

2ej' 146

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



Control de calidad del Concreto.

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
VICTOR ANTONIO RODRIGUEZ VALENCIA**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE GENERAL

Página

CAPITULO I

INTRODUCCION.....	1
-------------------	---

CAPITULO II

CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO

COMPONENTES DEL CONCRETO.....	9
-------------------------------	---

AGREGADOS PETREOS.....	10
------------------------	----

CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS.....	11
-------------------------------------	----

a) Por su Origen.....	11
b) Por su Peso.....	12
c) Por su Tamaño.....	12
d) Por su Forma y Textura.....	13

PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS.....	17
---	----

a) Absorción.....	17
b) Peso Especifico.....	19
c) Peso Volumétrico.....	20
d) Composición Granulométrica.....	21
e) Resistencia.....	27
f) Sanidad.....	28
g) Substancias Deletéreas.....	29

CEMENTO.....	33
--------------	----

PRUEBAS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO.....	34
---	----

AGUA.....	35
-----------	----

ADITIVOS.....	37
---------------	----

CAPITULO III

PROPIEDADES Y PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO.....	39
CARACTERISTICAS IMPORTANTES DEL CONCRETO FRESCO.....	39
TRABAJABILIDAD.....	40
a) Prueba de Revenimiento.....	40
b) Prueba del Factor de Compactación.....	43
c) Prueba de Remoldeo.....	44
d) Prueba del Consistómetro "V-B".....	46
e) Prueba de la Esfera de Kelly.....	47
f) Prueba de Fluidéz.....	47
UNIFORMIDAD.....	49
SEGREGACION Y SANGRADO.....	49
FRAGUADO.....	50
CONTROL DE LA ELABORACION DEL CONCRETO.....	50
a) Verificación del Funcionamiento y Precisión de los Equipos de Dosificación y Mezclado.....	51
b) Variación en las Características de los Agregados.....	53
PRUEBAS AL CONCRETO ELABORADO.....	54
a) Contenido de Aire.....	54
b) Tiempos de Fraguado.....	54
c) Peso Volumétrico.....	54
d) Análisis del Concreto Fresco.....	55

CAPITULO IV

PROPIEDADES Y PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO.....	56
PRUEBA A LA COMPRESION SIMPLE.....	58
a) Efecto de las Condiciones del Curado.....	63
b) Efecto de la Esbeltez.....	64
c) Efecto de la Velocidad de Carga.....	65
d) Efecto de las Condiciones de Humedad y Temperatura Durante la Prueba.....	66
e) Efecto de la Edad.....	67

PRUEBA BRASILEÑA DE TENSION.....	68
PRUEBA DE FLEXION.....	69
PRUEBA DE CORAZONES.....	70
PRUEBA DEL MARTILLO DE REBOTE.....	71
PRUEBA DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION.....	75
PRUEBA DEL PULSO ULTRASONICO.....	75
PRUEBA DE LA EXTRACCION.....	77

CAPITULO V

METODOS ESTADISTICOS DE CONTROL DE CALIDAD.....	78
DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS.....	80
a) Definiciones de Conceptos Estadísticos.....	81
b) Promedio, \bar{x}	82
c) Desviación Estandar, s	82
d) Coeficiente de Variación, V	85
e) Intervalo, R	85
1) Variación Inherente a la Prueba.....	88
2) Variación de Mezcla a Mezcla.....	91
f) Utilidad de la Distribución de Frecuencias.....	103
TABLAS DE MUESTREO.....	107
CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD.....	113
a) Configuración de las Cartas de Control.....	114
b) Empleo de las Cartas de Control.....	117
c) Tipos de Cartas de Control.....	117
d) Cartas de Control para Mediciones (Variables).....	118
e) Cartas de Control para Atributos.....	120

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.....	123
BIBLIOGRAFIA.....	126

INTRODUCCION

La tecnología del concreto, en los últimos años, ha registrado un gran avance estrechamente relacionado con el enorme auge logrado por la industria de la construcción. El concreto se ha convertido en uno de los materiales de mayor empleo en la construcción, debido a que se ha llegado a conocer mejor su comportamiento y se ha tratado de aprovechar al máximo sus propiedades inherentes.

El proyectista diseña obras cada día más atrevidas y espectaculares, dada la gran versatilidad de este material, pero a cambio de exigirle un mejor comportamiento. Lo anterior ha creado una gran responsabilidad para aquellas personas que, de una u otra manera, están relacionadas con la utilización del concreto debido a que, de su intervención, dependerá la calidad final del producto.

Los tres factores de variación más importantes dentro de la producción del concreto son:

- a) Mano de obra
- b) Materias primas
- c) Maquinaria, equipo y herramienta

a) Mano de obra:

Para producir un concreto de calidad el ingeniero debe estar dispuesto a lograr esta calidad que depende, en mucho, de la mano de obra directa. Los trabajadores son los que reciben instrucciones precisas para obtener esta calidad y, en función de su capacidad, habilidad, experiencia en el trabajo, responsabilidad y su deseo de colaboración, dependerá en gran parte el éxito obtenido.

b) Materias primas:

La calidad de las materias primas es el fundamento de la calidad del producto producido y es obvio que, si los ingre-
dientes que intervienen en él son defectuosos, no se obtendrán buenos resultados.

Es muy importante tener en cuenta este factor al hacer las especificaciones del producto, ya que se pueden tener difi-
cultades tanto técnicas como económicas derivadas de la ob

tención de las materias primas.

c) Maquinaria, equipo y herramienta:

La maquinaria, equipo y herramienta que intervienen en la producción del concreto, debe ser la adecuada y encontrarse en condiciones óptimas, pues cuando estos implementos se desajustan o desgastan con el uso, constituyen un obstáculo para la obtención de un producto de buena calidad. Esto se puede evitar programando anticipadamente, por medio de un sistema de mantenimiento, los ajustes, renovaciones u otras composturas necesarias para mantenerlas en estado adecuado.

Se ha mencionado la palabra calidad y, antes de seguir adelante, es necesario definirla.

Definiremos calidad como una medida de bondad por medio de la cual juzgamos la capacidad de las cosas para satisfacer una necesidad. Asimismo, podemos definir al control de calidad como las actividades encaminadas a mejorar el comportamiento de las partes de acuerdo a ciertas especificaciones, hasta alcanzar un nivel de calidad real y en la forma más económica.

Las cualidades que se buscan en el concreto en estado fresco, están directamente relacionadas con las características que se espera tenga éste cuando haya endurecido.

Se requiere que el concreto fresco sea trabajable, tenga un tiempo de fraguado adecuado para que se pueda colocar y compactar sin que se presente en él ni segregación ni sangrado.

Debido a que las pruebas que normalmente se le hacen al concreto para evaluar su calidad, se relacionan con la característica principal que se quiere obtener del concreto, consideraremos dentro del presente trabajo que nos interesa la resistencia a la compresión, aún cuando para otras obras podría ser más importante la impermeabilidad o la durabilidad, entre otras.

Fundamentalmente hay que tener presente que, cuando se produce concreto, siempre habrá variabilidad en los distintos concretos producidos. Esto es, que no es posible fabricar dos concretos idénticos. Serán iguales según el nivel de comparación empleado.

Esta variabilidad, inevitable en la producción, es lo que obliga a controlar la calidad del producto. El productor tendrá menos pérdidas y el consumidor gozará de un producto más económico, en función de que los métodos de control sean más adecuados.

Una de las primeras consideraciones que se tienen presentes, cuando se quiere producir un producto, son las especificaciones

del mismo. Estas son, algunas veces, determinadas por la propia experiencia o por el uso que se le va a dar al mismo.

Se acostumbra calificar y describir un producto respecto a sus ingredientes, características, composición, impurezas, etc. En un principio se trató de dar "medidas exactas", ésto es, un número preciso para definir una característica, pero la experiencia demostró que los artículos elaborados se apartaban de las especificaciones deseadas y tuvo que surgir el concepto de tolerancias.

La finalidad de la especificación es la definición y ésta debe hacerse con un vocabulario que no admita interpretaciones dudosas.

Las especificaciones pueden contener, entre otras, las definiciones de:

Características del producto

Métodos de fabricación

Métodos de ensayo

Criterios de aceptación o rechazo

Otro punto muy importante es la determinación de la calidad que realmente se requiere para la elaboración del producto.

Esta información sirve para determinar hasta qué grado de calidad el producto es aceptable en el mercado y, en función de ello, elaborarlo al mínimo costo aceptable, ya que a medida que se desea obtener mayor calidad, los costos aumentan - enormemente y pueden hacer incosteable el producto.

De lo anteriormente expuesto se puede deducir que el concreto tiene diferentes propiedades y características, en función a su composición y proceso de fabricación y que, por lo mismo, es importante tener un índice que relacione las propiedades del concreto con el comportamiento que puede esperarse de él. Dicho índice debe reflejar las propiedades básicas del material, desde el punto de vista estructural. Sin embargo, no es suficiente tener, para todos los casos, un solo índice para definir todas las propiedades de resistencia y características del concreto.

Los índices de resistencia deben poder determinarse por procedimientos de ensayos sencillos y relativamente baratos y que proporcionen resultados reproducibles. Este último requisito es fundamental. Además, conviene que los índices de resistencia estén estandarizados para que sean comparables.

Es decir, las características de los ensayos y de los espe

címenes deben fijarse con la mayor precisión posible de tal modo que se reduzcan a un mínimo los efectos de las variables secundarias que afectan los resultados de los ensayos.

La estandarización de los índices permite especificar con precisión la calidad de los materiales que se van a emplear o que se van a requerir.

Los índices de resistencia no sirven sólo para caracterizar las propiedades de los materiales, sino también para controlar la calidad durante su fabricación.

Si el concreto fuera perfectamente uniforme, bastaría un solo ensayo para definir el índice seleccionado, pero éste tiene características variables y es, esencialmente, heterogéneo; por estas razones, es necesario conocer el grado de uniformidad del material empleado.

Una vez establecido el grado de uniformidad de las propiedades del concreto es posible especificar racionalmente, a través del índice de resistencia, la calidad de éste. Durante la construcción será necesario comprobar que la calidad y uniformidad de los materiales son las especificadas.

Para verificar que los índices de resistencia y los requi -

sitos especificados para el concreto se cumplen satisfactoriamente, es necesario llevar a cabo muestreos representativos, en ensayes y mediciones adecuadas y confiables y, finalmente, análisis estadísticos de los resultados obtenidos.

Con la utilización de métodos estadísticos es posible condensar la información obtenida y presentarla en forma concisa y de fácil interpretación.

Pero, quizás el factor que obstaculiza el uso de los procedimientos estadísticos sea la tendencia natural de suponer que estos métodos son propios de científicos y matemáticos, lo cual es una lástima, ya que hay aplicaciones sencillas y prácticas de la curva de distribución normal para evaluar la calidad del concreto.

Es importante, por lo tanto, que las organizaciones que emplean este material de construcción, se habitúen a la utilización de la estadística para mejorar y hacer más económicas sus obras.

II

**CONTROL
DE
CALIDAD
DE
LOS
MATERIALES
COMPONENTES
DEL
CONCRETO**

COMPONENTES DEL CONCRETO

El concreto se fabrica de acuerdo a la calidad requerida por el proyectista, siendo ésta representada por la resistencia del mismo. Sin embargo, no podemos certificar que el producto tiene la calidad que nosotros solicitamos, dado que el concreto se debe colocar y endurecer en la estructura para que nosotros sepamos si éste fué de la calidad que nosotros requerimos.

Las pruebas de control de calidad del concreto, que se describirán más adelante, nos permiten conocer las características de resistencia del mismo, aunque para ello, tengamos que esperar un cierto número de días.

Es por eso, que una de las mejores formas que se han encontrado para garantizar la calidad del concreto, consiste en llevar rigurosos controles sobre los ingredientes del concreto y su proceso de elaboración, con lo cual se puede asegurar que un concreto desde antes de producirse estará dentro de las especificaciones.

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados

y agua. Los agregados son rodeados por una pasta que hace el cemento con el agua, formando así un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas substancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

Para comprender el significado y los procesos de control, es indispensable conocer las características principales de los componentes y cómo afectan al comportamiento del concreto.

AGREGADOS PETRECS

La mayor parte del concreto lo constituye el agregado, siendo éste determinante para la calidad del producto.

No se puede obtener un concreto de calidad si los agregados no están limpios, inocuos y mantienen su granulometría dentro de los límites adecuados. Esto quiere decir que las características físicas y químicas tienen gran influencia en las características y comportamiento del concreto, tanto en su estado plástico como en su estado endurecido.

CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS

Podemos clasificar a los agregados de acuerdo con las siguientes características:

- a) Por su origen
- b) Por su peso
- c) Por su tamaño
- d) Por su forma y textura

a) Por su origen:

Los tres principales grupos en que se dividen las rocas de acuerdo a su origen, son los siguientes: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

La composición mineralógica y el origen de los agregados son importantes, sobre todo para la definición de posibles reacciones nocivas con los componentes alcalinos del cemento.

Este control de los agregados debe realizarse, principalmente, en los estudios preliminares o cuando se presentan materiales dudosos, pues cuando ya se han aceptado los agregados, el control se reduce sólo a la vigilancia de fuentes de abastecimiento.

b) Por su peso:

Es muy útil esta forma de clasificar a los agregados, principalmente para conocer el peso de las estructuras. Los agregados los podemos dividir en los siguientes tres grupos: ligeros, normales y pesados.

Es muy importante controlar esta característica del agregado cuando el peso de la estructura influye en su diseño o en su comportamiento.

c) Por su tamaño:

El agregado generalmente se clasifica en grueso y fino llamando así al primero grava y al segundo arena. La forma en que se separa al agregado por tamaños, consiste en hacerlo pasar a través de diferentes mallas o tamices los cuales tienen una abertura específica.

Se ha establecido como norma que el límite entre gravas y arenas, en cuanto a sus tamaños de partículas, sea la malla No. 4. El agregado grueso es todo aquel material que es retenido por esta malla, hasta el tamaño máximo de partícula que se haya escogido para el concreto. Por otro lado, el agregado fino se compone por todo el material que pasa la malla No. 4.

La razón por la cual se divide al agregado en grueso y fino es para lograr, en la práctica, una combinación adecuada de estas dos fracciones y así obtener la calidad que se desea, en la forma más económica.

d) Por su forma y texturá:

Los efectos que las características externas de los agregados dan al concreto, son muy importantes, sobre todo en cuanto a su trabajabilidad y a su compactación.

Es difícil describir un cuerpo en tres dimensiones; por - lo tanto, es conveniente definir ciertas características geométricas del mismo.

La redondez de una partícula nos muestra la angularidad de las aristas. Es también, una medida de dureza y resistencia a la abrasión de la roca de la cual proviene el - agregado, que nos indica el desgaste al cual ha sido sometido.

Una clasificación de la forma de las partículas, se muestra en la tabla No. 1. .

Otra clasificación común es la siguiente:

TABLA No. 1

Clasificación	Descripción	Ejemplos
REDONDEADAS	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento.	grava de río o playa; arena del desierto, playa y acarreada por el viento.
IRREGULAR	Irregularidad natural, o parcialmente limada por frotamiento y con orillas redondeadas.	otras gravas, pedernales del suelo o de excavación.
ESCAMOSA	Material en el cual el espesor es pequeño en relación a las otras dos dimensiones.	roca laminada.
ANGULAR	Posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas.	rocas trituradas de todos tipos; taludes detríticos, escorias trituradas.
ELONGADAS	Material normalmente angular, en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	_____
ESCAMOSA Y ELONGADA	Material cuya longitud es considerablemente mayor que el ancho, y éste considerablemente mayor que el espesor.	_____

Muy redonda: Sin caras originales

Redonda: Casi sin caras

Subredonda: Desgaste considerable, caras de área reducida

Subangular: Algún desgaste, pero caras intactas

Angular: Pocas señales de desgaste

La clasificación de textura superficial del agregado, se basa en el grado en que la superficie es suave o áspera. La textura depende de la dureza, del tamaño del grano y de las características porosas de la roca original, así como también el grado en que las fuerzas externas actúan sobre la superficie modificando sus características.

Se puede estimar la aspereza en forma visual, pero a fin de evitar equivocaciones, se puede seguir con la clasificación que muestra la tabla No. 2.

En realidad, no se sabe qué papel desempeñan la forma y la textura del agregado en el desarrollo de la resistencia del concreto, pero es de suponer que la textura áspera produce una mayor fuerza de adhesión entre las partículas y la pasta de cemento. De igual manera, la mayor superficie de un agregado angular puede producir un aumento en la fuerza de adhesión.

TABLA No. 2

Grupo	Textura superficial	Características	Ejemplos
1	Vítrea	Fractura concoidal.	Pedernal negro, escoria vítrea.
2	Lisa	Desgastada por el agua, o lisa debido a la fractura de roca laminada o de grano fino	Gravas, horsteno, pizarras, mármol, algunas reolitas.
3	Granular	Fractura que muestra granos más o menos uniformemente redondeados.	Arenisca, oolita.
4	Aspera	Fractura áspera de roca con granos finos o medianos que contienen constituyentes cristalinos no fácilmente visibles.	Basalto, felsita, pórfido, caliza.
5	Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles.	Granito, gabbro, gneis.
6	Aplanada	Con poros y cavidades visibles.	Ladrillo, pómez, clinker, escoria espumosa, arcilla expandida.

La forma y la textura del agregado fino influyen notablemente sobre las necesidades de agua de la mezcla.

Estas características deben tomarse en cuenta en los estudios iniciales de los agregados, pero una vez que ya han sido definidos, no es factible controlar sus variaciones salvo casos muy contados.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Las principales propiedades de los agregados que interesan para el diseño y elaboración del concreto son las siguientes:

- a) Absorción
- b) Peso Específico
- c) Peso Volumétrico
- d) Composición Granulométrica
- e) Resistencia
- f) Sanidad
- g) Substancias Deletéreas

a) Absorción:

La porosidad en las partículas del agregado está relacionada con la densidad de éste y las características de estos poros son muy importantes en el estudio de sus propiedades.

Las propiedades del agregado dentro del concreto, se ven afectadas por la porosidad, la permeabilidad y la absorción del agregado.

El agua puede entrar en los poros y la cantidad y proporción de penetración dependerán del tamaño de los poros, de su continuidad y de su volumen total. Estas etapas las podemos ver diagramáticamente en la figura No. 1.

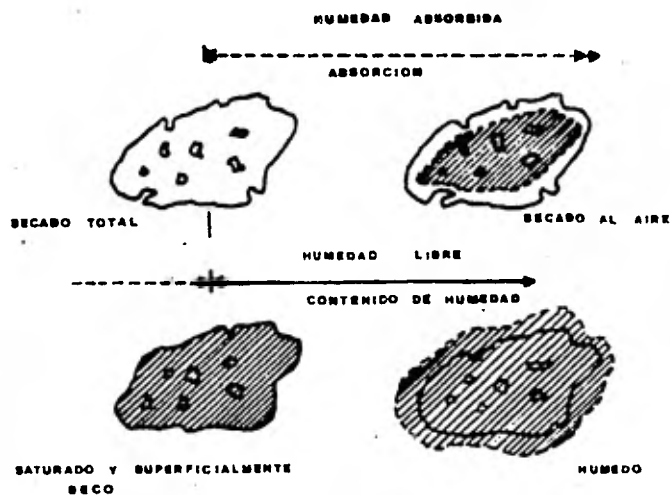


FIGURA No. 1.

Los poros que tienen las partículas afectan la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento y, consecuentemente, influyen en la resistencia del concreto, aún cuando no existe una relación clara entre la absorción de agua del agregado y la resistencia del concreto.

b) **Peso Específico:**

El peso específico de un cuerpo, según lo define la física, es el peso de su masa, dividido entre el volúmen que éste ocupa en el espacio. Sin embargo, en los agregados se tienen vacíos impermeables dentro de su masa, que no se pueden cuantificar con los métodos ordinarios del laboratorio, por lo que, estos vacíos se incluyen dentro del volúmen que ocupan los sólidos, obteniéndose así un volúmen aparente y, en consecuencia, un "peso específico aparente".

El peso específico dá una buena idea de la composición física de los agregados el cual, a su vez, los puede calificar de agregados ligeros o pesados y dan un indicio sobre la resistencia potencial.

También sirve, al igual que para el resto de los componentes del concreto, para transformar las cantidades de cada uno de los materiales, de peso a volúmen o a la inversa.

c) **Peso Volumétrico:**

El peso volumétrico depende del acomodamiento, tamaño y forma de las partículas del agregado. Para un agregado grueso de un peso específico dado, un peso volumétrico alto significa que existen menos huecos por llenar con arena y cemento; por lo tanto, es común el empleo del peso volumétrico como base para el proporcionamiento de mezclas.

El peso volumétrico real de un agregado no sólo depende de las diferentes características del material que determinan el grado potencial de empaque, sino también de la compactación real alcanzada en cada caso.

El peso volumétrico se puede determinar en estado suelto o compactado.

El primero se determina poniendo suavemente el material seco en un recipiente hasta alcanzar el punto de derrame y nivelándolo con una varilla. Para determinar el peso volumétrico compacto, el recipiente se llena en tres capas, de igual volúmen, compactando cada capa con una varilla de punta redondeada un número determinado de veces, y nivelándolo como en el caso anterior. El peso neto del agregado, dividido entre su volúmen, representa el peso

volumétrico para cada uno de los grados de compactación.

Es importante llevar a cabo un control adecuado, verificando los valores periódicamente, pues estas propiedades pueden variar para un mismo agregado durante su proceso de explotación y así contar con datos oportunos para hacer los ajustes correspondientes a los proporcionamientos del concreto durante su elaboración.

d) Granulometría:

Esta operación consiste en dividir a la muestra de agregados en fracciones, compuestas por partículas de un mismo tamaño, dentro de límites específicos.

Antes de efectuar el análisis granulométrico, es preciso secar por aire la muestra de agregados, a fin de evitar que terrones de partículas finas sean clasificados como partículas grandes, y también para impedir que los tamices más finos se tapen.

La forma en que se lleva a cabo esta operación es haciendo pasar la muestra de agregados, a través de una serie de mallas reglamentarias. Esto puede hacerse manual o mecánicamente.

Los valores obtenidos a través de esta prueba, expresados co
mo porcentajes retenidos que pasan las diversas mallas, se ta
bulan y grafican para su interpretación.

Es muy importante el papel que juega la granulometría de los agregados en las características del concreto. Su variación altera una serie muy compleja de factores, comenzando por el área específica del material pétreo, que a su vez afecta la tra
bajabilidad del concreto y la demanda de agua y cemento. Tam-
bién se afecta la compactación de la masa del concreto así como otras características tales como el acabado, la segregación y el sangrado.

Es importante hacer un diseño adecuado del concreto tomando en cuenta los efectos que produce la granulometría de los agrega-
dos, pero nunca deben permitirse cambios significativos, pues estos provocarían una trabajabilidad variable la cual, común-
mente, se corrige en la obra ajustando el contenido de agua, que a su vez provoca variación en la resistencia.

Las normas marcan límites de graduación óptima para los agrega
dos. Aunque no siempre se puede uno ajustar a ellas, constitu-
yen un criterio definido de las tendencias que deben de busca
rse para lograr el mejor comportamiento de los agregados.

La frecuencia de esta prueba puede ajustarse en función a las posibles variaciones de los agregados.

Los límites especificados por la norma A.S.T.M. C 33 para arenas y gravas, respectivamente, se presentan en las siguientes figuras:

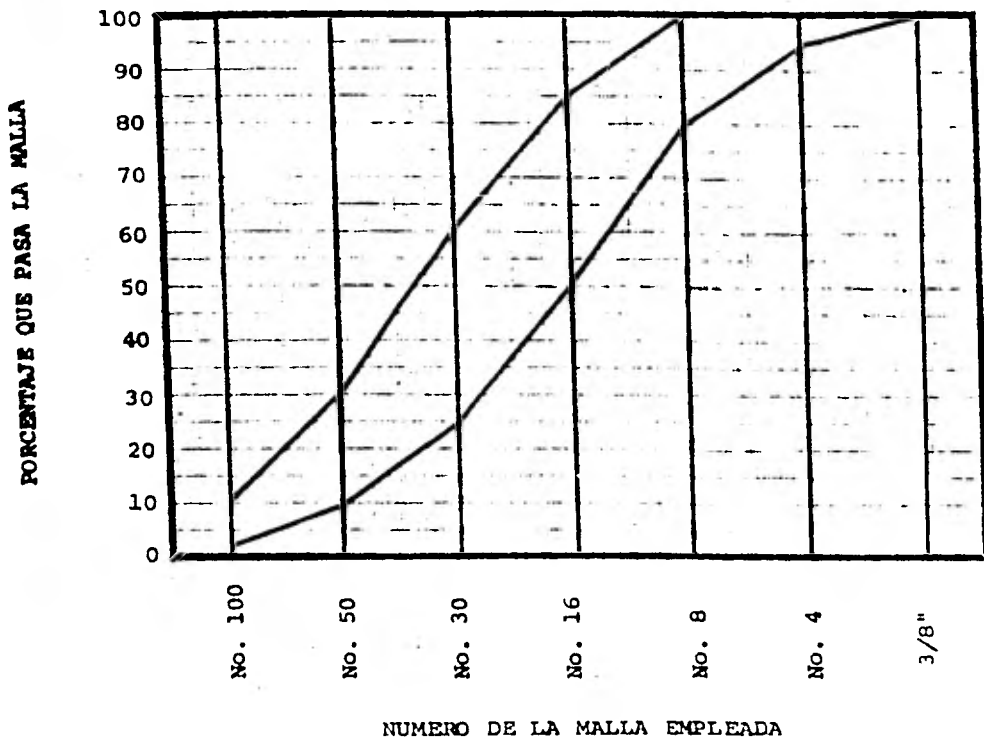


FIGURA No. 2

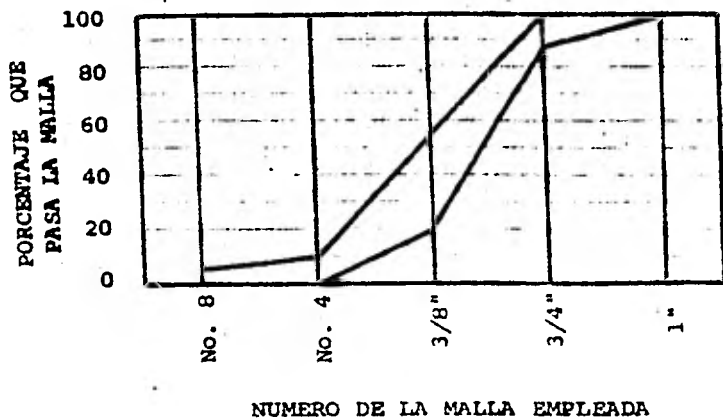


FIGURA No. 3

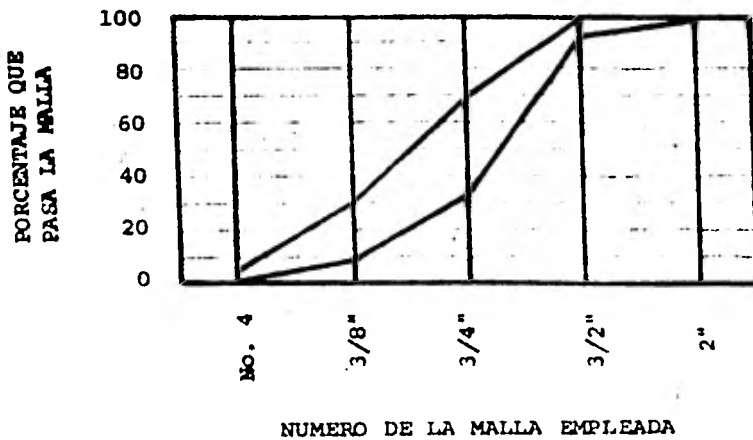


FIGURA No. 4

El agregado fino tendrá una graduación dentro de los siguientes límites:

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA
3/8"	100
No. 4	95 a 100
No. 8	80 a 100
No. 16	50 a 85
No. 30	25 a 60
No. 50	10 a 30
No. 100	2 a 10

El agregado grueso tendrá una graduación dentro de los límites que marca la TABLA No. 3.

TABLA No. 3

Tamaño nominal (mallas de agujeros cuadrados)	MATERIAL QUE PASA CADA UNA DE LAS SIGUIENTES MALLAS DE AGUJEROS CUADRADOS (PORCENTAJE EN PESO)							
	5.1 cm 2"	3.8 cm 1 1/2"	2.5 cm 1"	1.9 cm 3/4"	1.3 cm 1/2"	1.0 cm 3/8"		
3.8 cm a No. 4	100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5	
2.5 cm a No. 4		100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5
1.9 cm a No. 4			100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5
1.3 cm a No. 4				100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5

e) Resistencia:

Es muy importante la resistencia de los agregados, pues de ella dependerá la resistencia del concreto.

Se consideran dos tipos principales de resistencia en las partículas que forman el agregado. Estas son:

Resistencia a la compresión

Resistencia al impacto

Aunque, principalmente, los métodos para valuar estas resistencias se utilizan para los estudios iniciales de aceptación, también se emplean para controlar la calidad de los agregados, ya que es común que se presenten variaciones de estas características, aún para un mismo banco de material.

Es posible que la resistencia del concreto no sólo sea influenciada por la resistencia mecánica del agregado, sino que también sea producto de sus características de absorción y adherencia.

Cuando se cuenta con fragmentos grandes de roca, se puede obtener la resistencia estructural del material por medio del labrado de especímenes, cilíndricos o cúbicos, los cuales son probados a la compresión. Esta prueba mide la calidad de la roca madre y no la calidad del agregado usa

do en un concreto.

Para el caso de materiales en forma granular se recurre a otro tipo de prueba, como la de desgaste de los Angeles, la cual consiste en someter, a una muestra de sus partículas, a un efecto combinado de impacto y fricción, a través de una serie de esferas de acero que giran junto con el material dentro de un cilindro de acero. Las normas oficiales señalan los límites de aceptación del agregado grueso, para esta prueba.

f) Sanidad:

Se le dá este nombre a la capacidad del agregado para resistir cambios excesivos en volúmen como consecuencia de los cambios en las condiciones físicas.

Las causas físicas que generan estos cambios son:

Los cambios térmicos

Los estados húmedos y secos sucesivos

El congelamiento y deshielo

Los efectos generados pueden ir desde un aspecto deficiente, hasta una situación peligrosa estructuralmente hablando.

La norma A.S.T.M. C 88 marca la prueba de sanidad para el

agregado, la cual consiste en someter a una muestra de agregado graduado a una inmersión en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio y un proceso de secado en un horno.

En los poros de los agregados se forman cristales de sal que tienden a destruir a las partículas de manera parecida a la forma en que lo hace el hielo.

La reducción de tamaño de las partículas, después de varios ciclos de exposición, se visualiza a través de un análisis granulométrico, el cual nos indica la inestabilidad en volúmen de las partículas.

Este análisis es muy importante para los estudios iniciales de los agregados, pero para los fines de control, sólo se acostumbra hacerlos cuando existe alguna duda o variación importante en las características de agregados utilizados.

g) **Substancias Deletéreas:**

Las substancias deletéreas son aquellas substancias perjudiciales que pueden encontrarse en los agregados y que, de alguna forma, dañan al concreto. Estas substancias - las podemos clasificar en tres amplias categorías:

- Impurezas.-** Interfieren el proceso de hidratación del cemento.
- Recubrimientos.-** Impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta del cemento.
- Partículas débiles o inestables.-** Las que no mantienen su integridad o se expanden destructivamente.

Las pruebas para la determinación de las sustancias deletéreas son necesarias tanto para los estudios preliminares, como para el control durante la ejecución de los trabajos, ya que pueden existir variaciones importantes en los agregados empleados, aún procediendo de un mismo banco.

Los límites que marcan las normas para las sustancias deletéreas en las arenas, y en las gravas, se muestran en las siguientes tablas No. 4 y No. 5, respectivamente.

TABLA No. 4

LIMITES DE LAS SUBSTANCIAS DELETEREAS EN LAS ARENAS

Concepto	Contenido máximo % en peso, de la muestra total
Partículas desmenuzables	1.0
Material más fino que la No. 200:	
- Concretos sujetos a la abrasión	3.0*
- Otros	5.0*
Partículas ligeras (carbón y lignito):	
- Concretos aparentes	0.5
- Otros	1.0

* En el caso de material producto de trituración, estos límites se pueden incrementar hasta 5 y 7%, respectivamente.

TABLA No. 5

LIMITES DE LAS SUBSTANCIAS DELETEREAS EN LAS GRAVAS

Concepto	Contenido máximo % en peso, de la muestra total
Partículas desmenuzables	0.25
Partículas blandas (1)	5.00
Material más fino que la No. 200	1.00 (2)
Partículas ligeras (carbón y lignito)	
- Concretos aparentes	0.50
- Otros	1.00
Partículas intemperizadas, (3) que se desintegran a los 5 ciclos del ataque de los sulfatos o a los 50 ciclos de congelación y deshielo en agua, (4) o que tienen un peso es- pacifico saturado y superficialmen- te seco inferior a 2.35:	
- exposición severa	1.00
- exposición benigna	5.00

(1) Aplicable para concretos expuestos a la abrasión, pisos, pavimentos, etc.

(2) Si el material es producto de trituración se puede incrementar 1.5%.

(3) Esto se aplica cuando alguna variedad de cuarzo aparece como impureza. No se aplica a concretos hechos con agregados, donde predomina este material. Su sanidad se deberá basar en la experiencia de su aplicación.

(4) Esta desintegración es un rompimiento visible en las partículas.

CEMENTO

El cemento es el material aglutinante del concreto y, como tal, influye en las características de éste.

A los cementos utilizados en la fabricación del concreto, se les llaman cementos hidráulicos, pues tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que se realiza una reacción química con ella llamada hidratación.

Los componentes principales del cemento son: cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos componentes raramente se encuentran en las proporciones deseadas, en una sola substancia, por lo que siempre se busca una combinación adecuada de componentes calcáreos y arcillosos.

De los componentes del concreto, el cemento es el más caro, debido a que es un producto manufacturado que sigue procesos bien definidos y controlados para su fabricación.

Por otra parte, el cemento tiene que cumplir con normas bastante estrictas que fijan límites a sus características físicas y químicas, y es raro que estos límites de calidad sean rebasados.

PRUEBAS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO

Para llevar a cabo un riguroso control en la fabricación del cemento, se efectúan diferentes pruebas en los laboratorios de las fábricas de cemento, para asegurar que éste posee la calidad deseada y está dentro de las normas establecidas. Pero también es común que un comprador o algún laboratorio independiente examine las propiedades del cemento que se va a utilizar o hagan las pruebas de aceptación para el mismo.

Las características que se deben determinar con las pruebas de control del cemento, son las siguientes:

PROPIEDADES QUÍMICAS:

El cemento debe estar dentro de los límites que marcan las normas para sus componentes: asimismo, las normas señalan los métodos de prueba para determinar estos contenidos.

PROPIEDADES FÍSICAS:

De igual forma se pueden encontrar dentro de las normas, los límites permisibles especificados para los valores obtenidos de las características físicas del cemento.

Las pruebas que se han fijado para conocer su calidad, son las siguientes:

Contenido de aire en mortero

Finura

Expansión en autoclave

Resistencia a la compresión

Tiempos de fraguado.

AGUA

La calidad del agua tiene gran importancia para el concreto, pues si ésta contiene impurezas, pueden interferir con el fraguado del cemento, afectando la resistencia del mismo o causando manchas en su superficie y provocar, además, la corrosión del acero de refuerzo.

Por estas razones, es indispensable conocer las características del agua disponible para cada obra. En lugares donde ya se tiene amplia experiencia y se ha comprobado la calidad del agua, se pueden suprimir los estudios preliminares, pero en sitios no conocidos o cuando se tiene alguna duda, es indispensable realizar los análisis correspondientes.

Existen especificaciones que nos determinan los contenidos de sales e impurezas límites que puede contener el agua. Si al realizar los análisis químicos del agua se ve que existe peligro, se deben iniciar investigaciones más completas, generalmente, mediante la fabricación de mezclas de prueba y elaboración de especímenes de laboratorio, para determinar los efectos reales que provoca el agua en el concreto.

El proceso de control de calidad que se sigue para una fuente de abastecimiento de agua para una obra, depende de las probabilidades de variación en el contenido de sustancias y su proximidad a los límites establecidos por lo que, un agua de calidad cercana a la frontera de aceptación, debe ser analizada y vigilada más frecuentemente.

Algunos límites de aceptación que se recomiendan para el control de variación de sales e impurezas en el agua de mezclado, en una obra, son los siguientes:

Sulfatos	250 p.p.m. Máx.
Cloruros	250 p.p.m. Máx.
Carbonatos	500 p.p.m. Máx.
Bicarbonatos	500 p.p.m. Máx.
Materia orgánica	50 p.p.m. Máx.
Turbidez	1500 p.p.m. Máx.

ADITIVOS

Reciben el nombre de aditivos aquellos ingredientes que se añaden durante el mezclado a los componentes principales del concreto, con objeto de modificar algunas de las propiedades de estos materiales, tanto para su comportamiento en estado fresco como posteriormente en estado endurecido.

Podríamos también definir un aditivo como un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

El uso de los aditivos en el concreto se encuentra ampliamente extendido, pero cabe recordar, que un aditivo, cualquiera que éste sea, no mejorará la calidad de un concreto mal dosificado. La utilización de aditivos obliga en todos los casos a un control más cuidadoso durante la fabricación del concreto, pues utilizar una cantidad excesiva de aditivo, puede conducir a resultados catastróficos.

Las dosis recomendadas de aditivos se expresan en cantidades proporcionales al contenido de cemento, las cuales son la optimización del cociente costo/mejora.

El efecto que causan los aditivos sobre las propiedades del concreto está en función de las características del cemento utilizado.

El control de calidad de los aditivos, depende esencialmente de los fabricantes de ellos, siendo esta una función, por lo tanto, que se escapa al control del ingeniero civil.

III

**PROPIEDADES
Y
PRUEBAS
AL
CONCRETO
FRESCO**

PROPIEDADES Y PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

El concreto fresco que sale de la mezcladora generalmente es una masa coherente deformable, que al manejarse sufre diversas acciones que no sólo tienden a deformarla sino también a producir segregación. Además, la resistencia del concreto se ve afectada por el grado de compactación; por lo tanto, es muy importante que la mezcla pueda ser transportada, colocada y compactada adecuadamente.

Para lograr lo anterior, es necesario que se efectúen ensayos que nos proporcionen bases para formarnos un criterio de aceptación o rechazo, sin necesidad de tener que esperar los resultados de resistencia.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DEL CONCRETO FRESCO

Dentro de las principales características que tiene el concreto fresco, podemos mencionar las siguientes:

Trabajabilidad

Uniformidad

Segregación y Sangrado

Fraguado

TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad se define como la facilidad que presenta el concreto para ser transportado, colocado y compactado. Es necesario hacer notar que la trabajabilidad es un concepto relativo, pues una buena trabajabilidad en un concreto masivo, puede no ser suficiente para secciones pequeñas o con mucho refuerzo. Por lo tanto, la trabajabilidad debería ser definida como una propiedad física del concreto por sí sola, sin referirse a las circunstancias particulares de cada tipo de construcción. Así, podemos definir a la trabajabilidad como la cantidad de trabajo interno útil que se necesita para producir una compactación completa.

No se conoce a la fecha ninguna prueba que mida directamente la trabajabilidad en la forma que acabamos de definir. Se han hecho muchos intentos para relacionar alguna medida física fácil de medir con la trabajabilidad, pero ninguno ha logrado ser del todo satisfactorio, aunque sí pueden dar información útil dentro de un intervalo de variación en trabajabilidad.

a) Prueba de Revenimiento:

Esta prueba se usa para medir el revenimiento y nó la trabajabilidad del concreto, pero para una mezcla de -

proporciones determinadas es muy útil porque se pueden detectar las variaciones en la uniformidad de la mezcla.

La prueba consiste en llenar con concreto fresco, un molde en forma de cono truncado de 300 mm de altura, el cual se coloca en una superficie lisa, con la abertura más pequeña hacia arriba. Cada capa es apisonada 25 veces con una varilla de 5/8" de punta redondeada, y la superficie superior se enrasa con una cuchara. Durante esta operación el molde debe haber estado sostenido firmemente en la base; para éso cuenta el molde con unos estribos ajustados al mismo.

Después que se ha llenado, se levanta lentamente el cono y, al faltarle apoyo, el concreto se reventará; de ahí el nombre de la prueba. La disminución en altura de la parte superior del concreto abatido, medida al centro, se llama reventamiento, y se mide con una aproximación de 5 mm. Para evitar que la fricción altere al reventamiento, la base y el interior del molde deben humedecerse al iniciarse la prueba.

Además, el área alrededor de la base del cono se debe limpiar antes de levantar el molde.

Los tipos más comunes de revenimiento se pueden ver en la figura No. 5 .

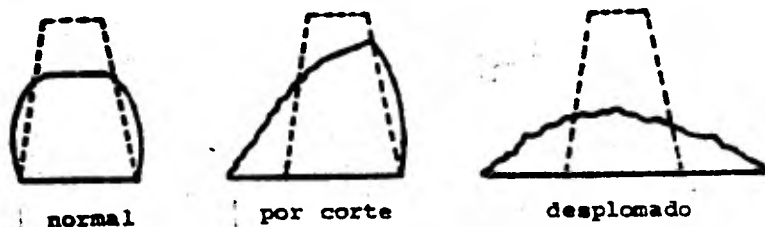


FIGURA No. 5

Esta prueba es muy utilizada en el campo por su fácil ejecución. Así, cuando se presenta un revenimiento muy alto o muy bajo, constituye un aviso inmediato y el operador de la mezcladora puede remediar la situación.

Existen limitaciones para esta prueba, la cual es muy útil cuando se tienen concretos relativamente plásticos y con agregados normales, ya que no es sensible para concretos ásperos pedregosos.

b) Prueba del Factor de Compactación:

El factor de compactación también se conoce como el grado de compactación, y se mide a través de la relación de peso específico realmente obtenido en la prueba entre el peso específico del mismo concreto totalmente compactado.

El aparato con el cual se efectúa esta prueba consta de dos tolvas, cada uno en forma de cono truncado, y un cilindro, los tres colocados uno bajo el otro. Las tolvas tienen unas compuertas de bisagra al fondo y, además, las superficies interiores han sido pulidas para reducir la fricción.

El concreto se coloca suavemente en la tolva superior, a fin de no compactarlo en esta etapa. A continuación, se abre la compuerta de la tolva y el concreto cae en la tolva inferior. Esta tolva es más pequeña que la anterior, por lo cual se llena hasta rebosar. Al abrir la compuerta de esta última tolva, el concreto cae en el cilindro. El exceso de concreto es quitado por medio de una llana y el cilindro es pesado para conocer el peso que cupo dentro del volumen conocido del cilindro.

En seguida se calcula el peso específico del concreto y éste, dividido entre el peso específico del concreto totalmente compactado, da como resultado el factor de com

pactación.

El aparato de la prueba del factor de compactación se puede apreciar en la figura No. 6 . Este mide de 1.20 a 1.80 mt de altura, dependiendo del tipo de agregado máximo que se esté utilizando.



FIGURA No. 6

c). Prueba de Remoldeo:

La prueba de remoldeo evalúa la trabajabilidad sobre la base del esfuerzo realizado para cambiar la forma de una muestra de concreto.

Esta prueba se realiza con un cono de revenimiento estándar que se pone dentro de un cilindro de 305 mm de diámetro y 203 mm de altura, el cual se encuentra rígidamente

montado a una mesa de fluidez ajustada para dar caídas de 6.3 mm. Dentro del cilindro, hay un anillo interior, de 210 mm de diámetro y 127 mm de altura. La distancia entre el fondo y el anillo inferior interior se puede fijar entre 67 y 76 mm.

El cono de revenimiento se llena de manera estandar; se quita y se coloca un pisón en forma de disco en la parte superior del concreto. La mesa se sacude una vez por segundo, hasta que se encuentra a 81 mm del fondo.

La forma del concreto la hemos cambiado de un cono truncado a un cilindro y el esfuerzo que hemos empleado para alcanzar este remoldeo, se expresa por número de sacudidas requeridas.

Esta es una prueba de laboratorio que parece relacionar, estrechamente, al esfuerzo de remoldeo con la trabajabilidad.

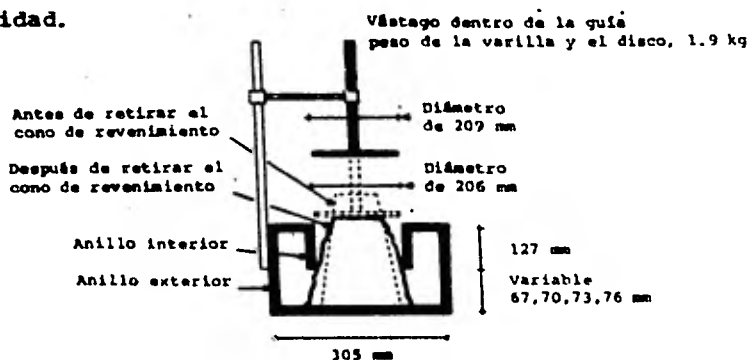


FIGURA NO. 7

d) Prueba del Consistómetro "V-B":

Esta prueba es muy parecida a la anterior, a diferencia de que la compactación se logra a través de vibración, en lugar de sacudidas.

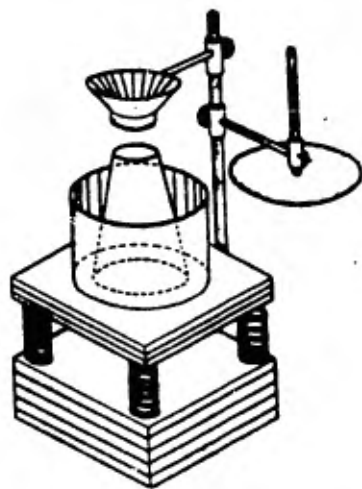


FIGURA No. 8

e) Prueba de la Esfera de Kelly:

A diferencia de las dos anteriores, esta prueba sencilla es de campo y consiste en calcular la profundidad a la cual se hundirá un hemisferio metálico de 152 mm de diámetro que tiene un peso de 13.6 kg, bajo su propio peso en el concreto fresco.



FIGURA No. 9

f) Prueba de Fluidéz:

Esta es una prueba de laboratorio que indica la consistencia del concreto y su tendencia a la segregación midiéndola a través de la dispersión de un pequeño volumen de concreto sujeto a sacudidas.

El aparato con el que se hace la prueba, consta de una

mesa de latón de 760 mm de diámetro, montada de manera que puede ser sacudida por medio de una caída de 13 mm. El concreto es depositado en un cono truncado, mucho más grueso y corto que el cono de revenimiento, en dos capas compactadas. Se quita el molde y se sacude 15 veces en 15 segundos. Esto se hace mecánicamente por medio del accionamiento de una leva excéntrica. En consecuencia, el concreto se esparce sobre la mesa, y se mide el diámetro promedio del concreto esparcido.

La fluidez del concreto es definida como el porcentaje incrementado en el diámetro promedio del concreto esparcido (D cm) con respecto al diámetro original de la base (25 cm), o sea:

$$\text{Fluidez} = (D - 10) \times 10$$

Los valores de fluidez obtenidos están entre 0 y 150 por ciento.

Hay que aclarar que la prueba de fluidez no mide la trabajabilidad, pues para concretos con misma fluidez la trabajabilidad puede variar considerablemente.

UNIFORMIDAD

Considerando al concreto como un material heterogéneo producido por el mezclado de diversos componentes en cantidades establecidas, es necesario que esta mezcla sea uniforme, de buena cohesión y no segregable. Para que lo anterior se efectúe, es necesario que se presenten las dos condiciones siguientes:

Que la mezcla esté correctamente diseñada y con la consistencia requerida para la obra.

Que se utilicen los equipos y procedimientos de elaboración adecuados.

SEGREGACION Y SANGRADO

La segregación se define como la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea de modo que su distribución deja de ser uniforme.

Existen dos tipos de segregación: El primero es aquel en el cual las partículas gruesas tienden a separarse. El segundo tipo se presenta cuando la lechada tiende a separarse del resto de la mezcla.

La segregación está muy influenciada por el método de manejo y la colocación del concreto. Utilizando un método correcto de

manejo, transporte y colocación, la probabilidad de segregación se reduce considerablemente.

El sangrado es una forma de segregación en la cual el agua de mezclado se eleva a la superficie del concreto recién colocado. Esto es debido a que los materiales sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan.

FRAGUADO

Fraguado es el cambio que se presenta en un fluido al cambiar éste al estado rígido. El fraguado se emplea para describir la rigidez de la mezcla. En el concreto se emplean dos términos: fraguado inicial y fraguado final. El primero se dice que se alcanza cuando la resistencia a la penetración en el concreto es de 500 psi y el fraguado final se alcanza cuando la resistencia a la penetración es de 4000 psi.

CONTROL DE LA ELABORACION DEL CONCRETO

La primera etapa en la cual se puede dividir el proceso de control del concreto fresco, es aquella en la cual se verifican los trabajos previos o durante la elaboración del concreto.

Básicamente se deben seguir los siguientes pasos:

a) Verificación del Funcionamiento y Precisión de los Equipos de Dosificación y Mezclado:

La verificación de los equipos de dosificación, se efectúa a través de las calibraciones de las básculas, aceptando las siguientes tolerancias:

Cemento: Cuando el cemento que se va a utilizar en una revoltura es igual o excede 30% de la capacidad total de la báscula, la máxima tolerancia que se admite es de $\pm 1\%$ del peso requerido. Cuando la cantidad a pesar es menor del 30% de la capacidad total de la báscula, la tolerancia es de $+ 4\%$.

Agregados: Si éstos son pesados individualmente, la tolerancia será del 2%. Cuando son pesados en forma acumulativa y su peso es igual o mayor al 30% de la capacidad de la báscula, la tolerancia máxima es de $- 1\%$; pero si el peso es menor del 30%, la tolerancia máxima es la menor de 0.3% de la capacidad de la báscula ó $\pm 3\%$ del peso acumulado requerido.

Agua: Se debe medir con una tolerancia de $\pm 1\%$ ya sea por peso o por volúmen.

Aditivos: Se pueden medir por peso o volumen con una tolerancia de $\pm 3\%$.

El funcionamiento del equipo de mezclado se verifica realizando pruebas de eficiencia de mezclado.

Algunos de los requisitos de uniformidad de mezclado del concreto, son los siguientes:

Prueba	Diferencia máxima permisible entre resultados de pruebas con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de descargas.
Peso Volumétrico en kg/m^3	15 kg/m^3
Contenido de aire en % del volumen del concreto, para concreto con aire incluido.	1%
Revenimiento:	
Si el promedio es menor de 5 cm	1.5 cm
Si el promedio es superior a 10 cm	3.5 cm

Si el promedio está entre

5 y 10 cm

2.5 cm

Contenido del agregado grueso retenido en la malla No. 4 expresado en % del peso de la muestra

6%

Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra, expresado en %

7.5%

b) Variación de las Características de los Agregados:

Debido a la existencia de variación de la granulometría y humedad de los agregados pétreos utilizados para la elaboración del concreto, se hace necesario efectuar ajustes en los proporcionamientos a estas variaciones.

Básicamente, estos ajustes comprenden la compensación de arena existente en la grava, y la cantidad de grava existente en la arena, además de modificar el peso de los agregados y del agua en función de la humedad existentes en los agregados.

PRUEBAS AL CONCRETO ELABORADO

Una vez que ha sido elaborado el concreto, es conveniente que se determinen ciertas características del mismo, a través de las pruebas que anteriormente expusimos como son: la del revenimiento, la del factor de compactación, la del resoldeo, la del consistómetro "V-B", la de la esfera de Kelly, la de fluidez además de otras que pueden ser:

a) Contenido de Aire:

Esta determinación se hace en aquellos casos en los cuales se utilizan aditivos inclusores de aire, principalmente en las zonas con climas extremos en las cuales se requiere - proteger al concreto de las acciones del hielo y deshielo.

b) Tiempos de Fraguado:

Esta prueba consiste en medir la resistencia a la penetración que presenta el concreto.

c) Peso Volumétrico:

Esta determinación se hace principalmente durante el control de producción del concreto con objeto de calcular los rendimientos.

d) **Análisis del Concreto Fresco:**

Actualmente se utiliza este método para determinar la composición básica del concreto, respecto a la relación agua-cemento. Los dos objetos que tiene esta prueba son: el de controlar la producción del concreto determinando los consumos reales de cemento, y el de acelerar la predicción de la resistencia del concreto a través de la determinación de la relación agua-cemento.

IV

**PROPIEDADES
Y
PRUEBAS
AL
CONCRETO
ENDURECIDO**

PROPIEDADES Y PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO

El concreto tendrá diferentes propiedades y características, en función de su composición y proceso de fabricación, por lo que es muy necesario tener un índice que relacione las propiedades del concreto con el comportamiento que se espera de él.

La resistencia del concreto endurecido se considera como la más importante de sus propiedades, ya que ofrece ésta un panorama general de la calidad del concreto.

Las pruebas de resistencia se pueden dividir en pruebas destructivas y pruebas no destructivas, dándonos estas últimas la posibilidad de probar repetidamente una misma muestra y observar la variación de sus propiedades con el paso del tiempo.

Los principales objetivos de la realización de las pruebas son el concreto de calidad y el cumplimiento de las especificaciones.

Dentro de las principales propiedades y características del concreto endurecido, podemos mencionar, entre otras, 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
Absorción de radiaciones

Sin embargo, como hemos visto, los factores que afectan directa o indirectamente a estas propiedades o características del concreto endurecido son, entre otros, los siguientes:

Características del cemento
Características de los agregados
Características del agua.
Características de los aditivos
Dosificación de los materiales

Cantidad de cemento

Cantidad de agua de mezclado

Relación agua/cemento

Relación grava/arena

Cantidad de agregados

Cantidad de aire incluido

Cantidad de aditivos

Condiciones de los materiales antes del mezclado

Equipo y personal utilizado para la fabricación

Grado de control de calidad durante la fabricación

Condiciones y tiempo de mezclado

Temperatura

Edad

A continuación se describen, brevemente, las pruebas que comúnmente se hacen al concreto endurecido:

PRUEBA A LA COMPRESION SIMPLE

Para realizar esta prueba, se puede comúnmente utilizar especímenes de tres tipos: cilindros, cubos y prismas, siendo los primeros los de mayor empleo entre nosotros.

El tamaño del espécimen varía en función del agregado utili

zado y del tipo de estructura en la cual se haya colocado el concreto, pero siempre conservando una relación de esbeltez igual a dos. Así, para estructuras de concreto reforzado se utilizará un cilindro de 15 x 30 cm. y para estructuras de concreto en masa, en donde se emplean agregados de gran tamaño, se utilizarán cilindros de 30 x 60 cm o de 60 x 120 cm.

La finalidad de esta prueba es obtener la resistencia a la compresión ($f'c$) de un cilindro estándar a los 28 días, o a la edad en que el concreto recibirá su carga de servicio.

Se deben de cumplir ciertos requisitos para lograr que la prueba sea aceptable, entre los cuales destaca que las cabezas de la máquina de ensaye estén totalmente en contacto con las superficies del espécimen, para lograr así que la presión ejercida sea lo más uniforme posible y que la dirección de la carga sea paralela al eje del cilindro.

Los cilindros se fabrican en moldes de acero que tienen una placa en su cara inferior y libres en su cara superior, la cual debe acabarse manualmente.

Generalmente el acabado queda demasiado rugoso para que la cabeza de la máquina de ensaye se apoye directamente, a menos que se haya pulido la superficie rugosa, o que se haya trabaja

60 al extremo del concreto fresco con una placa de acero como se usa en el molde cilíndrico de Thaulow que se muestra en la figura No. 10 .

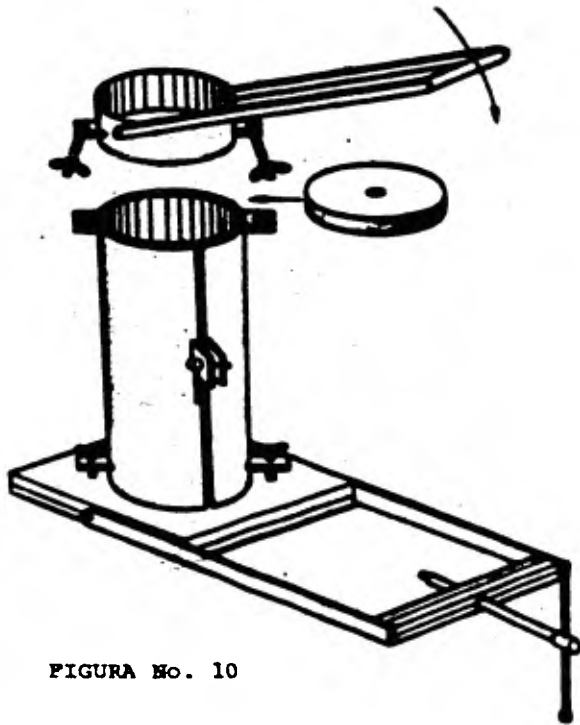


FIGURA No. 10

Cuando no se logra lo anterior, se preparan los extremos del cilindro a través de la operación llamada cabeceado, la cual consiste en aplicar un cierto material, generalmente azufre, a los extremos del cilindro, para producir dos caras lisas de apoyo paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cilindro. Esta operación aumenta el tiempo necesario para la preparación del ensayo e introduce otras variables más en los resultados: el material y la forma del cabeceado.

En la figura No. 11 se muestra la influencia del tipo de material de cabeceo sobre la resistencia de concretos de baja y alta resistencia.

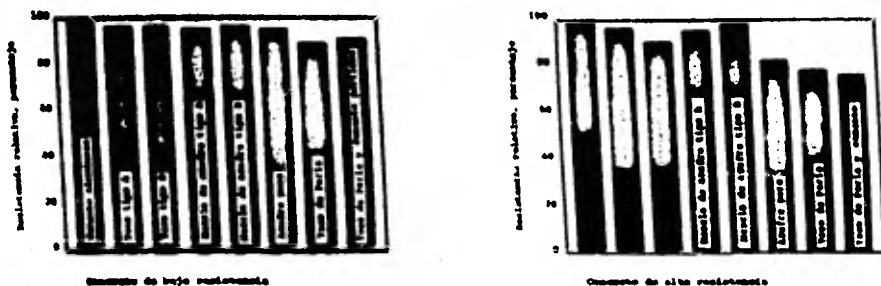


FIGURA No. 11

Las superficies de contacto deben carecer de granos de arena y residuos de muestras que pudieran producir una falla prematura.

El cabeceado con un material adecuado no disminuye la resistencia y sí elimina la dispersión, si se compara con los resultados de muestras sin cabecear. El material empleado para el cabeceado debe tener propiedades de resistencia y elasticidad semejantes a las del concreto en la muestra.

El cabeceado se puede hacer antes de la prueba o después de la elaboración de la muestra. En cada caso, los materiales son distintos, pero es indispensable que la capa que se haga sea delgada, dentro de los límites de 1.5 a 3 mm. de espesor.

Para cabecear, se utiliza comúnmente una mezcla de azufre y un material granular como arcilla molida; la mezcla se calienta hasta que se funde el material y, enseguida, se aplica a un molde en el cual se ha de apoyar el espécimen por probar; dicho molde asegura una superficie plana y a escuadra.

Se admiten ligeras variaciones de hasta 6 mm en 300 mm en las superficies de los extremos del cilindro, ya que no producen pérdidas de resistencia.

Como en cualquier proceso de medición siempre existirá dispersión en los datos, aún cuando se hayan seguido cuidadosamente las especificaciones y el ensaye lo hayan realizado operadores calificados. Estas dispersiones pueden ser debidas a errores accidentales o a la no uniformidad del material probado.

Entre los factores que afectan directamente a los resultados obtenidos de los especímenes de ensaye, podemos mencionar los siguientes:

a) Efecto de las Condiciones del Curado:

Las condiciones del curado influyen en la resistencia del concreto como se puede ver en la figura No. 12 .

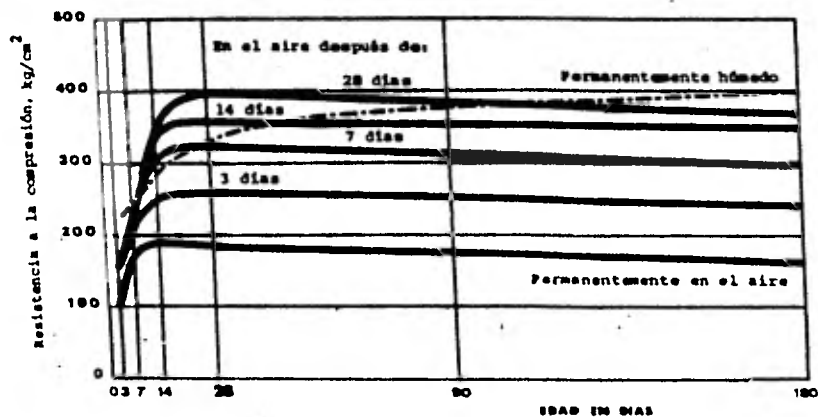


FIGURA NO. 12

b) Efecto de la Esbeltez:

A la relación de la longitud en la dirección de la carga al diámetro del cilindro, se le llama esbeltez.

Para esbelteces mayores que dos, la resistencia tiende a disminuir y, por el contrario, para relaciones menores que dos, la resistencia aumenta indefinidamente. Lo anterior se puede ver en la figura No.13 .

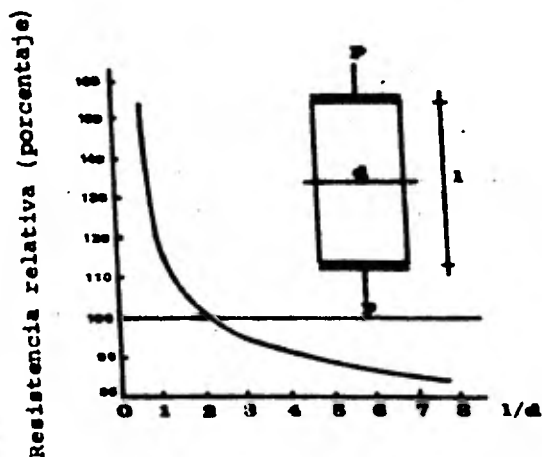


FIGURA No. 13

c) Efecto de la Velocidad de Carga:

Cuando la carga es aplicada en condiciones normales, la deformación unitaria instantánea depende de la rapidez de aplicación de la carga.

En la figura No. 14 se muestran los resultados de ensayos de cilindros realizados a distintas velocidades de carga.

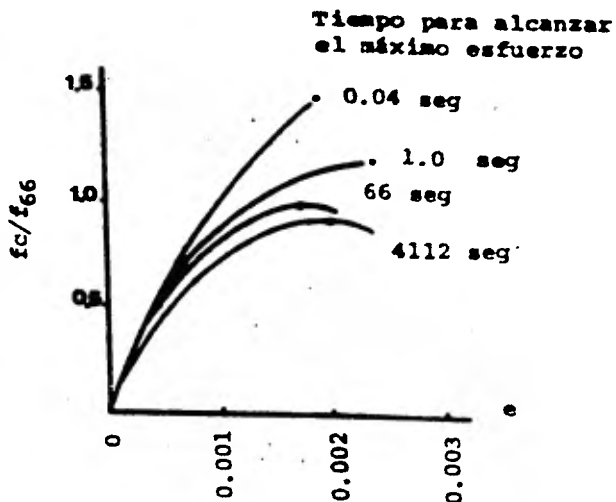


FIGURA No. 14

- e = deformación unitaria
- fc = esfuerzo medio en el cilindro
- f₆₆ = esfuerzo máximo para t=66 segundos

En este tipo de ensayos la carga fué aplicada a una velocidad constante y se midió el tiempo necesario para alcanzar la resistencia.

Se nota que si la aplicación de la carga se efectúa como impacto, la resistencia alcanzada es 50% mayor que si la carga es aplicada con una velocidad constante durante 66 segundos. Por otra parte, si la carga es aplicada muy lentamente, la resistencia disminuye hasta en un 10%.

d) Efecto de las Condiciones de Humedad y Temperatura Durante la Prueba.

Si las muestras que se van a probar a compresión están secas, la resistencia que se obtendrá será mayor. Por el contrario, si las muestras secas se humedecen antes de la prueba, la resistencia obtenida será menor.

Asimismo, el efecto de la temperatura en la muestra, en el momento de la prueba, afecta la resistencia, dándonos menor cuando mayor temperatura tenemos.

Lo anterior lo vemos representado en la figura No. 15

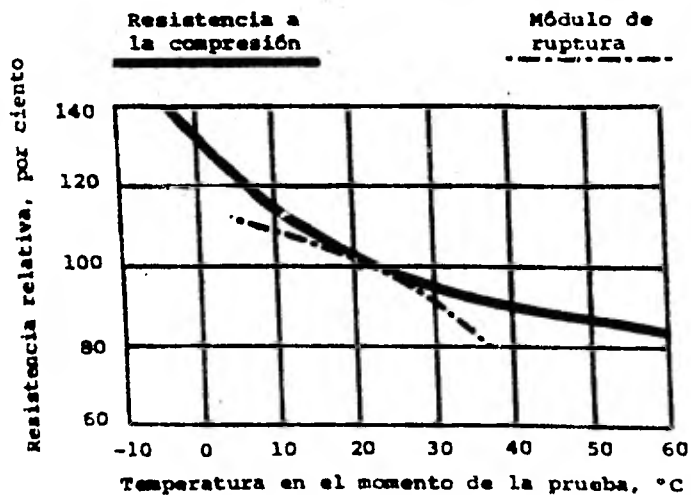


FIGURA No. 15

e) Efecto de la Edad:

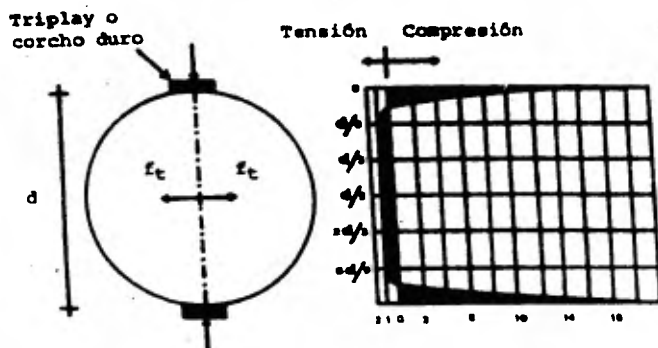
Este efecto se debe al proceso continuo de hidratación del cemento contenido en el concreto, el cual aumenta la resistencia del mismo a través del tiempo.

Es por éso que es importante especificar la edad a la cual han de ser probados los especímenes, ya que un resultado de resistencia que no contenga la edad del espécimen carecerá de valor.

PRUEBA BRASILEÑA DE TENSION

Esta prueba consiste en probar un cilindro de concreto colocado con su eje en posición horizontal entre las platinas de la máquina de prueba, y cargado hasta alcanzar su falla a lo largo del diámetro vertical, produciendo así una separación por compresión.

Como se puede ver en la figura No. 16, la prueba consiste en someter a un cilindro a compresión lineal diametral:



Esquema de ensayo.

Distribución de esfuerzos relativos f según teoría elástica

FIGURA No. 16

La resistencia a la tensión se calcula como:

$$f_t = \frac{2 P}{\pi D L}$$

siendo: P = carga máxima
D = diámetro del espécimen
L = longitud del espécimen

El conocimiento de la resistencia a la tensión del concreto es muy importante para el diseño en tensión diagonal y para otros tipos de comportamiento, en donde el fenómeno de tensión es predominante.

PRUEBA DE FLEXION

Cuando se requiere conocer la resistencia a flexión del concreto simple se utiliza este método, el cual consiste básicamente en ensayar un prisma de concreto simplemente apoyado, sujeto a una o dos cargas concentradas. La falla es brusca, y presenta una sola grieta que fractura al espécimen.

El esfuerzo teórico de ruptura por tensión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f_r = \frac{M c}{I}$$

en donde: M = es el momento flexionante correspondiente a la carga máxima aplicada

c = es el medio peralte

I = es el módulo de inercia de la sección transversal del prisma

Esta prueba dá una medida de resistencia del concreto a la tensión debida a la flexión.

Entre otras variables que influyen al esfuerzo máximo de rotura en flexión, podemos mencionar la resistencia a la compresión, relación peralte a claro, condiciones de curado, etc.

PRUEBA DE CORAZONES

Esta prueba se emplea cuando se tienen dudas sobre la resistencia de un elemento específico de concreto.

El corazón se extrae por medio de un taladro, cuya broca cilíndrica penetra en el miembro que se quiere interpretar.

Al igual que todos los casos anteriores, se deben seguir ciertas normas que especifican el modo de obtención, preparación y ensaye de especímenes de concreto endurecido.

Esta es una de las más laboriosas pruebas que se presentan

para la obtención de la resistencia del concreto.

Se realiza en estructuras ya construídas, generalmente reforzadas; así, el primer paso consiste en localizar el acero de refuerzo para evitarlo, después se procede a la fijación de la perforadora. Una vez que ésta se ha adherido, por medio de succión, al elemento dudoso, se perfora a una velocidad constante de avance, para evitar irregularidades en las paredes del espécimen.

El corazón es cortado con un disco por los extremos, tratando que sus caras sean paralelas entre sí y perpendiculares a la generatriz del cilindro, buscando siempre que sea posible una relación altura/diámetro igual a dos. El cabeceado se hace igual que para los cilindros de concreto.

La resistencia que se obtiene con esta prueba es, generalmente, inferior a la resistencia que se obtiene con cilindros estandar, porque el curado en la obra es de menor calidad del que se lleva a cabo en el laboratorio. Otro factor que influye en la resistencia es la ubicación del concreto en la estructura. Los corazones cercanos a la superficie de la estructura suelen tener menor resistencia que aquellos que se pueden extraer a profundidades mayores.

PRUEBA DEL MARTILLO DE REBOTE

A esta prueba también se le conoce como prueba del martillo de impacto o del esclerómetro.

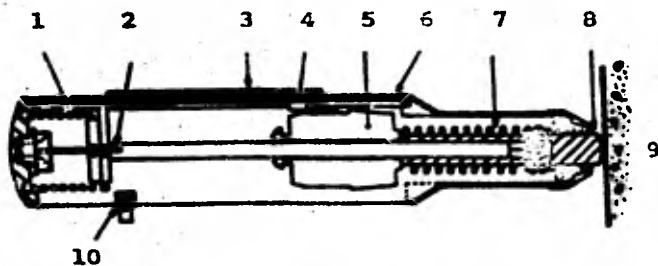


FIGURA No. 17

- | | |
|-----------|---------------------|
| 1 Resorte | 6 Camisa tubular |
| 2 Seguro | 7 Resorte |
| 3 Escala | 8 Émbolo |
| 4 Guía | 9 Concreto |
| 5 Masa | 10 Botón disparador |

Su principio se basa en que el rebote de una masa elástica depende de la dureza superficial en contra de la cual la masa incide. La prueba consiste en cargar una masa por medio de un resorte que recibe cierta cantidad de energía al extenderlo a una posición constante. Lo anterior se efectúa cuando nosotros presionamos el émbolo contra la superficie de concreto que se quiere probar. Una vez que se tiene al émbolo presionado hasta el límite, la masa se libera, el émbolo rebota, aún cuando sigue estando en contacto con la superficie del concreto y, la distancia que recorre la masa, se expresa como un porcentaje de la extensión inicial del resorte, al cual se le llama número de rebote. Este número se indica en una escala graduada que tiene el esclerómetro, en un costado. Este número, como se puede ver, es una medida arbitraria, pues depende de la energía acumulada en el resorte y del tamaño de la masa.

Esta prueba ha sido uno de los diversos intentos que se han hecho para elaborar pruebas no destructivas que nos permitan, dentro de lo posible, probar el concreto endurecido en obra, sin que éste reciba ningún daño.

El martillo de rebote nos mide la dureza superficial, que tiene la masa del concreto, el cual, para dar una mejor interpretación de la misma, debe usarse en superficies lisas o, en su defecto, pulidas con una piedra de carborundo. Por otro lado, la prueba es muy sensible a variaciones locales del concreto; esto es, si el émbolo se presiona justo donde existe un agregado grande, el número de rebote será mayor, o si es presionado donde existe un hueco, el resultado será muy bajo.

Debido a lo anterior, la prueba consiste en hacer 12 lecturas de las cuales se eliminan la menor y la mayor, a fin de obtener un promedio representativo del área probada.

La utilización del esclerómetro debe hacerse siempre en forma perpendicular a la superficie, aún cuando ésta sea el piso, el techo o alguna pared que tenga cierta inclinación vertical. La corrección del número obtenido, en relación a la posición en la cual se acciona el esclerómetro, se obtiene en una gráfica que el propio martillo tiene en su superficie, en la cual se puede determinar, además, la resistencia del concreto; lo anterior lo podemos ver en la figura No. 18.

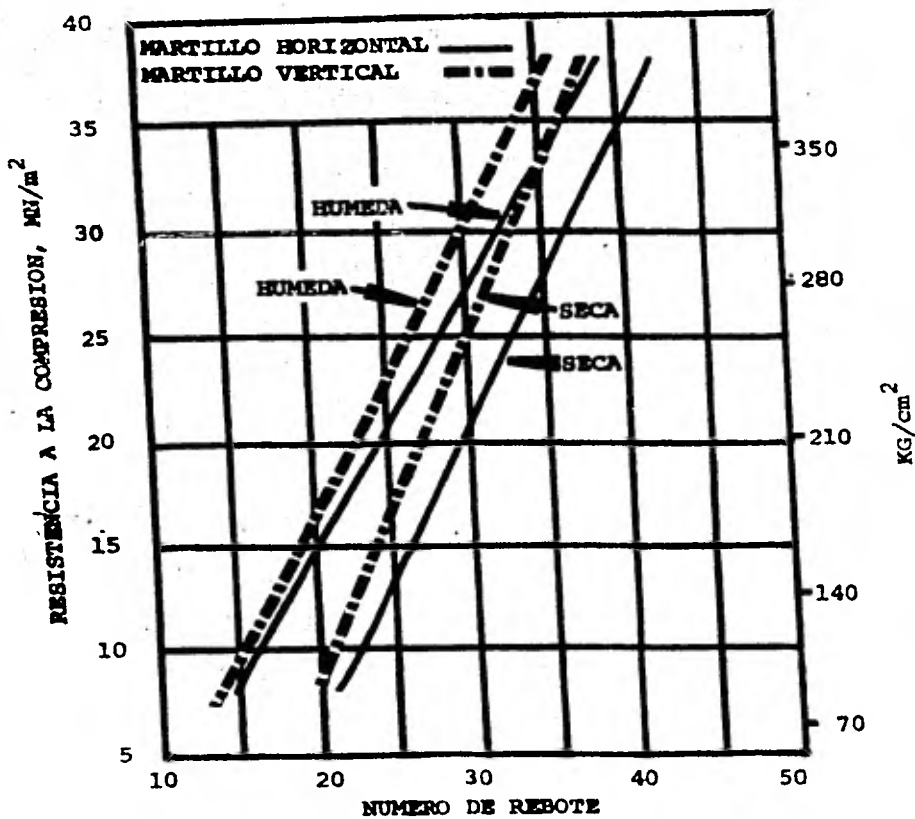


FIGURA No. 18

Esta prueba es en verdad útil como una medida de uniformidad del concreto y como verificación de la calidad de los materiales empleados en la fabricación del elemento de concreto.

PRUEBA DE LA RESISTENCIA A LA PENEYRACION

Otra prueba no destructiva que se tiene es la prueba de resistencia a la penetración, o prueba de sondeo de Windsor, la cual mide la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración que experimenta una varilla metálica, la cual es impulsada por una carga estandard de pólvora.

El principio con el cual funciona esta prueba es que la penetración es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto.

La prueba de Windsor es, en parte, superior a la prueba del esclerómetro, ya que la medida de dureza no sólo se limita a la superficie del concreto sino que también la mide en una cierta profundidad. Los sondeos se acostumbran hacer en grupos de tres, separados entre sí 7", y la penetración promedio se utiliza para estimar la resistencia.

PRUEBA DEL PULSO ULTRASONICO

Las pruebas que anteriormente hemos expuesto, se efectúan en muestras que se preparan especialmente y, por lo tanto, no son el verdadero concreto que se halla en la estructura, o se llevan a cabo dañando ligeramente al miembro que se quiere estudiar. Es por éso que se han hécho muchos intentos para medir la resistencia del concreto en forma no destructiva, tratando de relacionar alguna propiedad física del concreto con su resistencia.

El pulso ultrasónico consiste en hacer pasar una onda ultrasónica a través de un miembro de concreto. Al tener la separación a la cual se encontraban los transductores, el tiempo que obtuvimos en la lectura lo podemos convertir en velocidad, y aunque ésta no tiene una relación única con la resistencia del concreto, en condiciones específicas, las dos cantidades las podemos relacionar directamente a través del peso específico del concreto, ya que un cambio en el peso específico produce una variación en la velocidad del pulso.

El aparato para medir la velocidad de pulso lo podemos ver diagramáticamente en la siguiente figura.

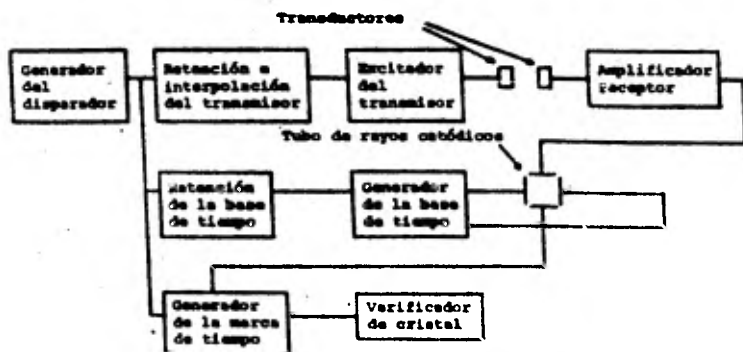


FIGURA No. 19

Esta prueba se utiliza como medio de control de calidad en productos que supuestamente están elaborados con concretos semejantes, además de que puede utilizarse para detectar el desarrollo de grietas o la localización de oquedades.

PRUEBA DE EXTRACCION

La prueba de "Pull-out", es satisfactoria para estimar la resistencia in-situ del concreto a cualquier edad. Este método consiste en dejar unos capuchones de acero dentro del concreto, pero pegados a la superficie del elemento que se quiere probar, los cuales, a la edad que se desea obtener resultados, son extraídos a través de un gato hidráulico que tiene un manómetro que nos mide la presión ejercida por el aceite para desprender el capuchón de la masa del concreto.

Es verdad que existen otros tipos de pruebas al concreto endurecido, que nos pueden proporcionar resultados reproducibles y que, además se encuentran apoyados por alguna norma de una autoridad competente en esa especialidad; sin embargo, creemos que dentro de la ingeniería práctica se han expuesto las pruebas al concreto endurecido más importantes y usuales en nuestro medio.

V

**METODOS
ESTADISTICOS
DE
CONTROL
DE
CALIDAD**

MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE CALIDAD

La variación en la resistencia del concreto es influenciada por numerosos factores, que son: desde los tipos de materiales utilizados para la producción del concreto, hasta los métodos seguidos para las pruebas del concreto producido.

Un control adecuado se alcanza por medio del empleo de materiales satisfactorios, la dosificación y el mezclado correcto de los anteriores así como la óptima transportación, colocación, curado y realización de pruebas. Aunque el mismo concreto elimina la homogeneidad de los resultados por su naturaleza, la existencia de una variación excesiva en la resistencia del mismo significa que existe alguna falla en el adecuado control de éste. Al llevar a cabo nosotros un mejor control de calidad permitiremos una reducción en los costos del concreto, dado que la resistencia promedio se puede acercar más a lo marcado en las especificaciones.

Los métodos estadísticos son utilizados para el muestreo de los materiales, así como la valuación de los resultados de las pruebas, y nos permiten predecir las características que tendrá el concreto por fabricar y limitar las variaciones para obtener un producto de calidad.

Para que estos métodos estadísticos sean válidos, los datos deben provenir de muestras de un muestreo al azar, diseñado de tal manera que se disminuya la posibilidad de que aquella persona que haga la prueba, escoja las muestras. Muestrear al azar significa que cualquier muestra tiene la misma posibilidad de ser elegida. Independientemente del tamaño de la población, el número de muestras depende, principalmente, de la variabilidad de la población y del grado de precisión y mínimo error que se quiere tener.

La utilización de la estadística dentro de un problema de ingeniería, es de gran importancia para obtener conclusiones de un fenómeno que no sigue ningún modelo matemático de tipo determinístico, sino de tipo probabilístico, en función de su naturaleza aleatoria.

Para la evaluación de la resistencia del concreto, nos vemos obligados a utilizar técnicas estadísticas dado que, la resistencia del concreto es función de muchas variables que, difícilmente, pueden ser controladas.

Debe tenerse en cuenta que siempre va a haber una cierta incertidumbre parcial al basarse las conclusiones en la prueba de una parte del producto fabricado, ya que, si quisiéramos tener certeza en la evaluación de la resistencia del concreto, el problema

sería de tipo económico en vista de que la certeza implica exami-
nar la totalidad del producto.

Es por todo esto que uno de los principales requisitos que se exigen a las pruebas para controlar la calidad del concreto, es que sean económicas y fácilmente reproducibles y que, al analizar una parte mínima del concreto, se pueda calificar a éste de aceptable o no.

Existen varios métodos estadísticos para conocer la variación de la calidad y, a partir de éstos, realizar el control de calidad del concreto. Entre los más usuales se tienen los siguientes:

Distribución de Frecuencias

Tablas de Muestreo

Cartas de Control de Calidad

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Este método consiste en tabular las veces que se presenta cierta medida de las características analizadas en las muestras del producto. Tiene por objeto conocer al producto tanto en su tendencia general como en la variación de los valores, respecto a esa tendencia, y nos ayuda a dar una opinión del producto al comparar esa distribución respecto a las especificaciones. Para el concreto, la característica que normalmente se analiza es la resistencia

a la compresión.

a) Definiciones de Conceptos Estadísticos:

Se supone que, en una producción controlada, la resistencia de las muestras de las pruebas del concreto toman una configuración similar a la curva de distribución normal - de frecuencias ilustrada en la figura No. 20. Cuando existe un buen control, los valores de la resistencia se agrupan alrededor de la media y la curva es alta y angosta. Pero conforme las variaciones en la resistencia van aumentando, los valores se apartan de la media, y la curva se vuelve baja y alargada, tal como se muestra en la figura.

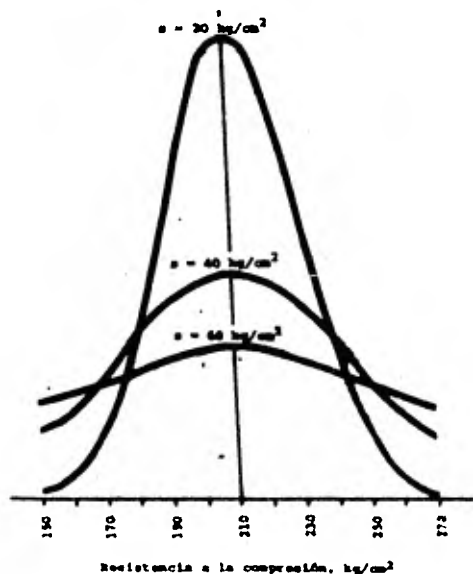


FIGURA No. 20

Existen ciertas funciones útiles de la resistencia, que se pueden definir matemáticamente, dadas las características de estas curvas, las cuales son:

b) Promedio, \bar{X}

La resistencia promedio de todas las pruebas individuales se expresa de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

en donde $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ son los resultados de la resistencia de las pruebas individuales y n es el número total de pruebas efectuadas.

Una prueba es definida como la resistencia promedio de todos los cilindros de la misma edad elaborados de una muestra tomada de una única mezcla de concreto. Normalmente, las muestras de concreto constan de dos o tres cilindros.

c) Desviación Estandard, s

La medida de dispersión más empleada es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, respecto a la resistencia promedio, dividida entre el número de resultados menos

uno. Se le conoce como la desviación estandard y se puede considerar como el radio de giro alrededor de la línea de simetría del área bajo la curva de distribución de frecuencia de los datos de resistencia, tal como se muestra en la figura No. 21.

Quando se tiene una cantidad finita de datos, como en nuestro caso, el cálculo de s se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\left[(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2 \right] / (n - 1)}$$

o mediante su equivalente algebraico:

$$s = \sqrt{\frac{\sum f(x - \bar{x})^2 - (\sum x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

En diversos libros de estadística se dice que la desviación estandard entre $(n - 1)$ en lugar de (n) , cuando el número de valores es pequeño, pero para más de 30 valores, no se ve influencia si se usa $(n - 1)$ ó (n) .

Para fines prácticos, se considera que el 100% de los valores del universo en la curva de distribución normal de frecuencias está comprendido a tres desviaciones estandard con respecto al promedio \bar{x} en ambos sentidos, tal como puede verse en la figura No. 21.

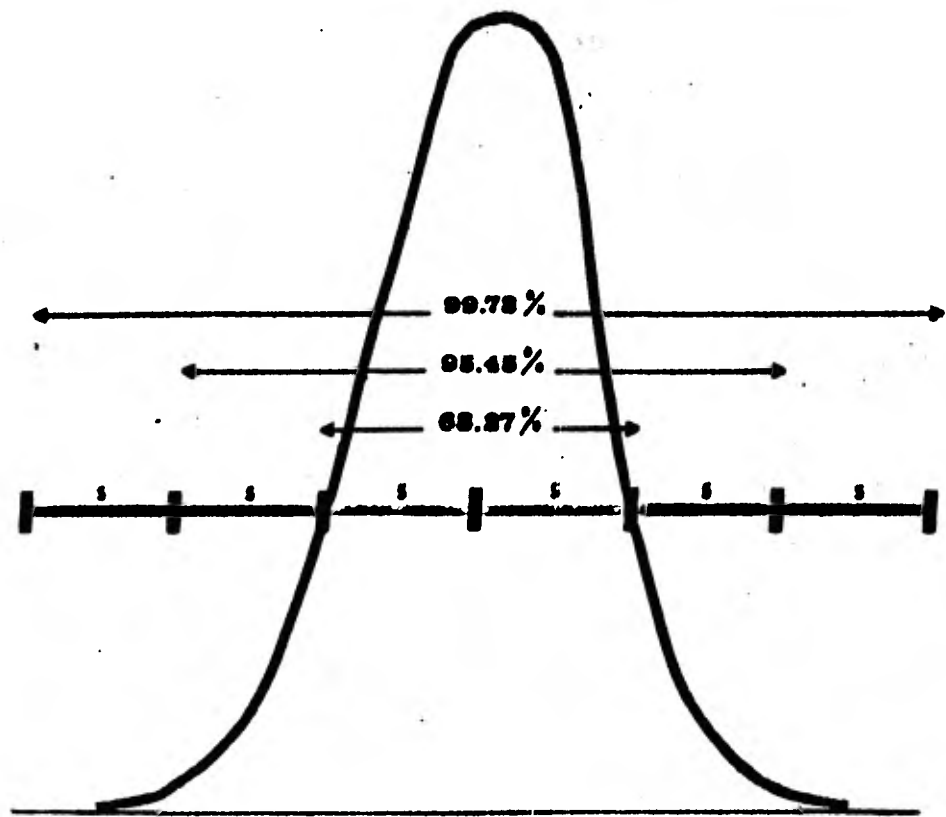


FIGURA No. 21

d) Coeficiente de Variación, V

El coeficiente de variación es la desviación estandar expresada como porcentaje de la resistencia promedio; és to es:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

La tabla No. 6 sirve como guía para calificar el grado de control de calidad en la fabricación del concreto, en función del coeficiente de variación.

TABLA No. 6

EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO
menor de 10	10 a 15	15 a 20	mayor de 20

Los distintos coeficientes de variación del concreto, correspondientes a los distintos grados de control en la fabricación, se pueden ver en la tabla No. 7 .

e) Intervalo, R

El intervalo se obtiene restando la resistencia más baja, de la resistencia más alta del grupo de ensayos que integran la muestra. El intervalo dentro de la prueba se obtiene restando la menor de las resistencias del conjunto de cilindros promediada para formar una prueba a partir de la más alta del grupo.

COEFICIENTES DE VARIACION DEL CONCRETO CORRESPONDIENTES A
DISTINTOS GRADOS DE CONTROL EN LA FABRICACION

CONDICIONES DE MECLADO Y COLOCACION	CONTROL	COEFICIENTE DE VARIACION, V EN POR CIENTO
Agregados secos, granulometría precisa, relación exacta agua/cemento, y temperatura controlada de curado. Supervisión continua.	De laboratorio	5 - 6
Pesado de todos los materiales, control de la granulometría y del agua tomando en cuenta la humedad de los agregados y el peso en grava y arena desplazada por el agua. Supervisión continua.	Buena	8 - 10
Pesado de todos los materiales, control de la granulometría y de la humedad de los agregados. Supervisión continua.	Regular	10 - 12
Pesado de los agregados, control de la granulometría y del agua. Supervisión frecuente.	Muy buena	13 - 15

TABLA No. 8

FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACION ESTANDARD
IMHERENTE A LA PRUEBA

NUMERO DE CILINDROS	d_2	$1 / d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

2) Variación de Mezcla a Mezcla:

Las variaciones dan diferencias en la resistencia, atribuibles a:

- a) Las características y propiedades de los ingredientes
- b) La dosificación, el mezclado y el muestreo
- c) Las pruebas cuyo resultado no se ha deducido de cilindros hermanos ya que existe la tendencia de tratarlos de manera más semejante que a otros cilindros probados en momentos distintos.

Las fuentes de variación de mezcla a mezcla y dentro de la prueba están relacionadas con el coeficiente de variación total por la siguiente expresión:

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2$$

en donde: s = Desviación estándar

s_1 = Desviación estándar dentro de la mezcla

s_2 = Desviación estándar de mezcla a mezcla.

Con estos parámetros, una vez calculados, y suponiendo que los resultados siguen la forma de una

curva de distribución normal de frecuencia, se conoce una gran cantidad de información acerca de los resultados de las pruebas.

Para la construcción de la curva normal de resistencias se procede de la siguiente manera:

Supongamos que se ha hecho un concreto de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en cuya producción se ha controlado el pesado de los materiales, la granulometría de los mismos, la dosificación del agua y, además, se ha supervisado frecuentemente su producción.

De este concreto, se hicieron 100 parejas de cilindros que se probaron a los 28 días dando las resistencias que se muestran a continuación:

172, 173

175, 176, 176, 178

182, 184

186, 186, 188, 188, 188, 189

195, 197, 199

200, 201, 202, 204

206, 207, 209

211, 214

215, 217, 219

221, 222, 222, 222, 223, 224

225, 225, 226, 227, 227, 228

228, 229

230, 230, 230, 230, 231, 232

232, 232, 232, 232, 232, 233

234, 234

235, 235, 237, 238, 238

238, 239, 239

240, 241, 242, 242, 244

245, 245, 246, 246, 246, 247, 249

250, 252, 252, 254, 254

255, 257, 257, 257, 257

262, 263

272, 272, 273, 274

276, 277, 278

282

287, 287

292

Los datos de las resistencias que se tienen, ya se encuentran ordenados en forma ascendente. por lo que ya se puede hacer el primer cálculo, que es el del intervalo R, esto es:

$$R = 292 - 172 = 120 \text{ kg/cm}^2$$

En base al intervalo que se tiene, se procede a formar clases que cubran todo este intervalo.

Para el presente ejemplo, se optó por escoger clases que tuviesen una amplitud de 5 kg/cm².

De lo anteriormente visto, se puede pasar a la formación de la Tabla No. , en la cual ya se han marcado los límites tanto inferior como superior de la clase, la marca de clase, y la frecuencia de clase. Nótese que cada clase tiene una amplitud de 5 kg/cm².

A continuación se procede a ejecutar operaciones dentro de la Tabla No. 9 , tales como:

Multiplicación de las frecuencias de clase por las marcas de clase.

Sumatoria de las frecuencias de clase,

y la Sumatoria de las multiplicaciones de las frecuencias de clase por las marcas de clase.

De lo anterior, se puede calcular la resistencia promedio del concreto producido, la cual da:

$$\bar{X} = \frac{23000}{100} \quad \bar{X} = 230 \text{ kg/cm}^2$$

ABLA No. 9

CLASES kg/cm ²	MARCA DE CLASE X kg/cm ²	FRECUEN- CIA DE CLASE f	fX	X- \bar{X}	f(X- \bar{X}) ²
170 - 174	172	2	344	-58	6728
175 - 179	177	4	708	-53	11236
180 - 184	182	2	364	-48	4608
185 - 189	187	6	1122	-43	11094
190 - 194	192	0	0	-38	0
195 - 199	197	3	591	-33	3267
200 - 204	202	4	808	-28	3136
205 - 209	207	3	621	-23	1587
210 - 214	212	2	424	-18	648
215 - 219	217	3	651	-13	507
220 - 224	222	6	1332	- 8	384
225 - 229	227	8	1816	- 3	72
230 - 234	232	14	3248	2	56
235 - 239	237	8	1896	7	392
240 - 244	242	5	1210	12	720
245 - 249	247	7	1729	17	2023
250 - 254	252	5	1260	22	2420
255 - 259	257	5	1285	27	3645
260 - 264	262	2	524	32	2048
265 - 269	267	0	0	37	0
270 - 274	272	4	1088	42	7056
275 - 279	277	3	831	47	6627
280 - 284	282	1	282	52	2704
285 - 289	287	2	574	57	6498
290 - 294	292	1	292	62	3844
		100	23000	50	81300

Luego con esta resistencia promedio, se procede a calcular la diferencia entre la marca de clase y la resistencia promedio, y la sumatoria de todas estas diferencias.

Después cada una de estas diferencias es elevada al cuadrado y multiplicada por cada una de las frecuencias de clase, y se obtiene también la sumatoria de estos cálculos.

Una vez que se tienen todas las operaciones efectuadas y tabuladas como lo muestra la Tabla No. 9, se procede a calcular la desviación estándar, mediante el equivalente algebraico que es:

$$s = \sqrt{\frac{\sum f(X-\bar{X})^2}{n-1} - \frac{(\sum X-\bar{X})^2}{n-1}}$$

la cual vale:

$$s = \sqrt{\frac{81300}{99} - \frac{2500}{99}} \quad s = 28.21$$

Por último, este concreto tiene un coeficiente de va
riación de:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

$$v = \frac{28.21}{230} \cdot 100$$

$$v = 12.27$$

el cual nos indica que este concreto se ha elaborado con un grado de control de calidad bueno, el cual se produjo llevando un control del pesado de los materiales, de la granulometría y del agua y que, además, contó con una supervisión frecuente.

Una vez que se tienen estos cálculos, se procede a graficar la ecuación de la curva de Gauss o normal que es:

$$y = \frac{e^{-(x - \bar{x})^2 / s^2}}{s \sqrt{2 \pi}}$$

X	Y
172	0.21
177	0.41
182	0.78
187	1.39
192	2.30
197	3.60
202	5.28
207	7.27
212	9.41
217	11.44
222	13.05
227	13.98
232	14.07
237	13.30
242	11.80
247	9.84
252	7.70
257	5.66
262	3.91
267	2.53
272	1.54
277	0.88
282	0.47
287	0.24
292	0.11

De las características de esta curva, se sabe que a una desviación estándar a uno y otro lado del promedio de la resistencia se tiene el 68.27% de las pruebas; ésto es:

$$s = 28.21$$

$$\bar{X} = 230 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{X} + s = 258.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{X} - s = 201.79 \text{ kg/cm}^2$$

Dentro del intervalo

$$201.79 < X < 258.21$$

se encuentran 68 cilindros.

También se sabe que a dos desviaciones estándar a uno y otro lado de la resistencia promedio, se encuentra el 95.45% de las pruebas, o sea:

$$2s = 56.42$$

$$\bar{X} - 2s = 173.58 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{X} + 2s = 286.42 \text{ kg/cm}^2$$

Dentro del intervalo

$$173.58 < x < 286.42$$

se encuentran 95 cilindros.

Y, por último, para tres desviaciones estándar alrededor de la resistencia promedio, se encuentra el - 99.73% de las pruebas; ésto es:

$$3s = 84.63$$

$$\bar{X} - 3s = 145.37$$

$$\bar{X} + 3s = 314.63$$

cuyo intervalo contiene la totalidad de los cilindros.

Esto se puede ver en la Figura No. 22 .

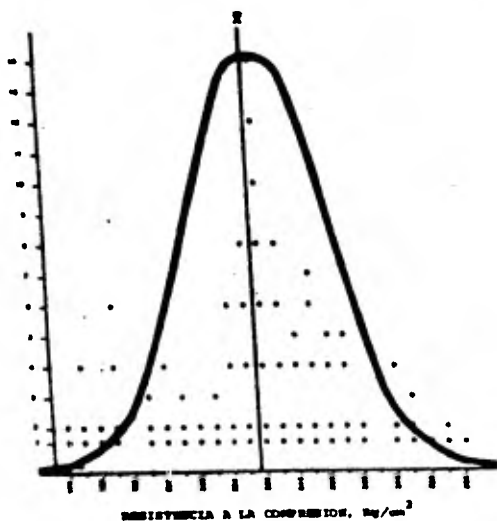


FIGURA No. 22

En la figura No. 23 se muestra una división aproximada del área bajo la curva de distribución normal de frecuencia:

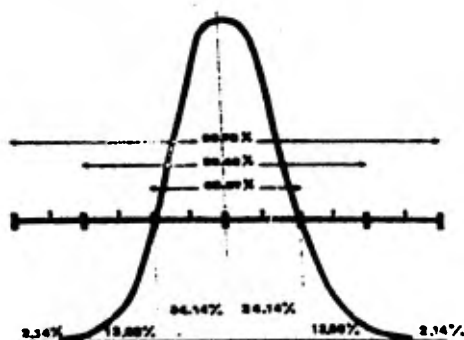


FIGURA No. 23

Lo mostrado en la figura anterior nos permite estimar la cantidad de resultados de las pruebas que se espera caigan dentro de múltiplos dados de s del promedio, o de cualquier otro valor específico.

En la Tabla No. 10 se ha adaptado la integral normal de probabilidad de la curva de distribución normal de frecuencia teórica y muestra la probabilidad de que los

TABLA No. 10

PORCENTAJES PREVISTOS DE LAS PRUEBAS CON RESULTADOS POR DEBAJO DE $f'c$ EN LOS CUALES \bar{x} SOBREPASA A $f'c$ POR LA CANTIDAD SEÑALADA

RESISTENCIA PROMEDIO, \bar{x}	PORCENTAJE PREVISTO DE PRUEBAS CON RESULTADOS POR DEBAJO DEL NIVEL DE RESISTENCIA	RESISTENCIA PROMEDIO, \bar{x}	PORCENTAJE PREVISTO DE PRUEBAS CON RESULTADOS POR DEBAJO DEL NIVEL DE RESISTENCIA
$f'c + 0.10s$	46.0	$f'c + 1.6 s$	5.5
$f'c + 0.20s$	42.1	$f'c + 1.7 s$	4.5
$f'c + 0.30s$	38.2	$f'c + 1.8 s$	3.6
$f'c + 0.40s$	34.5	$f'c + 1.9 s$	2.9
$f'c + 0.50s$	30.9	$f'c + 2.0 s$	2.3
$f'c + 0.60s$	27.4	$f'c + 2.1 s$	1.8
$f'c + 0.70s$	24.2	$f'c + 2.2 s$	1.4
$f'c + 0.80s$	21.2	$f'c + 2.3 s$	1.1
$f'c + 0.90s$	18.4	$f'c + 2.4 s$	0.8
$f'c + \quad s$	15.9	$f'c + 2.5 s$	0.6
$f'c + 1.1 s$	13.6	$f'c + 2.6 s$	0.45
$f'c + 1.2 s$	11.5	$f'c + 2.7 s$	0.35
$f'c + 1.3 s$	9.7	$f'c + 2.8 s$	0.25
$f'c + 1.4 s$	8.1	$f'c + 2.9 s$	0.19
$f'c + 1.5 s$	6.7	$f'c + 3.0 s$	0.13

resultados de las pruebas caigan por debajo de $f'c$ en términos de la resistencia promedio de la mezcla

$$\bar{X} = fcr = (f'c + t s)$$

En la tabla No. 11. se califica el grado de control de pruebas de control en el campo y mezclas de prueba de laboratorio, a través de la variación total y la variación de las pruebas mediante la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

f) Utilidad de la Distribución de Frecuencias:

La relación que existe entre la distribución de frecuencias del concreto y la curva de Gauss, permite deducir propiedades importantes como:

Primero, conocer el porcentaje de valores comprendidos entre dos mediciones diferentes y,

Segundo, considerar que para usos ingenieriles, la variación total se encuentra comprendida a $3s$ del promedio, lo cual permite conocer los límites del proceso.

Si se toman muestras pequeñas de la población, la media y la desviación estándar no coincidirán con la

TABLA No. 11

NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO

VARIACION TOTAL

CLASE DE OPERACION	DESVIACION ESTANDAR PARA DIFERENTES NORMAS DE CONTROL Kg/cm ²				
	EXCELENTE	MUY BUENA	BUENA	ACEPTABLE	POBRE
Pruebas de control en el campo	por debajo de 25	de 25 a 35	de 35 a 40	de 40 a 50	sobre 50
Mezclas de prueba de laboratorio	por debajo de 15	de 15 a 17	de 17 a 20	de 20 a 25	sobre 25

VARIACION EN LAS PRUEBAS

CLASE DE OPERACION	COEFICIENTE DE VARIACION PARA DIFERENTES NORMAS DE CONTROL, EN PORCENTAJE				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Pruebas de control en el campo	por debajo de 3	de 3 a 4	de 4 a 5	de 5 a 6	arriba de 6
Mezclas de prueba de laboratorio	por debajo de 2	de 2 a 3	de 3 a 4	de 4 a 5	arriba de 5

media y la desviación estandard verdadera, correspondientes a todos los elementos del lote o necesarios, para acercarlos a los valores verdaderos.

La dispersión de los valores de estas medias y desviaciones estandard, tienen su propia desviación y están relacionados con los valores verdaderos mediante las siguientes expresiones:

Desviación estandard de las medias

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_v}{\sqrt{n}}$$

Desviación estandard de las desviaciones estandard

$$s_s = \frac{s_v}{\sqrt{2n}}$$

en donde:

$s_{\bar{x}}$ = Desviación estandard de las medias

s_s = Desviación estandard de las desviaciones estandard

s_v = Desviación estandard verdadera

n = Número de muestras

Las relaciones anteriores son muy útiles para cuando se redacta, en las especificaciones, el número mínimo

de muestras; por ejemplo:

Si se conocen de estudios previos la \bar{X} verdadera igual a 270 kg/cm^2 y la s verdadera igual a 40 kg/cm^2 , tendremos que las muestras individuales tendrán valores comprendidos entre $\bar{X} \pm 3s$ ó sea que fluctuarán entre 150 y 390 kg/cm^2 .

Si deseáramos revisar que el promedio de la resistencia no esté por debajo de 210 kg/cm^2 , el número mínimo de muestras requeridas las determinaríamos de la siguiente forma:

$$3 \frac{s}{\bar{X}} = 270 - 210 = 60$$

$$\frac{s}{\bar{X}} = 60 / 3 = 20$$

$$\sqrt{n} = s / \frac{s}{\bar{X}}$$

$$\sqrt{n} = 40 / 20 = 2$$

$$n = 2^2 = 4$$

Por lo que será necesario tomar 4 muestras para que el promedio de éstas no esté por debajo de 210 kg/cm^2 .

La importancia de la recolección de información y el análisis haciendo una distribución de frecuencias es la de revisar si el conjunto representa una condición

económica de la producción o tomar acción correctiva, si es necesario.

De esta manera, la distribución de frecuencias es útil para pronosticar los resultados de una nueva mezcla o el uso de nuevos materiales, así como para conocer las ventajas de los ajustes efectuados y que sea un estímulo para los trabajadores, la representación gráfica de la calidad que están logrando.

Para que la gráfica de distribución de frecuencias sea de máxima utilidad, es necesario que exista información de las condiciones de producción, dosificación, materiales empleados, etc., para que así se escriba la historia del concreto, y se conozca en dónde se cometieron equivocaciones, y se hagan las correcciones necesarias o se den los criterios para el futuro.

TABLAS DE MUESTREO

Cuando se toma una decisión de aceptar o rechazar un producto, siempre existen riesgos.

El riesgo para el comprador es aceptar algo malo considerando como bueno, y el riesgo para el vendedor

es el rechazar un producto considerándolo como malo, siendo éste bueno.

La estadística es también la herramienta adecuada para disminuir estos riesgos y hacer la decisión con equidad. Algunas veces, los muestreos arbitrarios traen consigo perjuicios tanto para el consumidor como para el productor.

Por lo anterior, se han creado programas justos de muestreo y aceptación, que definen qué ha de revisarse, qué puede revisarse, a un costo adecuado y que dan la protección con el mínimo riesgo.

Estos programas están integrados bajo el sistema de tablas de muestreo, en los cuales el número de muestras están en función de la magnitud del lote y en función de esa cantidad de muestras, se establece el máximo de estas muestras que no cumplen con la especificación, arriba de la cual, el producto se puede rechazar o revisarlo nuevamente con más muestras.

Estas tablas se basan en el riesgo del productor al definir el límite aceptable de calidad LAC, o en el riesgo del comprador al definir el límite de porcentaje de defectos tolerables LPDT.

El sistema para analizar las muestras con la observación de bueno o malo, pasa o no pasa, recibe el nombre de "Por Atributos" y, en el caso de dar por resultado un valor de medición, recibe el nombre de "Por Variables".

Es mejor hacer los análisis por variables, lo que permite conocer en la distribución el lugar en dónde se encuentra el elemento, dentro o fuera de la zona de especificación y, con la ventaja de requerirse menos muestras para tener esta información, que las que se necesitan por el procedimiento de atributos.

Cuando se inicia la producción, el muestreo debe ser más severo y, cuando avanza la producción y se tiene un mejor control, se puede disminuir reduciendo así el costo de este control. Cuando se empiecen a rechazar lotes, se debe volver al muestreo inicial.

Por ejemplo, si se considera que para la aceptación de un concreto, en que no más del 1% de las muestras deben tener resistencias menores de 35 kg/cm^2 de la resistencia especificada, para un concreto de 250 kg/cm^2 , en el que la planta tiene una $s = 30 \text{ kg/cm}^2$, se hace el siguiente cálculo:

Si se supone que el lote está formado por 100 entregas de concreto, para un nivel aceptable de calidad del 1%, el número de muestras n que se requieren es 2.

Al tomar las dos muestras, se supone que el promedio de ellas es 220 kg/cm^2 , y se calcula después la diferencia entre la media y el límite inferior:

$$250 - 35 = 215$$

en unidades de desviación estandard

$$\frac{\bar{X} - L}{s} = \frac{220 - 215}{30} = \frac{5}{30} = 0.167$$

lo cual se compara con el valor k de la constante de aceptabilidad que se obtiene en la Tabla No. 12, y si $(\bar{X} - L)/s$ es menor que D se rechaza el lote y, si es mayor, se acepta. Para este caso, el lote debe rechazarse.

Las tablas de muestreo tienen un plan reducido más económico, que sólo es posible utilizar, si se cumplen ciertas condiciones que son:

- a) Por lo menos 10 lotes anteriores revisados no han sido rechazados

TABLA No. 12

TABLA PRINCIPAL PARA INSPECCION NORMAL Y SEVERA, PARA PLANES BASADOS EN LA VARIABILIDAD CONOCIDA

TAMANO LOTE	NIVELES ACEPTABLES DE CALIDAD (INSPECCION NORMAL)						
	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00
	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k
41 - 65	2 1.36	2 1.25	2 1.09	2 0.94	3 0.76	3 0.58	4 0.34
66 - 110	2 1.42	2 1.33	3 1.17	3 1.01	3 0.83	4 0.64	4 0.43
111 - 180	3 1.56	3 1.44	4 1.28	4 1.11	5 0.92	5 0.73	6 0.52
181 - 300	4 1.69	4 1.53	5 1.39	5 1.20	6 0.99	7 0.80	8 0.58
301 - 500	6 1.78	6 1.62	7 1.45	8 1.28	9 1.07	11 0.88	12 0.65
501 - 800	7 1.80	8 1.68	9 1.49	10 1.31	12 1.11	14 0.91	16 0.69
	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00	
NIVELES ACEPTABLES DE CALIDAD (INSPECCION SEVERA)							

- b) La media de proceso resulta menor que el límite inferior correspondiente a una tabla determinada (Tabla No. 12)

- c) La producción se mantiene a ritmo constante.

CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD

El mejor sistema para la interpretación de los resultados de las muestras del concreto, es el empleo de cartas o gráficas de control. Estas son la parte integral del control de la producción, manteniéndola a un nivel estable. Es un medio gráfico en donde se pueden ver, rápidamente, las variaciones pasadas y presentes sin necesidad de tener que buscar los reportes de control diarios para tomar una decisión. La carta de control integra, por sí sola, estos elementos, ahorrando un tiempo valioso.

Las variaciones de las características que se tengan, deben ser reunidas en dos grupos:

- a) Variaciones Normales (Aleatorias)
- b) Variaciones Accidentales (Sistemáticas)

Cuando la variabilidad existente en el proceso de fabricación del concreto, se limita a variación aleatoria, se dice que el proceso se encuentra en un estado de control estadístico.

Dicho estado es alcanzado cuando se eliminan todos aquellos problemas que causan otro tipo de variación, llamada sistemática, que es más bien de naturaleza determinística, y que siempre es producto de operadores mal entrenados, materias primas de baja calidad, maquinaria en mal estado, etc.

Para definir las tolerancias se deben de tomar en cuenta las variaciones normales o aleatorias que se presentan en el proceso; sin embargo, es más práctico que éstas se representen en una gráfica, relacionando la característica, cronológicamente, para representar la variación de esa característica con el tiempo, definiendo en la gráfica los límites que, en función de la experiencia, deben tenerse para conservar la calidad.

Este método permite anotar cada información, a medida que se va obteniendo, comparándola visualmente con las informaciones anteriores y los límites de la variación normal, que pueden presentarse para distinguir cuándo se tienen variaciones accidentales.

Si se quiere controlar la calidad del concreto, esta gráfica de control debe hacerse inmediatamente después de haberse obtenido la información, si nó carecerá de toda importancia.

Las gráficas sirven para prever fallas en los materiales, antes de la fabricación del concreto, para juzgar la uniformidad del concreto, para fijar especificaciones adecuadas para prever costos y como guía general de los esfuerzos realizados para controlar el concreto.

a) Configuración de las Cartas de Control:

Independientemente de cómo estamos analizando las ca

racterísticas, una carta de control consiste en una línea central, correspondiente a la calidad promedio, a la cual el producto debe tender, y dos líneas que corresponden al límite superior de control (LSC) y al límite inferior de control (LIC), respectivamente, según se puede ver en la figura No. 24 .

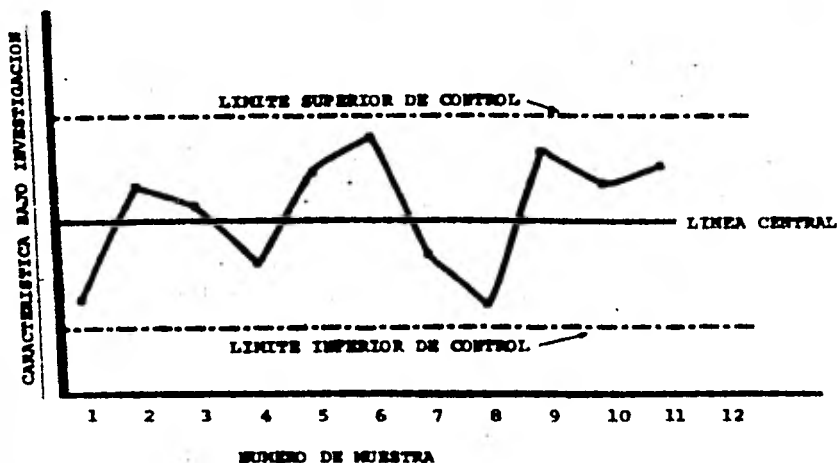
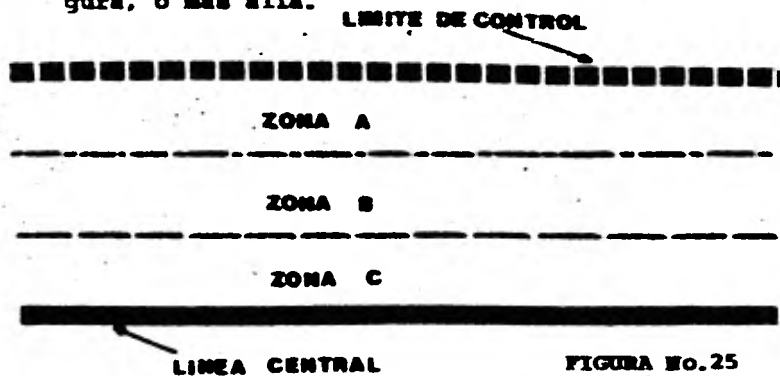


FIGURA No. 24

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

Otras posibles situaciones de "falta de control" que se deben investigar, son las que se presentan a continuación:

- 1) Cuando dos de tres puntos sucesivos caen en la zona A de la figura No. 25 .
- 2) Cuando cuatro de cinco puntos sucesivos caen en la zona B de la misma figura, o más allá.
- 3) Cuando ocho puntos caen en la zona C de dicha figura, o más allá.



Cada una de las zonas A, B, y C de la figura No. 25 constituye la tercera parte del área entre la línea central y un límite de control, y las pruebas mencionadas son aplicables a ambas mitades de la carta de control, pero se aplican separadamente a cada mitad, y nunca a las dos mitades en combinación.

b) Empleo de las Cartas de Control:

Si graficamos en una carta los resultados obtenidos a partir de muestras tomadas periódicamente, a intervalos frecuentes, es posible verificar por medio de ella si el proceso se encuentra bajo control o no.

Cuando un punto graficado cae fuera de los límites de control, es necesario determinar el problema que causó dicho evento dentro del proceso.

La habilidad que se tenga para interpretar las cartas de control y para determinar a partir de ellas cuál es la acción correctiva que debe llevarse a cabo, se obtiene a partir de la experiencia y el juicio altamente desarrollado. La persona que utilice el control estadístico de calidad, debe no sólo comprender los fundamentos estadísticos de la materia, sino también estar familiarizado con los procesos que desea controlar.

c) Tipos de Cartas de Control:

Existen varios modelos de las cartas de control que, además, se pueden combinar con las tablas de muestreo y las distribuciones de frecuencias.

En adelante, distinguiremos entre las cartas de control para mediciones o variables y las cartas de control por atributos, dependiendo de que si las características que estamos analizando son mediciones o - datos contados o calculados, respectivamente.

d) Cartas de Control para Mediciones (Variables):

Cuando se establece un control estadístico de calidad a través de mediciones o variables, se acostumbra ejercer tal control sobre la calidad media del proceso, al igual que sobre su variabilidad.

La primera parte se logra al graficar los promedios de las muestras extraídas periódicamente en la llamada - carta de control para los promedios, o simplemente carta \bar{X} . La variabilidad se puede controlar de igual - forma si se grafican los rangos o las desviaciones estándar de las muestras en las llamadas cartas R o cartas s, respectivamente.

La carta de control debe contener, además de los puntos que indican la resistencia obtenida de los ensa - yes, líneas que definan la resistencia promedio requerida fcr , y las líneas de resistencia mínima y máxima probable de valores individuales. Esto se puede apreciar en la figura No. 26 .

① Carta para pruebas individuales de resistencia

② Promedio variable para la resistencia

③ Promedio variable para el intervalo

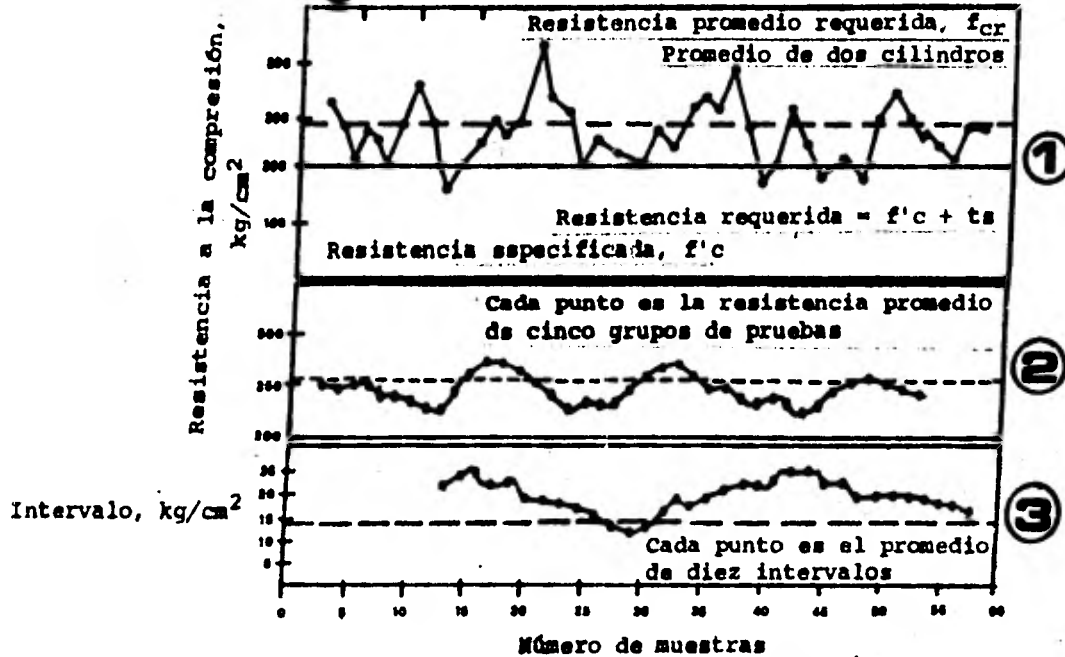


FIGURA No. 26

El valor de la resistencia promedio requerida se obtiene con las siguientes expresiones:

$$f_{cr} = \frac{f'c}{(1 - tv)} \quad \text{o} \quad f_{cr} = f'c + ts$$

en donde:

t = Constante que depende de la proporción de los resultados inferiores a $f'c$ y del número de muestras empleadas para calcular el coeficiente de variación V , el cual se encuentra tabulado en la Tabla No. 13.

v = Valor preestimado del coeficiente de variación expresado en decimal.

s = Valor preestimado de la desviación estándar y el cual se encuentra graficado en la figura No. 27.

e) Cartas de Control para Atributos:

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

TABLA NO. 13

VALORES DE t

PORCENTAJES DE PRUEBAS QUE CAEN DENTRO DE LOS LIMITES $\bar{X} \pm t s$	PROBABILIDADES DE QUE CAIGAN POR DEBAJO DEL LIMITE INFERIOR	t
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.65
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

Un ejemplo de carta de control por atributos es aquella que se aplique al revenimiento del concreto.

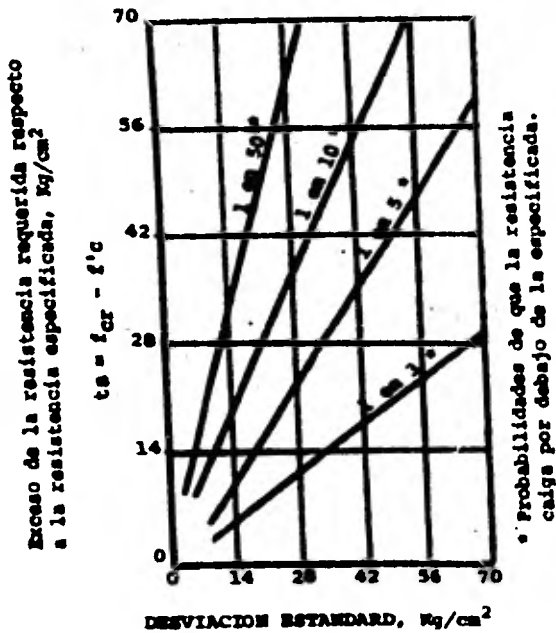


FIGURA No. 27

VI

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Dentro del presente trabajo, se trató de señalar cuáles son las principales causas por las cuales el concreto se ve afectado. De esta manera vimos cuáles son las principales características que incluye cada uno de los componentes del concreto, y en qué forma influyen éstas sobre las características del concreto producido. Al conocer estos conceptos se ve la importancia de ejercer un control efectivo de los componentes, para así evitar o reducir las variaciones perjudiciales que en ellos se presenten.

Después se trataron las propiedades y características del concreto fresco, las cuales se deben también controlar, para evitar que el concreto varíe en las características que deseamos de él.

Es importante que estemos conscientes de que, aunque hayamos llevado todos los controles estrictos a los materiales constituyentes del concreto, si a éste no lo transportamos, colocamos y compactamos de la manera más conveniente, de nada habrá servido todo el control que hayamos puesto en él.

Es muy frecuente ver en las obras cómo se descuida la última etapa del concreto producido, causando así segregación, san

grado o aceptación de un concreto deficiente, ya sea por no haberse ejecutado las pruebas para aceptarlo o haberlas hecho mal.

Lo anterior repercute en las características que tendrá el concreto endurecido, las cuales nosotros deseamos conocer, para saber si nuestra estructura funcionará de la manera que nosotros supusimos.

Es por éso que las pruebas al concreto endurecido, tanto destructivas como no destructivas, revisten una gran importancia.

Estas se hacen con el fin de comprobar que lo especificado se cumple, a través de un muestreo representativo. Estas muestras se someten a ensaye o medición y los resultados se deben analizar estadísticamente. De los estudios estadísticos y la experiencia que se tenga, se establecen ciertos valores, de coeficientes de variación, que indican qué tipo de control se tiene.

Así, para lograr un control adecuado de la calidad del concreto, se deben seguir cuidadosamente los siguientes conceptos:

1. En todos los colados tomar muestras representativas.
2. Analizar los resultados de los ensayes a tiempo.
3. Controlar la calidad para lograr economía.
4. No especificar ni aceptar especificaciones que indiquen

resistencia mínima.

5. Practicar curados acelerados y con ellos controlar la producción.

Por último, debe quedar claro que el control de calidad es un gasto que se debe llevar a cabo con el fin de producir un producto de mejores características que el que se está produciendo y, a través del control de todo el proceso para producirlo, se economiza la materia prima y se haga este producto más económico.

BIBLIOGRAFIA