

135  
28



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA**

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

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

**ULISES DANIEL ORTIZ RIVERA**

**MEXICO, D. F.**

**NOVIEMBRE - 1985**



## **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 está 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.

METODOS ESTADISTICOS PARA LA INTERPRETACION DE

RESULTADOS DE RESISTENCIA A

COMPRESION DEL CONCRETO



C A P I T U L O      V

APLICACION DE METODOS ESTADISTICOS PARA LA INTERPRETACION DE RESULTADOS -- DE ACUERDO AL ACI - 214 - 77	89
---	----

C A P I T U L O      VI

CONCLUSIONES	113
BIBLIOGRAFIA	119

## C A P I T U L O I

## I N T R O D U C C I O N .

Es un hecho frecuente que se haga alusión a la nobleza del concreto como material de construcción, en relación con las libertades que sus diversas propiedades han permitido a través de innumerables aplicaciones. No obstante puede decirse que, - un tanto paradójicamente, esa renombrada aptitud del concreto - para salir airoso de situaciones difíciles han hecho renovar el interés por obtener un conocimiento más exacto de la materia -- prima con que se han construido tantas y tan audaces obras de - Ingeniería.

Una revisión actualizada de los aspectos relacionados con la resistencia del concreto debe incluir necesariamente tanto los conceptos que son fundamentales, y que por ello han sufrido pocos cambios, como los temas relacionados con nuevos estudios, ya se trate de buscar explicaciones racionales para comportamientos conocidos o de superar características en áreas de nuevas aplicaciones.

De este modo, no olvidando las reglas básicas para la juiciosa selección y proporcionamiento de los ingredientes, y sabiendo elegir los equipos más adecuados para el mezclado, - - transporte y colocación del concreto, posiblemente se estará en aptitud de producir un concreto que, una vez endurecido, se - -

traduzca en una estructura homogénea sana y estable bajo condiciones normales de servicio. Pero ello evidentemente no sería suficiente, el concreto, que es una masa endurecida de materiales heterogéneos, está sujeto a la influencia de numerosas variables. Dependiendo de su propia variabilidad, las características de cada uno de los ingredientes del concreto pueden ocasionar variaciones en la resistencia de éste. Las variaciones también pueden ser el resultado de la aplicación deficiente de las prácticas seguidas durante la dosificación, el mezclado, la transportación, la colocación y el curado.

Además de las variables presentes en el concreto mismo, deberán tomarse en cuenta las variaciones que se tienen durante las pruebas de evaluación de su resistencia.

Por otra parte, aunque partir de premisas ciertas debe conducir a conclusiones felices, es necesario evitar caer en la falacia de "suponer" resultados correctos, no haciendo uso de procedimientos establecidos para la oportuna verificación de esos resultados y disponiendo de medios para interpretarlos debidamente.

Es pues por esto que se ha preparado este material con la esperanza de poder proporcionar al profesional interesado una herramienta más para la evaluación y el mejor conocimiento de los resultados de ensayos de resistencia a compresión del --

concreto y localizar o evitar con esto las posibles variaciones que surgieran al interpretar estos resultados, así, como el origen y causas que pudieran ocasionar a una obra en donde la resistencia del concreto sea un factor decisivo para que esta se traduzca como se dijo anteriormente en una estructura sana y estable bajo condiciones normales de servicio.

Con el fin de comprender el significado de estos ensayos es necesario conocer las propiedades de los componentes del concreto para poder visualizar las características principales del concreto fresco, continuando con las pruebas para determinar las propiedades generales del concreto endurecido, dentro de las cuales esta principalmente la de resistencia a la compresión y con esto poder observar el comportamiento del producto final mediante la interpretación de los resultados de los ensayos a compresión del concreto en cuestión, es decir, una vez teniendo estos resultados ¿Que debo hacer con ellos? ¿Cómo interpretarlos? ¿Para qué sirven?



## PROPIEDADES    INDICE DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO.

## GENERALIDADES :

Principiaremos este trabajo indicando que el concreto es un material artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas, de cemento, agregados pétreos, agua y/o aditivos. El cemento, el agua y algunas veces el aire atrapado - forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo.

El aire atrapado en el concreto puede ser incluido intencionalmente mediante un aditivo o utilizando cemento inclusor de aire.

Con frecuencia los aditivos se usan también con otros propósitos como para acelerar, retardar, mejorar la trabajabilidad, reducir los requerimientos de agua de mezclado, incrementar la resistencia o mejorar otras propiedades del concreto.

Ordinariamente, la pasta de cemento constituye del 25 al 40% del volumen total del concreto, como se muestra en la fig. II.1, el volumen absoluto de cemento está comprendido usualmente entre 7 y 15%, el agua del 14 al 21% y el agregado constituye aproximadamente del 60 al 80% del volumen total de éste.

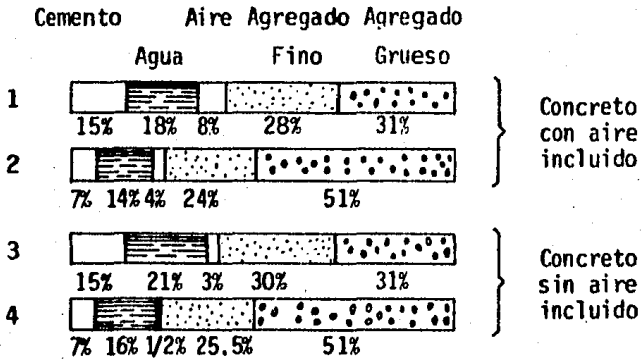


FIG. II.1 Variación en las proporciones de materiales usados en el concreto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

Las variaciones de tipos y calidad de todos estos ingredientes son muy grandes si los consideramos en términos generales. Sin embargo debemos comprender que para cada obra en especial se deben realizar las investigaciones y estudios iniciales necesarios para definir los siguientes conceptos:

- Fuentes de abastécimiento
- Tipos y características especiales dependiendo de la calidad y fin que requiera la obra.
- Diseño de proporcionamientos.
- Especificaciones de calidad del concreto.

Los técnicos encargados de efectuar estos trabajos preliminares normalmente se apoyan en las normas oficiales o reconocidas las cuales se nombrarán en su oportunidad.

Sin embargo en ocasiones se ven obligados a rebasar algunos de estos límites por las características especiales de la obra, o por las limitaciones de la región en cuanto a fuentes de abastecimiento se refiere. Estas circunstancias deben ser tomadas en cuenta en los estudios y cualquier solución propuesta debe garantizar el comportamiento correcto de la estructura, a pesar de aparentes deficiencias en los materiales.

En estos casos, las especificaciones de obra deberán abarcar y limitar en forma realista las anomalías existentes, dentro de los rangos que el especialista juzgue conveniente.

## CEMENTO PORTLAND.

El nombre de cemento Portland fue concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y una caliza obtenida en la cantera de Portland, Inglaterra.

En el sentido general de la palabra, el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra, u otros materiales similares, -- tiene la propiedad de fraguar y endurecer en virtud de que experimenta una reacción química con dicha agua, es por esto que se le denomina cemento hidráulico, la norma de calidad que rige al Cemento Portland en la República Mexicana es la Norma Oficial Mexicana NOM-C-1-1980, la cual da la siguiente definición de este producto:

Es el conglomerado hidráulico que resulta de la pulverización del Clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adicionan sulfato de calcio natural o agua y sulfato de calcio natural. A criterio del productor pueden incorporar-

se además, como auxiliares a la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto, de acuerdo con lo especificado en la NOM-C-133-1980 (Coadyuvantes de molienda empleados en la elaboración de cementos hidráulicos).

También en la norma de Cemento Portland, se define el Clinker como el mineral sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura del orden de  $1673^{\circ}\text{K}$  ( $1400^{\circ}\text{C}$ ), de materias primas de naturaleza calcarea y arcillo ferruginosa previamente trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas. Esencialmente el Clinker está constituido por silicatos, aluminio y aluminoferrito cálcicos.

#### PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

La mayor parte de las especificaciones para cemento Portland limitan la composición Química y algunas propiedades físicas de éste. El conocimiento de sus principales propiedades, es importante para poder interpretar los resultados de las pruebas a compresión del concreto.

Dentro de las propiedades Químicas es conveniente indicar cuales son los principales componentes de un cemento:

Silicato tricálcico	$C_3S$
Silicato dicálcico	$C_2S$
Aluminato tricálcico	$C_3A$
Ferroaluminato tetracálcico	$C_4AF$

Estos elementos constituyen alrededor del 90% del cemento, el otro 10% lo constituyen elementos como: yeso, cal libre, magnesio, alcalisis, etc.

A continuación se describe brevemente la función de cada uno de estos elementos en el cemento.

$C_3S$  Silicato tricálcico.

De este elemento dependen las resistencias que se obtengan hasta los 28 días aproximadamente.

$C_2S$  Silicato dicálcico.

Del  $C_2S$  dependerán las resistencias que se obtengan a partir de los 28 días.

$C_3A$  Aluminato tricálcico.

Es el elemento que más calor genera en el cemento. De éste dependen las variaciones del volumen del cemento y la formación de grietas. Este elemento es el más vulnerable al ataque de los sulfatos.

$C_4AF$  Ferroaluminato tetracálcico

Ayuda a acelerar la hidratación en el concreto.

$SO_4Ca$  Yeso

Regula la acción química entre el cemento y el agua y controla el tiempo de fraguado.

Dentro de las principales Propiedades Físicas tenemos: finura, sanidad, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, calor de hidratación y falso fraguado.

A continuación se describen las propiedades en forma breve así como la Norma en que se apoyan estas.

FINURA:

NOM-C-150-1973 determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante el Tamiz N° 80.

NOM-C-49-1970 método de prueba para la determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante el Tamiz N° 130 M.

NOM-C-55-1966 método de prueba para determinar finura de los cementantes hidráulicos (Método turbidimétrico).

NOM-C-56-1968 Método de prueba para determinar la finura de los cementantes hidráulicos (Método de permeabilidad al aire).

La finura del cemento interviene en forma determinante en la resistencia y en la hidratación de este.

Al aumentar la finura del cemento aumenta la rapidez a la que se hidrata el cemento, acelerando la adquisición de resistencia. Los efectos del aumento de finura en la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros 7 días. Al aumentar la finura, el agua necesaria para obtener un concreto con un cierto rendimiento disminuye hasta alcanzar los elevados grados de finura del tipo III o de rápido endurecimiento.

#### SANIDAD:

NOM-C-62-1968 Método de prueba para determinar la sanidad de cementantes hidráulicos.

Sanidad es la propiedad que tiene una pasta de cemento fraguado a permanecer con un volumen constante.

Estas variaciones al volumen son atribuidas a diversos compuestos, pero principalmente se presentan cuando existe cal libre después del fraguado inicial. Esta cal, al absorber agua, aumenta en forma notoria el volumen de la pasta.



En ocasiones los cambios volumétricos se presentan meses después de elaborada la mezcla, por lo que las pruebas que existen para determinar la sanidad de un cemento aceleran el tiempo de fraguado. La mayor parte de las especificaciones para el cemento limitan la proporción de magnesia y la dilatación en el autoclave. Desde la adopción de la prueba de la dilatación en el autoclave por la ASTM en 1943, prácticamente no han ocurrido casos de dilatación anormal atribuibles a la falta de firmeza.

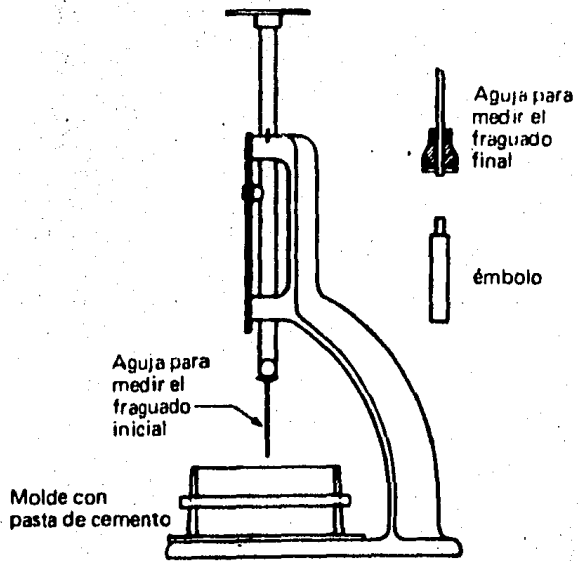
#### TIEMPO DE FRAGUADO:

NOM-C-58-1967 Determinación del tiempo de fraguado en cementantes hidráulicos (Método de Gillmore).

NOM-C-59-1968 Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de Vicat).

Considerando que el fraguado es el proceso mediante el cual una pasta de cemento pasa del estado fluido al estado sólido, el proceso ha sido dividido en 2 etapas para su correcto estudio:

Fraguado Inicial.- Considerado desde el momento en que el agua entra en contacto con el cemento, hasta que la aguja del aparato llamado de Vicat (Fig. 11.2) penetra 5 mm. en la mezcla.



**FIG. II. 2 APARATO DE VICAT.**

Fraguado Final.- Para poder determinar cuando ocurre esta etapa, es necesario recurrir a una aguja de sección cuadrada de 1 mm. con un cono ahuecado de manera que tenga una arista cortante de 5 mm. de diámetro y colocado 0.5 mm. arriba del extremo de la aguja. Al poner estos implementos en contacto con la pasta, la aguja dejará una marca, no así el filo cortante del cono.

#### FALSO FRAGUADO

NOM-C-132-1970 Determinación del fraguado falso del cemento Portland por el método de pasta.

Este fenómeno se presenta pocos minutos después de que el cemento ha hecho contacto con el agua. Consiste en el endurecimiento casi inmediato, es decir antes del tiempo normal de fraguado, de la mezcla.

La causa del fraguado falso se origina cuando se deshidrata el yeso contenido en el cemento. Esta deshidratación ocurre en los molinos donde el clinker y el yeso se muelen conjuntamente para obtener el cemento.

Al presentarse el fraguado falso, es recomendable dejar reposar la mezcla durante 5 minutos y remezclar nuevamente por espacio de 3 minutos.

## RESISTENCIA A LA COMPRESION

NOM-C-61-1976 Determinación de la resistencia a la --  
presión de cementantes hidráulicos.

La resistencia a la compresión del cemento Portland, -  
según lo especifica la NOM, es la obtenida en pruebas de cubos  
estandar de 2 pulgadas. Estos cubos se hacen y curan de la ma-  
nera prescrita usando una "arena estandar". Las resistencias a  
las diferentes edades son indicadoras de las características --  
del cemento para adquirir resistencia, pero no pueden usarse pa  
ra predecir las resistencias del concreto con precisión a causa  
de las muchas variables que intervienen en las mezclas de con-  
creto.

## CALOR DE HIDRATACION.

El calor de hidratación es el generado cuando reaccio-  
nan el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depen-  
de principalmente de la composición química del cemento; a la -  
tasa de generación de calor la afecta la finura y temperatura -  
de curado, así como la composición química. En algunas estruc-  
turas, como aquellas de gran masa, la rapidez y la cantidad de-  
calor generado son importantes ya que si no se disipa este ca-  
lor rápidamente, puede ocurrir una importante elevación de tem-  
peratura en el concreto, acompañado de una dilatación térmica.

## PERDIDA POR IGNICION

La pérdida por ignición del cemento Portland se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido al rojo vivo (de 900 a 1000°C) hasta obtener un peso constante. Posteriormente se determina la pérdida de peso de la muestra. Normalmente, la pérdida de peso no excede del 2 por ciento. Una elevada pérdida por ignición es una indicación de prehidratación o carbonatación que puede ser producida por un almacenamiento incorrecto y prolongado.

### PESO ESPECIFICO:

NOM-C-152-1970 Método de prueba para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos.

El peso específico del cemento Portland generalmente es de 3.15. El cemento Portland de escorias de altos hornos puede tener pesos específicos de aproximadamente 2.90. El peso específico de un cemento no indica la calidad del mismo pero su uso principal es para el diseño de mezclas.

## TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Los diferentes tipos de cemento Portland se fabrican para satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas y para objetos especiales.

La NOM-C-1-1980 Clasifica al cemento Portland en cinco tipos:

TIPO I. Común. Para uso general en construcciones de concreto cuando no se requieran las propiedades especiales de los tipos II, III, IV, y V. Es decir se usa donde el cemento o el concreto no está sujeto al ataque de factores específicos, como a los sulfatos del suelo o del agua, o a elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado en la hidratación. Entre sus usos incluyen pavimentos y aceras, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para ferrocarriles, tanques y depósitos, alcantarillas, tuberías para agua, mamposteo, etc.

TIPO II. Modificado. Destinado a construcciones de concreto expuestos a una acción moderada de los sulfatos o cuando se requiera un calor de hidratación moderado, como en las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfato en las aguas subterráneas sean algo más elevadas que lo normal, pero normalmente no muy graves. Si se especifica el calor máximo de hidratación para el cemento, puede usarse este tipo de cemento en las estructuras de gran masa, como en las grandes pilas, estribos gruesos, y en los muros de contención gruesos. Con su uso, se disminuye al mínimo la elevación de temperatura, lo que es especialmente importante cuando el concreto se cuele en climas cálidos.

TIPO III. De Rápida Resistencia Alta. Para la elaboración de concretos en los que se requiera una alta resistencia a temprana edad. Se usa cuando se tienen que retirar las cimbras o moldes lo más pronto que sea posible, o cuando la estructura se debe poner en servicio rápidamente. En tiempo frío, su uso permite reducir el período de curado controlado.

TIPO IV. De bajo calor. Cuando se requiera un reducido calor de hidratación. Sus propiedades son las necesarias para usarse en estructuras de concreto de gran masa, como las grandes presas de gravedad, donde la elevación producida en la temperatura por el calor generado durante el endurecimiento es un factor crítico.

TIPO V. De alta resistencia a los sulfatos. Cuando se requiera una alta resistencia a la acción de los sulfatos. Es decir, principalmente donde los suelos o el agua subterránea tenga una concentración elevada de sulfatos.

Además de estos cinco tipos de cemento la industria cementera mexicana produce los siguientes tipos de cemento Portland:

Blanco

Portland-Puzolana

Portland-Escoria de Alto Horno

Cemento de Albañilería.

#### CEMENTO PORTLAND BLANCO.

Este cemento puede ser clasificado como Tipo I o Tipo III según satisfaga los requerimientos de la NOM-C-1-1980 para los tipos mencionados. El bajo contenido de óxido férrico (menor a un 0.5%), origina su color blanco, en su fabricación se utiliza caolin (material blanco cuyos componentes son sílice, óxido de aluminio y óxido férrico en mínima proporción) en lugar de arcilla.

Sus aplicaciones están condicionadas a elementos constructivos de acabado aparente, algunos ejemplos de la utilización del cemento blanco los tenemos en: fachadas prefabricadas para edificios, elaboración de piedras artificiales, mosaicos, terrazos, pisos, juntas, base para la fabricación de pintura, etc.

#### CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana el cemento Portland Puzolánico, es el conglomerante hidráulico que se obtiene de la molienda conjunta de clinker Portland, puzolana y sulfato de calcio natural, que le imparten un calor de hidratación moderado. Cuando se requiera una resistencia moderada a la acción de los sulfatos, el clinker Portland que se emplee contendrá -- como máximo, 8% del aluminato tricálcico. La cantidad de puzolana constituirá del 15 al 40% en peso del producto.



Algunas puzolanas naturales que se emplean en la fabricación del cemento Portland-Puzolana, son: cenizas volcánicas, pomez, tierra de diatomáceas, pizarras, esquistos, etc. pero -- también pueden ser utilizados ciertos subproductos industriales como cenizas volantes, determinados tipos de escoria o algunos materiales activados por calentamiento.

En la NOM-C-2-1970 se especifican los requisitos químicos y físicos que deberá satisfacer este cemento Portland Puzolana.

#### CEMENTO DE ESCORIAS

##### NOM-C-184-1970 Cemento de escoria

En este grupo de cementos, existen 3 tipos, diferenciados cada uno por la característica de la escoria y del aglomerante utilizado.

La fabricación de este cemento requiere de la mezcla - en frío de los siguientes elementos previamente pulverizados; - escoria ácida, cal (hidratada o hidráulica) y un sulfato que actuará como acelerador del proceso de fraguado.

Debido a las escorias, el fraguado al aire de un concreto elaborado a base de cemento de escorias es lentísimo, en medios sumergidos o semihúmedos es donde mayor resistencia alcanza. Durante su hidratación desprende poco calor, pero además es muy sensible a las bajas temperaturas, ya que estas retardan su fraguado y disminuyen su resistencia.

Se recomienda su utilización en colados donde se requieran grandes volúmenes de concreto.

## CEMENTO PORTLAND DE ALTOS HORNOS.

La obtención de este cemento requiere de la molienda conjunta de clinker, escoria granulada de alto horno y yeso. Las escorias constituyen de un 30% a un 70% del volumen total del cemento.

Para enfriar el clinker Portland, es suficiente el aire a la salida del horno rotativo, en cambio las escorias de alto horno requieren de chorros de agua o tanques con agua para poder enfriarlas.

La molienda de los elementos antes citados deberá efectuarse con todos los componentes ya fríos.

Debido a que las escorias son muy frágiles, este tipo de cemento resulta por lo general de una finura mayor que la de los cementos Portland.

Sus propiedades lo hacen más resistente al ataque de las aguas agresivas.

El bajo calor de hidratación que desprende durante su fraguado, lo hace ideal para obras hidráulicas, pero por sus características puede ser empleado en cualquier tipo de estructura.

## CEMENTO DE ALBAÑILERIA

La obtención de este cemento se logra por la molienda conjunta del clinker, calizas, y yeso, a veces cierto tipo de materiales puzolánicos y en algunas ocasiones la adición de algún agente inclusor de aires.

Este cemento, debidamente mezclado con arena fina y agua produce un mortero plástico y cohesivo. Su tiempo de fraguado es menor y se logran mayores resistencias que con un mortero elaborado con cualquier otro tipo de cemento.

Otras propiedades que posee este tipo de cemento hidráulico son: menores cambios volumétricos, mayor poder de retención del agua y gran trabajabilidad.

## A G U A

Casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para mezclar concreto puede no servir para beberla.

Puede usarse agua cuyo comportamiento no se conozca para hacer concreto, si los cubos de mortero hechos con esa agua alcanzan resistencias a los 7 y a los 28 días iguales a la de - cuando menos el 90% de muestras en que se hayan empleado agua - potable. Además, deben hacerse pruebas para tener la seguridad de que no afecta desfavorablemente el tiempo de fraguado del cemento por las impurezas contenidas en el agua de mezcla. Cuando son excesivas las impurezas contenidas en el agua de mezcla, pueden afectar no solamente el tiempo del fraguado, la resistencia del concreto, la constancia de volumen, sino que pueden hasta producir eflorescencia o corrosión del refuerzo.

Para determinar las características que presenta el -- agua para concreto, se deben utilizar las muestras tal como se reciben y de acuerdo con la NOM-C-277-1980 (Método para obtener una muestra representativa de agua para concreto), - - - - además de analizar, cuando menos, tres muestras representativas.

Los métodos de análisis que se deben aplicar al agua para obtener sus características se especifican en la NOM-C- - 283-1982 "agua para concreto" y son:

1. Determinación de aceite, grasa y sólidos en sus--  
pensión.
2. Determinación de la suma de carbonatos y bicarbo-  
natos como  $\text{CO}_3^=$ .
3. Determinación de sulfatos como  $\text{SO}_4^=$
4. Determinación de cloruros como  $\text{Cl}^=$
5. Determinación de la materia orgánica por el oxíge  
no consumido.
6. Determinación del magnesio  $\text{Mg}^{++}$ .
7. Determinación de  $\text{CO}_2$  disuelto
8. Determinación del PH
9. Determinación de impurezas en solución
10. Determinación de alcalis como  $\text{Na}^+$

## A G R E G A D O S .

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

Estos se pueden clasificar de acuerdo a las siguientes características:

Por su origen

Por su peso

Por su tamaño

Por su forma y textura

## CLASIFICACION POR SU ORIGEN

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

Rocas ígneas

Rocas sedimentarias

Rocas metamórficas

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

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



## CLASIFICACION POR PESO.

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

## CLASIFICACION POR TAMAÑO

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

La importancia de clasificar los agregados en grueso y fino es primordialmente para lograr, en la práctica, una combinación adecuada de estas dos fracciones, asegurando así una com

posición granulométrica correcta y suficientemente uniforme para obtener el producto final deseado.

#### CLASIFICACION POR SU FORMA Y TEXTURA

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

Redondeada

Irregular

Lajeada

Angular

Elongada

Otro ejemplo es el siguiente:

Muy redonda

Redonda

Subredonda

Subangular

Angular

A la vez la textura puede clasificarse como sigue:

Vitrea

Lisa

Granular

Aspera

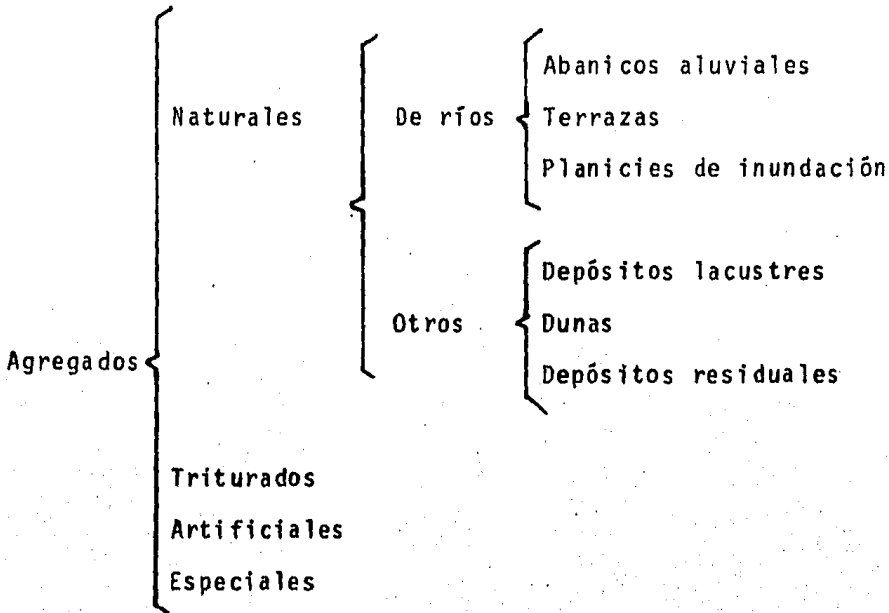
Cristalina

Porosa

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

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

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



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

Las lutitas, arcillas, pizarras y escoria esponjadas se usan como agregados para producir concretos estructurales ligeros, con pesos unitarios que varían de 1300 a 1800 kilogramos por metro cúbico y otros materiales ligeros como la piedra pómez, la escoria, la perlita, la vermiculita y la diatomita se usan para producir concretos aisladores que pesan de 240 a 1400 kilogramos por metro cúbico. Los materiales muy densos como la

barita, limonita, magnetita, ilmenita, hierro y partículas de acero se usan para producir concreto muy denso.

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

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

## PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

Composición granulométrica

Peso específico

Absorción

Peso volumétrico

Sanidad

Resistencia

Resistencia al desgaste

Reacción alcali-agregado

Forma y textura superficial de las partículas

#### COMPOSICION GRANULOMETRICA.

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

Las variaciones en graduación de los agregados alteran a una serie muy compleja de factores, empezando por el área específica del material pétreo, que a su vez afecta a la trabajabilidad del concreto y a la demanda de agua y cemento. Como resultado también se afecta a la compactación de la masa de concreto y otras características tales como el acabado, la segregación y el sangrado.

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

### PESO ESPECIFICO, ABSORCION Y PESO VOLUMETRICO

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

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

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

Por su parte, la absorción proporciona idea de la poro

sidad del material, que estará influenciado a su vez a características tales como su densidad aparente, textura, demanda de agua y resistencia estructural.

## SANIDAD

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

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

## RESISTENCIA

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

Se pueden considerar dos tipos principales de resisten



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

### RESISTENCIA AL DESGASTE

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

El método de prueba más común para la resistencia al -- desgaste es el método del tambor giratorio de Los Angeles (NOM-C-196-1978). Sin embargo, la comparación de los resultados de las pruebas de desgaste de los agregados con las hechas para determinar la resistencia al desgaste del concreto no muestran -- una correlación directa. La resistencia al desgaste del concreto puede determinarse con más precisión mediante pruebas de desgaste en el mismo concreto.

## REACCION ALCALI-AGREGADO (NOM-C-298-1980)

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

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

## FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que en el concreto endurecido. Las partículas de superficie rugosa o las planas y alargadas requieren más agua para producir un concreto manejable que los agregados redondeados o con partículas cuboides. Por tanto, las partículas del agregado que son angulares requieren más cemento para mantener la misma relación

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

En la siguiente tabla se resumen las características antes mencionadas.

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

## SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LOS AGREGADOS.

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, carbón de piedra, lignito y algunas partículas blandas y ligeras. La mayor parte de las especificaciones limitan las cantidades permisibles de estas sustancias en los agregados.

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

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

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

Propiedad del Concreto	Propiedad Sobresaliente del Agregado
<b>DURABILIDAD:</b>	
Resistencia al congelamiento y deshielo	Sanidad Porosidad Permeabilidad Grado de Saturación Resistencia a la tensión Textura Presencia de Arcilla
Resistencia al mojado y secado	Estructura de los Poros Módulo de Elasticidad
Resistencia al calentamiento y enfriamiento	Coeficiente de expansión térmica
Resistencia a la abrasión	Dureza
Reacción álcali-agregados	Presencia de ciertos componentes silícicos
<b>RESISTENCIA:</b>	Resistencia Textura superficial Limpieza Forma de la partícula Tamaño máximo
<b>CONTRACCION:</b>	Módulo de elasticidad Forma de la partícula Granulometría Limpieza Tamaño máximo Porcentaje de arcilla
<b>COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA:</b>	Coeficiente de expansión térmica Módulo de elasticidad
<b>CONDUCTIVIDAD TERMICA:</b>	Conductividad térmica
<b>CALOR ESPECIFICO:</b>	Calor específico

**Propiedad del Concreto****Propiedad sobresaliente del Agregado**

---

**PESO VOLUMETRICO:**

---

**Densidad  
Forma de la partícula  
Granulometría  
Tamaño máximo****MODULO DE ELASTICIDAD:****Módulo de elasticidad  
Relación de Poisson****DESLIZAMIENTO:****Tendencia al pulimento****ECONOMIA:****Forma de la partícula  
Granulometría  
Tamaño máximo  
Cantidad de procesamiento  
Disponibilidad**

## CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO.

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

### CARACTERISTICAS PRINCIPALES

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

#### UNIFORMIDAD

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

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

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

#### TRABAJABILIDAD

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

#### SEGREGACION Y SANGRADO

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

Se conoce como segregación a la separación de los elementos que forman una mezcla heterogénea de modo que su distribución deje de ser uniforme. En el concreto se presenta debido a la diferencia de tamaño de las partículas y a la densidad de los componentes.



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

## FRAGUADO

Se entiende por fraguado al cambio de un fluido al estado rígido. En concreto se emplea para describir la rigidez de la mezcla. En forma arbitraria para el concreto, se emplean dos términos: Fraguado inicial y Fraguado final. Se dice que el concreto alcanza el Fraguado inicial cuando su resistencia a la penetración es de (35 kg/cm<sup>2</sup>): el Fraguado final se alcanza cuando la resistencia a la penetración es de (280 kg/cm<sup>2</sup>).

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

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

## PRIMERA ETAPA

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

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

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

### Depósito y tolvas

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

### Báscula

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

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

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

#### Medidores de agua

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

#### Medidores de aditivos

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

#### Mezcladoras y revolvedoras

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

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

## P R U E B A

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

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

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

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

b) Tolerancias en la medida de los materiales.

#### CEMENTO

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

#### AGREGADOS

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

## AGUA

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

## ADITIVOS

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

## SEGUNDA ETAPA

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

### TRABAJABILIDAD

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

#### REVENIMIENTO

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

El ensaye que con mayor frecuencia se realiza en las obras, es la determinación rutinaria de la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, esto es debido principalmente a su facilidad y al hecho de que se obtienen resultados inmediatos. Se puede considerar al valor del revenimiento como indicativo de la uniformidad en la relación agua-cemento, para una relación grava-arena determinada. La variación en el revenimiento es con frecuencia un medio para detectar variacio-



nes en la relación agua-cemento, por lo que es posible utilizar esta prueba como un criterio para la aceptación o rechazo del concreto fresco, desde el punto de vista de las variaciones que esto podría ocasionar en la resistencia, además de los efectos que puede ocasionar en los procesos de transporte, colocación, compactación y acabado del concreto en la estructura.

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

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

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

En la NOM-C-155-1984 "Concreto Premezclado" y ASTM-C-94, se establecen las siguientes tolerancias en la medida del revenimiento:

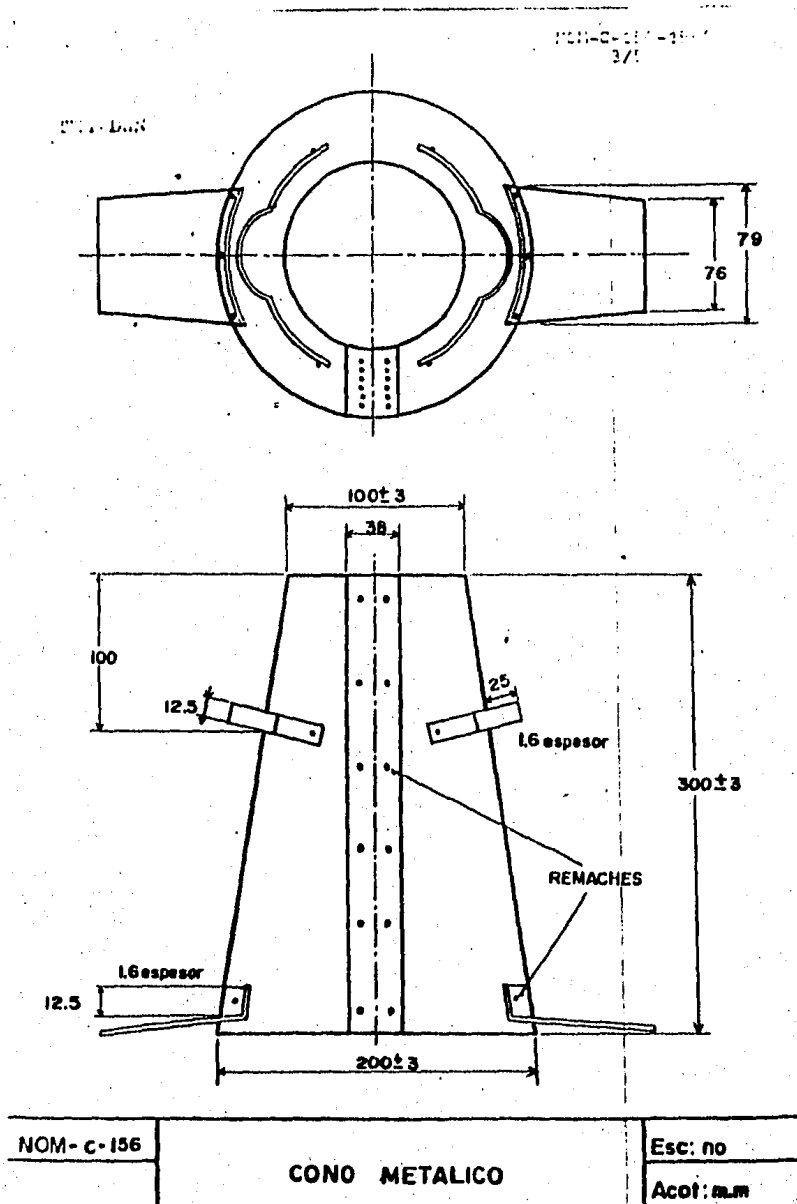


FIG. III.1 EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DEL REVENIMIENTO

Revenimiento Especificado	Tolerancia	
	NUM.	ASTM
Hasta 5 cm.	$\pm 1.5$ cm.	$\pm 1.3$ cm.
Más de 5 hasta 10 cm.	$\pm 2.5$ cm.	$\pm 2.5$ cm.
Más de 10 cm.	$\pm 3.5$ cm.	$\pm 3.8$ cm.

### FACTOR DE COMPACTACION

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

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

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

#### ESFERA DE KELLY

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

#### PRUEBA DE REMOLDEO DE POWERS.

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

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

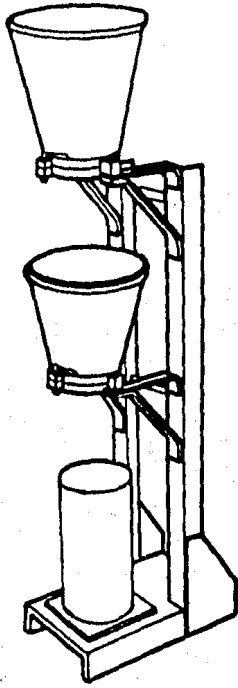
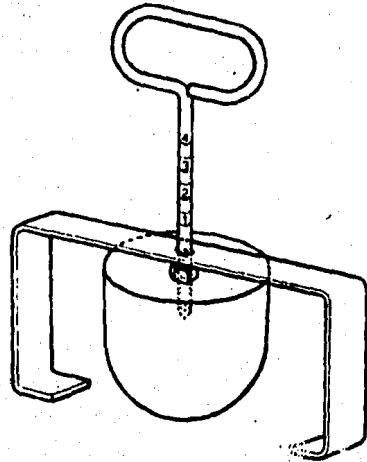


FIG. III.3 ESFERA DE KELLY.



## PRUEBA VEBE

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

## CONTENIDO DE AIRE

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

## TIEMPO DE FRAGUADO

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

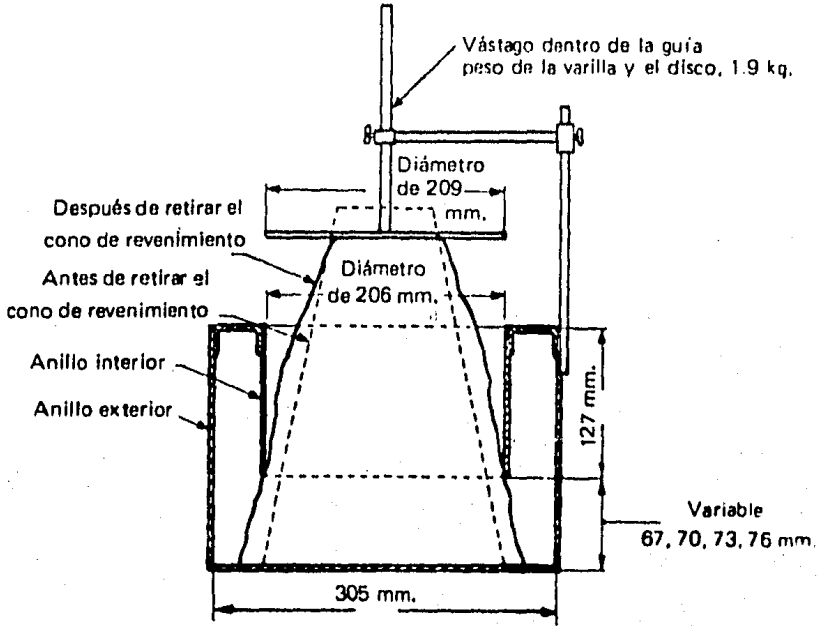


FIG. III. 4. APARATO PARA LA PRUEBA DE REMOLDEO.

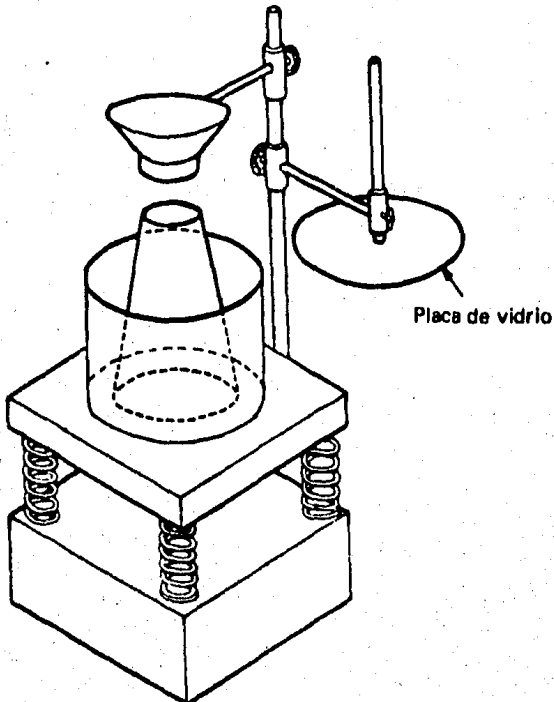


FIG. III. 5 APARATO  
VEBE

## PESO VOLUMETRICO

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

## ANALISIS DEL CONCRETO FRESCO

En la actualidad, principalmente en obras de gran magnitud, se realiza la determinación de la composición del concreto para conocer básicamente la relación agua-cemento o simplemente el consumo de cemento. Pueden ser dos los objetivos que se buscan con la realización de estas pruebas; el primero de ellos es con fines de controlar la producción del concreto conociendo los consumos reales de cemento; el segundo objetivo es emplearlo como un procedimiento acelerado para predecir la resistencia del concreto mediante la determinación de la relación agua-cemento.



PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES  
GENERALES DEL CONCRETO ENDURECIDO

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

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

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

- Resistencia a la Compresión Simple
- Resistencia a la Tensión
- Resistencia a la Flexión
- Resistencia al Esfuerzo Cortante
- Resistencia a la Compresión Triaxial
- Resistencia a la Torsión
- Resistencia al Impacto
- Resistencia a la Fatiga

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

De éstas la resistencia del concreto endurecido, se -- considera como su propiedad más importante, sin embargo, en algunos casos especiales, otras propiedades, tales como: impermeabilidad, durabilidad, conductividad térmica, etc., pueden resultar más valiosas. Además, muchas de las características deseables del concreto, aunque no todas, se relacionan cualitativamente con su resistencia a la compresión, ya que ésta ofrece un

panorama general de la calidad del concreto, porque está relacionada directamente con la estructura de la pasta de cemento endurecido. Sin embargo, la razón principal consiste en la importancia intrínseca que tiene dicha resistencia en el comportamiento de las estructuras de concreto, bajo la gama total de solicitudes a que pueden quedar sujetas.

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

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

## PRUEBA DE FLEXION

El índice de resistencia a la flexión de concreto simple se obtiene del ensaye de vigas de sección cuadrada, simplemente apoyadas y sujetas a una o dos cargas concentradas, como puede observarse en la figura IV.1. Como en el caso de Pruebas de resistencia a la compresión, (NOM-C-84-1966) existen Normas en las cuales se especifica también el modo de muestreo, el curado y las condiciones del ensaye, en nuestro medio, las normas usuales están basadas, entre otras, en las NOM-C-161-1974, - C-160-1976.

La resistencia en la flexión es mayor en especímenes sujetos a una carga concentrada que en aquellos sujetos a dos cargas simétricas porque en el segundo caso la zona de esfuerzos máximos se presentan en una porción mayor del espécimen, lo que aumenta las posibilidades de que una región de menor resistencia que la promedio se encuentre en dicha zona: como puede observarse en la figura IV.2, donde se presentan los resultados de módulos de ruptura de vigas de diferentes tamaños, sometidas a cargas concentradas en el centro y a los tercios del claro.

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

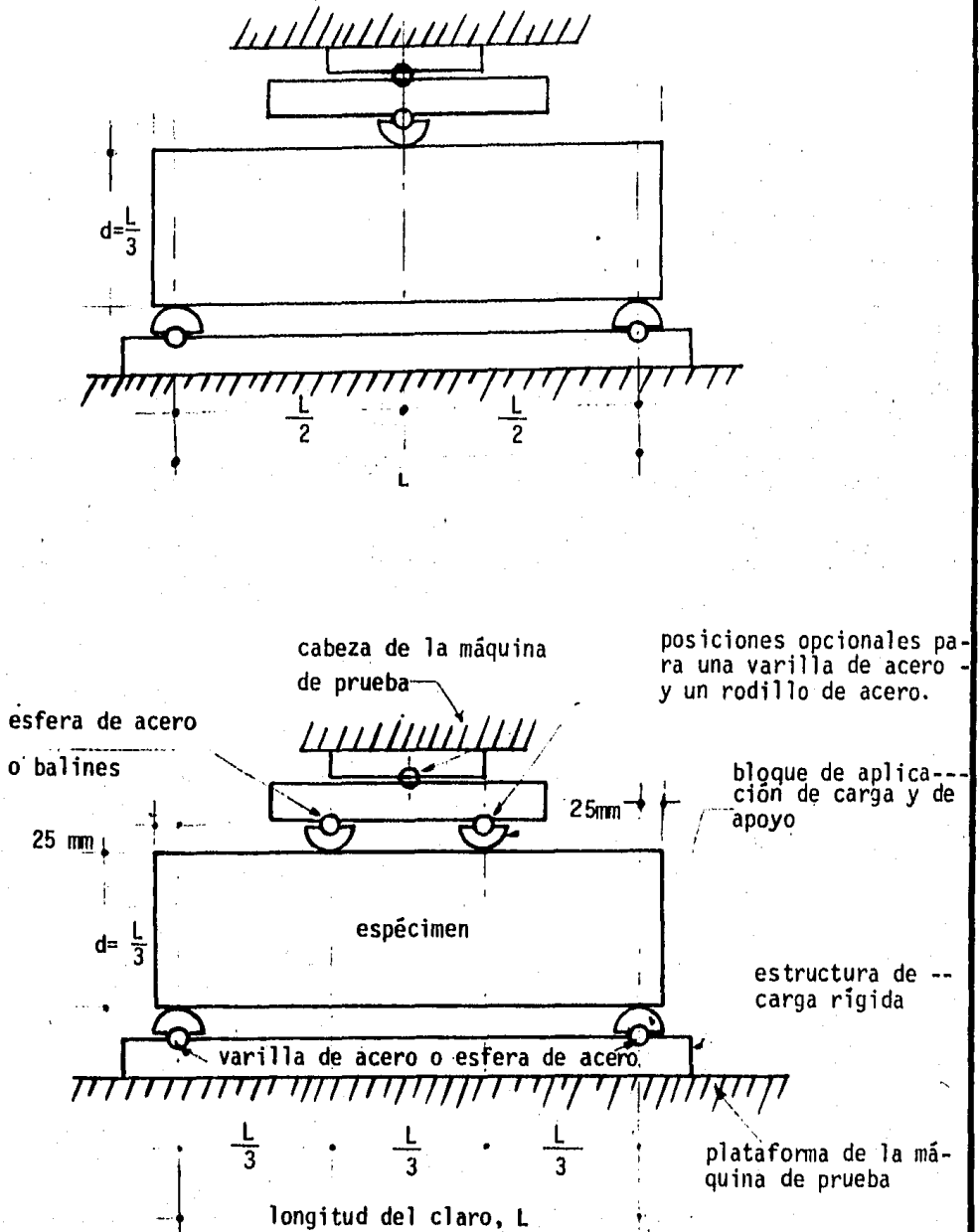


FIG. IV.1 EQUIPO PARA ENSAYAR A FLEXION POR EL METODO DE CARGA EN LOS TERCIOS Y AL CENTRO DEL CLARO

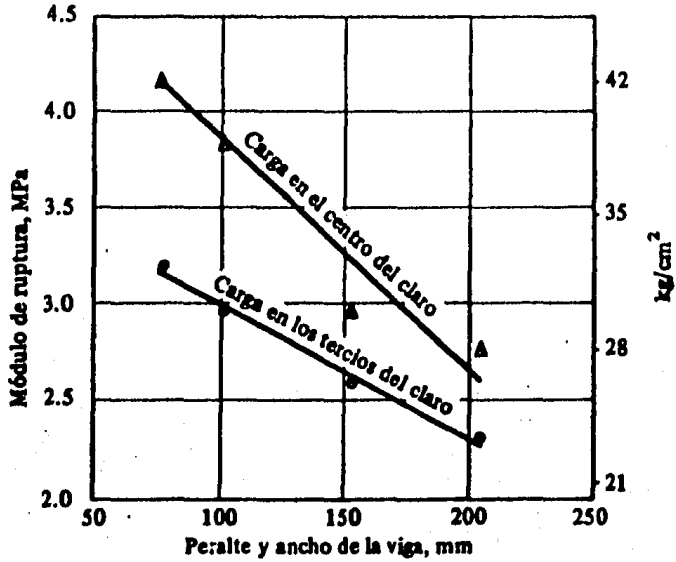


FIG. IV. 2 MODULO DE RUPTURA DE VIGAS DE DIFERENTES TAMAÑOS.

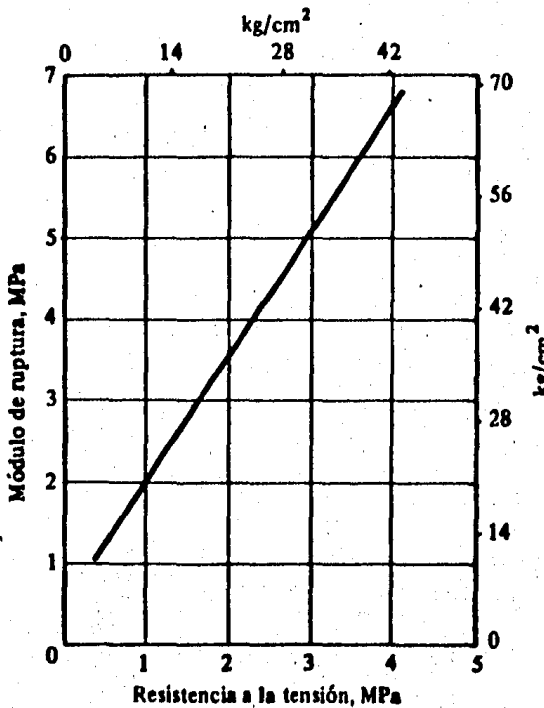


FIG. IV. 2

RELACION ENTRE EL MODULO DE RUPTURA Y LA RESISTENCIA EN TENSION DIRECTA.

## PRUEBA BRASILEÑA DE TENSION

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

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

En esencia consiste en someter un cilindro a compresión lineal diametral, como se muestra en la figura IV.3, la -- carga se aplica a través de un material relativamente suave, como triplay o corcho. Si el material fuera perfectamente elástico, se originarían esfuerzos de tensión uniformemente distribuidos en la mayor parte del plano diametral de carga, como se -- muestra en la figura IV.3. La resistencia en tensión se calcula con la expresión.

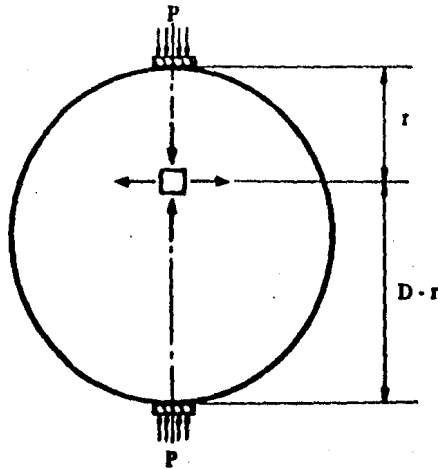


FIG. IV. 3 PRUEBA BRASILEÑA DE TENSION

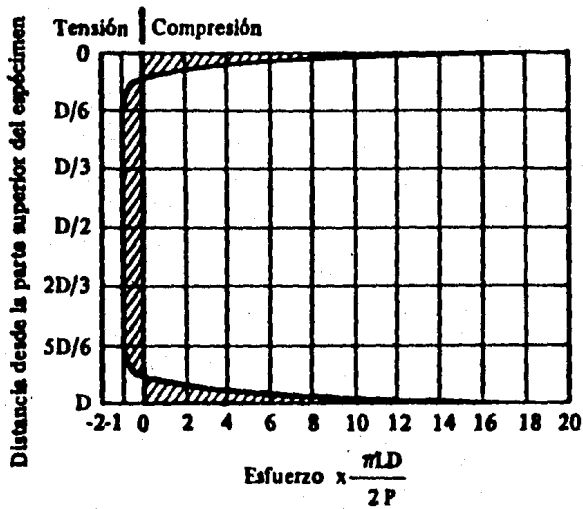


FIG. IV. 3 DISTRIBUCION DEL ESFUERZO HORIZONTAL EN UN CILINDRO CARGADO SOBRE UN ANCHO IGUAL A 1/12 DEL DIAMETRO



$$f_t = \frac{2P}{DL}$$

Dónde

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

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

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

## RESISTENCIA A LA COMPRESION

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

## PRUEBAS DE CORAZONES

Cuando por algún motivo existen dudas sobre la resistencia de un elemento de concreto, se procede a extraer un corazón por medio de una herramienta cortante giratoria con diamante en sus bordes, estos especímenes pueden ser cilindros o prismas, dependiendo si se requieren para determinar la resistencia a la compresión o a la flexión, respectivamente. En la fig. -- IV.4, se presenta un equipo de extracción de corazones.

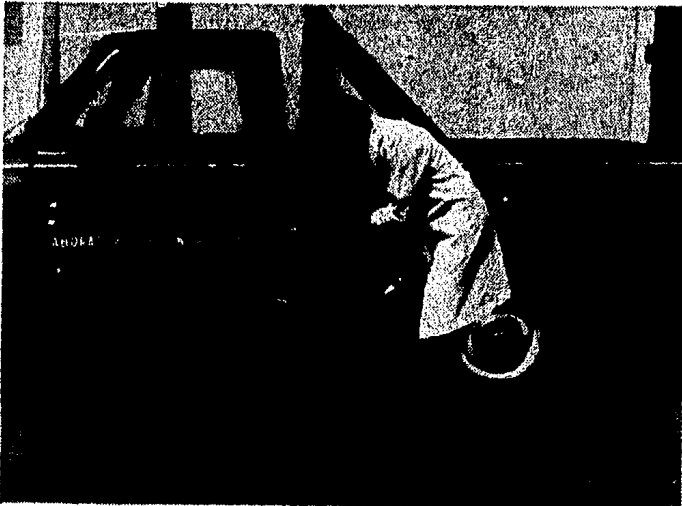


FIG. IV.4 EQUIPO PARA LA EXTRACCION DE CORAZONES.

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

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

#### PRUEBA DEL MARTILLO DE REBOTE

Se han realizado diversos intentos para elaborar pruebas no destructivas, pero pocas han tenido éxito. Uno de los métodos que se le a encontrado aceptación práctica, dentro de alcances limitados, es el de martillo de rebote, una prueba se llama también prueba de martillo de impacto o del esclerómetro; en la figura IV.5 se muestra un esquema de éste.

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

Esta prueba determina, en realidad, la dureza de la superficie de concreto y, aún cuando no existe una relación simple entre la dureza y la resistencia del concreto, se puede determinar relaciones empíricas para concretos similares, como la mostrada en la figura IV.6 y IV.7, donde podemos observar, que el número de rebote se ve afectado por factores tales como grado de saturación de la superficie, entre otros.

Esta prueba tiene carácter tan solo comparativo, y no se justifican las afirmaciones de algunos fabricantes de que el número de rebote puede convertirse directamente a un valor de resistencia a la compresión. De cualquier manera, la prueba es

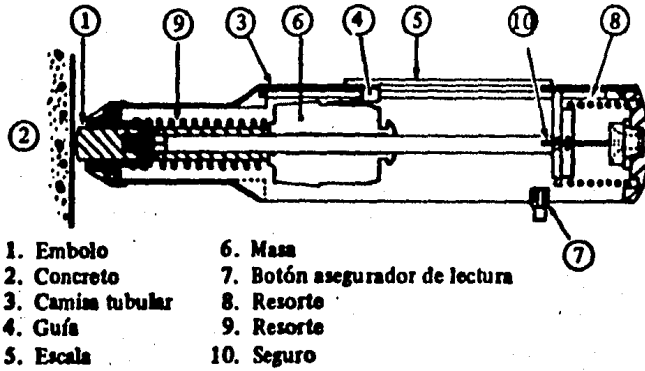


FIG. IV. 5 MARTILLO DE REBOTE.

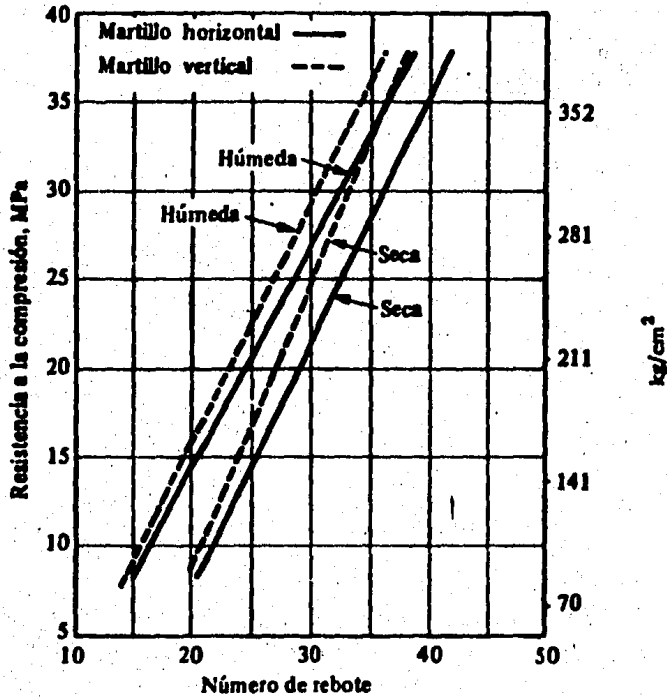


FIG. IV. 6 RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS Y EL NUMERO DE REBOTE, PARA LECTURAS DE MARTILLO EN POSICION HORIZONTAL Y VERTICAL, SOBRE UNA SUPERFICIE DE CONCRETO HUMEDA Y SECA.

útil como medida de la uniformidad del concreto y tiene gran valor para verificar la calidad del material sobre toda una estructura, es especial cuando se cuenta con una correlación entre el número de rebote y la resistencia a la compresión, determinadas en pruebas destructivas del mismo tipo de concreto. -- Una utilidad más es, durante la construcción de una estructura de concreto, probar con el martillo para determinar si el número de rebote alcanza un valor que se conoce como correspondiente a la resistencia deseada.

## PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PENETRACION.

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



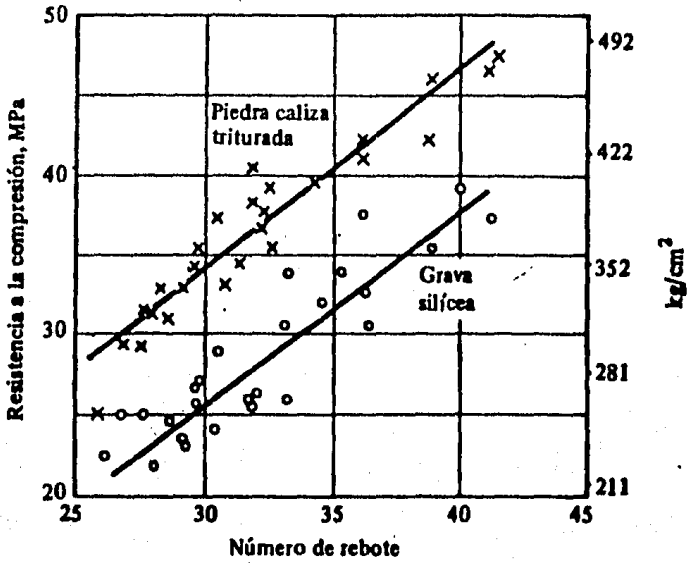


FIG. IV. 7 RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y EL NUMERO DE REBOTE.

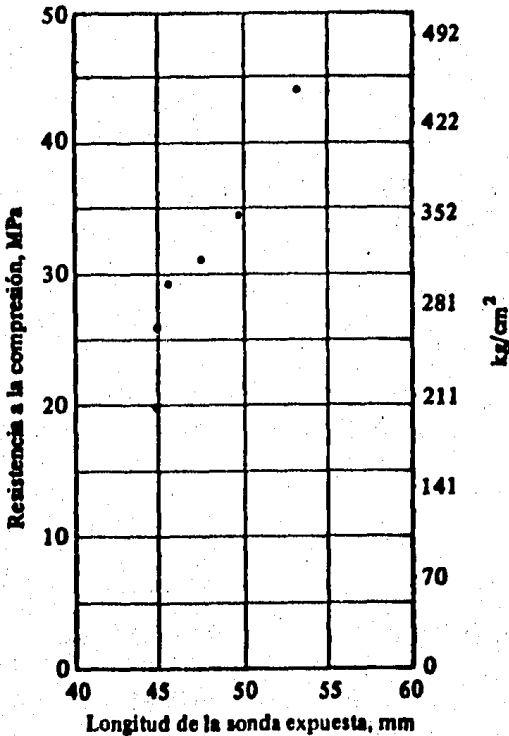


FIG. IV. 8

RELACION ENTRE LA LONGITUD EXPUESTA DE LA SONDA Y LA RESISTENCIA DE CUBOS ASERRADOS DE 152 MM A LA EDAD DE 35 DIAS.

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

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

## PRUEBA DE PULSO ULTRASONICO

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

La velocidad de onda no se determina directamente, sino se calcula a partir del tiempo que tarda un pulso en recorrer una distancia medida. Este pulso ultrasónico, se mide mediante un aparato de pulso ultrasónico, como el representado esquemáticamente en la figura IV.9, y cuya técnica se describe en la Norma B.S 4408: parte 5.

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

La técnica de velocidad de un pulso ultrasónico se usa como medio de control de calidad en productos que supuestamente están elaborados de concretos semejantes, así, se detectan con facilidad la falta de compactación y un cambio en la relación agua/cemento. Sin embargo, la técnica no se puede emplear para determinar la resistencia en concretos elaborados con distintos materiales en proporciones desconocidas, no obstante, es posible hacer una clasificación de la calidad del concreto, como la mostrada en la tabla de la fig. IV. 10.

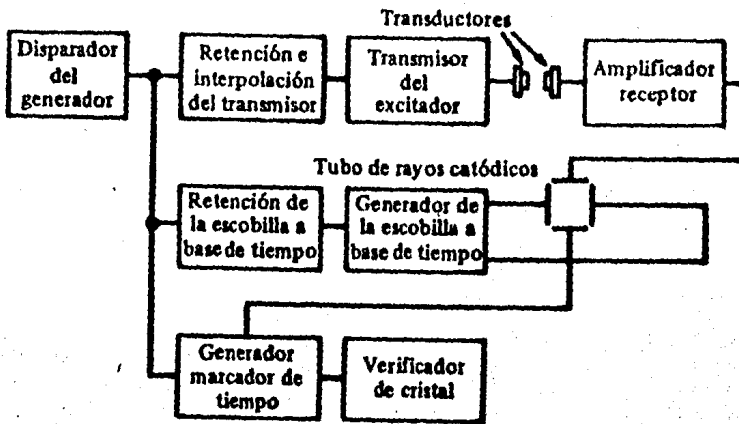


FIG. IV. 9 ESQUEMA DEL APARATO DE PULSO ULTRASONICO.

FIG. IV. 10 CLASIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO CON BASE EN LA VELOCIDAD DE PULSO.

<i>Velocidad longitudinal del pulso km/s</i>	<i>Calidad del concreto</i>
> 4.5	Excelente
3.5-4.5	Buena
3.0-3.5	Dudosa
2.0-3.0	Deficiente
< 2.0	Muy deficiente

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

#### PRUEBA DE EXTRACCION

Es una prueba que mide, mediante un ariete de tensión, la fuerza requerida para desprender una varilla de acero, con su extremo de mayor sección transversal previamente empotrada - generalmente de 25 mm. de diámetro (fig. IV.11). Durante la operación se extrae un cono de concreto y la fuerza requerida para ello está relacionada con la resistencia a la compresión del concreto original.

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

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

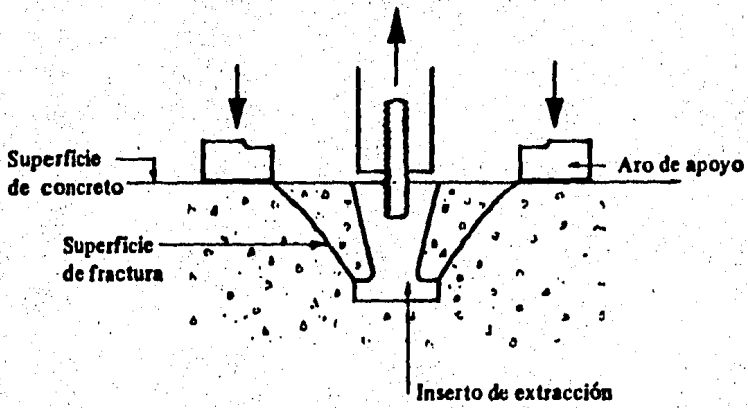
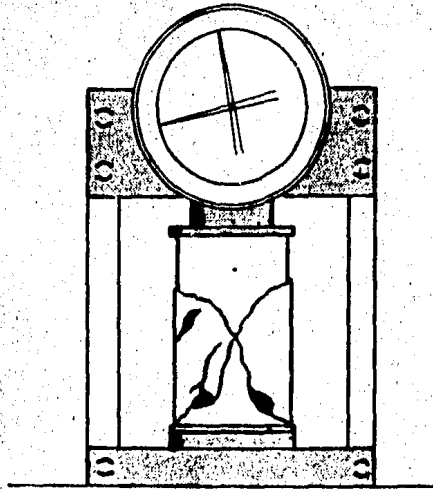


FIG. IX. II REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA PRUEBA DE EXTRACCION.

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





PRUEBA A COMPRESION SIMPLE

## PRUEBA A LA COMPRESION SIMPLE

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

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

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

En la Tabla de la figura IV.12, se presentan factores de corrección para obtener la resistencia de un cilindro de - -

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

FIG. IV.12 FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA ENSAYES A LA COMPRESION

15 x 30 cm. a partir de la obtenida con un espécimen de otra -- forma o dimensiones, para concretos fabricados con cemento normal y ensayados a los 28 días.

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

En nuestro medio, las normas usuales están basadas, entre otras, en las NOM-C-84, C-161 y C-162.

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

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

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

Algunos factores, que afectan directamente a los resul<sup>u</sup>tados obtenidos en espécimenes de ensaye son:

Efecto de las condiciones de curado

Efecto de la esbeltez

Efecto de la velocidad de carga

Efecto de la velocidad de deformación

Efecto de las condiciones de humedad y temperatura du<sup>u</sup>rante la prueba.

Efecto del tamaño del espécimen sobre la resistencia

Efecto del tamaño del molde y tamaño del agregado

Efecto de la edad

Algunos de estos factores no solamente afectan a los - resultados de pruebas a la compresión, sino también, a los re<sup>u</sup>sultados obtenidos en otro tipo de ensayes, como son los de ten<sup>u</sup>sión y flexión, aun más, aunque en menor número, a los resulta<sup>u</sup>dos obtenido en pruebas no destructivas.

**APLICACION DE METODOS ESTADISTICOS PARA  
LA INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ACUER-  
DO AL ACI - 214 - 77**

Como se indicó anteriormente, la función principal de los ensayos de compresión del concreto es asegurar la producción de un concreto uniforme con la resistencia y calidad deseadas. En la actualidad, aprovechando el conocimiento de las técnicas estadísticas es posible controlar la uniformidad de las mezclas de concreto que se fabrican, y así obtener un producto de mejor calidad. Aunque los conceptos estadísticos para evaluar la resistencia del concreto aparecieron en 1957, todavía existe confusión al adoptar y aplicar estas valiosas técnicas. Probablemente, el factor aislado más importante de los que obstaculizan el uso de los procedimientos estadísticos consiste en la tendencia natural a suponer que estos métodos son propios de científicos y matemáticos, esto es una lástima, ya que hay aplicaciones sencillas y prácticas de la curva de distribución normal para evaluar la calidad del concreto.

Es importante que las organizaciones que utilizan este material de construcción se acostumbren a la idea de utilizar la estadística para mejorar y hacer más económicas sus obras.

Es común en muchas organizaciones y aún en laborato---rios, coleccionar en forma rutinaria cantidades enormes de datos experimentales con la vaga intención de analizarlos ((al---gún día)) cuando ((no haya tanto trabajo)), por supuesto que -ese día nunca llega y los datos que se almacenan en los expe---dientes se vuelven más complejos y fuera de época. Si esta in---formación experimental no es digna de ser analizada en una fe---cha inmediata a la que fue colectada, entonces tampoco es dig---na del trabajo de recolección, por lo tanto es importante uti---lizar menos tiempo en la colección de datos y más tiempo en su análisis.

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

#### VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Agrupando lo que se vió en los capítulos anteriores, -podemos resumir que:

Como el concreto es una masa endurecida de materiales heterogéneos está sujeto a la influencia de numerosas varia---bles. Las características de cada uno de los ingredientes del concreto pueden producir variaciones que dependen de su unifor---

midad. Las variaciones también pueden deberse a las prácticas utilizadas en el proporcionamiento, mezclado, transporte, colocación y curado, además de las variaciones que existen en el concreto mismo, también se introducen variaciones de resistencia durante la fabricación, transporte, cabeceado, ensaye y cuidado de los especímenes de ensaye. Las variaciones en la resistencia del concreto deben aceptarse; pero puede producirse un concreto de calidad adecuada si se mantiene un control correcto, si se interpretan adecuadamente los resultados de ensaye y si se consideran las limitaciones.

La magnitud de las variaciones en la resistencia de especímenes de concreto depende del control que se lleva sobre los materiales, la fabricación del concreto y los ensayos. Las diferencias en resistencia pueden deberse a dos causas fundamentales diferentes:

I. Variaciones Intrínsecas del Concreto (diferencias en las propiedades de la mezcla del concreto, cuando estas influyen en el valor de la resistencia).

1.- Variaciones en la relación agua-cemento debidas a:

- a) Control deficiente de la dosificación del agua
- b) Variaciones excesivas en la humedad de los agregados



2.- Variaciones en el consumo de agua debidas a:

- a) Variaciones en la granulometría de los agregados
- b) Falta de uniformidad en los materiales.

3.- Variaciones en las características y proporciones -  
de los componentes:

- a) Agregados
- b) Cemento
- c) Puzolana
- d) Aditivos

4.- Variaciones por efecto de transporte, colocación y  
compactación.

5.- Variaciones en la temperatura y el curado.

## II. Variaciones en los procedimientos de ensaye

1.- Procedimientos de muestreo inconsistentes

2.- Técnicas de fabricación no uniformes:

- a) Compactación variable
- b) Manejo excesivo de las muestras
- c) Cuidado deficiente de los especímenes frescos

3.- Deficiencias en el curado:

- a) Variación de la temperatura
- b) Variación de la humedad

4.- Procedimientos de ensaye inadecuados:

- a) Cabeceo incorrecto de los especímenes
- b) Deficiencia en la velocidad de aplicación de la carga.

Se ha establecido que la resistencia del concreto depende de la relación agua-cemento. El primer criterio para producir concreto de resistencia es, por consiguiente, conservar una relación uniforme agua-cemento. Ya que la cantidad de cemento y agua adicionada se pueden medir con precisión, el problema de mantener una relación uniforme agua-cemento es principalmente un problema de controlar el contenido de agua, este problema se complica porque los agregados tienen una humedad libre variable.

El concreto no puede ser más uniforme que los agregados, cemento y aditivos empleados, cada uno de estos ingredientes contribuye a las variaciones en la resistencia del concreto, los métodos de construcción pueden causar también variaciones en la resistencia, un mezclado inadecuado, una compactación pobre, retrasos e interrupciones en la colocación, un curado --

impropio, etc., originan variaciones considerables de la resistencia.

El empleo de aditivos presenta problemas adicionales - para mantener la uniformidad en la resistencia, ya que cada aditivo agrega una nueva variable en el concreto, se deberá controlar el empleo de acelerantes, retardantes, puzolanas y agentes inclusores de aire y deberá considerarse su influencia en la -- resistencia del concreto.

Los ensayos de concreto pueden o no incluir todas las variaciones de la resistencia del concreto colocado dependiendo de las variables que se introduzcan después de elaborados los - especímenes de ensaye, por otro lado, las discrepancias en el - muestreo, la fabricación, el curado y el ensaye de especímenes pueden indicar variaciones en la resistencia que en realidad no existen en el concreto colocado en la obra. Cuando las variaciones debidas a estas discrepancias son excesivas, es necesario aplicar al proyecto un factor de seguridad excesivamente -- grande. Los métodos de ensaye correctos reducen estas variaciones y por consiguiente deben establecerse procedimientos estándar de ensaye, tales como los descritos en las normas N.O.M. y A.S.T.M., los cuales deben seguirse estrictamente.

Es evidente la importancia que tiene el emplear equipo de laboratorio adecuado, pues de este dependerá la precisión de los ensayos. Los resultados uniformes de ensayos no son necesariamente resultados de ensayos precisos. El equipo y los procedimientos de laboratorio deberán ser calibrados y verificados con periodicidad.

Los especímenes de ensaye indican la resistencia potencial de una estructura más que su resistencia real.

#### EVALUACION DE LOS RESULTADOS

Normalmente los resultados de los ensayos de resistencia o compresión de especímenes de concreto en proyectos controlados caen dentro de la curva de distribución normal de frecuencias o de Gauss. (Fig. V.1)

Cuando hay un buen control, los valores de la resistencia serán más cercanos al valor promedio y la curva será alta y cerrada, (Fig. V.2), si aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se dispersan y la curva se vuelve baja y abierta. Las abscisas representan las resistencias obtenidas en los ensayos y las ordenadas la frecuencia con que se presentan dichas resistencias.

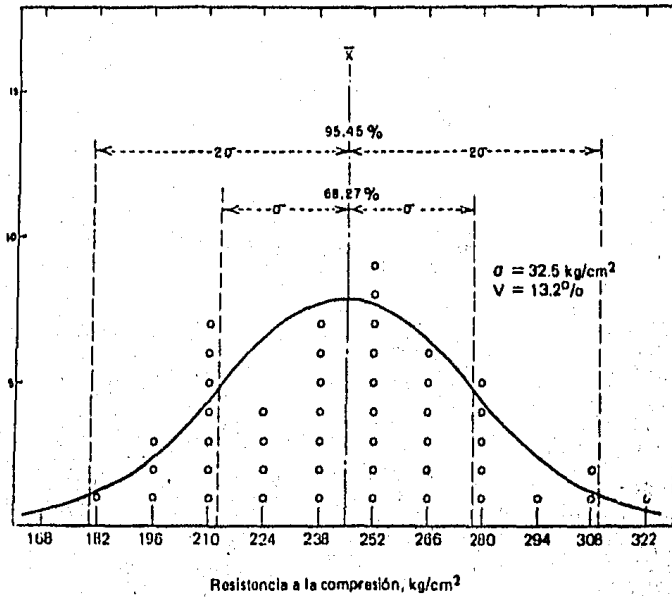


FIG. V. 1 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS.

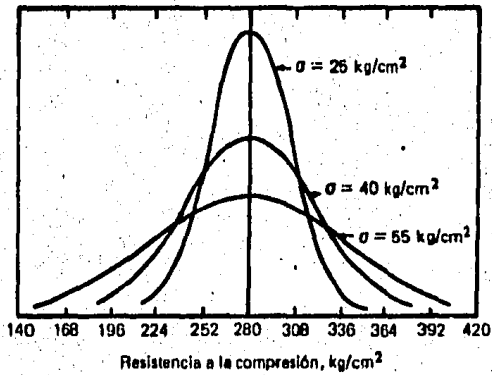


FIG. V. 2 CURVAS NORMALES DE FRECUENCIA.

Para obtener la máxima información, deberán hacerse ensayos de compresión de un número suficiente para representar el concreto producido.

Existen varias funciones en la curva normal de frecuencias que son útiles para comprender la información recibida.

EDIA O. PROMEDIO:

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

$X_1, X_2 \dots X_n$ .- Promedio de los resultados de los especímenes que componen una muestra.

$n$  = Número total de muestras, entendiéndose por una muestra el número total de especímenes que se obtienen de una misma revoltura y se ensayan a la misma edad.

ESVIACION ESTANDAR:  $\sqrt{\quad}$  :

La medida más usual de dispersión con respecto al valor central es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias respecto a la resistencia promedio, dividido entre el número de resultados, la desviación estándar puede considerarse como el radio -

de giro respecto al centro del área comprendida bajo la curva teórica de probabilidad.

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

En algunos textos de estadística  $n$  aparece como  $---$   $(n-1)$  pero esto no es significativo, ya que el número mínimo de muestras que debe analizarse debe ser de 30.

Esta función permite expresar el grado de dispersión - como valor absoluto.

La siguiente tabla (1) tomada del ACI-214-77 sirve como guía para evaluar el grado de control en la uniformidad de - la fabricación del concreto, en función de la desviación estándar.

TABLA N° 1  
EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DE LA  
FABRICACION DEL CONCRETO (Kg/cm<sup>2</sup>)

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

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

#### INTERVALO "R"

Se determina restando la resistencia más baja de la -- resistencia más alta del grupo de especímenes que integran una muestra. El intervalo es útil para calcular la desviación es-- tándar y posteriormente el coeficiente de variación en los ensa-- yes del laboratorio.

Como se mencionó anteriormente, las variaciones en los resultados de ensayos de resistencia pueden deberse a dos cau-- sas diferentes: (I) propiedades de la mezcla de concreto, y --- (II) discrepancias en los métodos de ensayos. Es posible por - un análisis de variancia calcular las variaciones debidas a ca--



da una de las causas.

Las variaciones en la resistencia del concreto, dentro de una revoltura, se encuentran determinando, las variaciones de especímenes fabricados de esa misma revoltura, es conveniente suponer que una muestra de concreto es uniforme y, que por lo tanto, cualquier variación entre especímenes compañeros fabricados de dicha muestra se debe a discrepancias en la fabricación, en el curado o en el ensaye. Las muestras tomadas de diferentes partes de una revoltura pueden incluir variaciones debidas a la ineficiencia de las mezcladoras.

Los especímenes compañeros fabricados de muestras tomadas de diversas partes de la revoltura pueden usarse para diferenciar entre la eficiencia de la mezcladora y la eficiencia del ensaye. Una sola revoltura de concreto no proporciona información suficiente para el análisis estadístico por lo que se recomienda fabricar y ensayar especímenes compañeros de por lo menos diez muestras tomadas de diferentes revolturas para poder establecer valores confiables de R. La desviación estándar y el coeficiente de variación en los ensayos se calculan como sigue:

$$\sqrt{s} = \frac{1}{d} \times \bar{R}$$

$$V_1 = \frac{\sqrt{s}}{\bar{X}} \times 100$$

$\sqrt{1}$  = Desviación estándar de los ensayos

d = Constante que depende del número de especímenes por muestra (Tabla 2)

R = Promedio o media del total de intervalos.

V = Coeficiente de variación de los ensayos.

$\bar{X}$  = Resistencia promedio de todas las muestras

TABLA No. 2\*

FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACION ESTANDAR DE LOS ENSAYES

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

Este proceso que permite calcular las discrepancias - en los métodos de ensaye tiene la ventaja de que constantemente se obtiene información de la calidad del trabajo de los operarios y del laboratorio en general.

La siguiente tabla (3) tomada del ACI 214-77 califica el grado de control del laboratorio en función de los valores de  $V_1$ .

\* De la Tabla No. B2 "Manual de Control de Calidad de Materiales" A S T M Special Technical Publication No. 15 C.

TABLA No. 3  
EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL DEL LABORATORIO

Excelente	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Por debajo de 3	de 3 a 4	de 4 a 5	de 5 a 6	Arriba de 6

Nota: Esta evaluación representa el promedio de resultados de especímenes ensayados a la edad específica.

Existen todavía otros criterios para la evaluación de uniformidad de las mezclas de concreto como las que se presentan a continuación:

NORMA N.O.M. -C- 155 - 1984.

#### 5.1.1 Grados de calidad

##### 5.1.1.1. Grados de calidad A (sólo para resistencia a compresión)

El concreto debe cumplir con los siguiente:

a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia tengan valor inferior a la resistencia especificada  $f'c$  se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) No más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia consecutiva será inferior a la resistencia especificada.

c) No más de 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada menos  $50 \text{ Kg/cm}^2$ .

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

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) No más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia consecutiva puede ser igual o menor que la resistencia especificada.

c) No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos -

35 Kg./cm<sup>2</sup>. o resistencia especificada a la flexión "MR' menos 4 Kg./cm<sup>2</sup>.

Para satisfacer estos requisitos, la resistencia promedio del concreto será obviamente mayor que la resistencia -- del proyecto f'c, dependiendo de la uniformidad esperada en la producción del concreto y del porcentaje que se permite de resultados de ensayos inferiores a la resistencia de proyecto. -- La resistencia promedio requerida; puede obtenerse haciendo -- uso de la fórmulas siguientes:

$$f_{cr} = f'c + \sqrt{t} \quad (1)$$

$$f_{cr} = f'c - K + \sqrt{t} \quad (2)$$

$$f_{cr} = f'c + \frac{t \sqrt{t}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

f<sub>cr</sub> = Resistencia promedio requerida en Kg/cm<sup>2</sup>.

f'c = Resistencia de proyecto especificada en Kg/cm<sup>2</sup>.

t = Constante que depende de la porción de resultados inferiores a f'c y del número de muestras -- empleadas para calcular la desviación estándar (tabla 4).

= Desviación estándar de las muestras en Kg/cm<sup>2</sup>.

n = Número de promedios consecutivos.

K = Valor que depende del grado de calidad del concreto. 50 para grado de calidad A (5.1.1.1.-c) y de 35 para grado de calidad B (5.1.1.2.-c).

TABLA No. 4  
VALORES DE t\*

Número de Muestras menos 1	Probabilidad de caer debajo del límite inferior	
	2 en 10	1 en 10
2	1.061	1.886
3	0.978	1.638
4	0.941	1.533
5	0.920	1.476
6	0.906	1.440
7	0.896	1.415
8	0.889	1.397
9	0.883	1.383
10	0.879	1.372
15	0.866	1.341
20	0.860	1.325
25	0.856	1.316
30	0.854	1.310
	0.842	1.282

\* Los valores de t se tomaron de la tabla original debida a Fisher y Yates "Statistic tables for Biological Agriculture y Medical Research".

El mecanismo para hacer uso de la estadística en la -- evaluación de resultados de resistencia a compresión del concre to se puede explicar con mayor detalle en el ejemplo ilustrati- vo, que a continuación se presenta, el cual fue realizado por - medio de un programa de computadora que para este fin utilizan Laboratorios de Control de Calidad.

T E S I S   P R O F E S I O N A L  
 U L I S E S   D A N I E L   O R T I Z   R I V E R A

M E T O D O S   E S T A D I S T I C O S   P A R A   L A   I N T E R P R E T A C I O N   D E  
 R E S U L T A D O S   D E   R E S I S T E N C I A   A   C O M P R E S I O N   D E L   C O N C R E T O

PROPIETARIO : ALVARO ORTIZ VIZAIRO

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

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

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

FECHA DE EVALUACION : 15 DE SEPTIEMBRE DE 1985

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

EDAD DE ENBAYE : 28 DIAS.

F'c DE PROYECTO : 250 KG/CM2

NUMERO DE MUESTRAS EN ESTUDIO : 105

NUMERO DE CILINDROS POR MUESTRA : 2

METODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL : DISEÑO PLASTICO

MUESTRA NO.	LOCALIZACION	RESISTENCIA (KG/CM2)		PROMEDIO (KG/CM2)	INTERVALO (KG/CM2)	PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS
		CIL. 1	CIL. 2			
PM-1	ZAPATAS DE CIMENTACION	253	253	253.0	0	287.3
PM-2	BASE DE DADOS CIMENTACION	318	315	316.5	3	296.3
PM-3	BASE DE DADOS CIMENTACION	291	294	292.5	3	261.5
PM-4	BASE DE DADOS CIMENTACION	280	280	280.0	0	264.3
PM-5	ZAPATAS Y BASE DE DADOS CIMENTACION	211	213	212.0 *	2	251.0
PM-6	ZAPATAS Y BASE DE DADOS CIMENTACION	301	301	301.0	0	280.7
PM-7	ZAPATAS Y BASE DE DADOS CIMENTACION	240	240	240.0	0	268.3
PM-8	ZAPATAS Y BASE DE DADOS CIMENTACION	302	300	301.0	2	275.5

LABORATORIO DE CONTROL: S.A.  
 ( GRUPO SACMAG )



PM-9	BASE DE COLUMNAS CIMENTACION	264	264	264.0	0	266.5
PM-10	BASE DE COLUMNAS CIMENTACION	259	264	261.5	5	268.2
PM-11	ZAPATAS DE CIMENTACION	274	274	274.0	0	283.8
PM-12	ZAPATAS DE CIMENTACION	270	268	269.0	2	292.2
PM-13	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	311	306	308.5	5	302.6
PM-14	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	300	298	299.0	2	302.5
PM-15	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	301	301	301.0	0	299.3
PM-16	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	304	311	307.5	7	298.8
PM-17	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	298	289	289.5	1	284.8
PM-18	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	301	298	299.5	3	282.5
PM-19	ZAPATAS Y DADOS CIMENTACION	265	266	265.5	1	266.7
PM-20	ZAPATAS CIMENTACION	284	281	282.5	3	261.7
PM-21	ZAPATAS CIMENTACION	249	255	252.0	6	246.8 **
PM-22	ZAPATAS CIMENTACION	249	252	250.5	3	233.3 **
PM-23	ZAPATAS CIMENTACION	238	238	238.0	8	231.7 **
PM-24	DADO CIMENTACION	207	216	211.5 *	9	230.0 **
PM-25	DADO CIMENTACION	244	247	245.5	3	245.8 **
PM-26	DADO CIMENTACION	234	232	233.0	2	242.7 **
PM-27	DADO CIMENTACION	260	258	259.0	2	261.0
PM-28	COLUMNA	234	238	236.0	4	256.0
PM-29	COLUMNA	287	289	288.0	2	246.3 **
PM-30	COLUMNA	244	244	244.0	0	233.3 **
PM-31	COLUMNA	204	210	207.0 *	6	244.0 **
PM-32	COLUMNAS	248	250	249.0	2	261.7
PM-33	COLUMNAS	276	276	276.0	0	250.0
PM-34	COLUMNAS	260	260	260.0	0	237.5 **
PM-35	COLUMNAS	214	214	214.0 *	0	224.7 **
PM-36	COLUMNAS	236	241	238.5	5	233.7 **
PM-37	DADOS Y COLUMNAS	217	226	221.5	9	244.2 **
PM-38	COLUMNAS	240	242	241.0	2	251.3

LABORATORIO DE CONTROL: S.A.  
( GRUPO SACMAG )

PM-39	COLUMNAS	271	269	270.0	2	259.3
PM-40	DADO Y COLUMNA	239	247	243.0	8	260.9
PM-41	DADO Y COLUMNA	265	265	265.0	0	261.5
PM-42	DADO Y COLUMNA	274	273	273.5	1	264.5
PM-43	DADO Y COLUMNA	246	246	246.0	0	256.8
PM-44	COLUMNA	275	273	274.0	2	252.7
PM-45	COLUMNA	250	251	250.5	1	259.8
PM-46	COLUMNA	232	235	233.5	3	273.8
PM-47	COLUMNAS	294	297	295.5	3	295.3
PM-48	COLUMNAS	294	291	292.5	3	309.8
PM-49	COLUMNA	297	299	298.0	2	315.7
PM-50	COLUMNA	337	341	339.0	4	303.2
PM-51	COLUMNA	309	311	310.0	2	270.8
PM-52	TRABE PORTANTE	260	261	260.5	1	250.8
PM-53	TRABE PORTANTE	240	244	242.0	4	240.0 **
PM-54	TRABE PORTANTE	250	250	250.0	0	243.7 **
PM-55	TRABE PORTANTE	227	229	228.0	2	238.5 **
PM-56	TRABES DE CIMENTACION	252	254	253.0	2	247.0 **
PM-57	TRABE	232	237	234.5	5	254.7
PM-58	TRABE	256	251	253.5	5	258.8
PM-59	TRABES DE LIGA	276	276	276.0	0	261.0
PM-60	TRABES DE LIGA	249	245	247.0	4	264.7
PM-61	TRABE DE LIGA	260	260	260.0	0	300.2
PM-62	TRABE DE LIGA Y COLUMNA	287	287	287.0	0	301.8
PM-63	TRABE DE LIGA Y COLUMNA	356	351	353.5	5	292.0
PM-64	MENSULA	260	270	265.0	10	258.0
PM-65	COLUMNA	260	255	257.5	5	259.2
PM-66	TRABE	255	248	251.5	7	281.5
PM-67	TRABE	270	267	268.5	3	279.8
PM-68	MENSULA	326	323	324.5	3	277.3
PM-69	COLUMNA Y TRABE	245	248	246.5	3	247.3 **

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

TRABE	261	261	261.0	0	241.3 **
TRABE	236	233	234.5	3	228.2 **
TRABE	226	231	228.5	5	223.3 **
TRABE	224	219	221.5	5	217.8 **
TRABE	219	221	220.0	2	213.0 **
TRABE	211	213	212.0 *	2	226.3 **
TRABE	205	209	207.0 *	4	239.0 **
TRABE	260	260	260.0	0	251.0
TRABE	250	250	250.0	0	240.7 **
FIRME	241	245	243.0	4	227.7 **
FIRME	226	232	229.0	6	228.8 **
FIRME	211	211	211.0 *	0	232.0 **
FIRME	249	244	246.5	5	240.5 **
FIRME	236	241	238.5	5	241.8 **
FIRME	238	235	236.5	3	245.7 **
FIRME	252	249	250.5	3	249.5 **
FIRME	248	252	250.0	4	245.7 **
FIRME	252	244	248.0	8	248.5 **
FIRME	237	241	239.0	4	246.3 **
FIRME	261	256	258.5	5	258.3
LOSA DE PISO	245	238	241.5	7	246.8 **
LOSA DE PISO	273	277	275.0	4	237.3 **
LOSA DE PISO	227	221	224.0	6	219.0 **
LOSA DE PISO	211	215	213.0 *	4	214.3 **
LOSA DE PISO	219	221	220.0	2	215.3 **
LOSA DE PISO	210	210	210.0 *	0	205.5 **
LOSA DE PISO	215	217	216.0	2	204.0 **
OFICINA					
LOSA DE PISO	189	192	190.5 *	3	199.8 **
FLAMABLES					
LOSA DE PISO	204	207	205.5 *	3	202.2 **
LOSA DE PISO	208	199	203.5 *	9	209.5 **
ANDEN					

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

PM-100	LOSA DE PISO ANDEN	196	199	197.5 *	3	218.8 **
PM-101	LOSA DE PISO	225	230	227.5	5	228.5 **
PM-102	LOSA DE PISO	233	230	231.5	3	233.2 **
PM-103	LOSA DE PISO	226	227	226.5	1	224.6 **
PM-104	LOSA DE PISO	238	245	241.5	7	
PM-105	LOSA DE PISO	203	210	206.5 *	7	

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

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

De esta serie de datos se obtiene:

$$\text{Media} = \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{105}}{105} = 253.4 \text{ Kg/cm}^2.$$

Desviación Estándar :

$$\checkmark = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_{105} - \bar{X})^2}{105}}$$

$$= 32.1 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$\text{Media de Intervalos} = \bar{R} = 3.03 \text{ Kg/cm}^2.$$

Desviación Estándar

$$\text{de los ensayos} = \checkmark_1 = \frac{1}{d} \times \bar{R}$$

(d = 1.128 Tabla 2)

$$\checkmark_1 = \frac{1}{1.128} \times 3.03 = 2.7 \text{ Kg/cm}^2.$$

Coefficiente de variación

$$\text{de los ensayos} = V_1 = \frac{1}{\bar{X}} \times 100$$

$$= \frac{2.7}{253.4} \times 100 = 1.1\%$$

Los cuales nos sirven para deducir las siguientes conclusiones, basándose en las Normas ACI-214-77 y NOM-C-155-1984.

C A P I T U L O VI

C O N C L U S I O N E S .

NORMAS PARA EL CONTROL DE CONCRETO

ACI - 214 - 77

EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL EN LA UNIFORMIDAD DE LA FABRICACION DE CONCRETO

LA DESVIACION STANDAR ES DE 32.1 KG/CM2 DE DONDE SE DEDUCE QUE CONFORME AL ACI 214-77 EL GRADO DE CONTROL EN LA UNIFORMIDAD DE LA FABRICACION DEL CONCRETO ES **MUY BUENO** DE ACUERDO A LA SIGUIENTE TABLA.

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
MENOR DE 25	25 A 35	35 A 40	40 A 50	MAYOR DE 50

EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL DE LABORATORIO

EL COEFICIENTE DE VARIACION ES 1.1 POR CIENTO DE DONDE SE DEDUCE QUE CONFORME AL ACI 214-77 EL GRADO DE CONTROL DE LABORATORIO ES **EXCELENTE** DE ACUERDO A LA SIGUIENTE TABLA.

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
MENOR DE 3	3 A 4	4 A 5	5 A 6	MAYOR DE 6

N O M - C - 1 5 5 - 1 9 8 4

EL PROMEDIO TOTAL DE RESISTENCIA DE LOS CILINDROS DE LAS MUESTRAS ES DE 253.4 KG/CM2.

I N C I S O 5 . 1 . 1 . 2 (A)

SE TIENE EL 48.6 POR CIENTO DEL TOTAL DE PROMEDIOS DE F'C DE LOS CILINDROS DE LA MUESTRA POR DEBAJO DE LA F'C DE PROYECTO Y EL LIMITE ACEPTADO ES DE 10 POR CIENTO PARA DISEÑO PLÁSTICO O PRESFORZADO, POR LO TANTO ESTAS MUESTRAS **NO CUMPLEN** ESTA NORMA.

I N C I S O 5 . 1 . 1 . 2 (B)

SE TIENEN 50 PROMEDIOS DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS CUYAS RESISTENCIAS SON MENORES DE LA F'C DE PROYECTO. ESTAS MUESTRAS **NO CUMPLEN** ESTA NORMA, YA QUE EN BASE AL 1 POR CIENTO DEL NUMERO DE MUESTRAS EN ESTUDIO SOLO 1 PROMEDIO(S) PUEDE(N) TENER UNA RESISTENCIA MENOR A LA F'C DEL PROYECTO.

I N C I S O 5 . 1 . 1 . 2 (C)

SE TIENE(N) 14 PROMEDIO(S) DE F'C DE LOS CILINDROS DE LA MUESTRA CUYA RESISTENCIA ES DE MAS DE 35 KG/CM2 POR DEBAJO DE LA F'C DE PROYECTO. ESTA(S) MUESTRA(S) **NO CUMPLEN** ESTA NORMA YA QUE - EN BASE AL 1 POR CIENTO DEL NUMERO DE MUESTRAS EN ESTUDIO SOLO 1 PROMEDIO(S) PUEDE(N) TENER UNA RESISTENCIA DE MAS DE 35 KG/CM2 POR DEBAJO DE LA F'C DE PROYECTO.

I. De acuerdo a estos datos estadísticos se puede concluir:

- 1.- La deficiencia en la resistencia del concreto -- utilizado se puede deber a un mal cálculo en la dosificación de los elementos que componen a éste.
- 2.- Una vez observada la importancia de la estadística en la interpretación de resultados se recomienda, que la resistencia promedio ( $f_{cr}$ ) del -- concreto debe ser superior a la resistencia de -- diseño ( $f'_c$ ). Esta diferencia en la resistencia dependerá de la variabilidad esperada en los resultados de las pruebas y de la proporción permisible de muestras con resultados menores que los indicados en el nivel de resistencia. Los cuales se especifican en la NOM-C-155-1984 y ----- ACI-214-77.
- 3.- La resistencia promedio requerida ( $f_{cr}$ ) que se -- debe tomar en cuenta para cualquier diseño puede ser calculada mediante las ecuaciones:

$$f_{cr} = f'_c + t \sqrt{\quad} \quad (1)$$

$$f_{cr} = f'_c - K + \sqrt{\quad} t \quad (2)$$

$$f_{cr} = f'_c + t \sqrt{\quad / \sqrt{n}} \quad (3)$$



## II. Generalizando podemos decir:

- 1.- La resistencia de los cilindros de control, por lo general es la única evidencia palpable de la calidad del concreto utilizado en la construcción de una estructura.
- 2.- La resistencia del concreto debe derivarse de un conjunto de ensayos, a partir de los cuales se pueden estimar en forma más precisa la uniformidad y las características del concreto.
- 3.- Si se confía demasiado en los resultados de unos cuantos ensayos, las conclusiones que se alcancen pueden ser erróneas.
- 4.- No resulta práctico especificar una resistencia mínima ya que, aún cuando existe un buen control, siempre cabe la posibilidad de resistencias todavía más bajas.
- 5.- Es un error concluir que la resistencia de una estructura está en peligro cuando sólo un ensayo no cumple con los requisitos de resistencia especificada.

- 6.- Como se indicó anteriormente, son inevitables las variaciones casuales y las fallas ocasionales en el cumplimiento de los requisitos de resistencia.
- 7.- En las ecuaciones del diseño se proporcionan factores de seguridad que permiten obtener resistencias específicas, sin poner en peligro la seguridad de la estructura.
- 8.- Estos factores se han desarrollado con base en -- las prácticas de construcción, los procedimientos de diseño y las técnicas de control de calidad -- utilizadas dentro de la industria de la construcción.
- 9.- El criterio final que concede la probabilidad de que las pruebas caigan por debajo de la  $f_c$ , utilizada en el diseño, es la decisión del diseñador, que se basa en el conocimiento íntimo de las condiciones que tienen la mayor probabilidad de ocurrir durante la construcción.
- 10.- Algunas personas creen que hacer un control de calidad es simplemente contratar a un laboratorio -

que tome cilindros, que ensaye y reporte los resultados o que con la misma gente en la obra se haga el proceso y simplemente observar los resultados; si estos son altos olvidarse de ellos y si son bajos alarmarse inmediatamente, tratando de recordar dónde fue colocado ese concreto, y de esta forma determinar si se trata de una zona importante y en ese caso extraer corazones para conocer su resistencia.

Esto es totalmente absurdo; en primer lugar se debe definir, antes de empezar la obra, cuales son las especificaciones de calidad, luego determinar como se controlará su cumplimiento y analizar el costo que esto implica, posteriormente controlar el personal que realiza el muestreo, el ensaye y analisis de los resultados. Esto puede encargarse a una institución seria para tener la tranquilidad de que todo el proceso se realice de acuerdo a las Normas establecidas.

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

- 1.- REVISTA INGENIERIA CIVIL  
Num. 133  
C.I.C.M.
- 2.- APUNTES PARA EL CURSO DE CONSTRUCCION I  
"PRINCIPALES MATERIALES FABRICADOS Y SU EMPLEO EN LA  
CONSTRUCCION"  
Ing. Jorge H. De Alva Castañeda  
Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.
- 3.- APUNTES  
"CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO"  
I.M.C.Y.C.  
1980
- 4.- PROYECTO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO  
STAFF-PORTLAND CEMENT ASSOCIATION  
1978
- 5.- TECNOLOGIA DEL CONCRETO  
TOMO I, II, III  
A. M. Neville  
I.M.C.Y.C.  
1984

- 6.- MEMORIA DE LA 1a. REUNION NACIONAL DE LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES DE CONSTRUCCION A.N.A.L.I.S.E.C. 1984
- 7.- PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO. (ACI-214-77). I.M.C.Y.C.
- 8.- NORMA OFICIAL MEXICANA
- |              |   |
|--------------|---|
| NOM-C-1-1980 | CEMENTO PORTLAND  |
| 2-1970       | CEMENTO PORTLAND PUZOLANA   |
| 19-1946      | DEFINICION DE TERMINOS EMPLEADOS EN EL ENSAYE DE MATERIALES   |
| 21-1968      | CALIDAD DE CEMENTANTES PARA MORTEROS (CEMENTO DE ALBANILERIA)   |
| 23-1949      | NOMENCLATURA PARA DEFINIR LOS TERMINOS EMPLEADOS CON RELACION A LA INDUSTRIA DE CONSTRUCCION SECCION CONCRETO |
| 45-1971      | MUESTREO DE ADITIVOS PARA CONCRETO  |
| 49-1970      | METODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACION DE LA FINURA DE CEMENTANTES HIDRAULICOS MEDIANTE EL TAMIZ N° 130 M.    |
| 55-1966      | METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS (METODO TURBIDIMETRICO)                |
| 56-1968      | METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS (METODO DE PERMEABILIDAD AL AIRE)   |
| 58-1967      | DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO EN CEMENTANTES HIDRAULICOS (METODO DE GILL MORE)                         |
| 59-1975      | DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE CEMENTANTES HIDRAULICOS (METODO DE VICAT)                             |
| 60-1968      | METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TENSION DE CEMENTANTES HIDRAULICOS                       |
| 61-1976      | DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CEMENTANTES HIDRAULICOS                                    |
| 62-1968      | METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA SANIDAD DE CEMENTANTES HIDRAULICOS  |

NOM-C-71-1967	METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR TERRO- NES DE ARCILLA EN AGREGADOS NATURALES
72-1968	METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LAS - PARTICULAS LIGERAS EN LOS AGREGADOS
73-1972	DETERMINACION DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS
75-1972	DETERMINACION DE LA SANIDAD DE LOS AGRE- GADOS POR MEDIO DEL SULFATO DE SODIO O DEL SULFATO DE MAGNECIO
76-1966	METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR EL -- EFECTO DE LAS IMPUREZAS ORGANICAS EN - LOS AGREGADOS FINOS SOBRE LA RESISTEN- CIA DE LOS MORTEROS.
77-1966	METODO DE PRUEBA PARA ANALISIS GRANULO- METRICOS DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS
83-1977	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA -- COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO
111-1977	AGREGADOS PARA CONCRETO
130-1968	PARA MUESTREO DE CEMENTANTES HIDRAULI- COS
132-1970	DETERMINACION DEL FRAGUADO FALSO DEL - CEMENTO PORTLAND POR EL METODO DE PAS- TA
150-1973	DETERMINACION DE LA FINURA DE CEMENTAN- TES HIDRAULICOS MEDIANTE EL TAMIZ N°80
152-1970	METODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE CEMENTANTES HI- DRAULICOS
153-1971	METODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACION DEL SANGRADO EN PASTA DE CEMENTO Y EN MORTERO
155-1984	CONCRETO PREMEZCLADO
156-1980	DETERMINACION DEL REVENIMIENTO DEL CON- CRETO FRESCO
160-1976	ELABORACION Y CURADO EN OBRA DE ESPECI- MENES DE CONCRETO
161-1974	MUESTREO DE CONCRETO FRESCO
162-1976	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AIRE, PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO DEL CONCRE- TO
163-1978	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA - TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL DE -- CILINDROS DE CONCRETO

NOM-C-169-1978	OBTENCION Y PRUEBA DE CORAZONES Y VIGAS EXTRAIDAS DE CONCRETO ENDURECIDO
184-1970	CEMENTO DE ESCORIA.
191-1978	USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS REERCIOS DEL CLARO.
196-1978	RESISTENCIA A LA ABRASION DE AGREGADO - GRUESO DE TAMAÑO GRANDE USANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES.
199-1971	NOMENCLATURA DE ADITIVOS QUIMICOS PARA-CONCRETO.
200-1978	ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE PARA CONCRETO.
263-1980	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, CONCRETO - ENDURECIDO, DETERMINACION DE LA MASA ESPECIFICA, ABSORCION Y PORCENTAJE DE VA-CIOS.
282-1981	AGREGADOS PARA CONCRETO, CAMBIO PARCIAL DE VOLUMEN DE COMBINACIONES CEMENTO A--GREGADO.
283-1979	AGUA PARA CONCRETO, ANALISIS.
290-1980	ELABORACION, CURADO ACCELERADO Y PRUEBA-A COMPRESION DE ESPECIMENES DE CONCRETO
296-1980	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, CONCRETO, DETERMINACION DEL SANGRADO.
298-1980	CONCRETO, ADITIVOS MINERALES, DETERMINACION DE LA EFECTIVIDAD PARA PREVENIR UNA EXPANSION EXCESIVA DEL CONCRETO DEBI DA A LA REACCION ALCALIS- AGREGADO.
299-1980	CONCRETO ESTRUCTURAL, AGREGADOS LIGEROS ESPECIFICACIONES.
300-1980	CEMENTO HIDRAULICO, DETERMINACION DEL -CONTENIDO DE AIRE EN EL MORTERO.
301-1980	CONCRETO ENDURECIDO, DETERMINACION DE -LA RESISTENCIA A LA PENETRACION.
302-1980	CONCRETO FRESCO, DETERMINACION DE LA MA SA POR UNIDAD DE VOLUMEN DE LOS INGRE--DIENTES MEDIANTE DESHIDRATACION CON AL-COHOL.
303-1980	CONCRETO, DETERMINACION DE LA RESITEN--CIA A LA FLEXION USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN EL CENTRO DEL CLARO
305-1980	AGREGADOS PARA CONCRETO, DESCRIPCION DE SUS COMPONENTES MINERALES NATURALES.