R = 3.276(0.288) = 0.943$

La Figura 6 muestra la carta R* para este problema.



CARTAS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

El término atributo, tal como se emplea en el control de calidad, indica generalmente la propiedad que tiene un producto de ser bueno o malo, es decir, permite reconocer si la característica de calidad del mismo se encuentra dentro de ciertos requerimientos o especificaciones. Aunque generalmente se puede obtener información más completa de las mediciones hechas a productos terminados, a menudo consume menos tiempo y dinero el comparar la calidad de un producto en contra de ciertas especificaciones mínimas, sobre la base, por ejemplo, de considerar que pasa o no, o que es bueno o malo.

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

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

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

Por otra parte, debe observarse que si se prueba una sola unidad producida, esta puede tener varios defectos pero, sin embargo, puede o no ser una unidad defectuosa. Tal es el caso, por ejemplo, de rollos (unidades) de lámina de acero de determinada longitud, que pueden tener hasta un cierto número de imperfecciones, pero no necesariamente ser considerados como defectuosos. No obstante, en muchas aplicaciones prácticas, una unidad producida reconsidera defectuosa si tiene cuando menos un defecto.

CARTA DE CONTROL p PARA LA PROPORCION DE DEFECTUOSOS

Los límites de control que se requieren para la Carta p son:

$$\mu_p \pm 3\sigma_p$$

En donde μ_p es la media de la distribución de probabilidades de las proporciones y σ_p la desviación estándar correspondiente. Como μ_p de esta distribución es igual al parámetro P de la población, la estadística p de la muestra sirve de estimador de este último.

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

Los parámetros de la carta de control p quedan como:

Línea Central ---- p
 Límite Inferior de Control ----
 Límite Superior de Control ----

CARTA DE CONTROL PARA EL NUMERO DE DEFECTUOSOS

A partir de los parámetros anteriores se pueden derivar los de la llamada Carta np, o sea, para el número de defectuosos. Para ello, es necesario multiplicar dichos parámetros por n para obtener:

- Línea Central ---- np
- Límite Inferior de Control ----
- Límite Superior de Control ----

Ejemplo:

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

Se desea construir las cartas p y np correspondientes.

Número de la muestra	Número de defectuosos np	Proporción de defectuosos p	Número de la muestra	Número de defectuosos np	Proporción de defectuosos p
1	2	0.04	21	1	0.02
2	1	0.02	22	1	0.02
3	2	0.04	23	4	0.03
4	0	0.00	24	2	0.04
5	2	0.04	25	2	0.04
6	3	0.06	26	4	0.08
7	4	0.08	27	1	0.02
8	2	0.04	28	3	0.06
9	0	0.00	29	3	0.06
10	3	0.06	30	2	0.04
11	1	0.00	31	3	0.06
12	1	0.02	32	6	0.04
13	2	0.04	33	2	0.06
14	2	0.04	34	3	0.12
15	3	0.06	35	2	0.04
16	5	0.10	36	3	0.06
17	1	0.02	37	1	0.02
18	2	0.04	38	0	0.00
19	3	0.06	39	2	.4
20	1	0.02	40	0	.00
			SUMA	1.68	

Solución
El Valor de p es

a. Carta p

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

Por lo cual:

Línea Central ---- 0.0420

Límite Inferior de Control ---- $0.042-0.0851=-0.0431 \Rightarrow 0.000$

Límite Superior de Control ---- $0.042 + 0.0851=0.1271$

En este caso, y como se verá a continuación para la Carta np, la expresión para el cálculo del límite inferior de control conduce a un valor negativo del mismo. Puesto que no tiene sentido físico hablar de una proporción menor de cero o de un número de defectuosos negativo, en forma convencional se asigna a ese límite el valor cero.

En la Figura 7 se presenta la carta de control p correspondiente.

b. Carta np

Puesto que $np = 50(0.042) = 2.1$ los límites de control son ahora

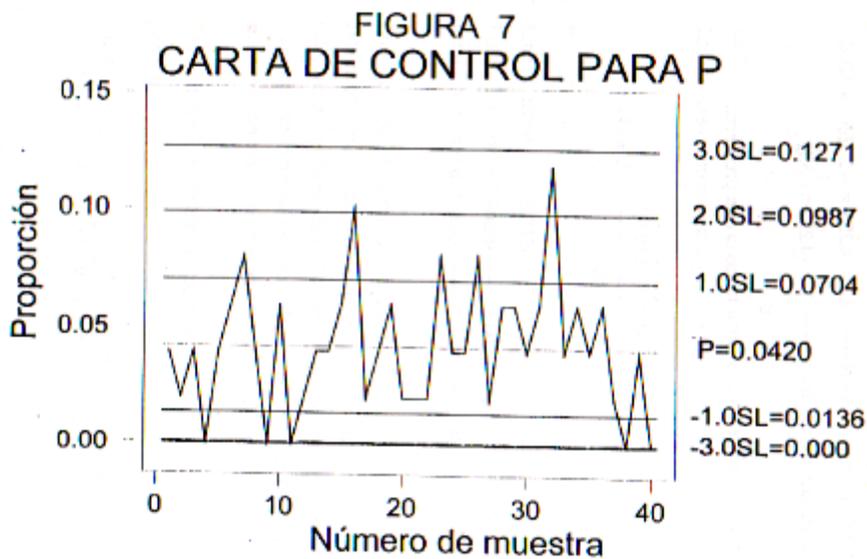
O sea:

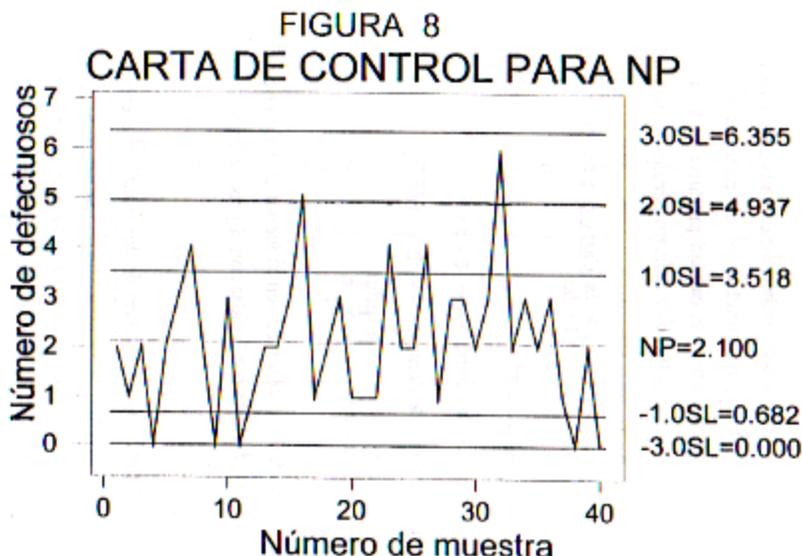
Línea Central ---- 2.1

Límite Inferior de Control ---- $2.1-4.255=-2.155 \Rightarrow 0.000$

Límite Superior de Control ---- $2.1+4.255=6.355$

En la Figura 8 se presenta la carta np para este problema.





CARTA DE CONTROL c PARA EL NUMERO DE DEFECTOS

Existen ocasiones en las que es necesario controlar la calidad mediante el número de defectos, c , por unidad en un material o componente. Por ejemplo, en la supervisión de la calidad producción de láminas de acero es importante controlar el número de defectos por metro cuadrado.

En este caso, los parámetros de la Carta c , para controlar el número de defectos son:

- Línea Central ---- c
- Limite Inferior de Control ---- $c-3$
- Limite Superior de Control ---- $c+3$

Donde

Es el promedio de los c_i obtenidos en al menor 20 valores de c determinados en unidades previamente producidas con el proceso bajo control.

Ejemplo:

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

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

Solución:

Empleando los valores reportados en la tabla anterior, el valor de c resulta

Siendo $c = 6$, los límites de control quedan como

$$6 \pm 3 \cdot 6 = \pm 7.35$$

Finalmente, los parámetros de la Carta c son:

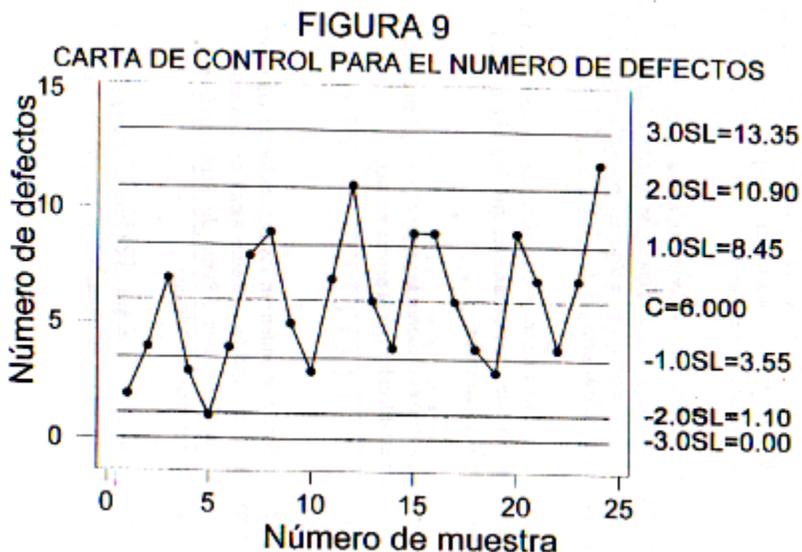
Línea Central ---- 6

Limite Inferior de Control ---- $6 - 7.35 = -1.35 \Rightarrow 0.00$

Limite Superior de Control ---- $6 + 7.35 = 13.35$

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

En la Figura 9 se presenta la carta de control c que corresponde al ejemplo.



Para resumir los resultados hasta ahora obtenidos, en el Cuadro 1 se presentan las fórmulas para calcular las líneas centrales y los límites de control.

VERIFICACION ESTADISTICA DEL CUMPLIMIENTO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES

En muchas ocasiones el control de la calidad de un material o producto terminado culmina con la verificación del cumplimiento de ciertas normas o especificaciones que se han establecido.

Las normas y especificaciones se formulan tomando en cuenta, por un lado, la factibilidad tecnológica que se tiene o se puede adquirir y, por otro, las necesidades y conveniencias de los usuarios potenciales, de manera que haya congruencia entre unos y otros.

Una vez establecida una norma o especificación, tanto el productor como el usuario deben verificar sistemáticamente que ésta se cumpla, lo cual se hace mediante métodos estadísticos.

Una forma de hacerlo es elaborando cartas de control en las que los límites de control quedan establecidos por la propia norma.

Ejemplo:

En la siguiente figura se muestran los resultados de las pruebas realizadas para determinar la calidad del Cemento Asfáltico mediante el análisis de las variables aleatorias Penetración, Punto de Reblandecimiento, Pérdida por Calentamiento y Penetración Retenida.

Los datos corresponden a las refinerías de PEMEX ubicadas en Ciudad Madero, Tamps., Salamanca, Gto., Cadereyta, N.L. y Salina Cruz, Oax.

En las gráficas que conforman la figura, se han trazado las líneas que marcan los límites que señalan las normas correspondientes a cada variable. Los puntos que rebasan dichas líneas corresponden a resultados que no cumplieron con la norma respectiva.

Ejemplo:

En el proceso de control de calidad del concreto utilizado en la construcción de un puente, se obtuvieron datos de la variable aleatoria “Resistencia a la Comprensión”, de cilindros estándar que se probaron a los 28 días de edad. Los resultados de las pruebas y de algunos pasos de su procesamiento se muestran en la siguiente tabla (la fuente de los datos es la referencia 9 de la bibliografía).

f'_c de proyecto: 250 KG/CM²

Número de muestras en estudio: 105

Número de cilindros por muestra: 2

MUESTRA No.	RESISTENCIA (KG/CM ²)		PROMEDIO (KG/CM ²)	RANGO (KG/CM ²)	PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS
	CIL.1	CIL.2			
1	253	253	253.0	0	287.3
2	318	315	316.5	3	296.3
3	291	294	292.5	3	261.5
4	280	280	280.0	0	264.3
5	211	213	212.0*	2	251.0
6	301	301	301.0	0	280.7
7	240	240	240.0	0	268.3
8	302	300	301.0	2	275.5
9	264	264	264.0	0	266.5
10	259	264	261.5	5	268.2
11	274	274	274.0	0	283.8
12	270	268	269.0	2	292.2
13	311	306	308.5	5	302.8
14	300	298	299.0	2	302.5
15	301	301	301.0	0	299.3
16	304	311	307.5	7	298.8
17	290	289	289.5	1	284.8
18	301	298	299.5	3	282.5
19	365	266	265.5	1	266.7
20	284	281	282.5	3	261.7
21	249	255	252.0	6	246.8**
22	249	252	280.5	3	233.3**
23	238	238	238.0	0	231.7**

CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION

24	207	216	211.5*	9	230.0**
25	244	247	245.5	3	245.8**
26	234	232	233.0	2	242.7**
27	260	258	259.0	2	261.0
28	234	238	236.0	4	256.0
29	287	289	288.0	9	246.3**
30	244	244	244.0	0	233.3**
31	204	210	207.0*	6	244.0**
32	248	250	249.0	2	261.7
33	276	276	276.0	0	250.0
34	260	260	260.0	0	237.5**
35	214	214	214.0*	0	224.7**
36	236	241	238.5	5	233.7**
37	217	226	221.5	9	244.2**
38	240	242	241.0	2	251.3
39	271	269	270.0	2	259.3
40	239	247	243.0	8	260.5
41	265	265	265.0	0	261.5
42	274	273	273.5	1	264.5
43	246	246	246.0	0	256.8
44	275	273	274.0	2	252.7
45	250	251	250.5	1	259.8
46	232	235	233.5	3	273.8
47	294	297	295.5	3	295.3
48	294	291	292.5	3	309.8
49	297	299	298.0	2	315.7
50	337	341	339.0	4	303.2
51	309	311	310.0	2	270.8
52	260	261	260.5	1	250.8
53	240	244	242.0	4	240.0**
54	250	250	250.0	0	243.7**
55	227	229	228.0	2	238.5**
56	252	254	253.0	2	247.0**
57	232	237	234.5	5	254.7
58	256	251	253.5	5	258.8
59	276	276	276.0	0	261.0
60	249	245	247.0	4	264.7
61	260	260	260.0	0	300.2
62	287	287	287.0	0	301.8
63	356	351	353.5	5	292.0
64	260	270	265.0	10	258.0
65	260	255	257.5	5	259.2
66	255	248	251.5	7	281.5
67	270	267	268.5	3	279.8
68	326	323	324.5	3	277.3

CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION

69	245	248	246.5	3	247.3**
70	261	261	261.0	0	241.3**
71	236	233	234.5	3	228.2**
72	226	231	228.5	5	223.3**
73	224	219	221.5	5	217.8**
74	219	221	220.0	2	213.0**
75	211	213	212.0*	2	226.3**
76	205	209	207.0*	4	239.0**
77	260	260	260.0	0	251.0
78	250	250	250.0	0	240.7**
79	241	245	243.0	4	227.7**
80	226	232	229.0	6	228.8**
81	211	211	211.0*	0	232.0**
82	249	244	246.5	5	240.5**
83	236	241	238.5	5	241.8**
84	238	235	236.5	3	245.7**
85	252	249	250.5	3	249.5**
86	248	252	250.0	4	245.7**
87	252	244	248.0	8	248.5**
88	257	241	239.0	4	246.3**
89	261	256	258.5	5	258.3
90	245	238	241.5	7	246.8**
91	273	277	275.0	4	237.3**
92	227	221	224.0	6	219.0**
93	211	215	213.0*	4	214.3**
94	219	221	220.0	2	215.3**
95	210	210	210.0*	0	205.5**
96	215	217	216.0	2	204.0**
97	189	192	190.5*	3	199.8**
98	204	207	205.5*	3	202.2**
99	208	199	203.5*	9	209.5**
100	196	199	197.5*	1	218.8**
101	225	230	227.5	5	228.5**
102	233	230	231.5	3	233.2**
103	226	227	226.5	1	224./**
104	238	245	241.5	7	
105	203	210	206.5*	7	

* Indica aquellos promedios de los cilindros de las muestras cuya resistencia es de más de 35kg/cm² por debajo de la f'c de proyecto (NOM-C-155-1984,5.1.1.2).

** Indica aquellos promedios de tres muestras consecutivas cuya resistencia es menor que la f'c de proyecto (NOM-C-155-1984, 5.1.1.2).

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

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

Grado de uniformidad de la fabricación del concreto

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

Tabla No. 1

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

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

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

Grado de control de laboratorio

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

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

Donde x es el promedio de todas las muestras y d se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla No. 2

FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACION ESTANDAR DE LOS ENSAYES

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

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

Tabla No. 3

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

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

GRADOS DE CALIDAD DEL CONCRETO, SEGÚN LA NORMA NOM-C-155-1984

Grados de calidad A (sólo para resistencia a compresión). El concreto debe cumplir con lo siguiente:

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

Grado de calidad B (resistencia a compresión y resistencia a flexión). El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- No más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia consecutiva puede ser igual o menor que la resistencia especificada.
- No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos 35 kg/cm^2 , o resistencia especificada a la flexión "MR" menos 4 kg/cm^2 .

Interpretación de los resultados

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

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

Coefficiente de variación

Promedio de los rangos de los ensayos = $R = 3.03$

Desviación estándar de los ensayos

Coefficiente de variación de los ensayos

Conclusiones

- a. Como $S= 32.1$, de acuerdo con la tabla 1, el control de la uniformidad de la fabricación es “muy bueno”. Esto se confirma al observar la Carta de Control para la media que se muestra en una de las figuras que se presentan más adelante.
- b. Como $V_1=1.1\%$, de acuerdo con la tabla 3, el control del laboratorio se califica como “excelente”.
- c. El número de muestras con promedio de resistencias inferior a $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ es de 51, o sea, 48.6%. Como este valor es mayor que el tolerable, de 10%, se concluye que el concreto no cumple la norma NOM-C-155-1984, grado de calidad B.
- d. El número de promedios de 3 muestras consecutivas inferiores a $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, es de 50, o sea 47.6%.

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

- e. El número de promedios de muestras con deficiencia de más de 35 kg/cm^2 es de 14, o sea 13.3%. Como este valor es superior al 1% señalado como límite en la norma, se concluye que dicha norma no se cumple.

En las siguientes figuras se muestran los resultados del procesamiento de la información en términos de valores estadísticos y de cartas de control para la verificación del cumplimiento de las especificaciones correspondientes.

CUADRO 1

Fórmulas para líneas centrales y límites de control

ESTADISTICA	Estándares dados		Análisis de datos históricos	
	Línea central	Límites	Línea central	Límites
Media, usando σ	μ	$\mu \pm A\sigma$	X	
Media, usando R			X	
Desviación estándar	$c_2\sigma$	$B_1\sigma, B_2\sigma$	σ	
Rango	$d_2\sigma$	$D_1\sigma, D_2\sigma$	R	
Elementos individuales -X			X	
Elementos individuales-R*			R	
Proporción			P	
Número de defectuosos			Np	
Número de defectos			c	

TABLA 2

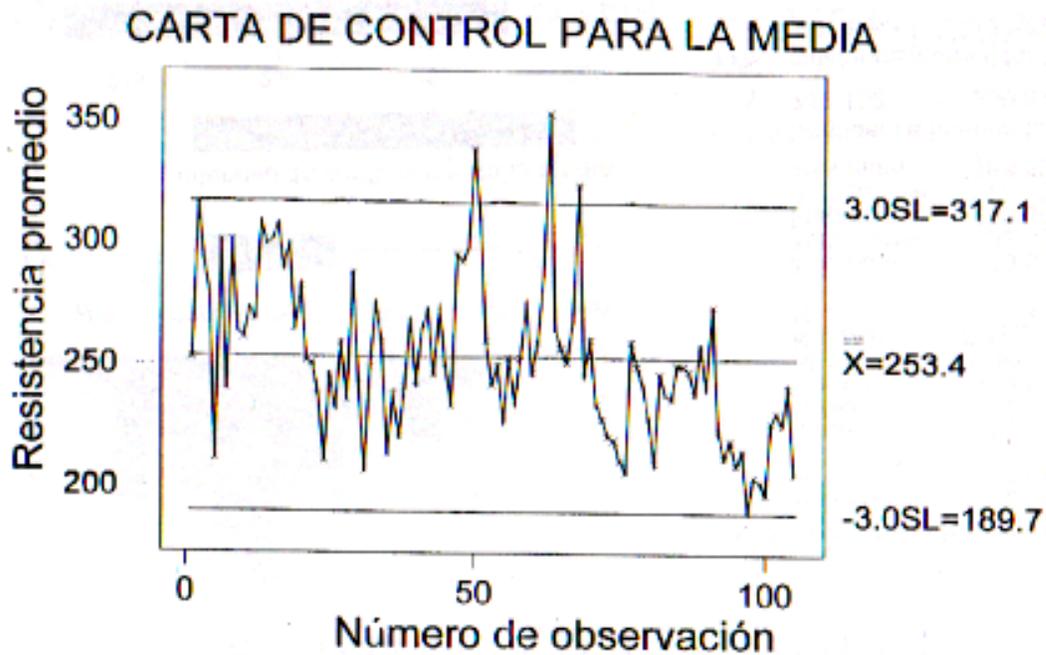
Número mínimo m de muestras de tamaño n requerido para elaborar una carta x con una confianza de 98%, cuando se emplean los rangos.

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

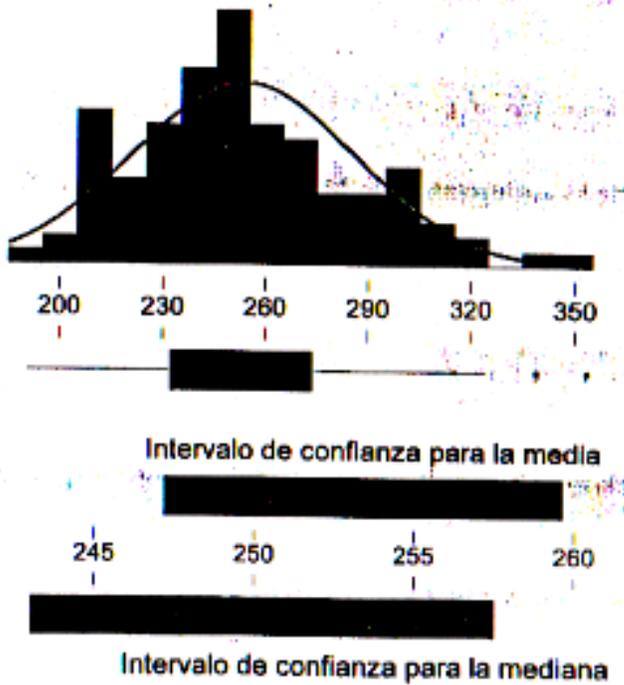
TABLA 3

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

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



ESTADISTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA DEL CONCRETO



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.748
P-Value: 0.050

Mean 253.390
StDev 32.234
Variance 1039.00
Skewness 0.557214
Kurtosis 8.19E-02
N 105

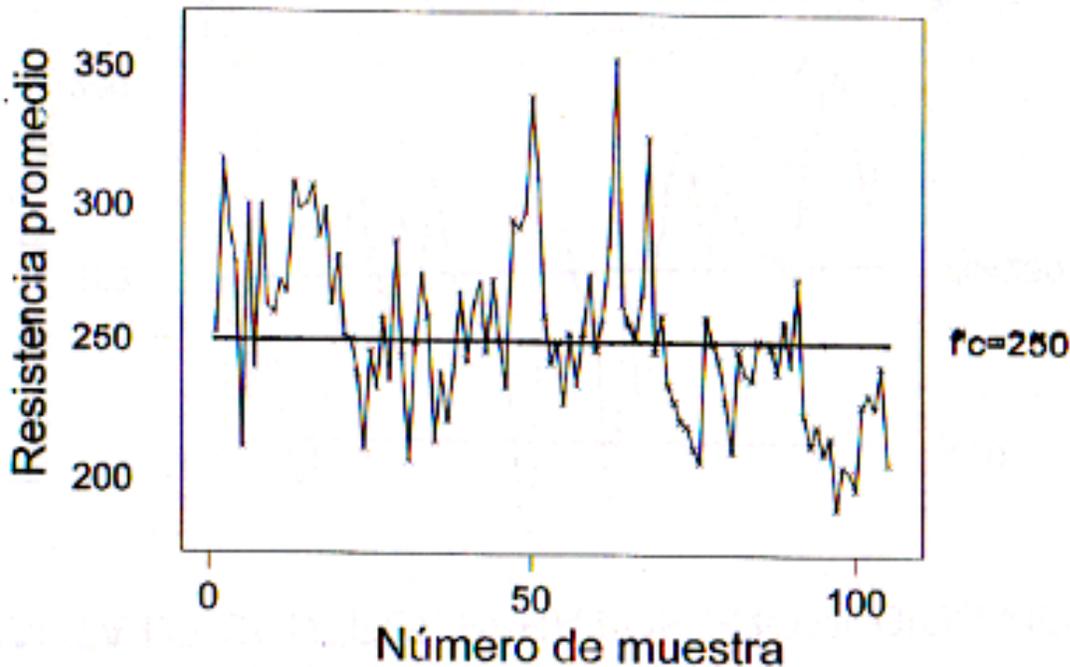
Minimum 190.500
1st Quartile 232.250
Median 250.000
3rd Quartile 273.750
Maximum 353.500

95% Confidence Interval for Mu
247.152 259.628

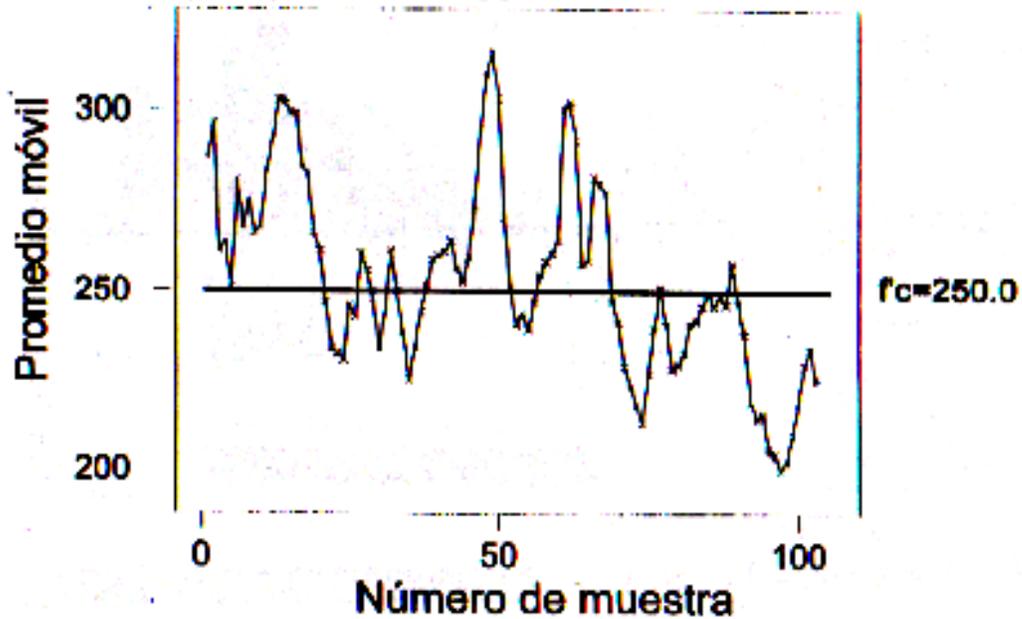
95% Confidence Interval for Sigma
28.385 37.299

95% Confidence Interval for Median
243.000 257.534

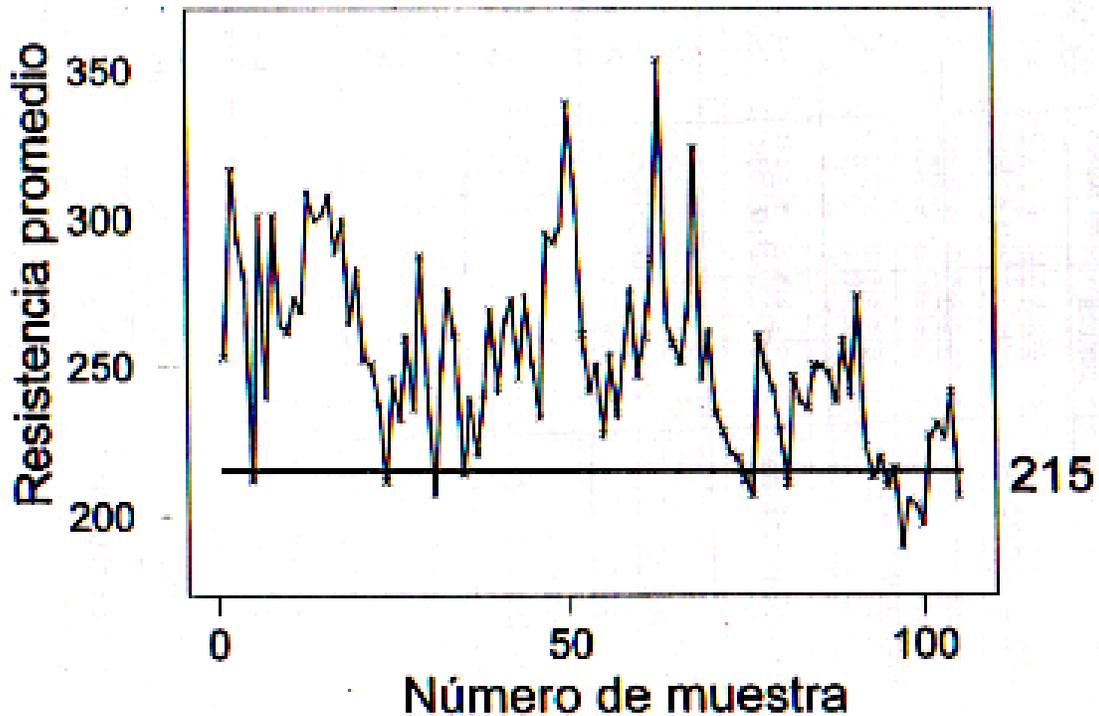
CARTA DE CONTROL PARA $f_c=250$ kg/cm²



CARTA DE CONTROL PARA LOS PROMEDIOS MOVILES



CARTA DE CONTROL PARA RESISTENCIA - 35 kg/cm²



CAPITULO VII

CONCLUSIONES

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

Se analizo en este trabajo de tesis como si se descuida un solo aspecto en la construcción y de la supervisión de la calidad de esta, todo el resultado del proyecto se puede ir a la basura ya que no seria funcional

En cuanto a la madera ya no es muy usada en cuanto el aspecto estructural pero nada queda en desuso y nos podemos encontrar en casos donde tenemos que llegar a emplear este material y tenemos la obligación como profesionales de las construcción de saber las normas y pruebas que se deben hacer a este material de la construcción (madera) para siempre obtener un estándar de calidad y supervisión para que su resistencia nunca este por debajo de lo que se calculo para el diseño.

Para el acero se debe verificar con métodos de prueba de muestras como se estudio para que cumplan con la calidad y resistencia de diseño para la perfecta funcionalidad de la obra ya que no podemos asegurar que un lote de este material pueda estar defectuoso y no cumpla con las normas y si nosotros no lo detectamos en un tiempo oportuno nos puede acarrear grandes problemas y muchas consecuencias

De acuerdo a estos datos estadísticos para el concreto se puede concluir:

La deficiencia en la resistencia del concreto utilizado se puede deber a un mal cálculo en la dosificación de los elementos que componen a éste.

Una vez observada la importancia de la estadística en la interpretación de resultados se recomienda, que j) promedio (f_{cr}) del concreto resistencia de diseño (f'_c). Esta diferencia en la resistencia dependerá de la variabilidad esperada en los resultados de las pruebas y de la proporción permisible de muestras con resultados menores que los indicados en el nivel de resistencia. Los cuales se especifican en la NOM-C-155-1,984 y ACI-214-77.

La resistencia promedio requerida (f_{cr}) que se debe tomar en cuenta para cualquier diseño puede ser calculada mediante las ecuaciones-

$$f_{cr} = f'_c + t\sigma$$

$$f_{cr} = f'_c - K + t\sigma$$

$$f_{cr} = f'_c + t\sigma / \sqrt{n}$$

Generalizando podemos decir:

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.

La resistencia del concreto debe derivarse de un conjunto de ensayos, a partir de los cuales se pueden estimar en forma más precisa la uniformidad y las características del concreto.

Si se confía demasiado en los resultados de unos cuantos ensayos, las conclusiones que se alcancen pueden ser erróneas.

No resulta práctico especificar una resistencia mínima ya que, aún cuando existe un buen control, siempre cabe la posibilidad de resistencias todavía más bajas.

Es un error concluir que la resistencia de una estructura está en peligro cuando solo un ensayo no cumple con los requisitos de resistencia especificada.

Como se indico anteriormente, son inevitables las variaciones casuales y las fallas ocasionales en el cumplimiento de los requisitos de resistencia.

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 factores 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.

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 intimo de las condiciones que tienen la mayor probabilidad de ocurrir durante la construcción.

Algunas personas creen que hacer un control de calidad es simplemente contratar a un laboratorio que tome cilindros. Que ensaye y reporte los resultados o que con la misma gente en la obra se haga el proceso y simplemente observar los resultados; sí estos son altos olvidarse de ellos y si son bajos alarmarse inmediatamente, tratando de recordar donde fue colocado ese concreto, y de esta forma determinar si se trata de una zona importante y en ese caso extraer corazones para conocer su resistencia.

Esto es totalmente absurdo; en primer lugar se debe definir, antes de empezar la obra, cuales son las especificaciones de calidad, luego determinar como se controlará su cumplimiento y analizar el costo que esto implica, posteriormente controlar el personal que realiza el muestreo, el ensaye y análisis de los resultados. Esto puede encargarse a una institución seria para tener la tranquilidad de que todo el proceso se realice de acuerdo a las Normas establecidas

BIBLIOGRAFIA

- 1) Diccionario de la Real Academia Española XX, edición 2002.
- 2) Orozco S., R.V. (1996). El Concepto "Calidad en las Vías Terrestres", XII Reunión Nacional de Vías Terrestres (AMIVTAC), San Luis Potosí, S.L.P.
- 3) Orozco S., R.V. (1998). Conceptos Fundamentales, Seminario: Carpetas Drenantes Ahuladas (AMIVTAC, AMAAC, CITEA y CAPUFE), Cuernavaca, Mor.
- 4) Orozco S., R.V. (1998). Certificación de Niveles de Calidad Característicos, XIII Reunión Nacional de Vías Terrestres (AMIVTAC), Oaxtepec, Mor.
- 5) Revista ingeniería civil. Num 133 C.I.C.M. 1997
- 6) Apuntes "Control de calidad del concreto" I.M.C.Y.C. 1994
- 7) Tecnología del concreto Tomo I, II, III I.M.C.Y.C. 1995
- 8) NORMA oficial Mexicana
- 9) Especificaciones Generales de Construcción Parte novena Libro cuarto Secretaria De Comunicaciones y Transportes 5 edición, 1999
- 10) Normas de Calidad de los Materiales Libro 4.01.01 Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- 11) Diplomado en proyecto Supervisión y Control de Calidad Facultad de Ingeniería UNAM . 2002
- 12) Taggart John Wiley and sons. Handbook of Mineral Dressing 1995
- 13) Mineral Processing Handbook de TelSmith division de barber Greene
- 14) Tecnología del concreto Tomo I, II, III A.M. Neville 1994
- 15) Proyecto y Control de Mezclas de Concreto Staff Portland cement association 1988.
- 16) Apuntes Control De Calidad Del Concreto I.M.C.Y.C. 1990