

Nº 102  
2E1.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

CONCRETO PREMEZCLADO Y CONCRETO HECHO  
EN OBRA: VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL  
presenta  
ROBERTO ROMAN LINARES



Director de Tesis Ing. Miguel Morayta Martínez

México, D. F.

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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.

# I N D I C E

CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
CARACTERISTICAS GENERALES DEL CONCRETO	
II.1 Breve desarrollo histórico del concreto	3
II.2 Materias primas en la fabricación del concreto	6
CAPITULO III	
CONCRETO PREMEZCLADO	
III.1 Breve desarrollo histórico del concreto premezclado en México.	22
III.2 Procedimiento para la fabricación del concreto premezclado.	25
III.3 Tratamiento del problema de resistencias bajas	52
CAPITULO IV	
CONCRETO HECHO EN OBRA	
IV.1 Introducción	56
IV.2 Acopio y almacenamiento de materiales	57
IV.3 Proporcionamiento del concreto (diseño de mezclas)	62
IV.4 Dosificación y mezclado del concreto	75
IV.5 Transporte del concreto	82
IV.6 Control de calidad del concreto	83
CAPITULO V	
CONSIDERACIONES TECNICAS	
V.1 Introducción	85
V.2 Determinación de la resistencia promedio requerida	85
V.3 Interpretación y utilidad de la distribución normal de frecuencias	89
V.4 Concesiones que afectan la calidad del concreto	92
V.5 Criterios para diseño de mezclas	92
V.6 Comparación estadística del concreto premezclado respecto al hecho en obra	95

<b>V.7</b>	<b>Cartas de control de calidad</b>	<b>98</b>
<b>CAPITULO VI</b>		
<b>CONSIDERACIONES ECONOMICAS</b>		
<b>VI.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>100</b>
<b>VI.2</b>	<b>Determinación del costo directo</b>	<b>100</b>
<b>CAPITULO VII</b>		
<b>CONCLUSIONES</b>		
		<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		
		<b>108</b>

## I. INTRODUCCION

El concreto es un producto que por su versatilidad y excelentes propiedades mecánicas, se ha constituido como el material de mayor uso en la industria de la construcción. Puede ser moldeado en la forma que se quiere, y esto ha llevado a construir obras de gran belleza arquitectónica.

La fabricación del concreto es relativamente fácil, por lo que se usa tanto en la autoconstrucción como en obras de grandes dimensiones. Esto ha propiciado que en muchas obras no se le dé al concreto la debida atención en su producción, lo cual ha provocado problemas en las estructuras al presentarse esfuerzos que teóricamente debieran haberse soportado. El movimiento telúrico de 1985 en la Ciudad de México, es un claro ejemplo de la falta de atención en la producción del concreto, pues se observó que muchas estructuras fallaron a consecuencia de la baja calidad del concreto utilizado en su construcción.

Al fabricar concreto se debe tener especial cuidado en los materiales que lo conforman, y en su dosificación. De no hacerse lo anterior, se corre el riesgo de que el concreto no tenga la resistencia requerida, y que además no posea las propiedades que le son características, como lo son la durabilidad, impermeabilidad, etc.

Se debe entender que cualquier persona puede fabricar concreto, pero un concreto bien dosificado sólo puede ser producido cuando se tienen estudios de las propiedades de cada uno de los materiales, y cómo pueden afectar la calidad de estos a las propiedades mecánicas del concreto.

El concreto en la actualidad es ya toda una industria, y existen grandes productores de este material. Al concreto producido en una planta central, se le conoce como concreto premezclado.

Lo anterior provoca que en las obras pequeñas y medias se presente la disyuntiva de si utilizar concreto premezclado, o concreto producido en obra. Esta disyuntiva aparece sobre todo cuando se trata de elementos estructurales, como son trabes y columnas; que por sus volúmenes reducidos se piensa generalmente en construirlos con concreto hecho en obra.

En los elementos estructurales se presentan los esfuerzos críticos para la adecuada estabilidad de la estructura, y el construirlos con concreto hecho en obra puede resultar peligroso si este no cumple con los re querimientos solicitados, como lo es el de la resistencia a la compresión.

La ventaja principal del concreto premezclado es la garantía del pro ducto en cuanto a las propiedades con las cuales fué solicitado. Esta ga rantía se basa en el estricto control de calidad de los materiales y del producto final.

El objetivo que persigue esta tesis consiste en hacer una compa ra ción en cuanto a calidad y economía del concreto premezclado, respecto al concreto producido en obra. Asimismo se expone el procedimiento de fabri cación de las dos formas de producción, y en el caso del concreto hecho en obra se dan sugerencias para que este presente una calidad satisfacto ria, la cual cumpla con los requerimientos solicitados.

## II CARACTERISTICAS GENERALES DEL CONCRETO

### II.1.-BREVE DESARROLLO HISTORICO DEL CONCRETO

El concreto es un material estructural compuesto de cemento, agregados, agua y ocasionalmente aditivos. La utilización del concreto ha permitido construir grandes obras de ingeniería, las cuales hubiera sido imposible crearlas sin la existencia de este importante material.

La resistencia a la compresión es una propiedad característica del concreto, y si este es armado, la resistencia a la tensión es igual de importante. Dependiendo de la calidad de la materia prima (cemento, agregados, - agua y aditivos), y del cuidado que se tenga en la dosificación, mezclado y colado; el concreto es un material que tiene como característica una gran durabilidad.

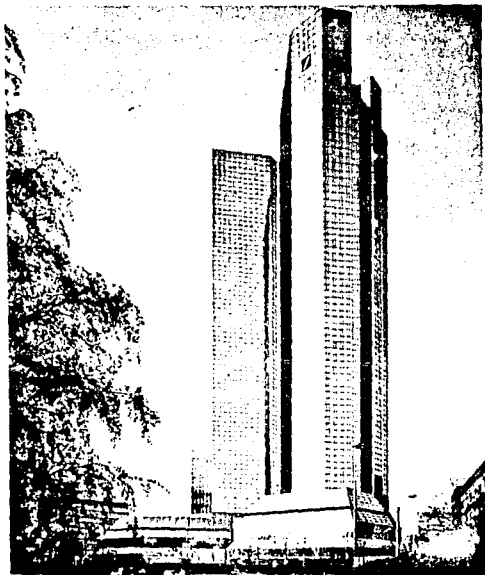


FIG II.1 MODERNA CONSTRUCCION EN CONCRETO ARMADO

En realidad el concreto es un material de construcción de reciente uso pues su utilización se remota a finales del siglo pasado. El uso más frecuente de este material fué consecuencia, entre otras cosas, de los incendios de 1871 en Chicago y 1906 en San Francisco; los cuales hicieron ver l

necesidad de crear estructuras resistentes al fuego.

Independientemente de los incendios, hubo 4 acontecimientos importantes que propiciaron el auge de las construcciones de concreto:

- Se comienza a fabricar acero por el procedimiento Bessemer en 1856
- Otis inventa el freno de seguridad para los elevadores en 1857
- Se establece la primera fábrica de cemento en los E.U., en 1871
- Se inicia el suministro de energía eléctrica en Londres y Nueva York - en 1882.

De los 4 aspectos mencionados, la fabricación de acero fué el más importante, pues permitió la construcción de elementos estructurales de concreto armado.

Tanto en Europa como en E.U. se comenzó a estudiar el concreto, y se empezaron a construir acueductos y pequeños edificios. Sin embargo, en un principio se consideraba al concreto como un material tosco y pesado que proporcionaba volumen y resistencia a la compresión, pero solo en contadas ocasiones se permitía que quedara expuesto a la vista en las superficies donde la apariencia era importante.

La mayor obra construida con materiales tradicionales ocurrió en 1891, cuando se erigió el edificio de mampostería Monadnock de 16 pisos, cuyas paredes de ladrillo tenían un espesor de 1.83 m. En ese mismo año se construyó un museo de concreto armado: el Leland de la Universidad de Stanford, Cal; y en 1902 se construyó el primer rascacielos de concreto: el edificio Ingalls de 16 pisos y 54 metros de altura.

En México, las primeras estructuras de concreto se construyeron a principios de este siglo. En 1902 se construyó un sótano para un comercio de la Ciudad de México, y al año siguiente se edificó la "Ferretería del Candado" en Mérida, Yuc.

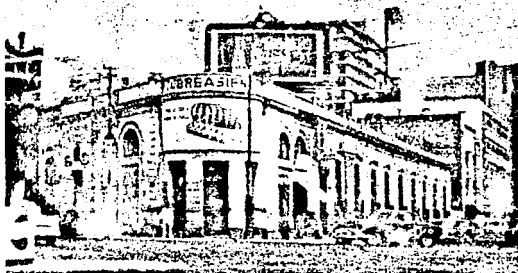


FIG 1.2 PRIMERA CONSTRUCCION EN CONCRETO ARMADO EN MEXICO

A pesar de los beneficios innegables que probó tener el concreto, existía la incertidumbre acerca del comportamiento de las estructuras construidas con este material. Esta incertidumbre se debió al hecho de no poder predecir con cierta seguridad, qué resistencia a la compresión se podía esperar del concreto.



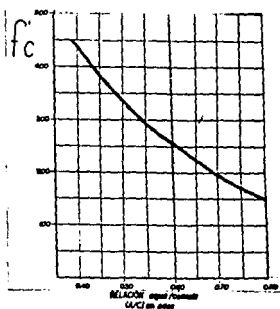
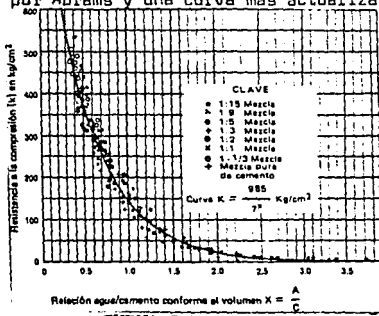
Duff.A.Abrams, gracias a su famosa relación agua/cemento, dió el pa so que permitió predecir la resistencia del concreto. Está relación indi ca que con un determinado agregado, la resistencia depende exclusivamen te de la relación agua/cemento en el concreto fresco.

La relación agua/cemento se calcula dividiendo el peso del agua, en tre el peso del cemento contenido en un volumen determinado de concreto.

Las pruebas realizadas por Duff A.Abrams en 1918, fueron efectuadas en la Lone Star Cement Company. Los resultados obtenidos de las pruebas se refieren a las mezclas preparadas con arena natural y grava de 3/4", y una relación agregado fino/agregado grueso de 1.86; el concreto se mez cló con una máquina especial. De cada mezcla se hicieron dos cilindros de 15.2 por 30.5 cm, los cuales se curaron con humedad y se probaron a los 28 días. Los valores que se obtuvieron son el promedio de pruebas de los dos cilindros. Se llevó a cabo un total de 86 mezclas, 43 con una combinación de 4 tipos de cemento Portland normal y 43 con cemento Por tland de alta resistencia temprana. Se prepararon 7 mezclas con cada una de cinco relaciones agua/cemento. Se utilizó una variedad de contenidos de cemento y, en consecuencia, de revenimientos en cada relación agua/ cemento.

La curva (a/c vs f'c) que obtuvo Abrams difiere con las actuales, pues el cemento utilizado en sus investigaciones es diferente en algunos aspectos con los producidos actualmente. Además, hay otros factores que impiden predecir con certeza la resistencia real del concreto; pues los agregados, aditivos, tipo de mezcladoras, tiempos de mezclado, transpor te y curado del concreto, etc, son variables que afectan a la resisten cia esperada.

A continuación se presenta una comparación entre la curva obtenida por Abrams y una curva más actualizada:



Así como Abrams, otros investigadores han seguido estudiando el con creto; siendo éste un material con innumerables propiedades, las cuales es necesario conocer para poder fabricarlo con un mayor grado de calidad.

En resumen, el concreto ha contribuido al desarrollo acelerado que ha tenido la construcción en este siglo. Esto es debido a las propiedades que posee el concreto, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: moldeabilidad, resistencia a la compresión, durabilidad, impermeabilidad, resistencia al desgaste y al fuego, etc.

## II.2.- MATERIAS PRIMAS EN LA FABRICACION DEL CONCRETO

II. 2.1.- CEMENTO.- El cemento más utilizado en la construcción es el denominado Portland. Es un material que al mezclarse con el agua adquiere propiedades adhesivas, capaz de aglutinar diversos materiales tales como: grava, arena, ladrillo, acero, etc.

El cemento Portland es un cementante hidráulico debido a que fragua y endurece al experimentar una reacción química al mezclarse con el agua. El descubridor de este cementante fué el constructor escocés Joseph Aspdin en 1824, y se le denomina Portland debido a su color semejante al de las canteras de Portland, Inglaterra.

Aspdin hacía una mezcla de caliza y arcilla finamente triturada, la que posteriormente introducía en un horno hasta eliminar el bióxido de carbono ( $CO_2$ ). Sin embargo, el calor que se podía obtener en ese horno era insuficiente para formar el "clinker" y obtener así un compuesto cementante de buena calidad.

Posteriormente otros investigadores se abocaron a estudiar el cemento Portland, y fue Isaac Johnson quien en 1845 obtuvo en su horno una temperatura tal, que al calentar arcilla y caliza se formó el "clinker"; este es el prototipo del cemento moderno.

En México, el cemento Portland está clasificado en la forma siguiente:

- TIPO I.- Común: es de color gris para usos generales o blanco para fines ornamentales.
- TIPO II.- Moderado calor de hidratación y moderada resistencia al ataque de sulfatos.
- TIPO III.- Alta resistencia rápida
- TIPO IV.- Bajo calor de hidratación
- TIPO V.- Alta resistencia al ataque de los sulfatos
- C-2 .- Portland puzolónico: destinado a construcciones con grandes masas de concreto.
- C-17 .- Portland de escoria de alto horno

Otros tipos.

Atendiendo a la definición de la Norma Oficial Mexicana (NOM), se dice que el cemento Portland es un material que proviene de la pulverización del producto obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizas que contengan los óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro, en cantidades convenientemente calculadas y sin más adición posterior que yeso sin calcinar y agua; así como otros materiales que no excedan del 1% del peso total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento.

Los compuestos principales del cemento Portland son los siguientes:

SILICATO TRICALCICO	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
SILICATO DICALCICO	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>
ALUMINATO TRICALCICO	C <sub>3</sub> A <sub>1</sub>
FERRALUMINATO TETRACALCICO	C <sub>4</sub> A <sub>1</sub> Fe

Estos compuestos constituyen aproximadamente el 90% del cemento, el restante 10% lo componen elementos como: yeso, cal libre, magnesio, álcalis, etc.

Para lograr un compuesto tal que cumpla con la definición anterior, se necesitan dos materias primas básicas: la primera es la caliza y la segunda un material que puede ser granito, arcilla, riolita, escoria o andesita.

Las materias primas se deben analizar cuidadosamente para saber su composición, de tal manera que de acuerdo a las propiedades que se desea tenga el cemento, dosificarlas y proporcionarlas.

Hay dos sistemas de fabricación del cemento Portland: el seco y el húmedo. En México, la mayoría de las fabricas utilizan el sistema seco, por lo que a continuación se describe el proceso de fabricación.

**II.2.1.1 FABRICACION DEL CEMENTO PORTLAND (SISTEMA SECO).**- El primer paso para la fabricación del cemento Portland, es la explotación de canteras de piedra caliza. Generalmente con explosivos se obtienen miles de toneladas de piedra, la cual se transporta por diversos medios (camiones, góndolas de ferrocarril, etc) hacia máquinas trituradoras de mandíbula, rotatorias o de martillo. En estas trituradoras se reducen los trozos que llegan con dimensiones mayores de 60 cm., a sólo unos 15 cm. de tamaño. Posteriormente se transporta la piedra triturada hacia otras quebradoras (generalmente de cono), que la convierten en tamaños de aproximadamente 4 cm. de diámetro. El procedimiento anterior es aplicado también a la arcilla, mineral de hierro, etc.

Los materiales ya triturados se transportan en bandas de hule hacia el patio de almacenamiento, en donde se acomodan en grandes montones.

Como la caliza y la arcilla contienen humedad, esta se le extrae en forma individual por medio de secadores. Estos son cilíndricos, con una ligera inclinación con respecto a la horizontal y tienen un lento movimiento de rotación. El material circula de arriba hacia abajo, y en la dirección opuesta a este circulan gases calientes que desecan uniformemente la caliza o arcilla, ayudando a esto unas palas adheridas al seca-

dar a sus correspondientes depósitos, para que al momento de utilizarse una grúa viajera los tome y conduzca hacia las tolvas de alimentación - de los molinos de material crudo.

Las tolvas de alimentación se encuentran en número de dos o más, - debido a que en frecuentes ocasiones no sólo se utilizan caliza y arcilla, sino también correctores férricos, silicosos, etc.

Mediante bandas transportadoras se conducen los materiales desde - las tolvas hacia pesadores automáticos, los cuales dosifican dichos materiales de acuerdo a la composición química de los mismos y del tipo de cemento que se desee producir.

Va juntos los materiales (arcilla, caliza y algún otro), y debidamente dosificados, se conducen al molino de material crudo. Este molino es de bolas, impulsado por un motor eléctrico de más de 2000 H.P. y tiene 2 o 3 compartimientos con el fin de lograr la molienda por etapas su cesivas. Las bolas de acero del primer compartimiento son mayores a las contenidas en el segundo, y las de este son también mayores que las del tercero.

El primer compartimiento reduce el material a tamaños máximos de - 3 cm, el segundo lo reduce aún más y el tercero lo convierte en polvo fino.

El material ya reducido a polvo, se conduce por bombeo hacia los silos de homogeneización y de allí pasan a los hornos de calcinación. - Estos son cilíndricos y rotatorios, provistos de quemadores que utilizan como combustible petróleo crudo o gas; están forrados en su interior de tabique refractario, con el fin de soportar temperaturas que alcanzan hasta 1400°C.

Los hornos de calcinación miden de 2 a 6 m. de diámetro, de 25 a 165 m. de largo y con una inclinación aproximada de 4% con respecto a la horizontal. Su capacidad fluctúa entre 80 y 2000 toneladas diarias de "clinker" cada uno.

El material crudo entra al horno de calcinación por la parte superior y conforme va descendiendo encuentra temperaturas más elevadas, hasta llegar a 1400°C. La mezcla cruda descarga en el extremo inferior en un estado de semifusión, lo cual permite la formación de nodulos de diámetro de 1 a 5 cm. A estos nodulos se les conoce con el nombre de - "clinker".

Al salir del horno, el "clinker" pasa a un enfriador de acero o a una parrilla inclinada, en donde se le baja la temperatura a menos de - 100°C. De aquí el "clinker" es transportado al patio de almacenamiento.

El "clinker" y el yeso son analizados en el laboratorio, con el - fin de conocer su composición química. Estos materiales son transportados del patio de almacenamiento hacia las tolvas, y de aquí por medio - de bandas de hule son conducidos hacia las pesadoras automáticas. La dos sificación es de aproximadamente 6% de yeso y 94% de "clinker"

El añadir la proporción adecuada de yeso permite regular el fraguado del cemento Portland, eleva su resistencia y reduce la contracción - por resecamiento.

Tanto el "clinker" como el yeso, una vez dosificados, pasan al molino de cemento. Este molino es de bolas de acero y similar al molino de material crudo. El polvo fino que se obtiene de la molienda es ya el cemento Portland, que es conducido hacia los silos de cemento.

La finura del cemento es importante para clasificar el producto en sus diversos tipos. Una finura de 2800 cm/gr (utilizando el método de permeabilidad de aire) es la usual para los tipos I, II, IV y V; para el tipo III la finura requerida es de 4000 cm/gr.

De los silos de cemento se despacha el producto a granel, o es envasado en sacos de papel con un contenido neto de 50 kgs.

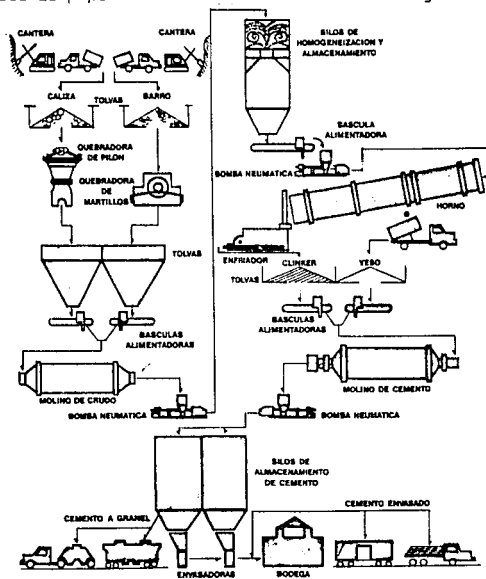


FIG II.4 PROCESO DE ELABORACION DE CEMENTO (SISTEMA SWCO)

II.2.1.2 NORMAS REFERENTES AL CEMENTO.- Para determinar las características y propiedades físicas del cemento, existen diversas normas, las cuales indican los procedimientos de prueba. Entre las normas importantes se encuentran las siguientes:

- 1) FINURA.- NOM-C-150  
NOM-C-49  
NOM-C-55  
NOM-C-56
- 2) SANIDAD.- NOM-C-62
- 3) TIEMPOS DE FRAGUADO.- NOM-C-58  
NOM-C-59
- 4) FRAGUADO FALSO.- NOM-C-132
- 5) RESISTENCIA A LA COMPRESION.- NOM-C-61
- 6) PESO ESPECIFICO.- NOM-C-152
- 7) NORMAS REFERENTES AL CEMENTO.- NOM-C-1 "CEMENTO POTLAND"  
NOM-C-2 "CEMENTO POTLAND PUZOLANA"  
NUM-C-175 "CEMENTO POTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO"

II.2.2 AGREGADOS.- Los agregados utilizados para la fabricación del concreto se clasifican en dos tipos:

- a) finos o arenas.- son las partículas menores de 3/16" (4.76 mm)
- b) gruesos o gravas.- partículas mayores que la arena. El agregado grueso también se clasifica en dos tipos usuales:
  - grava 3/4"
  - grava 1 1/2"

Los agregados ocupan un mínimo del 75% del volumen del concreto, y la calidad de ellos es de primordial importancia para el buen comportamiento estructural del mismo.

En un principio los agregados se consideraban como un material de relleno, lo que llevaba a la práctica de utilizar el máximo de agregado y el mínimo de cemento. Esto era ocasionado por lo económico de los agregados con respecto al cemento; pero al paso del tiempo y hechos muchos estudios, se llegó a descubrir que los agregados son responsables de considerables ventajas técnicas que tiene el concreto.

II.2.2.1 OBTENCIÓN DE AGREGADOS.- Las formas más comunes de obtención de agregados es el cribado y la trituración.

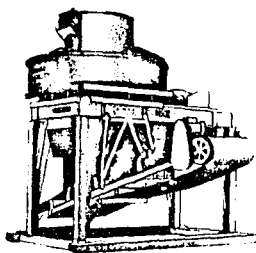
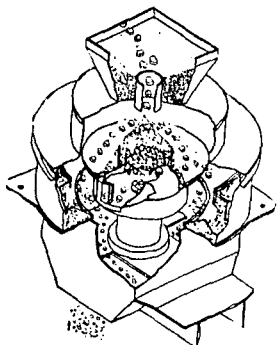
El cribado es el proceso más sencillo. Generalmente se hace en seco, pero se utiliza agua cuando hay un exceso de partículas adheridas a los tambores mayores.

Las cribas son elementos auxiliares en forma de caja que tienen como finalidad la de clasificar la piedra, separándola y almacenándola en partículas de tamaños uniformes, o bien eliminando la que se pase del tamaño requerido. El equipo de cribado es variado y se clasifica en los tipos siguientes:

- a) cribas giratorias
- b) cribas con movimiento en vaivén
- c) cribas vibratorias

La trituración se aplica cuando se desea reducir trozos de roca o gravas mayores a las que se desea obtener. Las trituradoras, también llamadas quebradoras, se clasifican de acuerdo a la etapa de trituración realizada; primaria, secundaria, terciaria, etc. Las trituradoras se clasifican en los tipos siguientes:

- a) de quijada
- b) giratoria o cónica
- c) de rodillos
- d) de molino de martillos o de impacto
- e) de molino de barras y bolas



**FIG II.5 TRITURADORA CONICA O GIRATORIA**

La elección del tipo de trituradoras a emplear depende del tipo de material, y de las características que se desea posean las partículas obtenidas del proceso de trituración.

Las partículas obtenidas de este proceso, presentan en muchas ocasiones formas alargadas, angulosas o planas; las cuales son indeseables para fabricar concreto. Las partículas planas reducen la trabajabilidad de la mezcla y puede afectar negativamente la durabilidad del concreto. Esto último se presenta al orientarse las partículas en un solo plano, originando así que se formen huecos de aire debajo de ellas y que además se acumule agua.



**FIG II.6 DIVERSAS FORMAS DE PARTICULAS OBTENIDAS EN LA TRITURACION**  
**II.2.2 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

1) ADHERENCIA DEL AGREGADO.- La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento está estrechamente ligada a la textura superficial. La textura de un material afecta la resistencia a la flexión, y en menor grado a la resistencia a la compresión. Se ha comprobado que a medida que un agregado es más áspero, las resistencias antes mencionadas tienden a elevarse; y esto puede ser debido a que una textura áspera produce una mayor adherencia entre las partículas y la pasta de cemento.

El material obtenido por trituración es generalmente más áspero que el obtenido por cribado, y esto trae como consecuencia una mejor adherencia.

Independientemente de la textura, la adherencia también se ve afectada por las propiedades físicas y químicas del agregado. Sin embargo, la experiencia y observación son básicas para predecirla.



**2) RESISTENCIA DEL AGREGADO.-** La resistencia de un agregado se divide en varios tipos:

- a) resistencia a la compresión
- b) resistencia al impacto
- c) resistencia al desgaste o abrasión
- d) otras

La resistencia a la compresión que se obtiene de un agregado, siempre es mayor que la resistencia del concreto fabricado con ese material específico. La composición, textura y estructura de un agregado son básicas para la resistencia del mismo.

Cuando un agregado es utilizado en la fabricación de concreto destinado a la construcción de carreteras, la resistencia al impacto es de vital importancia. La propiedad que permite soportar el impacto a un agregado es la tenacidad, y esta se define como la resistencia del agregado a la falla por impacto.

La resistencia al desgaste o abrasión es de suma importancia cuando un concreto se emplea en carreteras, y cualquier superficie sometida a tráfico intenso. La prueba que permite determinar la resistencia al desgaste es la llamada prueba de Los Angeles. La norma NOM-C-196 indica el procedimiento para llevar a cabo esta prueba.

**3) DENSIDAD.-** La densidad es necesaria para calcular el rendimiento del concreto y para determinar la cantidad requerida de agregado para un volumen dado de concreto.

A la densidad utilizada en cálculos de concreto también se le conoce como densidad aparente, y la Norma Oficial Mexicana (NOM) le denomina masa aparentemente saturada y superficialmente seca (MESSs).

La densidad es la relación de peso a volumen, considerando el peso de las partículas saturadas de agua, superficialmente secas y el volumen sólido de las partículas que incluyen los volúmenes de los poros que se encuentran dentro de las mismas. El resultado se expresa en  $g/cm^3$  o  $kg/dm^3$ .

Una condición saturada y superficialmente seca de los agregados, es necesaria para cálculos referentes al concreto. El agua contenida en todos los poros del agregado no toman parte en las reacciones químicas del cemento, y debido a esto se considera como parte del agregado.

Los agregados naturales varían su densidad entre 2.4 y 2.7, pero su valor real no mide la calidad del agregado. El valor de la densidad, y el procedimiento de obtención de la misma, está contenida en las NOM siguientes:

NOM-C-164 "DETERMINACION DE LA MASA ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO"

NOM-C-165 "DETERMINACION DE LA MASA ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGUA DEL AGREGADO FINO"

**4) PESO VOLUMETRICO.-** El peso volumétrico del agregado es utilizado cuando este se maneja por volumen; y también para convertir cantidades en pe

so a cantidades en volumen, y viceversa.

El peso volumétrico es el peso de material por unidad de volumen, - siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente determinado. Es claro que el peso volumétrico depende de que tan compactado esté el material dentro de dicho recipiente, y el resultado se expresa en  $\text{kg/m}^3$ .

El peso volumétrico depende de la densidad, tamaño, distribución y - forma de las partículas del agregado. Dos materiales con idéntica densidad, pero uno con mayor cantidad de partículas pequeñas que el otro; tiene un peso volumétrico mayor. Lo anterior es debido a que las partículas pequeñas ocupan los huecos que no pueden ocupar las partículas mayores.

Si tenemos dos clases distintas de gravas (A y B), ambas con idéntica densidad y contenido de humedad; diremos que si el peso volumétrico de A es mayor al obtenido en B, el material A tiene menos huecos que llenar con arena y cemento. Los resultados obtenidos de esta prueba son base para el proporcionamiento o diseño de mezclas.

Hay dos tipos de peso volumétrico: el suelto y el compactado. Este - último es utilizado por el ACI para el diseño de mezclas.

La NOM-C-73 "DETERMINACION DE LA MASA VOLUMETRICA", indica el procedimiento para obtener los dos tipos de peso volumétrico antes mencionados. Tanto la grava como la arena son sometidos a esta prueba.

5) POROSIDAD.- La densidad de un material está estrechamente ligada a la porosidad del mismo. De esta manera, la porosidad afecta el rendimiento - del concreto expresado en  $\text{lbs/m}^3$ .

Algunos de los poros de un agregado están totalmente dentro de la - partícula, y otros se encuentran en su superficie. El tamaño de los poros en general, son muy pequeños para que la pasta de cemento penetre en - ellos; pero el agua si puede entrar, y la cantidad de agua que penetra es tá en función del tamaño de los poros, de su continuidad y de su volumen total.

Para que la porosidad no afecte al agua de mezclado, es necesario - calcular la absorción del agregado. Lo anterior se hace con el fin de conocer con certeza la cantidad de agua que necesita el material para saturarse, es decir, que todos los poros estén llenos de agua.

6) ABSORCION DE AGUA.- La absorción no es más que la diferencia en % entre el peso del agregado en estado seco, con respecto al mismo, pero en su estado saturado y superficialmente seco.

Si un agregado no está en la condición de saturado y superficialmente seco, y no se toma esto en cuenta; provoca que al fraguar el concreto, el agregado absorba agua que no estaba incluida para ese fin. Sin embargo, es posible que la pasta de cemento cubra rápidamente los poros del - agregado, y por consiguiente impida que el material absorba el agua de - mezclado.

El procedimiento para obtener el valor de la absorción está contemplado en las NOM siguientes:

NOM-C-164 "DETERMINACION DE LA MASA ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO - GRUESO"

NDM-C-165 "DETERMINACION DE LA MASA ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO"

7) HUMEDAD TOTAL.- La humedad que absorbe el agregado expuesto a la lluvia es considerable, y con excepción de la superficie de la pila, la man tiene durante un período considerable de tiempo. Lo anterior afecta en mayor grado a la arena que a la grava, y la humedad debe calcularse y to marse en cuenta para la dosificación correcta de materiales.

La humedad total es la diferencia en % entre el peso del agregado - en su condición seca, con respecto al mismo, pero en su condición de almacenamiento.

El valor de la humedad es variable con respecto al tiempo, pues depende de las condiciones climatológicas. Es necesario pues, calcular con relativa frecuencia el contenido de humedad de los agregados.

El % de humedad que posee un material, sobre todo en temporada de - lluvias, es mayor al de la absorción. De lo anterior se deduce que el - agregado tiene agua en exceso, que si no es tomada en cuenta, afecta el proporcionamiento. Esto trae como consecuencia que se adicione más agua de lo debido a la mezcla, y que provoque como resultado, entre otros, - una baja en la resistencia a la compresión esperada.

La humedad difiere de un punto a otro de la pila, por lo que la - muestra para el cálculo debe ser representativa; es decir, la muestra de be estar formada de porciones tomadas de diferentes puntos de la pila.

La norma que indica el procedimiento para el cálculo de la humedad es la siguiente:

NDM-C-166 "CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD POR SECADO"

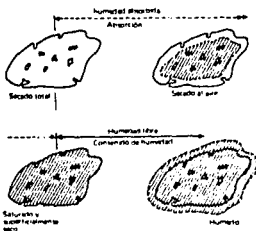


FIG II.7 REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LA HUMEDAD EN EL AGREGADO

8) IMPUREZAS ORGANICAS.- La materia orgánica que contiene el agregado fi no, interfiere con las reacciones químicas del cemento. Lo anterior pu de provocar bajas resistencias y baja durabilidad del concreto. La mate- ria orgánica es generalmente de origen vegetal, y se presenta en forma - de humus o margas orgánicas.

El contenido de materia orgánica se determina mediante una sencilla

prueba comparativa, la cual consiste en preparar una solución que reacciona con la arena. Después de dejar reposar la solución con la arena por espacio de 24 horas, se compara el color de la solución con el tono patrón (color ámbar) establecido por la norma.

A medida que la solución es más oscura que el tono patrón, la solución está libre de materia orgánica, o esta es muy poca para poder afectar al concreto. A esta prueba también se le conoce como "prueba de colorimetría".

La norma que indica el procedimiento para determinar el grado de impureza orgánica de la arena, es la siguiente:

NOM-C-88 "DETERMINACION DE IMPUREZAS EN EL AGREGADO FINO"

9) EQUIVALENTE DE ARENA.- La prueba de equivalente de arena consiste en obtener el porcentaje de arcilla, limos, polvos de trituración y otros materiales finos que forman parte del agregado fino.

La arcilla se presenta recubriendo el agregado, lo cual provoca una inadecuada adherencia entre esta y la pasta de cemento, provocando con esto bajas resistencias en el concreto.

Los limos y polvos de trituración también son perjudiciales, aunque en menor grado que la arcilla. Estos dos materiales finos elevan la cantidad de agua necesaria para humedecer todas las partículas de la mezcla.

La norma British Standar N° 812 indica el procedimiento de prueba para obtener los porcentajes de arena y materiales finos que forman parte del agregado fino. En nuestro país se han basado en esta norma británica para obtener el equivalente de arena.

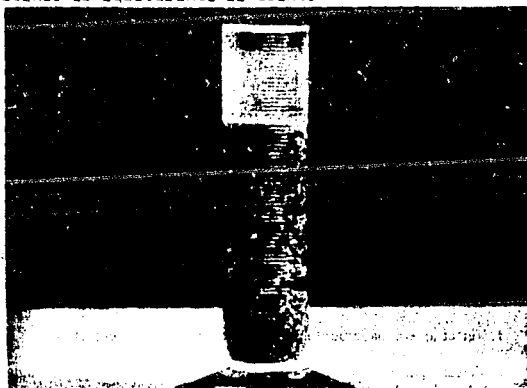


FIG II.8 PRUEBA DE EQUIVALENTE DE ARENA

10) SANIDAD.- La sanidad es la capacidad que tiene un agregado para soportar cambios excesivos en volumen, esto como consecuencia de los cambios.

en el clima. Cuando un agregado no es sano, provoca descascaramiento y -  
agrietamiento en el concreto.

La norma que permite determinar la sanidad del agregado es la si-  
guiente:  
NOM-C-75 "DETERMINACION DE LA SANIDAD POR MEDIO DEL SULFATO DE SODIO O -  
DEL SULFATO DE MAGNESIO"

11) GRANULOMETRIA.- Esta prueba es un procedimiento que permite conocer  
la composición granulométrica de los agregados, de tal manera que la in-  
formación recibida sirva para obtener la mejor combinación posible de ta-  
maños, con el fin de obtener una mezcla de buenas características.

Una buena granulometría permite obtener del concreto una trabajabi-  
lidad adecuada, facilitar la compactación, ahorrar cemento (cuando se -  
mantienen fijos el revenimiento y la resistencia), etc.

La granulometría consiste en dividir una muestra de agregado en di-  
versas fracciones, cada una de ellas compuesta de partículas de un mismo  
tamaño. Para obtener esas fracciones se dispone de mallas normalizadas,  
las cuales son circulares, con tejido de alambre y orificios cuadrados.



FIG II.9 GRANULOMETRIA DE UNA MUESTRA DE GRAVA

La composición granulométrica se obtiene al pasar el agregado por -  
diversas mallas, acomodadas estas en un orden determinado.

La agitación de las mallas puede ser manual o mecánica, pero en ---  
cualquier caso se debe tener la certeza de que el tiempo de agitado ha -  
llevado a un eficiente cribado. El procedimiento para obtener un cribado  
se indica en la norma NOM-C-77 "ANALISIS GRANULOMETRICO-DETERMINACION"

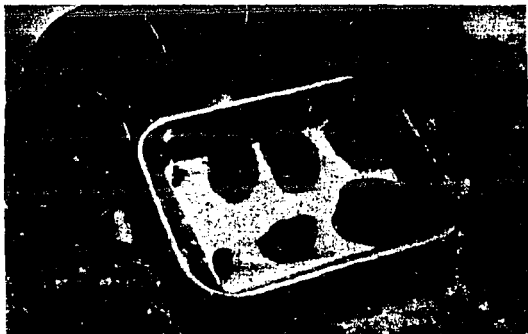
La muestra de agregado que va a ser sometida a la prueba de granulo-  
metría debe ser representativa. Las normas que a continuación se nombran  
indican el procedimiento para que una muestra sea representativa.

NOM-C-30 "MUESTREO"

NOM-C-170 "REDUCCION DE LAS MUESTRAS DE AGREGADOS OBTENIDOS EN EL CAMPO,  
AL TAMAÑO REQUERIDO PARA LAS PRUEBAS"

La granulometría de los agregados se obtiene al anotar el peso de material que es retenido en las mallas siguientes:

- a) GRAVA.- 3" (76.2), 2" (50.8), 1 1/2" (38.1), 1" (25.4), 3/4" (19.05), NQ4 (4.75) y charola.
- El material que pasa la malla NQ4 es arena. Esta es retenida en la charola y se le llama contaminación de la grava.
  - El número dentro de los paréntesis indican la abertura de las mallas - en mm.
- b) ARENA.- NQ4 (4.75), NQ8 (2.36), NQ16 (1.18), NQ30 (0.60), NQ50 (0.30), NQ100 (0.15), charola.
- El material retenido en la malla 4 es grava, y se le llama contaminación de la arena.
  - La charola contiene el material que no es retenido en la malla NQ100.

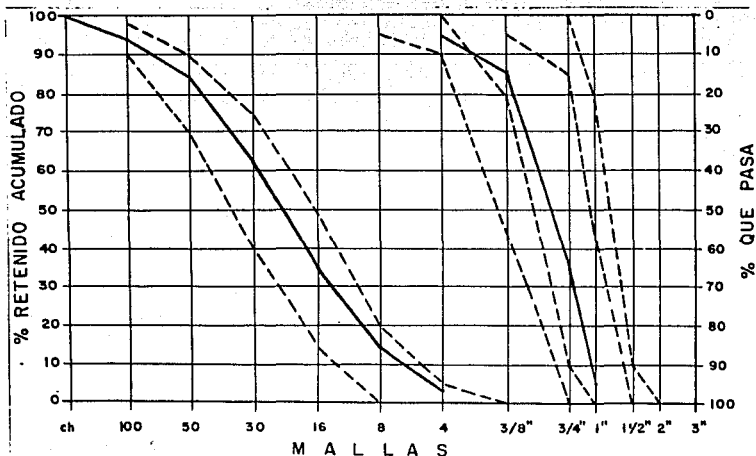


**FIG II.10 GRANULOMETRIA OBTENIDA DE UNA MUESTRA DE ARENA**

Con las cantidades de material retenido en cada malla, se elabora una representación gráfica denominada curva granulométrica. Esta curva nos permite visualizar en forma clara si el agregado se encuentra dentro de los límites establecidos por la siguiente norma:

**NOM-C-111 "AGREGADOS-ESPECIFICACIONES"**

Un ejemplo de cálculo de granulometría y su representación gráfica es la siguiente:



PROPIEDADES GRANULOMETRICAS						
MALLA	% RETENIDOS					
	ARENA		GRAVA 1		GRAVA 2	
	parcial	acum.	parcial	acum.	parcial	acum.
3"						
2"						
1 1/2"						
1"			3.72	3.72		
3/4"			30.58	34.30		
3/8"			51.65	85.95		
N° 4	3.5	3.5	8.26	94.21		
N° 8	12.0	15.5				
N° 16	19.9	35.4				
N° 30	26.8	62.2				
N° 50	22.8	85.0				
N° 100	9.3	94.3				
Charola	5.7	100.0	5.79	100.0		
SUMA	100.0		100.00			

----- LIMITES GRANULOMETRICOS      ——— CURVA GRANULOMETRICA

12) MODULO DE FINURA.- Este módulo permite conocer si una arena es fina o gruesa. La NQM-C-111 establece que el módulo de finura no debe ser menor de 2.30 ni mayor de 3.10, y a medida que este es mayor indica que el agregado es más grueso.

La granulometría obtenida en el inciso (11) sirve para ejemplificar la obtención del módulo de finura.

10 Se suman los porcentajes acumulados de las mallas NQ 4, 8, 16, 30, 50 y 100: = 3.5 + 15.5 + 35.4 + 62.2 + 85.0 + 94.3 = 295.9

20 La suma obtenida se divide entre 100:  $295.9/100=2.96$

El módulo de finura es por lo tanto de 2.96

De acuerdo al valor del módulo de finura, la arena se clasifica en la forma siguiente:

FINA: 2.30 - 2.55

MEDIA: 2.56 - 2.85

GRUESA: 2.86 - 3.10

II.2.3 AGUA PARA CONCRETO.- El agua no es un elemento que en general causa variaciones en la calidad del concreto, pero en caso de duda se analiza químicamente, o se realizan pruebas comparativas de concretos fabricados con agua de probada calidad y concretos fabricados con el agua en duda.

En general, la calidad del agua se ve afectada por las impurezas; - las cuales pueden afectar negativamente la resistencia del concreto, provocar corrosión en el acero de refuerzo, impedir las reacciones químicas del cemento o causar manchas en la superficie del concreto.

El agua potable es garantía de buena calidad, y en algunas especificaciones se indica que esta agua debe ser la usada para la fabricación del concreto.

El agua de mar produce manchas en la superficie del concreto, por lo que no debe usarse en lugares donde la apariencia sea importante. También esta agua produce a la larga pérdida de resistencia en el concreto, la cual no excede del 15%.

Cuando se tiene duda acerca de la calidad del agua se puede recurrir a la NQM-C-122, la que permite determinar si el agua destinada a la fabricación del concreto es o no apta para su uso.

NQM-C-122 \*AGUA PARA CONCRETO\*

II.2.4 ADITIVOS.- Los aditivos son productos químicos que se adicionan al concreto antes o durante el mezclado de los materiales. Estos productos pueden ser líquidos o polvos, y no son considerados como componentes esenciales del concreto.

La dosificación incorrecta de aditivos afecta a las propiedades del concreto, por lo que debe hacerse en forma precisa debido a que se añade a la mezcla en cantidades pequeñas.

Al usar aditivos se busca modificar u obtener características específicas en el concreto o en su comportamiento, ya sea en su estado fresco o



en su estado endurecido.

Los aditivos se pueden clasificar en dos tipos:

a) aditivos que afectan permanentemente las características del concreto (color, aumento de la resistencia a la compresión, repelente al agua, resistente a las heladas, etc).

b) aditivos que afectan momentáneamente las características del concreto (retardar o acelerar el proceso de fraguado, aumento de la trabajabilidad, etc).

Hay una gran variedad de aditivos, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- retardantes
- acelerantes
- reductores de agua
- inclusores de aire
- impermeabilizantes
- expansores
- estabilizadores de volumen
- colorantes
- superfluidificantes
- inhibidores de corrosión
- retardantes y reductores de agua
- acelerantes y reductores de agua
- superfluidificantes y retardantes
- otros

Las normas que se refieren a los diversos tipos de aditivos son las siguientes:

NGM-C-255 "ADITIVOS QUÍMICOS QUE REDUCEN LA CANTIDAD DE AGUA Y/O MODIFICAN EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO"

NOM-C-200 "ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE PARA CONCRETO"

ASTM-C-429

ACI-212

### III CONCRETO PREMEZCLADO

#### III.1 BREVE DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONCRETO PREMEZCLADO EN MÉXICO

El concreto premezclado es el concreto dosificado en una instalación denominada central. El mezclado de los materiales se realiza en una revolventadora estacionaria ubicada en la central y/o en un camión mezclador, y se transporta una distancia más o menos larga hasta su lugar de colocación, mediando una relación comercial entre el fabricante y el usuario.

En México, el concreto premezclado no tiene el grado de aceptación que tiene en otros países. Esto se debe a la tendencia de considerarlo como una simple materia prima, sin tener en cuenta los múltiples servicios que este compra significa. El concreto premezclado es un material hecho a la medida y entregado a pié de obra. Las características del concreto solicitado se adaptan al problema particular de cada trabajo, para cada técnica de construcción y muchas veces para unas determinadas condiciones climáticas.



FIG III.1 PLANTA CENTRAL DE CONCRETO PREMEZCLADO

En 1940 se ubican los inicios de la industria del concreto premezclado en México. Esto gracias a la creación de la empresa Concretos Arví de, S.A.; la cual contaba con una planta de mezclado central y 2 camiones de volteo que transportaban el concreto. Pero no fue sino hasta 1951 que se instaló la empresa Concretos Premezclados Mixcoac, S.A. ( hoy-APASCO), la que inició la industria del concreto premezclado, tal y como se conoce actualmente. Los multifamiliares Juárez y Alemán, así como el viaducto Río la Piedad, fueron de las primeras construcciones en las cuales se utilizó el concreto premezclado.

El acelerado crecimiento del país llevó a un desarrollo extraordinario

rio de la industria de la construcción, lo que permitió la expansión de la industria del concreto premezclado. A casi 3 décadas del inicio de esta industria, opera en 25 estados de la República Mexicana con una capacidad instalada mayor a los 6 millones de metros cúbicos anuales. Aproximadamente el 60% de la producción total se concentra en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.

Los escasos conocimientos que se tenían acerca de la tecnología del concreto, propiciaron que en un principio esta industria se guiara empíricamente. No se tenía cuidado en la dosificación correcta de los materiales y no se sabía nada sobre el efecto de los diferentes tiempos de mezclado en la calidad del concreto. Se descargaban las revolvedoras y se transportaba el concreto en camiones de volteo, desconociendo las consecuencias que la segregación y el sangrado ocasionan en la calidad de las estructuras.

Las anteriores deficiencias se fueron venciendo como consecuencia, entre otras cosas, del nacimiento de la industria del concreto premezclado. Por medio de revistas, conferencias y otros medios; los representantes de las empresas premezcladoras fueron creando conciencia entre los constructores, de que el concreto es un material al cual se le debe prestar atención en su producción. De esta manera hicieron ver las bondades y ventajas del concreto premezclado, además de impartir conocimientos que redundaron en un incremento en la calidad del concreto hecho en obra.

Con el fin de promover el uso del concreto premezclado, los representantes de estas empresas crearon una asociación en 1958, la cuál llevó el nombre de Asociación Nacional del Concreto Premezclado, A.C. Una de las primeras acciones llevadas a cabo por la asociación, fue la de crear un laboratorio que controlaba y verificaba la calidad del concreto producido por las empresas asociadas.

En la actualidad, la asociación que engloba a la mayoría de las empresas premezcladoras del país es la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado, A.C. (AMIC). Los esfuerzos de esta asociación se han encaminado principalmente al área técnica; creando comités de trabajo que se dedican a resolver los problemas a los que se enfrentan sus agremiados, así como a realizar encuestas con el objeto de conocer los problemas que enfrentan los usuarios del concreto premezclado.

Uno de los principales trabajos asignados al área técnica, fue la de establecer un programa nacional de Homologación de Laboratorios. Para los premezcladores, la necesidad de homologar sus laboratorios fue consecuencia de dos aspectos:

1. Recopilar información que permitiera fabricar concreto de buena calidad, esto dentro de niveles satisfactorios en cuanto a economía y seguridad.
2. Atender las reclamaciones de calidad, como consecuencia de los resultados obtenidos de laboratorios independientes y oficiales encargados de verificar la calidad del concreto producido.

En un principio AMIC puso en operación su propio sistema de Homologación de Laboratorios, pero a principios de los ochentas el Gobierno Mexicano emitió el decreto que estableció el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Prueba (SINALP), y lo apoyó con el Sistema Nacional de Calibración. Con estos dos sistemas, AMIC encontró el sopor-

te oficial que permitió darles credibilidad a los resultados obtenidos - en sus laboratorios. Los dos decretos emitidos por el Gobierno, permitieron obtener resultados confiables en los diversos laboratorios establecidos, esto de acuerdo con las prácticas internacionales vigentes.

Para estandarizar los procedimientos de las diversas pruebas de laboratorio, la Dirección General de Normas ha emitido una serie de Normas Oficiales Mexicanas (NOM); las cuales cubren la totalidad de los procedimientos de producción, manejo, control y verificación de calidad.

Para normalizar la calidad del concreto premezclado, la DGN ha emitido la NOM-C-155 "CONCRETO FREMEZCLADO". Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el producto en cuanto a calidad, materiales, equipo de dosificación, mezclado, muestreo, transporte y entrega. Asimismo se establecen los metodos de prueba para cumplir con lo anterior y se dictan las bases de contratación.

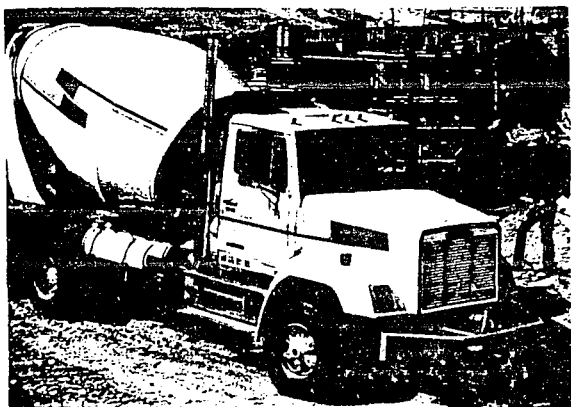


FIG III.2 CAMION REVOLVEDOR

A pesar de los grandes beneficios y ventajas que se obtienen del uso del concreto premezclado, en México no ha tenido gran aceptación en los constructores de obras pequeñas y medias. Esto se debe a muchos factores, entre los cuales se encuentran el desconocimiento del producto y a la idea errónea de que el concreto hecho en obra es mucho más económico que el premezclado.

La industria del concreto premezclado es importante en México, pero aún falta mucho para alcanzar los niveles de países como Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Puerto Rico, etc; en donde del total de concreto - utilizado en la construcción, las empresas premezcladoras aportan del 60 al 80%. En México, sólo el 10% del cemento consumido es absorbido por la industria del concreto premezclado; en el lado opuesto está Estados Unidos, en donde este porcentaje asciende a más del 60%.

En resumen, el concreto premezclado no debe compararse con el hecho en obra solamente en base al punto de vista económico, pues las depreciaciones de equipo, desperdicio de materiales, construcción de bodegas para el almacenaje de los mismos, etc; son factores que hacen en muchas ocasiones que el concreto hecho en obra resulte más oneroso que el premezclado. Además, el concreto premezclado ofrece innumerables ventajas técnicas, las cuales son fruto de la preparación y cúmulo de experiencias en la producción de millones de metros cúbicos producidos por una empresa premezcladora. Todo lo anterior hacen del concreto premezclado un sinónimo de calidad y confianza.

### III.2 PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACION DE CONCRETO PREMEZCLADO

III.2.1 INVESTIGACION Y DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS DISPONIBLES.- El concreto es un material que no es almacenable, es decir, se tiene que utilizar casi inmediatamente después de ser elaborado. Esto impide comprobar su calidad antes de ser colocado en la obra, por lo cual se requiere seleccionar y analizar las materias primas antes de su utilización.

Las materias primas: cemento, agregados, agua y aditivos, deben de someterse a pruebas que permitan determinar sus propiedades físicas, y en base a los resultados obtenidos se decide si cumplen o no con los requerimientos para producir concreto de calidad.

El laboratorio es el encargado de recibir los materiales, y debe contar con el equipo necesario para llevar a cabo las diversas pruebas. Los laboratoristas deben conocer las Normas Oficiales Mexicanas, las cuales indican el procedimiento y equipo necesario para determinar las propiedades físicas de los ingredientes del concreto.

III.2.1.1 PRUEBAS AL CEMENTO.- El cemento es una materia prima que se fabrica en planta, por ello es difícil que su calidad tenga variaciones importantes. A pesar de esto, las especificaciones actuales exigen una serie de pruebas para verificar esa calidad.

Existen varios tipos de cemento Portland, los cuales se mencionan en el capítulo II. Las propiedades físicas del cemento varían de acuerdo a su tipo y estas influyen en el comportamiento del concreto, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido.

Las propiedades físicas del cemento son relativamente fáciles de obtener, lo que permite realizar las pruebas en varias muestras, las que se obtienen de las diversas entregas del día.

El laboratorio de la empresa premezcladora se encarga de la determinación de las propiedades físicas del cemento, aunque en ocasiones también se le efectúan pruebas químicas para conocer las variaciones de sus componentes.

Las propiedades que con más frecuencia se determinan en el cemento, así como la influencia que tienen en el concreto son las siguientes:

1) FINURA BLAINE.- La finura de los cementantes hidráulicos se determina por el método de permeabilidad de aire, y la norma que indica el procedimiento de prueba es la NUM-C-56. Este método determina la finura del ce

mento en términos de la superficie expresada en  $\text{cm}^2$ / gramo de cementante, por medio de la permeabilidad que presenta una muestra de cemento al paso del aire.

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

El aumento en la finura significa un mayor número de partículas en un peso determinado y, por consiguiente, mayor superficie de cemento disponible para estar en contacto con el agua. De lo anterior se desprende que mayor finura representa, usualmente, más requerimiento de agua y mayor rapidez en la hidratación del cemento. Los efectos que provocan en el concreto estos fenómenos, son los siguientes:

- mejor manejabilidad en las mezclas de concreto
- mayor poder de retención de agua, lo cual provoca menor sangrado
- rápida obtención de la resistencia (durante los primeros 7 días)
- mayores contracciones
- mayor generación de calor
- mayor facilidad a hidratarse cuando se almacena en ambiente húmedo

2) RESISTENCIA A LA COMPRESION.- La resistencia a la compresión del cemento endurecido, es la propiedad que posiblemente resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales. La resistencia del cemento se obtiene con un mortero elaborado con cemento y arena de Ottawa, con el cual se elaboran cubos de 2". La norma NCM-C-61 indica el procedimiento para la elaboración de los cubos y las edades de ensaye. Generalmente se elaboran 3 especímenes, los que se ensayan a 1, 7 y 28 días. - Con los resultados obtenidos se elaboran gráficas, las cuales permiten observar si el cemento esta o no variando en su capacidad de carga. Esto es muy importante, pues si un cemento tiene menor capacidad de resistencia que la esperada, la resistencia a la compresión del concreto se verá afectada negativamente.

3) PESO ESPECIFICO.- El peso específico o densidad no indica la calidad del cemento, y su uso se limita al diseño de mezclas.

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

Para la determinación se utiliza el frasco de Lechatelier, y el líquido recomendado es Kerosina; con peso específico no menor de 0.73g/ml. La norma que indica el procedimiento para determinar el peso específico es la NCM-C-152.

4) TIEMPOS DE FRAGUADO.- Es el proceso mediante el cual una pasta de ce-

mento pasa del estado fluido al estado sólido. Esta es una propiedad característica del concreto, la cual influye en el comportamiento del concreto fresco. Esta propiedad permite conocer el tiempo que necesita el cemento para alcanzar su fraguado inicial, y a partir de este su fraguado final.

El fraguado inicial se presenta cuando el concreto inicia un estado de rigidez, mientras que el fraguado final se considera como el endurecimiento de la mezcla.

La NOM-C-59 establece el método para determinar el tiempo de fraguado de una pasta de cemento Portland, midiendo su resistencia a la penetración de la aguja de Vicat.

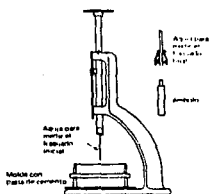


FIG III.3 AGUJA DE VICAT

5) FRAGUADO FALSO.- Es el endurecimiento rápido que se presenta en una pasta de cemento Portland, mortero o concreto; sin la evolución de mucho calor. Este endurecimiento o rigidez se rompe mediante mezclado posterior sin la adición de agua, con la cual la mezcla recobra su consistencia normal. La influencia del fraguado falso en el concreto es solo un incidente molesto durante su colocación, ya que no influye en sus propiedades.

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

El fraguado falso se origina cuando se deshidrata el yeso contenido en el cemento. Esta deshidratación tiene su origen en los molinos de cemento, donde el "clinker" y el yeso se muelen conjuntamente.

La norma que permite determinar si un cemento tiene o no fraguado falso es la NOM-C-132, y el saber esto permite tomar precauciones en la colocación del concreto.

6) SANIDAD.- La sanidad es la propiedad que tiene una pasta de cemento a permanecer con un volumen constante. La pasta de cemento no debe tener expansiones apreciables, pues bajo condiciones de esfuerzo pueden generarse agrietamientos en el concreto fabricado con cemento que presente defici

ciencias en su sanidad. La expansión de una pasta de cemento se atribuye, entre otras cosas, a la existencia de cal libre después del fraguado final.

La norma que permite determinar la sanidad del cemento es la NOM-C-62, y se basa en un ensaye en autoclave de un espécimen de cemento limpio.

7) PRUEBAS QUIMICAS.- Las pruebas químicas se realizan para conocer las cantidades de los principales elementos del cemento, entre los que se en encuentran el óxido férrico, la alúmina, la sílica y la cal. También se re visan los álcalis, el óxido de magnesio y el anhídrido sulfúrico.

La norma que indica el procedimiento para la determinación del análisis químico de cementantes hidráulicos es la NOM-C-131.

III.2.1.2 PRUEBAS A LOS AGREGADOS.- De las materias primas, los agregados son los que tienen más variaciones en sus propiedades físicas. Esto se debe a que es un producto natural, en el cual la mano del hombre no interviene para proporcionarle tal o cual característica.

Generalmente hay varias fuentes de abastecimiento de agregados, las cuales se estudian para seleccionar aquella o aquellas que produzcan material de buena calidad y composición granulométrica uniforme. Las fuentes de abastecimiento se pueden clasificar de la siguiente manera:

- depósitos fluviales
- bancos
- arenas y gravas volcánicas
- arena de playas marítimas y leucostrea
- canteras

Como se mencionó anteriormente, es el laboratorio el encargado del estudio de los agregados; y en base a estos se aceptan o rechazan. Para que los estudios den resultados reales y confiables, estos deben efectuarse en muestras representativas, las que se obtienen en la misma fuente de abastecimiento. La norma NOM-C-30 establece los métodos para obtener muestras representativas. Los métodos a utilizar dependen del tipo de yacimiento, y entre los más comunes están los siguientes:

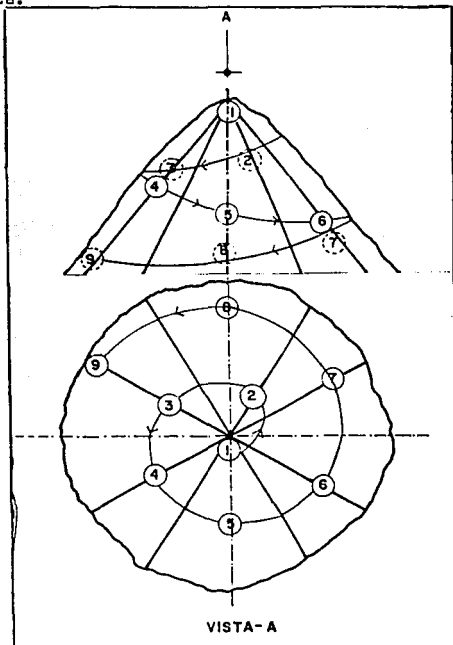
- muestreo en tajos a cielo abierto
- muestreo de formaciones de roca no explotada
- muestreo de canteras
- muestreo en pilas de almacenamiento
- muestreo en la corriente de descarga de tolvas o bandas

La gran mayoría de las muestras se obtienen de tajos a cielo abierto y de pilas de almacenamiento. Estos procedimientos de muestreo son los más comunes, pues son los más factibles y sencillos de efectuar. Las muestras deben ser lo suficientemente grandes para permitir efectuarle todas las pruebas necesarias, y su peso fluctúa entre 65 y 300 kg.



En tajos a cielo abierto, las muestras representativas se obtienen tomando porciones de diversas zonas del frente de ataque, mezclandolas posteriormente para formar una muestra compuesta.

Para obtener muestras representativas de pilas de almacenamiento, - la NOM-C-30 indica que se deben de obtener porciones iguales de diversas zonas del epilamiento. Estas deben de tomarse en la forma indicada en la figura 3.4, y posteriormente deben de mezclarse para obtener una mezcla compuesta.



**FIG III.4 ZONAS DE MUESTREO EN UNA PILA DE ALMACENAMIENTO**

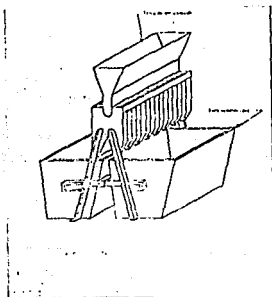
El muestreo de fuentes de abastecimiento tiene dos objetivos:

- 1) Cuando es una nueva fuente de abastecimiento, el muestreo permite conocer en base a las pruebas de laboratorio si los agregados tienen o no calidad requerida para fabricar buen concreto.
- 2) Cuando la fuente de abastecimiento es ya un proveedor habitual, el muestreo es necesario para llevar un control de calidad del agregado, -

lo cual permite saber si hay o no variaciones en las propiedades físicas de los materiales explotados. Esto es muy factible que suceda, pues es común que de un frente de ataque a otro situado a poca distancia, las características de los agregados difieran de manera importante.

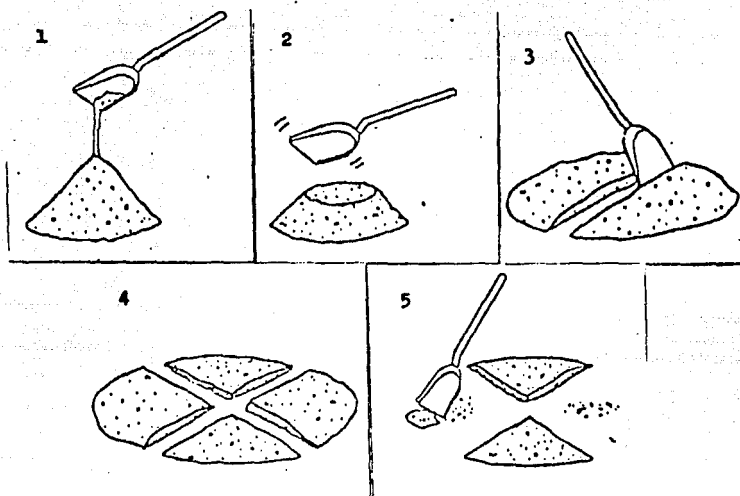
Antes de proceder a determinar las propiedades físicas de los agregados, es menester contar con muestras representativas. Las muestras obtenidas en el campo son demasiado grandes para efectuar pruebas de laboratorio, por ello es necesario reducirlas al tamaño requerido para su estudio. Esto se logra con el método de cuarteo, el cual viene descrito en la NQM-C-170. El cuarteo es de dos tipos: manual y mecánico; y permite reducir las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas, permitiendo que se conserven representativas como la muestra de campo.

El cuarteo mecánico se efectúa con un muestreador mecánico, que se encarga de dividir la muestra de campo en dos partes de igual tamaño y que se conservan representativas. Para lograr una muestra que permita su estudio, se desecha una de las partes y la otra se somete al cuarteo de nueva cuenta. Esto se hace repetidamente hasta obtener el tamaño de la muestra deseada.



**FIG III.5 CUARTEADOR MECANICO**

El cuarteo manual se efectúa en una superficie plana, dura y limpia. Por equipo se necesita únicamente pala, cucharón y cepillo. El procedimiento del cuarteo manual consiste en mezclar la muestra de campo en varias ocasiones y formar una pila cónica. Después se aplana esta y con la pala se divide en 4 partes iguales, de las cuales 2 se desechan y 2 se mezclan para formar nuevamente una pila cónica. El procedimiento se efectúa repetidamente hasta tener el tamaño de muestra deseada.



**FIG III.6 PROCEDIMIENTO DE CUARTEO MANUAL**

Después de reducir la muestra de campo al tamaño requerido para las pruebas, estas se efectúan conforme a los procedimientos descritos en las normas. La norma que establece las especificaciones que deben cumplir los agregados naturales finos y gruesos para usarse en la fabricación de concreto hidráulico, es la NOM-C-111; y las pruebas más usuales a las que se someten los agregados se indican a continuación:

- DENSIDAD Y ABSORCIÓN: NOM-C-164 "Determinación de la masa específica y absorción del agregado grueso", NOM-C-165 "Determinación de la masa específica y absorción del agregado fino"
- PESO VOLUMÉTRICO: NOM-C-73 "Masa volumétrica-método de prueba"
- HUMEDAD TOTAL: NOM-C-166 "Contenido total de humedad por secado"
- PERDIDA POR LAVADO: NOM-C-84 "Partículas más finas que la criba F 0.075 por medio de lavado-método de prueba"
- GRANULOMETRIA: NOM-C-77 "Análisis granulométrico-determinación"
- IMPUREZAS ORGÁNICAS: NOM-C-88 "Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino"
- SANIDAD: NOM-C-75 "Determinación de la sanidad por medio del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio"
- EQUIVALENTE DE ARENA: BS-812

Los resultados obtenidos en el laboratorio son utilizados para la elaboración de mezclas de laboratorio, correcciones por humedad y contaminación en planta.

Al seleccionar agregados, debe tenerse en cuenta que estos en muy pocas ocasiones se pueden obtener con características ideales. Además, las pruebas para evaluar las propiedades de los agregados tienen limitaciones, las cuales impiden confiar plenamente en los resultados.

En la práctica, la selección de los agregados se basa comúnmente en la observación de su comportamiento en pruebas de laboratorio, los cuales determinan la resistencia a la compresión y flexión en concretos elaborados con ellos. El requerimiento más importante que se le exige a un agregado es que sea durable, y químicamente inerte en las condiciones de trabajo a las que estará expuesto.

En resumen, los agregados de buena calidad son los que tienen las siguientes características:

- Partículas libres de fracturas
- bien graduados
- resistencia al desgaste
- formas no planas ni alargadas
- no presente fracturas al humedecerse y secarse
- textura superficial rugosa
- no contenga minerales que afecten las reacciones químicas del cemento.

III.2.1.3 PRUEBAS A LOS ADITIVOS.- Las pruebas a las que se someten los aditivos se realizan en los laboratorios de las empresas premezcladoras, y en general se determinan la estabilidad y peso específico.

Más que en las propiedades físicas, la selección de un aditivo se basa en su efectividad; la cual se evaluó mediante pruebas comparativas entre mezclas de concreto con aditivo y mezclas testigo. Esto permite conocer los efectos que produce el aditivo en el concreto en cuanto a manejabilidad, resistencia, fraguado, etc.

Los diferentes tipos de aditivos se encuentran en el mercado en una gran variedad de marcas, eligiéndose la que mejor se adapte a las condiciones particulares de la empresa, en cuanto a los agregados y cemento disponibles.

Existen una gran variedad de especificaciones tanto nacionales como extranjeras, las cuales se refieren a los tipos o clases que constituyen la mayoría de los aditivos que se producen en la actualidad. Entre las normas más importantes se encuentran las siguientes:

- NOM-C-255 "Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto"
- NOM-C-200 "Aditivos inclusores de aire para concreto"
- ASTM-C-98 "Cloruro de calcio"
- ASTM-C-494 "Aditivos químicos"
- AASHO-M-154 "Aditivos inclusores de aire"
- CRO-C-262 "Puzolanas"

III.2.1.4 PRUEBAS AL AGUA.- El agua es una materia prima tan importante como el cemento y los agregados, pues de la relación agua/cemento depende la resistencia a la compresión del concreto. Sin embargo, la calidad del agua en contadas ocasiones provoca problemas en el concreto; y si esta es potable y el lugar de almacenamiento la protege de impurezas, el agua se puede utilizar con plena confianza.

La condición para que el agua disponible pueda ser utilizada en la producción, es de que esté libre de material nocivo al concreto. Cuando existen dudas en cuanto a la calidad del agua, es necesario hacer análisis de este líquido, los cuales se realizan de acuerdo con las normas NOM-C-227 y NCM-C-283.

### III.2.2 DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas se basa en la elaboración de mezclas de laboratorio, las cuales se realizan con el equipo adecuado y el personal capacitado de la empresa premezcladora. Con los resultados obtenidos se elaboran gráficas, que se emplean para determinar los proporcionamientos; los cuales indican las cantidades de cemento, agregados, agua y aditivo que permiten obtener el rango de resistencias comerciales. Estas resistencias a la compresión ( $f'c$ ) van de 100 a 400  $\text{kg/cm}^2$ , aunque existen concretos especiales que se salen de estos límites.

La elaboración de una mezcla de laboratorio es un proceso de prueba y observación. Desafortunadamente, solo unas pocas de las propiedades de diseño pueden determinarse mediante pruebas; otras, en cambio, pueden juzgarse por observación, lo cual hace que el diseño de mezclas sea un estudio muy complejo.

Existen varios métodos de diseño de mezclas, y la utilización de uno u otro se basa en las necesidades y experiencia de cada empresa premezcladora. Independientemente de los métodos, estos necesitan de la elaboración de mezclas de laboratorio, las cuales permiten determinar las propiedades del concreto, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido. La determinación de estas propiedades deben efectuarse de acuerdo con las normas establecidas por la DGN.

Las pruebas que se efectúan al concreto fresco permiten determinar el revenimiento, peso volumétrico y contenido de aire. En tanto que las pruebas al concreto endurecido se efectúan en especímenes, que son elaborados con la mezcla en estudio. Estos especímenes son utilizados para determinar los cambios del volumen del concreto, así como la resistencia a la compresión y a la flexión.

Después de tener el proporcionamiento, los materiales deben prepararse y mezclarse de acuerdo con la norma NCM-C-159, la cual establece los procedimientos para elaborar y curar en el laboratorio los especímenes de concreto utilizados para la determinación de las pruebas de resistencia.

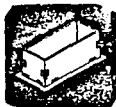
El equipo que se emplea para el diseño de mezclas y que debe cumplir con los requisitos que establecen las normas, es el siguiente:



CARRETILLA de recipiente metálico, con capacidad para contener 30 litros, como mínimo, equipada con llanta neumática.



BASCULA de 125 kilogramos de capacidad, de doble barra, con aproximación de 10 gramos en su escala más baja.



MULDES rectangulares para vigas, de 15 centímetros de altura por 15 centímetros de ancho y longitud de 50 centímetros.



RECIPIENTE cilíndrico, metálico, rígido, para determinación del rendimiento volumétrico.



REGLA METALICA para ensasar, que tenga dimensiones aproximadas de 30 centímetros de longitud, ancho de 2.5 centímetros y espesor de 5 centímetros; sus aristas deben ser rectas y estar libres de mellas duras.



VARILLA de acero para compactar, redonda y lisa, que tenga diámetro de 16 milímetros y largo aproximado de 60 centímetros, ambos extremos de la varilla deben estar redondeados en forma de bola de 16 milímetros de diámetro.



CUCHARON metálico de tipo rectangular, con capacidad de - 1.5 litros aproximadamente.



CHAROLA metálica rectangular con capacidad para contener 25 litros aproximadamente.



CUBETA metálica con capacidad de 15 litros aproximadamente, de dimensiones suficientes para interceptar totalmente el flujo de la descarga del concreto.



VIBRADOR interno de flecha rígida o flexible, con diámetro del vástago de 4 centímetros como mínimo, capaz de producir 7,000 vibraciones por minuto o más.



PLACA METALICA plana cuadrada para emplearse como base en las determinaciones de revestimiento, de 45 centímetros por lado como mínimo y grueso de - 1.27 centímetros aproximadamente.



MOLDES metálicos para cilindros, de 15 centímetros de diámetro interior y 30 centímetros de altura.



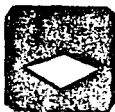
APARATO medidor de aire por el método de presión.



LLANA de yesero o cuchara de albañil.



CONO para determinar revenimiento que tenga forma de un tronco de cono, de 20 centímetros de diámetro en la base inferior, 10 centímetros en la base superior y 30 centímetros de altura, provisto de dos estribos para apoyar los pies y dos asas para levantarlo.



PLACA ENRASADURA plana y cuadrada, de 15 cm por lado como mínimo y grueso de 1.27 cm aproximadamente.

III.2.21 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO.- Una vez mezclados los ingredientes se procede a determinar las propiedades del concreto fresco. Estas se obtienen en base a normas, las cuales indican el procedimiento de prueba.

-DETERMINACION DEL REVENIMIENTO.- El revenimiento es una medida de la trabajabilidad, la que indica que tan fluido está el concreto. Esta determinación es muy importante, pues es la que decide en obra si el concreto se coloca o no.

La norma NQM-C-156 es la que permite determinar el revenimiento de una mezcla, y su correcta ejecución permite obtener el valor que representa la calidad real del concreto, en cuanto a la trabajabilidad de la mezcla.

El equipo que se requiere para ejecutar esta prueba se compone de cono, cucharón, varilla y placa metálica; y debido a la importancia del



revenimiento, a continuación se indica el procedimiento de prueba:

- 1.- Se remezcla perfectamente la muestra para garantizar la uniformidad.
- 2.- El cono se humedece y se coloca en una superficie horizontal, rígida y no absorbente (generalmente se utiliza una placa metálica).
- 3.- Se mantiene fijo el cono, colocando los pies sobre los estribos.
- 4.- Se llena el cono en 3 capas de igual volumen (la primera se obtiene llenándolo hasta 7 cm, la segunda hasta 15 cm, y la tercera hasta el extremo del molde).
- 5.- La compactación de la segunda y tercera capa se efectúa a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm. Se enrasa el concreto de la última capa mediante un movimiento de rodamiento de la varilla.
- 6.- Inmediatamente se levanta el cono de manera suave, alzándolo verticalmente y evitando giros o inclinaciones que podrían arrastrar el concreto. El tiempo que se toma para levantar el cono, fluctúa entre 3 y 7 segundos.
- 7.- Se procede a medir el revenimiento.

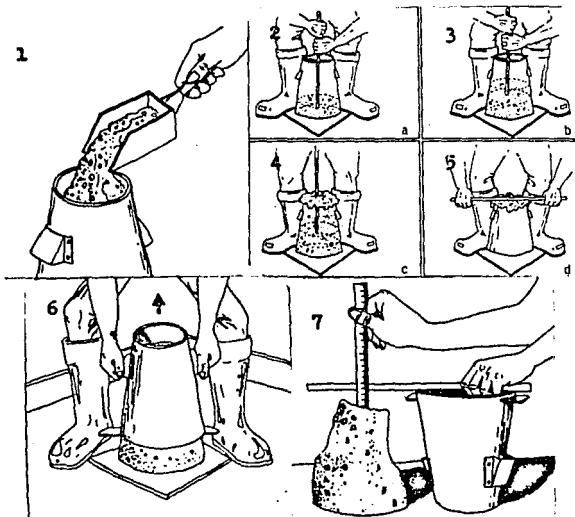


FIG III.7 PRUEBA DEL REVENIMIENTO

**-DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO.-** El peso volumétrico o unitario del concreto está dado en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , y su determinación sirve para calcular el volumen del concreto entregado en la obra o para identificar su clase (pesado, normal o ligero).

El equipo que se requiere es báscula, varilla, recipiente cilíndrico de aproximadamente 14 lts, cucharón y placa enrasadora. La norma NOM-C-162 es la que indica el procedimiento de prueba, y este se puede resumir en la forma siguiente:

- 1.- Se humedece el equipo y se llena el recipiente en 3 capas de aproximadamente igual altura.
- 2.- La compactación de las capas está en función del revenimiento:
  - para revenimientos mayores de 7 cm, la compactación se realiza con 25 penetraciones de varilla, estas efectuadas en cada capa.
  - Si el revenimiento está entre 5 y 7 cm, la compactación se realiza con varilla o vibrador.
  - Para revenimientos menores de 5 cm, la compactación se efectúa con vibrador.
- 3.- Después de compactar cada capa, se procede a dar golpes ligeros a los lados del recipiente, con el fin de hacer desaparecer los huecos grandes en la superficie del concreto.
- 4.- La última capa se elabora evitando el rebosamiento, y se enrasa con la placa.
- 5.- Se procede a determinar el peso volumétrico:

$$P.V. = \frac{A-B}{C}$$

A = peso del recipiente lleno de concreto, en kg.

B = peso del recipiente vacío, en kg.

C = volumen del recipiente, en  $\text{m}^3$ .

**-DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AIRE.-** El aire contenido en el concreto tiene mucha importancia, pues altera las propiedades del mismo, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido. Hay dos tipos de aire contenido: el incluido deliberadamente y el atrapado accidentalmente. Cuando se utilizan aditivos inclusores de aire, las propiedades del concreto se alteran positivamente, pues la deliberada inclusión permite al concreto tener un alto grado de resistencia a la acción destructiva del congelamiento y deshielo, así como a proporcionarle mayor trabajabilidad. Generalmente las mezclas normales contienen alrededor del 1% de aire atrapado, el cual se tiene contemplado. Pero por cada 1% más de aire, el concreto pierde alrededor del 4% de su resistencia; lo cual permite comprender la importancia que tiene el determinar el porcentaje del aire contenido en el concreto. Cuando se usan aditivos inclusores de aire, la pérdida de resistencia se contrarresta al utilizar una menor relación agua/cemento en la mezcla.

La norma NOM-C-157 indica el procedimiento para determinar el conte

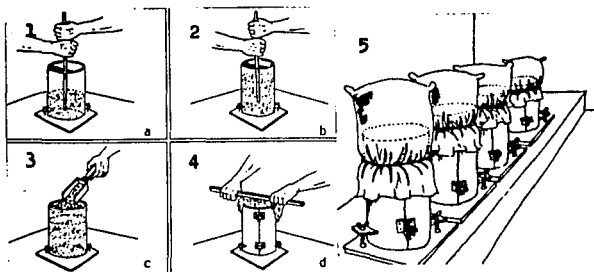
nido de aire del concreto fresco, el cual se obtiene utilizando un aparato medidor de aire que funciona con el método de presión.

III.2.2.2 ELABORACION DE ESPECIMENES DE CONCRETU.- Una vez efectuadas las pruebas al concreto fresco, se procede a elaborar los especímenes que permiten determinar las propiedades del concreto endurecido.

-ELABORACION DE CILINDROS DE CONCRETU.- La forma más común para determinar la resistencia a la compresión es mediante la elaboración y posterior ensayo de especímenes cilíndricos, los cuales tienen 15 cm de diámetro por 30 cm de altura. Estos cilindros son adecuados para agregados con tamaño máximo de 2", y se elaboran varios especímenes para ensayarlos a distintas edades.

El equipo requerido para elaborar los cilindros se compone de moldes, cucharón, varilla para compactación y regla metálica para enrasar. Los resultados obtenidos de esta prueba son de vital importancia, por lo que se requiere elaborar y curar los especímenes siguiendo el procedimiento indicado en la NOM-C-159, el cual se resume en la siguiente forma:

- 1.- Se llenan los moldes en 3 capas de aproximadamente igual altura ---- (10 cm).
- 2.- Cada capa se compacta con 25 penetraciones de varilla, siguiendo el trazo de una espiral, de la orilla al centro. Las capas segunda y tercera se elaboran penetrando la varilla 2 cm en la capa anterior; y cada una de ellas se golpea ligeramente después de la compactación con el fin de eliminar huecos en la superficie del concreto.
- 3.- Después de llenar el molde se elimina el exceso de concreto, pasando la regla metálica hasta tener una superficie plana y uniforme.
- 4.- Se identifican los cilindros y se protegen con un plástico resistente, con el fin de evitar la evaporación del agua.
- 5.- Se colocan los moldes en un lugar plano que esté a una temperatura de 16-27°C.
- 6.- Se descimbran los especímenes no antes de 20 ni después de 48 horas de su elaboración, y se llevan al cuarto de curado, el cual debe estar a una temperatura de 23± 2°C y humedad relativa mínima de 95%. En este lugar permanecen hasta el momento de ser ensayados.



**FIG III.8 ELABORACION DE CILINDROS DE CONCRETO**

-ELABORACION DE VIGAS DE CONCRETO.- La elaboración y posterior ensaye -- de vigas permiten determinar la resistencia del concreto a la flexión. Estos especímenes tienen una sección transversal de 15 cm de altura por 15 cm de ancho, y una longitud no menor de 50 cm. Estas dimensiones son las adecuadas para agregados con tamaño máximo de 2", y se elaboran 2 o 3 vigas por cada mezcla elaborada.

El equipo para la elaboración de vigas se compone de moldes, cucharón, varilla de compactación, cuchara de albañil y regla metálica para enrasar. Los especímenes se elaboran y curan como se indica en la NUM-C-159, y el procedimiento se resume en la siguiente forma:

- 1.- Los moldes se llenan en dos capas, cada una de ellas debe ser aproximadamente la mitad de la altura del molde.
- 2.- Se deposita el concreto en forma uniforme a todo lo largo del molde, procurando evitar la segregación del agregado grueso; llenando las esquinas y aristas con la ayuda de la cuchara de albañil.
- 3.- Se compacta cada capa con el extremo redondeado de la varilla aplicando una penetración por cada 10 cm<sup>2</sup> de superficie del molde, lo que equivale en vigas de 15 x 50 cm a 75 penetraciones.
- 4.- La segunda capa debe rebasar ligeramente el borde del molde, y la compactación debe atravesar 1 cm la primera capa.
- 5.- Después de compactada cada capa, se golpea ligeramente con la varilla las paredes del molde, con el fin de cerrar los vacíos que hayan quedado en el concreto.
- 6.- Se enrasa el molde con la regla metálica hasta obtener una superficie plana y uniforme.
- 7.- Se identifican, descimbran y curan los especímenes de igual forma -- que los cilindros de concreto.

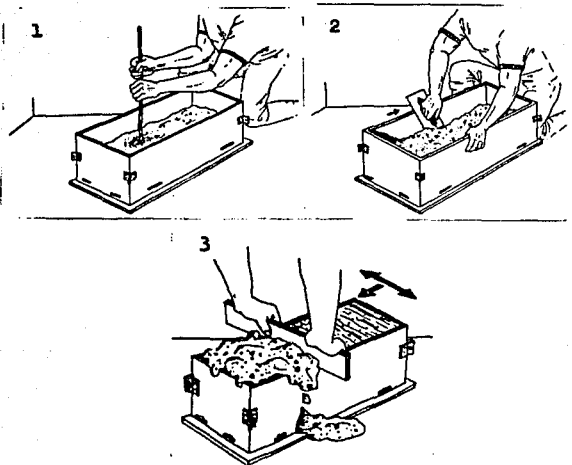


FIG III.9 ELABORACION DE VIGAS DE CONCRETO

-ELABORACION DE BARRAS PARA DETERMINAR LOS CAMBIOS DE VOLUMEN EN EL CONCRETO.- Los cambios volumétricos del concreto se determinan por la variación en la longitud (aumento o disminución) de un espécimen que ha sido sometido a cambios de humedad o temperatura, sin estar sometido a fuerzas exteriores. La determinación de lo anterior es muy importante, pues las expansiones y contracciones excesivas del concreto provocan problemas en las estructuras.

Las dimensiones más comunes de los especímenes tienen sección transversal de 75 x 75 mm, y longitud de 285 mm; y se necesitan elaborar tres especímenes, cuando menos, para cada condición de prueba.

El equipo requerido para elaborar las barras se compone de moldes, varilla de compactación, cucharón y regla metálica para enrasar. Los moldes tienen uno o más compartimientos, de los cuales sobresalen índices en sus caras transversales. Estos índices se adhieren a las barras y sirven para sujetar estas al comparador de longitudes, el cual está constituido por un micrómetro de carátula de alto grado de precisión u otro dispositivo de medición graduado, con una aproximación de 0.0025mm y cuyas lecturas puedan hacerse de igual manera para cualquier intervalo de 0.0250 a 0.0050 mm.

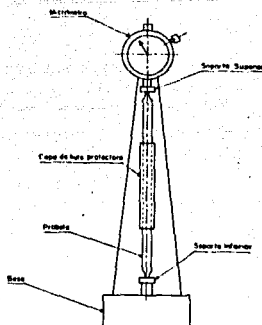


FIG III.10 APARATO PARA MEDIR LA CONTRACCION DE LAS BARRAS

Los especímenes se deben elaborar, curar y medir de acuerdo con el procedimiento indicado en la NCM-C-173, el cual se resume en la forma siguiente:

- 1.- Se coloca el concreto en el molde, en dos capas aproximadamente del mismo espesor.
- 2.- Se compacta cada capa con 12 penetraciones de varilla
- 3.- Aparte de las penetraciones de varilla, la cara inferior se debe compactar con el dedo alrededor de cada uno de los índices y también en las aristas.
- 4.- La capa superior debe rebasar un poco de los bordes del molde y se enrasa este con la regla metálica, hasta tener una superficie plana y uniforme.
- 5.- Se curan los especímenes en sus moldes a una temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de 95 a 100%.
- 6.- Se retiran los especímenes de los moldes, mínimo 24 horas después de su elaboración. Inmediatamente después de esto, se procede a efectuar la primera medición, utilizando para ello el comparador de longitudes.
- 7.- Se curan los especímenes en agua saturada de cal durante 28 días, y se efectúa la segunda medición.
- 8.- Se almacenan los especímenes en un cuarto de secado, con temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de  $50 \pm 4\%$ . Contando a partir del primer día de almacenamiento, los especímenes se miden a los 4, 7, 28, 56, 112, 224 y 448 días.
- 9.- Se efectúan los cálculos sobre la variación de longitud de las barras calculados como porcentajes del aumento o disminución de la misma; con una aproximación de 0.001% o bien como deformación unitaria expresada en millonésimas basadas en la medición considerada como inicial.

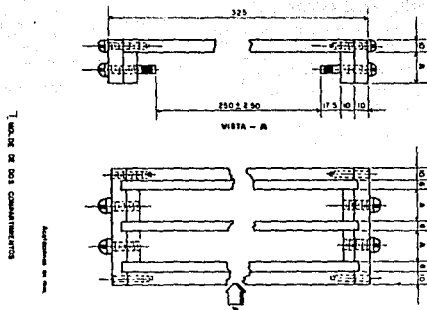


FIG III.11 ESQUEMA DEL MOLDE PARA BARRAS DE CONTRACCION

III.2.2.3 PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO.- La resistencia a la compresión y flexión se determinan en base a los especímenes elaborados para ese fin, los cuales se ensayan a las edades de prueba.

El objetivo que persigue el diseño de mezclas, es que el concreto producido en planta se base en proporcionamientos que han sido previamente estudiados; esto permite asegurar que características tendrá el concreto en su estado fresco y endurecido.

- DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.- La resistencia a la compresión depende fundamentalmente del tipo de estructura en la que se va a utilizar el concreto, así como de los esfuerzos a los que va a estar sometida; y su valor se determina mediante el ensayo de especímenes de concreto, de acuerdo a los procedimientos que especifican las Normas Oficiales Mexicanas.

La resistencia del concreto se obtiene a los 28 días, denominándose a estos concretos como Tipo Normal. En los casos en que se requiera en menor tiempo, existen los concretos de Tipo Rápido, en que la resistencia se obtiene a los 14 días; y además está el Tipo de Alta Resistencia Temprana, el cual adquiere el 80% de  $f'c$  a los 3 días y el 100% a los 7.

Los concretos normales no necesitan de aditivos para alcanzar la resistencia a los 28 días, pues la adecuada dosificación de materiales permiten obtenerla a la edad especificada. No así los otros tipos, pues necesitan de aditivos o altos consumos de cemento para alcanzar la resistencia en menor tiempo.

La determinación de la resistencia a la compresión es básica en el diseño de mezclas, y los especímenes que se elaboran se ensayan a distintas edades, lo cual permite observar la evolución en la adquisición de resistencia.

Una vez que han llegado los especímenes a la edad de prueba, estos se sacan del curado y se procede a ensayarlos; para lo cual se utiliza una máquina de prueba.

Antes de proceder a ensayar los especímenes, estos se cabecean en sus dos caras para proporcionarles una superficie horizontal y uniforme; lo que permite que al aplicarles carga, esta se reparta uniformemente en toda el área transversal del cilindro. El cabeceado se efectúa con un -

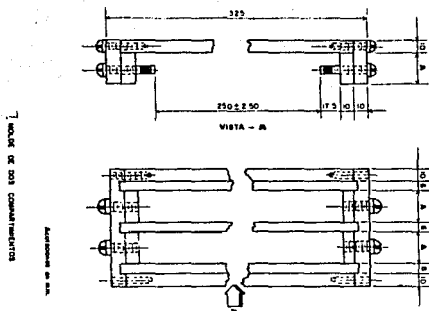


FIG III.11 ESQUEMA DEL MOLDE PARA BARRAS DE CONTRACCION

III.2.2.3 PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO.- La resistencia a la compresión y flexión se determinan en base a los especímenes elaborados para ese fin, los cuales se ensayan a las edades de prueba.

El objetivo que persigue el diseño de mezclas, es que el concreto producido en planta se base en proporcionamientos que han sido previamente estudiados; esto permite asegurar que características tendrá el concreto en su estado fresco y endurecido.

- DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.- La resistencia a la compresión depende fundamentalmente del tipo de estructura en la que se va a utilizar el concreto, así como de los esfuerzos a los que va a estar sometida; y su valor se determina mediante el ensaye de especímenes de concreto, de acuerdo a los procedimientos que especifican las Normas Oficiales Mexicanas.

La resistencia del concreto se obtiene a los 28 días, denominándose a estos concretos como Tipo Normal. En los casos en que se requiera en menor tiempo, existen los concretos de Tipo Rápido, en que la resistencia se obtiene a los 14 días; y además está el Tipo de Alta Resistencia Temprana, el cual adquiere el 80% de  $f'c$  a los 3 días y el 100% a los 7.

Los concretos normales no necesitan de aditivos para alcanzar la resistencia a los 28 días, pues la adecuada dosificación de materiales permiten obtenerla a la edad especificada. No así los otros tipos, pues necesitan de aditivos o altos consumos de cemento para alcanzar la resistencia en menor tiempo.

La determinación de la resistencia a la compresión es básica en el diseño de mezclas, y los especímenes que se elaboran se ensayan a distintas edades, lo cual permite observar la evolución en la adquisición de resistencia.

Una vez que han llegado los especímenes a la edad de prueba, estos se sacan del cuarto de curado y se procede a ensayarlos; para lo cual se utiliza una máquina de prueba.

Antes de proceder a ensayar los especímenes, estos se cabecean en sus dos caras para proporcionarles una superficie horizontal y uniforme; lo que permite que al aplicarles carga, esta se reparta uniformemente en toda el área transversal del cilindro. El cabeceado se efectúa con un



mortero de azufre que cumpla con los siguientes requisitos:

- resistencia mínima a la compresión, a la edad de 2 horas: 350 kg/cm<sup>2</sup>
- porcentaje de materiales combustibles (azufre): 55.0 a 70.0
- porcentaje de materiales incombustibles (cemento, puzolana, etc): 45.0

El cabeceado de los cilindros se efectuó según lo establece la norma NDM-C-109, la cual indica como se deben preparar los especímenes, procedimiento de cabeceo y equipo necesario para efectuarlo.

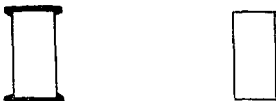


FIG III.12 CILINDROS CABECEADO Y SIN CABECEAR

Una vez efectuado el cabeceo, se proceden a ensayar los especímenes en la máquina de prueba, la que debe cumplir con la NDM-R-32. Esta norma se refiere a los procedimientos de verificación de máquinas, con el fin de que apliquen y midan la carga con precisión. La calibración de las máquinas se realiza cada 40,000 cilindros ensayados a una vez por año.

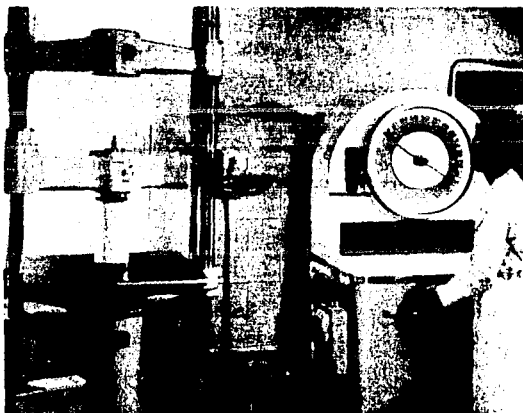
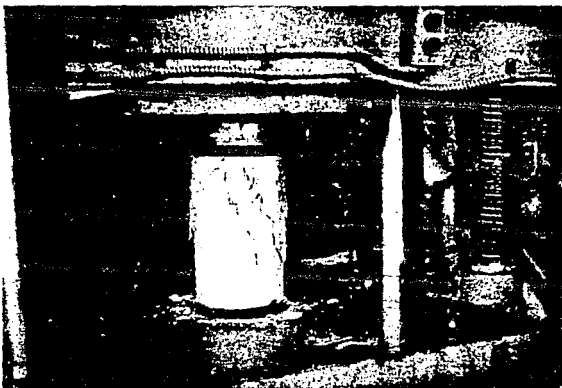


FIG III.13 MAQUINA DE PRUEBA

La máquina de prueba puede ser de cualquier tipo (de tornillo, hidráulicas, etc), con capacidad suficiente y que aplique la carga en forma continua y sin impacto.

La aplicación de carga depende del tipo de máquina: en las hidráulicas, la velocidad de carga debe ser constante dentro del intervalo de 84 a 210 kg/cm<sup>2</sup>/min (15,000 a 37,000 kg/min para cilindros de 15 cm de diámetro); y para máquinas de tornillo, la cabeza móvil se debe desplazar a una velocidad aproximada de 1.3 mm/min.

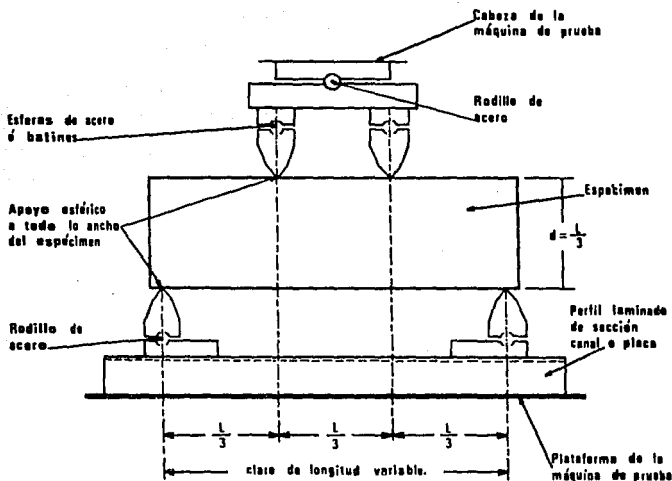
Una vez cabeceados los especímenes y verificada la máquina, se procede a ensayar los cilindros de acuerdo con el procedimiento indicado por la NOM-C-83. La resistencia a la compresión se obtiene aplicando la carga hasta que el espécimen falle y se registra la carga máxima soportada, la cual está indicada en la carátula de la máquina de prueba. Posteriormente se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada entre el área de la sección transversal del cilindro; expresando el resultado en kg/cm<sup>2</sup>.



**FIG III.14 ENSAYE A COMPRESION DE UN CILINDRO**  
- DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION.- La resistencia a la flexión es importante cuando el concreto se utiliza en la construcción de pistas de aeropuertos, avenidas, calles o losas de piso sometidas a grandes cargas.

Cuando los especímenes (vigas de concreto) han llegado a la edad de prueba, estos se secan del cuarto de curado y se procede a ensayarlos; lo cual se realiza en la máquina de prueba. La NOM-C-191 indica el procedimiento para determinar la resistencia a la flexión del concreto, el cual consiste en colocar el espécimen en la máquina, tal y como se indica en la figura 3.15. Posteriormente se le aplica carga y se observa si la fractura se presenta en el tercio medio o fuera del mismo, y dependiendo de esto se calcula el módulo de ruptura. Si la fractura ocurre -

fuera del tercio medio del claro en más del 5%, se desecha el resultado de la prueba.



**FIG III.15 COLOCACION DE UNA VIGA EN LA MAQUINA DE PRUEBA**

Además de la determinación de la resistencia a la compresión y a la flexión, hay otras pruebas que se efectúan al concreto endurecido, algunas de las cuales son las siguientes:

- módulo de elasticidad
- resistencia a la tensión
- resistencia al impacto

En resumen, las mezclas de laboratorio permiten hacer proporcionamientos que cubren la totalidad de las resistencias de los concretos normales. De esta manera, el diseño de mezclas asegura la calidad del concreto producido en la planta central, lo cual se logra al cumplir con las normas de calidad más estrictas.

### III.2.3 ALMACENAMIENTO EN PLANTA DE LAS MATERIAS PRIMAS

III.2.3.1 ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS.- El correcto almacenamiento y manejo de los agregados es fundamental para tener las menores variaciones en la calidad de las mismas, lo cual permite producir concreto de buenas

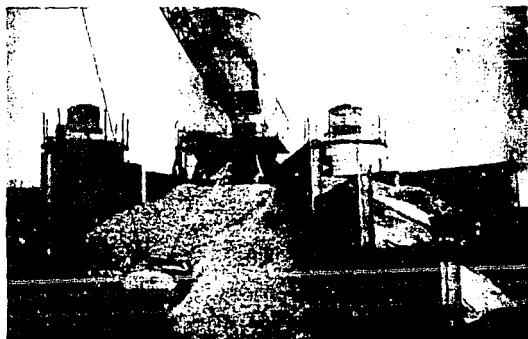
características.

Los agregados se descargan en el patio de almacenamiento, que cuenta con una plantilla de concreto que evita la contaminación de la grava y arena con el suelo. Además, esta plantilla tiene una cierta pendiente que permite drenar los materiales, con lo cual se impide que se inunden.

Existen dos tipos de almacenamiento usuales: apilamientos y mamparas; la decisión de utilizar un tipo u otro se determina en base al espacio existente en el patio de almacenamiento, así como al equipo disponible para el traslado de los agregados hacia la tolva dosificadora de los mismos.

Los apilamientos se forman con la descarga de los camiones que transportan los agregados desde la mina hacia la planta central. La distancia entre pilas es la suficiente para permitir la libre circulación entre ellas del cargador frontal, además que con esto se evita que se mezclen los agregados unos a otros.

Las mamparas permiten dividir los agregados en sus diferentes tamaños, lo cual se logra con bloques de concreto con altura suficiente para evitar contaminaciones. El transporte de los agregados hacia la tolva dosificadora se realiza por medio de una draga, la cual se mueve alrededor de los diversos agregados almacenados.



**FIG III.16 UTILIZACION DE MAMPARAS EN EL ALMACENAMIENTO**

**III.2.3.2 ALMACENAMIENTO DE CEMENTO.**- El cemento que utiliza la industria del concreto premezclado se maneja a granel, y esto hace necesario la instalación de silos que reducen el riesgo de deterioro del cemento durante el almacenamiento. El cemento a granel es suministrado en vehículos presurizados que impulsan el cemento dentro del silo, cuya capacidad puede ser de hasta 100 toneladas.

Los silos son impermeables y poseen un mecanismo que pesa el cemento para la dosificación correcta del mismo. Estos mecanismos tienen un mantenimiento constante, pues su mal funcionamiento es causa de que se -

surta cemento en mayor o menor cantidad a la necesaria.

III.2.3.3 ALMACENAMIENTO DEL AGUA.- El agua se almacena en cisternas, - las cuales se protegen para impedir que el líquido se contamine con materia vegetal y basura. Cuando se utiliza agua potable, el cuidadoso almacenamiento permite garantizar que su uso no causará efectos negativos en el concreto.

III.2.3.4 ALMACENAMIENTO DE ADITIVOS.- Los aditivos líquidos se almacenan en tanques de plástico o lámina, los cuales son proporcionados por el fabricante. Los tanques permiten conservar las propiedades del producto, garantizando con esto su plena efectividad. Los aditivos en polvo los - proporciona el fabricante en bolsas de plástico resistente, y se almacenan en una bodega para protegerlos de los cambios en el clima.

### III.2.4 PRODUCCION EN PLANTA

III.2.4.1 CORRECCIONES POR HUMEDAD Y CONTAMINACION.- Los proporcionamientos que envía el laboratorio a la planta central se corrigen, pues con sideran a los agregados libres de contaminación y en condición de saturados y superficialmente secos. Esto no se presenta en la realidad, pues - la arena siempre está contaminada con un cierto porcentaje de grava, y - viceversa. Además, la humedad de los agregados es variable con respecto al tiempo, por lo que se debe calcular la deficiencia o exceso de agua - que tienen los agregados al momento de ser utilizados. Esto permite cor regir el agua de mezclado, lo cual hace que la relación agua/cemento se mantenga según el proporcionamiento que se está utilizando.

### III.2.4.2 DOSIFICACION DE MATERIALES

- DOSIFICACION DE AGREGADOS.- Los agregados se envían por medio de bandas transportadoras hacia las tolvas, las cuales están provistas de varios compartimientos separados, adecuados para la arena y para cada uno de los tamaños de grava utilizados.

La tolva de agregados está diseñada para descargar sin obstáculos - hacia la tolva báscula, que puede ser de balancín o de carátula sin resortes. La báscula de agregados cuenta con instrumentos de control, cuya función consiste en interrumpir la descarga de material en el momento en que la tolva báscula contiene la cantidad de material deseada. La precisión de la báscula es de  $\pm 0.4\%$  de su capacidad total, lo cual se verifi ca al calibrarse con taras normalizadas.

Los agregados se dosifican en forma individual o acumulada. Cuando se dosifica individualmente, la tolerancia en el peso es de  $\pm 2\%$  de la - masa requerida; y cuando se dosifica en forma acumulada, la tolerancia - es de  $\pm 3\%$ .

-DOSIFICACION DE CEMENTO.- El cemento pasa automáticamente de los silos hacia la báscula de cemento, que tiene una precisión de  $\pm 0.4\%$  de su capacidad total.

Cuando la cantidad de cemento de una revoltura de concreto es mayor o igual al 30% de la capacidad total de la tolva-báscula, la tolerancia en el peso es de  $\pm 1\%$ . En el caso de que la cantidad de cemento sea infe

rior al 30%, la tolerancia que se aplica es de 0 a + 4%.

**-DOSIFICACION DE AGUA.-** El agua agregada se dosifica por masa o por volumen, con una tolerancia de  $\pm$  1%.

Los aparatos que miden la cantidad de agua añadida son capaces de proporcionar a la revoltura la cantidad requerida, de tal manera que las mediciones no se vean afectadas por variaciones de presión en la tubería de abastecimiento de agua. Todo el equipo para lograr una fácil calibración, de manera que el grado de exactitud de la medición se compruebe fácilmente.

**- DOSIFICACION DE ADITIVOS.-** Los aditivos en polvo se dosifican por masa, y los aditivos en pasta o líquidos se dosifican por masa o por volumen, guardando una tolerancia de  $\pm$  3% de la cantidad requerida. El equipo dosificador de aditivos líquidos cuenta con válvulas y vertederos para su calibración, lo cual permite determinar rápida y exactamente la cantidad de aditivo en el dispositivo.

**III.2.4.3 MEZCLADO.-** Una vez que se han dosificado los materiales perfectamente, estos se mezclan en revoladora estacionaria, camión revolador o una combinación de ambos. Dependiendo de esto, el mezclado del concreto se clasifica en tres tipos:

- 1) Concreto mezclado en planta
- 2) Concreto mezclado en camión
- 3) Concreto mezclado parcialmente en planta y terminado en tránsito.

**- CONCRETO MEZCLADO EN PLANTA.-** Es el concreto que se mezcla en una revoladora estacionaria ubicada en la planta central, la cual está equipada con un dispositivo que permite controlar el tiempo de mezclado, que se inicia a partir del momento en que todos los ingredientes están en el interior de la olla.

Las revoladoras estacionarias se operan dentro de los límites de capacidad y velocidad designados por el fabricante, y una vez que el concreto se ha mezclado perfectamente, este se vierte dentro de una unidad revoladora que opera como camión agitador, que se encarga de transportar el concreto hacia la obra que lo requiere.

La velocidad de agitado es la velocidad mínima de rotación de la olla, aspas o paletas (normalmente de 2 a 6 rpm); y durante el transporte la olla debe girar a esta velocidad, lo que permite evitar la segregación y un prematuro endurecimiento. Cuando el concreto es mezclado en planta, el camión agitador se llena a un máximo del 80% del volumen total de la unidad.

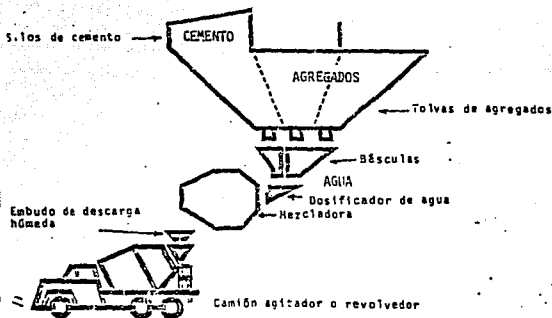


FIG III.17 PLANTA DE CONCRETO CON MEZCLADO EN PLANTA

- CONCRETO MEZCLADO EN CAMION.- Conforme los materiales van siendo dosificados, estos se introducen en un camión revolador que opera como unidad mezcladora, la cual lleva a cabo la operación de mezclado. La velocidad necesaria para lograr un óptimo mezclado se ubica entre 10 y 12 rpm, siendo las revoluciones totales requeridas de 70 a 100.

Cuando el concreto es mezclado en camión, el volumen de concreto no excede del 63% del volumen total de la unidad. Esto se hace con el fin de tener el suficiente espacio en la olla, lo que permite lograr un eficiente mezclado.

La unidad permanece en la planta central hasta mezclar completamente el concreto, lo que permite obtener muestras que sirven para el control de calidad. Al llegar a la obra, y en caso de requerirse revoluciones adicionales para romper la segregación o endurecimiento prematuro del concreto (caso que se presenta frecuentemente cuando el cemento tiene fraguado falso), estas se desarrollan a la velocidad de agitación antes mencionada.

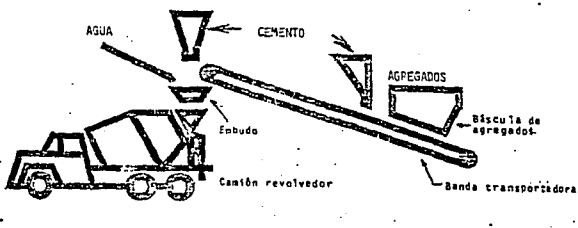


FIG III.18 PLANTA DE CONCRETO CON MEZCLADO EN CAMION

**Calendario Escolar Nivel Licenciatura  
Primer Semestre 1992-1**

Octubre	Noviembre	Diciembre
D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Enero	Febrero	Marzo
D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Abril		
D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30		

- △ Reinscripciones
- Terminación de clases
- Iniciación de clases
- Vacaciones
- \* Días no laborables
- ☑ Exámenes finales

**Exámenes Extraordinarios**

**Primer Período**

Examen de Substitución:  
Del 18 al 22 de noviembre de 1992

Prórroga de Exámenes:  
Del 1 al 8 de enero de 1993

**Segundo Período**

Examen de Substitución:  
Del 28 al 30 de enero de 1993

Prórroga de Exámenes:  
Del 17 al 27 de febrero de 1993

**Tercer Período**

Examen de Substitución:  
Del 9 al 14 de marzo de 1993

Prórroga de Exámenes:  
Del 5 al 13 de abril de 1993

**UNAM  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**CALENDARIO ESCOLAR  
1992-1**

**SECRETARIA DE SERVICIOS ACADEMICOS**



**UNAM**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

MATERIAS Y LABORATORIOS	GRUPOS	H O R A R I O					
		LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO

\_\_\_\_\_  
NOMBRE

\_\_\_\_\_

No DE CUENTA

- CONCRETO MEZCLADO PARCIALMENTE EN PLANTA Y TERMINADO EN TRANSITO.- Este tipo de mezclado se inicia en la revoladora estacionaria y se completa en el camión revolador, que funciona como unidad mezcladora. La revoladora estacionaria entremezcla los ingredientes por espacio de 15 a 30 segundos, para posteriormente introducirlos en la unidad mezcladora, que opera a una velocidad de 10 a 12 rpm. En caso de requerirse revoluciones adicionales en el camión mezclador previo a la descarga, estas se desarrollan a la velocidad de agitación.

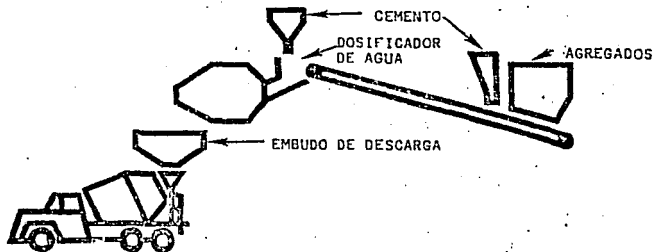


FIG III.19 PLANTA DE CONCRETO CON MEZCLADO PARCIAL EN PLANTA

### III.2.5 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad se resume en 3 acciones básicas: medir, comparar y ajustar. Antes de proceder a controlar la calidad del concreto, es preciso definir el nivel de calidad que se requiere alcanzar. Estos niveles están definidos por la NOM-C-155, la cual indica dos grados de calidad: A y B.

El grado de calidad "A" requiere que del total del número de pruebas de resistencia (un mínimo de 30), el 20% como máximo tengan valor inferior a la resistencia especificada  $f'c$ . Además de lo anterior, también se requiere que no más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia a compresión consecutivas sea inferior a la  $f'c$  especificada.

El grado de calidad "B" permite que no más del 10% del número de pruebas de resistencia (un mínimo de 30), estén por debajo de la  $f'c$  especificada. También se necesita que no más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia a la compresión consecutivas sea inferior a la  $f'c$  especificada.

Las pruebas de resistencia se obtienen al probar cilindros de concreto, los cuales son elaborados con muestras de concreto tomadas de la revoladora estacionaria o de la unidad mezcladora.

Cuando los editivos se añaden en la planta central, las muestras de concreto se toman allí mismo; pero cuando es necesario dosificar aditivos en la obra, los cilindros de concreto se elaboran con muestras tomadas al descargar la unidad revoladora.

Las muestras de concreto que se obtienen de las revoladoras esta-

cionarias o unidades mezcladoras deben ser representativas y confiables, lo que se logra al seguir el procedimiento indicado en la NOM-C-161 ---- "Muestreo del concreto fresco".



**FIG III.20 MUESTREO DE CONCRETO FRESCO**

-Una vez tomadas las muestras, se procede a elaborar los especímenes que permiten juzgar de manera adecuada la calidad del concreto. La NOM--C-160 indica el procedimiento para elaborar y curar en obra los especímenes de concreto.

Los resultados obtenidos de los especímenes elaborados en la planta central y en la obra, sirven para lo siguiente:

- 1) Efectuar ajustes en los proporcionamientos estudiados en el laboratorio, con el fin de que los resultados del concreto producido en planta correspondan lo más posible a los obtenidos en el mismo. Esto permite producir concreto de calidad, dentro de los niveles de seguridad y economía satisfactorias.
- 2) Permiten conocer la calidad del concreto colocado y, en caso de existir duda, saber que es necesario emprender las revisiones y correcciones pertinentes.

### III.3 TRATAMIENTO DEL PROBLEMA DE RESISTENCIAS BAJAS

El concreto, debido a que es un producto elaborado, presenta con frecuencia variaciones en sus características. Esto provoca que en ocasiones se reporte la existencia aparente de resistencias bajas, lo que obliga a iniciar una investigación que permita determinar si la baja resistencia es real o no, y en caso de serla, juzgar si es crítica para la estabilidad de la estructura.

Antes de proceder a la investigación, es necesario comparar los resultados obtenidos con los límites señalados en la NOM-C-155, la cual toma en cuenta las variaciones normales que puede presentar el concreto. Si después de hacer lo anterior es necesario efectuar la investigación, se procede a seguir los siguientes pasos:

#### A) VERIFICACION DE LA VALIDEZ DE LA PRUEBA

- B) EVALUACION DE LOS RESULTADOS
- C) PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS
- D) PRUEBA DE CORAZONES
- E) PRUEBA DE CARGA
- F) ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES

- VERIFICACION DE LA VALIDEZ DE LA PRUEBA.- Cuando se muestrea concreto, es frecuente que se cometan omisiones o desviación de los procedimientos de prueba. Estas desviaciones se cometen ya sea durante la obtención de la muestra, en la elaboración de los especímenes y su curado posterior, en el material y procedimiento de cabeceo o bien, por falta de precisión de la máquina de prueba.

Todo lo anterior provoca un decremento en la resistencia del concreto de la muestra, ante lo cual se toman medidas estrictas, pues la falta de veracidad de las pruebas puede provocar, por consecuencia, retardos - costosos o investigaciones suplementarias innecesarias.

Quando se ha llegado a la conclusión de que la baja resistencia se debe a desviaciones en los métodos aplicados para probar el concreto, - los resultados emitidos pierden validez, y por ende, se da por terminada la investigación.

- EVALUACION DE LOS RESULTADOS.- Si después de verificar la validez de la prueba se hace necesario continuar la investigación, se procede a solicitar al proyectista una revisión estructural, con el fin de determinar la gravedad de la situación.

La revisión estructural permite saber si el concreto representado - por las muestras con resultados de baja resistencia, se encuentra localizado fuera de las zonas críticas de la estructura, por lo que el proyectista debe decidir si la resistencia obtenida es suficiente para soportar sin riesgo los esfuerzos actuantes.

Si después de la revisión estructural continúa en duda la seguridad de la estructura, se procede a continuar con los pasos C, D y E.

- PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.- Existen varios aparatos que estiman la resistencia del concreto en el lugar mismo de la obra, entre los cuales se encuentra el esclerómetro. Estos equipos no suministran valores tan precisos como los obtenidos con cilindros, pero en manos de un experto, la información obtenida resulta de una utilidad importante.

Quando los resultados obtenidos con estos métodos no son suficientes para determinar la calidad del concreto, se procede a medir directamente la resistencia del mismo.

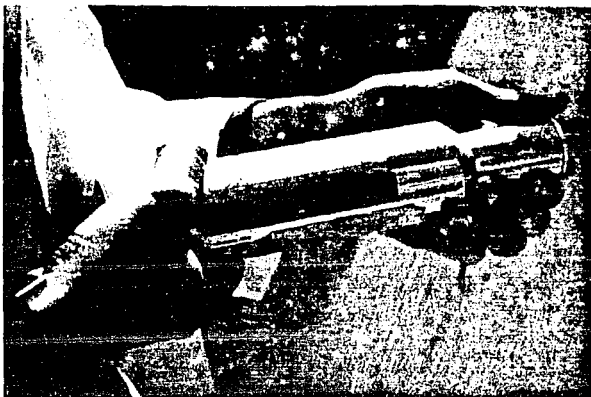


FIG III.21 ESCLEROMETRO

- PRUEBA DE CORAZONES.- Los resultados obtenidos de corazones extraídos de la estructura, suministran una medida de la resistencia del concreto colocado, pero que no puede ser equiparable a la resistencia obtenida de cilindros elaborados de concreto fresco y curados en el laboratorio, lo cual se debe a que el concreto en la estructura no está tan bien compactado y curado como el concreto de los especímenes estándar.

La extracción de corazones requiere de mucho cuidado en la operación e interpretación de resultados, lo que se logra siguiendo el procedimiento descrito en la NOM-C-169 "Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido".

El reglamento ACI-318, considera que una estructura es aceptable cuando el promedio de tres corazones sometidos a prueba, es mayor al 85% de la resistencia de proyecto y que ningún valor individual sea inferior al 75% de dicha resistencia.

- PRUEBA DE CARGA.- Si aún después de la extracción y ensayo de los corazones de concreto, continúa en duda la seguridad de la estructura, queda el recurso de las pruebas de carga. Estas pruebas se emplean básicamente para elementos sujetos a flexión, como es el caso de vigas y losas, pero puede aplicarse también a otros tipos de elementos. Las pruebas de carga se efectúan e interpretan por personal calificado en estas técnicas.

Los diversos reglamentos de construcción indican los procedimientos a seguir, así como los criterios para la adecuada interpretación de los resultados.

- ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES.- Una vez efectuada la investigación,-

y en caso de ser necesario, se procede a deslindar responsabilidades. - La asignación de la responsabilidad es un asunto muy complicado, pues esta se confunde entre los participantes de una obra: el que especifica, el contratante, el productor y el laboratorio de prueba.

Cuando las negociaciones directas entre los participantes no ha -  
llevado a una solución, la NQM-C-155 especifica que: "La decisión debe partir de un grupo de tres técnicos con capacidad reconocida en la mate  
ria, uno de los cuales debe ser nombrado por el comprador, otro por el fabricante y un tercero escogido de común acuerdo por los dos anteriores. Su decisión es inapelable, excepto que se modifique por una disposición legal".

## IV CONCRETO HECHO EN OBRA

### IV.1 INTRODUCCION

En México, el concreto hecho en obra tiene una participación sumamente importante, pues en los últimos años la autoconstrucción ha contribuido a ello. Sin embargo, la autoconstrucción absorbe solo una parte del total del concreto hecho en obra, pues las constructoras pequeñas y medianas también lo utilizan frecuentemente.

El concreto hecho en obra puede ser elaborado con la misma calidad que el concreto premezclado, pero en la realidad esto pocas veces sucede. La calidad del concreto es independiente de las dimensiones de una obra, y el grado de la misma depende fundamentalmente de las características de la estructura que se construye, así como a las condiciones de exposición y servicio para la que fue creada. De lo anterior se deduce que técnicamente no hay justificación para dedicar menos cuidados a la fabricación de concreto en obras menores, como suele ocurrir, por el solo hecho de tratarse de volúmenes pequeños.

Por cuestiones técnicas y económicas, en muchas ocasiones los constructores se ven en la forzada necesidad de utilizar concreto hecho en obra, lo cual no es un obstáculo para edificar obras de concreto de buena calidad. Paradojicamente, la elaboración de concreto con alto grado de calidad disminuye los costos de producción, pues el utilizar proporcionamientos correctos, que se obtienen de estudios, evita que durante la dosificación y mezclado del concreto se añada cemento en exceso para asegurar la resistencia.

Este capítulo tiene la finalidad de crear conciencia entre los constructores, de que el concreto hecho en obra puede competir en calidad con el premezclado. Esto se logra poniendo especial cuidado en los siguientes puntos:

- elección y almacenamiento correcto de las materias primas del concreto.
- diseño de mezclas que permita obtener proporcionamientos que aseguren la obtención de la resistencia especificada.
- dosificación exacta de los materiales
- mezclado y transporte correctos del concreto
- control de calidad que permita detectar las desviaciones entre la resistencia esperada con respecto a la obtenida.

## IV.2 ACOPIO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

IV.2.1 CEMENTO.- El cemento se suministra en dos formas usuales: a granel y envasado en sacos de papel con un contenido neto de 50 Kg cada uno. El suministro a granel se limita generalmente a las obras mayores que absorben importantes cantidades de cemento, así como a plantas de concreto premezclado y empresas que elaboran elementos prefabricados de concreto. Para la totalidad de las obras pequeñas y la gran parte de las obras medias, el suministro de cemento se realiza en bolsas.

Antes de proceder a adquirir el cemento, el encargado de la obra - tiene la obligación de notificar el tipo de cemento a emplearse. Una vez hecho esto, se selecciona la marca más conveniente de cemento a utilizar pues a pesar que existen normas que especifican la calidad mínima que el cemento debe satisfacer, existen diferencias apreciables entre cementos de diferentes marcas.

Cuando se ha definido tipo y marca de cemento a emplear, es conveniente mantener esta última constante en el curso de la obra, especialmente para el colado de estructuras o partes de la obra que estarán expuestas a la vista, pues el utilizar una misma marca propicia la obtención en la uniformidad del color.

Generalmente el cemento se recibe por conducto de un intermediario, y por lo tanto se recomienda investigar las condiciones de almacenamiento y duración del mismo. El cemento que tiene una antigüedad mayor de 3 meses, o que presente terrones que al presionarlos ligeramente con los dedos no se deshagan, es conveniente no aceptarlos, salvo que mediante - pruebas de laboratorio se compruebe su calidad.

Una vez verificada la calidad del cemento y llevado este a la obra, es menester almacenarlo de manera adecuada. El correcto almacenamiento - impide la hidratación del cemento, fenómeno originado por la acción directa e indirecta de la humedad. La humedad directa se presenta cuando - el cemento es atacado por el agua, y la indirecta es ocasionada por el - aire húmedo.

Cuando se suministra el cemento en sacos, el almacenamiento puede - ser de dos tipos:

- a) almacenamiento a la intemperie
- b) almacenamiento en un cobertizo

El almacenamiento a la intemperie se utiliza en las obras pequeñas, en las cuales por falta de espacio o recursos no se dispone de un cobertizo. Cuando se presenta esta situación, los sacos deben colocarse en - una tarima separada del suelo unos 10 cm, utilizando para ello tabiques o madera.

Una vez colocados los sacos sobre la tarima, se deben cubrir estos con lonas u hojas de plástico que no tengan roturas, asegurándose de que se traslapen adecuadamente con el fin de impedir la entrada de agua de - lluvia y corrientes de aire. Para evitar que el agua se encharque sobre los cubrimientos, es conveniente darles una cierta pendiente para permi-



tir que el agua escurra libremente, utilizando para ello polines que se colocan al centro y periferia de la tarima. Como última recomendación, los cubrimientos deben sujetarse para evitar que el viento los levante.



FIG IV.1 ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO

Cuando las bolsas se almacenan en un cobertizo, este debe estar bien protegido contra el agua y tener piso firme y seco, lograndose esto al colocar una tarima apoyada sobre tabiques o madera.

La estibación de los sacos debe ser tal que facilite su consumo en el orden cronológico de llegada, es decir, los primeros sacos en llegar sean los primeros en salir. Para ahorrar espacio es costumbre estibar los sacos formando pilas cuidando que estas no excedan de 8 unidades y que no tengan contacto con las paredes del local. Asimismo, se ha observado que las pilas son más estables cuando se acomodan por capas de sección cuadrada, orientadas alternativamente en posiciones que formen ángulo recto. La separación entre pilas debe ser lo menos posible, pues las corrientes de aire pueden tener mucha humedad, y esta disposición provoca que les llegue la menor cantidad posible de aire a los sacos de cemento. Como precaución adicional, y si es posible, se deben cubrir las pilas con lonas u hojas de plástico.

Independientemente de que los sacos se almacenen a la intemperie o en cobertizo, hay que revisar periódicamente la calidad del cemento, pues al cabo de 4 a 6 semanas tiende a ser afectado por el "fraguado por aire". Este fraguado es consecuencia de un almacenamiento inadecuado y/o prolongado, provocando que la humedad del aire penetre en los sacos y sea absorbida por el cemento, causando con esto una hidratación parcial. Sin embargo, hay que distinguir entre terrones formados por hidratación y los producidos por compactación en las capas inferiores de una pila. Cuando se presenta este último caso y el tiempo del almacenamiento es in

terior a 3 meses, el cemento puede ser utilizado con plena confianza; pero en caso de no ser así, se recomienda efectuarle estudios de laboratorio para verificar su calidad.

El "fraguado por aire" provoca una pérdida de resistencia en el cemento del orden del 20%, por lo cual se debe incrementar de 10 a 20% la cantidad de cemento en la mezcla para compensar esta pérdida. El cemento que se disperse como consecuencia de roturas en los sacos debe utilizarse a la brevedad posible, destinándose a la fabricación de morteros, con creto para firmes, etc.

Cuando el suministro de cemento es a granel, el almacenamiento se efectúa en silos. Estos son impermeables y permiten conservar el cemento en buen estado por espacio de 3 a 4 meses.

El cemento a granel tiene las siguientes ventajas sobre el envasado en bolsas:

- es más barato
- no hay desperdicio por rotura de bolsas
- no se requiere personal para descargar el cemento
- se utiliza el cemento en el orden en que se recibe
- se amplía el tiempo de almacenamiento sin afectar la calidad del cemento.

**IV.2.2. AGREGADOS.-** La calidad de los agregados es de vital importancia para obtener un buen concreto, pues tanto la arena como la grava constituyen aproximadamente las tres cuartas partes del mismo. Sin embargo, como en las obras pequeñas y medias no se efectúan estudios periódicos a los agregados (como lo hacen las empresas premezcladoras), los proveedores de los mismos efectúan con frecuencia envíos con arena y grava de calidad baja. Por esto se hace necesario efectuar estudios frecuentes a los agregados recibidos, con el fin de determinar si estos cumplen o no con las especificaciones de calidad requeridas.

Las principales propiedades que hay que determinar en los agregados son la composición granulométrica y el contenido de impurezas (lodos, arcillas, finos), pues de esto dependen la resistencia y trabajabilidad del concreto. Sin embargo, de nada sirve comprobar que un agregado tiene buena calidad si esta se pierde en la obra, lo cual es muy frecuente debido a los malos manejos en su almacenamiento.

Una vez que se ha aceptado la fuente de abastecimiento, es menester almacenar los agregados en condiciones que permitan conservar su calidad hasta ser utilizados, lo que permite disminuir la variabilidad en las características del concreto durante su producción.

De los problemas relacionados con la baja calidad de los agregados, la segregación es uno de los más importantes. Esto ocurre principalmente en la grava, y se presenta cuando las partículas mayores se separan de las más pequeñas, tendiendo las primeras a descender al fondo del apilamiento. La segregación puede ocurrir antes o después de ser entregado el

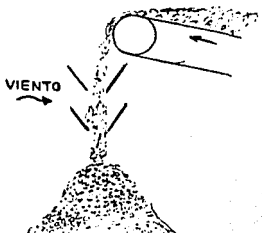
agregado, y es un problema que no se puede evitar, pero que si se puede reducir al mínimo cuando se tiene cuidado en el almacenamiento, lográndose con esto beneficios incalculables que se reflejan en la calidad del concreto producido.



FIG IV.2 SEGREGACION DE PARTICULAS GRUESAS

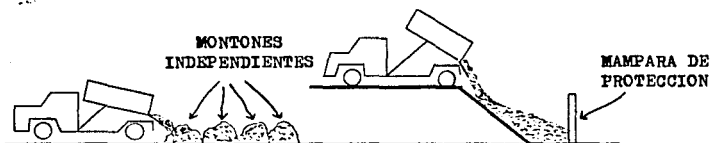
Algunas recomendaciones para evitar la segregación y la contaminación de agregados entre sí durante las operaciones de almacenamiento y su posterior utilización, son las siguientes:

- 1) Si se utilizan bandas transportadoras para formar los apilamientos, se recomienda colocar una pantalla de protección para evitar que el viento disperse el agregado en el punto de descarga. Si no se hace esto, se corre el riesgo de separar los finos de los gruesos, y como consecuencia se presentarán problemas de trabajabilidad y desarrollo de resistencia en el concreto producido.

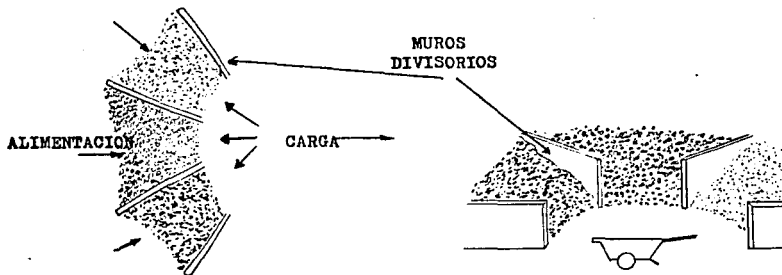


- 2) Cuando en la obra se cuenta con espacio suficiente para el almacenamiento de los agregados, es preferible formarlos por montones resultantes de cada entrega, lo que evita que se formen grandes pilas có

nicas que inevitablemente facilitan la segregación. Si esto no es posible, se recomienda extender el agregado formando terrazas de poca altura.



- 3) Cuando el espacio destinado al almacenamiento es reducido, conviene - colocar muros o mamparas divisorias. Esta disposición evita que los agregados diferentes se mezclen entre sí, además que evita el segregamiento al limitar el desplazamiento de los mismos.



- 4) Para evitar la contaminación de los agregados con el suelo natural, - es recomendable preparar una plantilla de concreto pobre en el lugar de almacenamiento. La plantilla debe poseer una cierta pendiente que facilite el drenaje del agua que escurre a través de los agregados, - propiciando con esto la uniformidad en el contenido de humedad de los mismos.



### IV.3. PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO (DISEÑO DE MEZCLAS)


El proporcionamiento es la cantidad de materiales que hay que dosificar para obtener ciertas características en el concreto producido, tales como trabajabilidad, revenimiento, resistencia a la compresión, etc. El proporcionamiento seleccionado debe incluir un balance entre estas características y una economía razonable, lo cual hace que se minimicen los costos de producción y se obtenga un concreto de calidad satisfactoria.

En la obra, y en base a los materiales disponibles en la localidad, las proporciones utilizadas deben ser las adecuadas para obtener las características que se necesita posea el concreto producido. En general, los proporcionamientos se obtienen de dos formas usuales:

- por medio de tablas proporcionadas por fabricantes de cemento y empresas dedicadas al análisis de precios unitarios.
- utilizando procedimientos del ACI u otros, los cuales se basan en la experimentación.

Tabla para el proporcionamiento de mezclas de concreto recomendada en obras pequeñas

Las proporciones deben seleccionarse, páre que con los materiales disponibles, se logre un concreto con la economía, manejabilidad, durabilidad y resistencia requeridas. Se han establecido relaciones fundamentales que proporcionan guías para aproximarse a las combinaciones óptimas, pero las proporciones finales deben establecerse por medio de pruebas directas y ajustes en obra.  
El tamaño máximo seleccionado debe ser compatible con las características de la estructura y la separación entre las varillas de refuerzo.  
Las cantidades de agua añadidas, están estimadas para obtener un revenimiento de 10 cm. sin embargo, debe considerarse la humedad de los materiales, y deben buscarse mezclas lo más sacas posibles hasta que puedan colocarse eficientemente con vibrador y lograr una masa homogénea.  
La resistencia del concreto a la compresión que se indica en esta tabla, se obtiene a los 28 días, empleando Cemento Tolteca Portland Puzolán Normal C-2.



**Cemento  
Tolteca**

Tamaño Máximo		20 mm. (1 3/4")					40 mm. (1 1/2")				
		100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
Resal a la Compresión f'c = kg/cm <sup>2</sup>		200	200	200	250	200	175	175	175	175	175
Consumo por m <sup>3</sup> de Concreto	Agua (lts.)	285	339	385	445	500	250	297	308	369	438
	Cemento (kg)	719	675	638	590	545	656	617	566	543	503
	Grava (kg.)	990	990	990	990	990	1200	1200	1200	1200	1200
Consumo por 50 kg. de Cemento	Agua (lts.)	35	30	26	23	20	35	30	26	23	20
	Arena (lts.)	93	74	62	49	40	87	77	64	52	42
	Grava (lts.)	115	97	85	74	66	150	126	112	96	86
Proporción Volumétrica	Cemento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Arena	2 3/4	2 1/3	1 3/4	1 1/2	1 1/4	3	2 1/3	2	1.5	1 1/3
	Grava	3.5	3	2.5	2 1/4	2	4.5	3 3/4	3 1/3	3	2.5

**TABLA IV.1 TABLA DE PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS  
PUBLICADA POR LA FABRICA DE CEMENTO TOLTECA**

Las tablas son de gran utilidad en las obras pequeñas y dan una buena aproximación en los resultados esperados, pero las proporciones finales deben determinarse por medio de pruebas directas y ajustes en la obra. Sin embargo, en pocas ocasiones se efectúan estas pruebas y ajustes, lo que inevitablemente conduce a fabricar concretos de calidad dudosa.

Los agregados, como se mencionó en el capítulo II, tienen grandes -

### IV.3. PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO (DISEÑO DE MEZCLAS)

El proporcionamiento es la cantidad de materiales que hay que dosificar para obtener ciertas características en el concreto producido, tales como trabajabilidad, revenimiento, resistencia a la compresión, etc. El proporcionamiento seleccionado debe incluir un balance entre estas características y una economía razonable, lo cual hace que se minimicen los costos de producción y se obtenga un concreto de calidad satisfactoria.

En la obra, y en base a los materiales disponibles en la localidad, las proporciones utilizadas deben ser las adecuadas para obtener las características que se necesita posea el concreto producido. En general, los proporcionamientos se obtienen de dos formas usuales:

- por medio de tablas proporcionadas por fabricantes de cemento y empresas dedicadas al análisis de precios unitarios.
- utilizando procedimientos del ACI u otros, los cuales se basan en la experimentación.


Tabla para el proporcionamiento de mezclas de concreto recomendada en obras pequeñas

Las proporciones deben seleccionarse, para que con los materiales disponibles, se logre un concreto con la economía, manejabilidad, durabilidad y resistencia requeridas. Se han establecido relaciones fundamentales que proporcionan guías para aproximarse a las combinaciones óptimas, pero las proporciones finales deben establecerse por medio de pruebas directas y ajustes en obra.

El tamaño máximo seleccionado debe ser compatible con las características de la estructura y la separación entre las varillas de refuerzo.

Las cantidades de agua arrotadas, están estimadas para obtener un revenimiento de 10 cm. sin embargo, debe considerarse la humedad de los materiales, y deben buscarse mezclas lo más secas posibles hasta que puedan colocarse eficientemente con vibrador y lograr una masa homogénea.

La resistencia del concreto a la compresión que se indica en esta tabla, se obtiene a los 28 días, empleando Cemento Toiteca Portland Puzolana Normal C-2.



**Cemento  
Toiteca**

Tamaño Máximo		20 mm (3/4")					40 mm (1 1/2")				
		100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
Consumo por m <sup>3</sup> de Concreto	Agua (lit.)	200	200	200	200	200	175	175	175	175	175
	Cemento (kg)	385	339	385	445	500	250	297	336	369	438
	Arena (kg)	719	675	638	590	545	656	617	586	543	503
	Grava (kg)	990	990	990	990	990	1200	1200	1200	1200	1200
Consumo por 50 kg. de Cemento	Agua (lit.)	35	30	26	23	20	35	30	28	23	20
	Arena (lit.)	93	74	62	49	40	97	77	64	52	42
	Grava (lit.)	115	97	85	74	66	150	126	112	96	86
Proporción Volumétrica	Cemento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Arena	2 3/4	2 1/3	1 3/4	1 1/2	1 1/4	3	2 1/3	2	1 5	1 1/3
	Grava	3.5	3	2.5	2 1/4	2	4.5	3 3/4	3 1/3	3	2.5

**TABLA IV.1 TABLA DE PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS  
PUBLICADA POR LA FABRICA DE CEMENTO TOITECA**

Las tablas son de gran utilidad en las obras pequeñas y dan una buena aproximación en los resultados esperados, pero las proporciones finales deben determinarse por medio de pruebas directas y ajustes en la obra. Sin embargo, en pocas ocasiones se efectúan estas pruebas y ajustes, lo que inevitablemente conduce a fabricar concretos de calidad dudosa.

Los agregados, como se mencionó en el capítulo II, tienen grandes -

variaciones en sus propiedades; haciendo muy difícil la elaboración de proporcionamientos que sean aplicables a toda clase de ellos. Las tablas se basan en un cierto tipo de agregado, y en función de esto se obtienen ciertos resultados. Sin embargo, en la obra con toda seguridad se utilizarán agregados con propiedades diferentes a los utilizados en los proporcionamientos disponibles, lo que lleve a obtener resultados diferentes a los esperados. Por ello es necesario hacer los ajustes necesarios, con el fin de lograr economía y calidad en el concreto producido.

Los ajustes que se efectúan para corregir los proporcionamientos teóricos tienen la finalidad de dosificar correctamente los agregados, y entre los que más comúnmente se realizan en la obra están el de contenido de humedad y el de contaminación por infra y supratamaños. La contaminación por infratamaños se presenta en la grava, y se mide por el porcentaje de arena contenida en ella. Por el contrario, la contaminación por supratamaños se presenta en la arena, midiéndose por el porcentaje de grava que contiene el agregado fino.

Cuanto más grande es el volumen de concreto a producir, el uso de tablas se va haciendo cada vez menos recomendable, pues a mayor producción se incrementa el riesgo de tener mayores variaciones en la calidad del producto. Por esto se hace necesario utilizar proporcionamientos que se basen en los materiales disponibles, e irlos ajustando en el transcurso de ejecución de la obra. Los ajustes en los proporcionamientos se deben principalmente a las variaciones que se presentan en la calidad de los agregados, pues los proveedores de los mismos pueden cambiar en el transcurso de la construcción, y en consecuencia los bancos de explotación también son diferentes.

Uno de los procedimientos para proporcionar mezclas de concreto es el del ACI, y para aplicarlo es menester contar con el equipo necesario para determinar las propiedades del cemento y los agregados.

#### IV.3.1. METODO DEL ACI PARA DISEÑAR MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL.

Para aplicar este método, es necesario conocer las siguientes propiedades de los materiales:

- densidad del cemento y los agregados
- porcentaje de absorción y humedad en los agregados
- masa volumétrica compactada de la grava
- módulo de finura de la arena

La densidad del cemento se puede considerar de la siguiente manera:

TIPO I : 3.1

TIPO II : 2.96

La densidad y absorción de los agregados se obtienen conjuntamente, y a continuación se describe un método sencillo para cuantificarlas:

##### a) DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LA ARENA

- Tomar una muestra representativa de la arena (aproximadamente 1.5 kg),

cribándola por la malla del #4 (4.8 mm) para eliminar la contaminación por grava.

- Una vez cribada la arena, sumergirla en agua (tirante mínimo de 2.5 cm) durante 24 horas.
- Con una perilla de succión se retira el agua que cubre la arena, procurando evitar absorber finos.
- Usando guantes de hule se extiende la arena mojada sobre una charola limpia, removiéndola continuamente hasta que pierda el excedente de agua superficial, es decir, hasta que alcance el estado de saturada y superficialmente seca (SSS), utilizando, si se desea, un ventilador para alcanzar con mayor rapidez este estado. Se llega al punto de SSS, cuando al frotar la arena sobre la charola no aparezcan huellas de humedad.
- Se pesa un matríz que contenga agua hasta la mitad de su aforo, utilizando para ello una báscula con capacidad mayor a 1.0 kg y sensibilidad de 0.1 g. A la medición obtenida le llamaremos A, y se tomará en gramos.
- Pesar 500 g de arena (SSS)
- Una vez pesada la arena, esta se introduce en el matríz, ayudándose para ello con un embudo de cuello largo de plástico, seco y limpio. Conforme se vaya introduciendo la arena, se procurará expulsar el aire atrapado agitando el matríz.
- Dejar reposar el matríz para permitir que se asienten los finos, y proceder a pesarlo. A esta medición le llamaremos B.
- Calcular la densidad utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{500}{A+500-B}$$

- Cuando se toman los 500 gr de arena (SSS) para calcular la densidad, otra persona pesará otros 500 g, extendiendolos sobre un sartén que estará expuesto al fuego. Continuamente se colocará un vidrio sobre la arena, y cuando éste ya no se empañe querrá decir que el agregado ha perdido toda la humedad. Es en este momento cuando se retira el sartén del fuego, dejando enfriar la arena.
- Una vez enfríada la arena, se procede a tomar su peso en gramos, al cual llamaremos C.
- Se procede a obtener el porcentaje de absorción, utilizando para ello la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500-C}{C} \times 100$$

#### b) ABSORCIÓN Y DENSIDAD DE LA GRAVA.

- Tomar una muestra representativa de la grava (aproximadamente 1 kg), cribándola por la malla del # 4 (4.8 mm) para eliminar la contaminación por arena.



- Lavar bien la muestra cribada, y sumergirla en agua (tirante mínimo -- de 2.5 cm) durante 24 horas.
- Escurrir la grava y secarla con una jerga hasta dejarla en estado de SSS. Se sabe que se ha llegado a este estado, cuando las partículas - han perdido el brillo.
- Se toma una probeta con capacidad de 1000 ml, introduciendo agua en - la misma hasta la marca de 500 ml, a la cual llamaremos lectura A.
- Pesar 500 g de grava (SSS)
- Vaciar poco a poco la grava en la probeta, agitándola constantemente para eliminar el aire atrapado. Se toma la lectura hasta donde llega el agua (lectura B).
- Calcular la densidad con la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{500}{\text{lectura B} - \text{lectura A}}$$

- Sacar la grava de la probeta, y secarla sobre un sartén expuesto al - fuego. Cuando la grava ha perdido toda la humedad, lo cual se verifi- ca con el vidrio, se procede a dejarla enfriar.
- Se pesa la grava seca, anotando su peso en gramos (peso A).
- Calcular la absorción con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500 - \text{Peso A}}{\text{Peso A}} \times 100$$

El porcentaje de humedad que contienen los agregados es de suma im- portancia conocerlo para dosificar correctamente el agua de mezclado, y el cálculo del mismo es un procedimiento muy sencillo que a continuación se explica:

- Secar la muestra sobre un sartén expuesto al fuego
- Una vez que la muestra ha perdido toda la humedad corroborándose esto con un vidrio, retirarla del fuego y dejarla enfriar.
- Pesar la muestra seca
- Calcular el % de humedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

donde A es el peso de la muestra seca.

Para calcular la masa volumétrica compactada de la grava se requiere del siguiente equipo:

- a) Recipiente metálico con capacidad aproximada de 15 litros, con espe- sores de 5 mm en el fondo y 3.0 en la pared; reforzado en el borde - superior con una cinta de acero no menor de 5 mm de grueso y 38 mm -

de ancho.

- b) varilla metálica, recta, de sección transversal circular de 15.9 mm de diámetro y de aproximadamente 60 cm de longitud; con un extremo redondo en forma de hemisferio, de 15.9 mm de diámetro.
- c) báscula con capacidad mayor a 50 kg y sensibilidad de 10 g.

El procedimiento es el siguiente:

- Tomar una muestra representativa de la grava (aproximadamente 25 kg), colocándola en una charola expuesta al fuego.
- Cuando la muestra ha perdido la humedad, se retira la charola de la estufa y se deja enfriar la grava.
- El recipiente se llena en 3 capas de aproximadamente igual altura. La primera capa llena el recipiente hasta la tercera parte de su volumen, compactándola con la varilla dando 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. La segunda capa llena el recipiente hasta las dos terceras partes de su volumen, compactándose de igual manera que la capa uno. Después de llena totalmente el recipiente hasta que el material sobrepase el borde superior; se compacta con 25 golpes de varilla y se elimina el agregado sobrante usando la varilla compactadora como rasero. Al compactar la primera capa, la varilla no debe golpear fuertemente el fondo del recipiente. Al compactar la segunda y última capa, solamente se debe usar la fuerza suficiente para penetrar la última capa en el recipiente.
- Se procede a calcular la masa volumétrica compactada, utilizando para ello la siguiente fórmula:

$$MVC = \frac{A - B}{C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

donde:

A = Peso del material + recipiente, en kg

B = Peso del recipiente, en kg

C = Volumen del recipiente, en m<sup>3</sup>

El módulo de finura de la arena se calcula como se explicó en el capítulo II (Páginas 19 y 20).

#### Ejemplo de diseño de mezclas por el método del ACT

Este es un ejemplo real, y las propiedades de los materiales utilizados fueron las siguientes:

- Densidad del cemento (TIPO I): DC = 3.10
- Densidad de la grava: DG = 2.40
- Densidad de la arena: DA = 2.38

- Absorción de la grava: AG = 4.40%
  - Absorción de la arena: AA = 6.88%
  - Masa volumétrica compactada de la grava: MVC = 1475 kg/m<sup>3</sup>
  - Módulo de finura de la arena: MF = 2.70
- Además de esto, se tienen las siguientes consideraciones:
- Tamaño máximo del agregado grueso: TMA = 20 mm
  - Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días: RC=200 kg/cm<sup>2</sup>
  - El concreto será utilizado para el colado de columnas.

**PROCEDIMIENTO:**

- 1) Elección del revenimiento.- se determina utilizando la tabla 1, y para el ejemplo se tomará R= 10 cm.

Tipos de construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo*	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de la subestructura	8	2
Vigas y muros de concreto reforzado	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

\* Puede aumentar 2 cm cuando se utilizan métodos de compactación diferentes al de vibración.

**TABLA IV.2**

- 2) Cálculo del agua de mezclado y el porcentaje del aire atrapado o incluido.- estos valores se determinan usando la tabla 2, por lo que para R = 10 cm y TMA = 20 mm, se obtienen las siguientes cantidades:

Agua de mezclado: AM = 200 kg/m<sup>3</sup>

Porcentaje de aire atrapado: PA = 2%

- 3) Determinación de la relación agua-cemento (A/C).- se obtiene de la tabla 3, y para una resistencia a la compresión de 200 kg/cm<sup>2</sup>, se tiene que:

$$A/C = 0.7$$

Revenimiento, cm	Agua en kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos del agregado indicados							
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm**	70 mm**	150 mm**
	Concreto sin aire incluido:							
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 a 10	225	215	200	185	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	J	2.5	2	1.5	J	0.5	0.3	0.2
	Concreto con aire incluido:							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	—
Promedio recomendable de contenido total de aire, por ciento	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

\* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son los máximos para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados, graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.  
 \*\* Los valores de revenimiento para un concreto que contenga un agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento efectuadas después de remover los partículas mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo.

TABLA IV.3

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm <sup>2</sup> *	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	—
400	0.43	—
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

\* Los valores indican las resistencias promedio estimadas para concreto conteniendo un porcentaje de aire no mayor que el indicado en la Tabla 11. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme al contenido de aire aumenta. La resistencia está basada en cilindros de 15 x 30 cm, curados en húmedo por 28 días a 23° ± 1.7°C, de acuerdo con la Sección 910) de la Norma ASTM C 31, "Fabricación y Cuidado de Muestras de Concreto para Pruebas a Tracción y a Compresión en el Campo." La resistencia de tubos será aproximadamente 20% más alta. La correspondencia indicada asume un tamaño máximo del agregado de aproximadamente 20 a 30 mm; para agregados de una procedencia determinada, la resistencia producida para una relación agua/cemento dada aumentará conforme el tamaño máximo del agregado disminuya.

TABLA IV.4

4) Cálculo del consumo de cemento (CC):

$$CC = \frac{AM}{A/C} = 285.70 \text{ kg/m}^3$$

5) Volumen del agregado grueso (VAG).- Se determina usando la tabla 4, por lo que para TMA = 20 mm y MF = 2.7, se tiene:

$$VAG = 0.63 \text{ m}^3$$

Tamaño máximo del agregado, mm	Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla,* por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena**			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.78	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

\* Los volúmenes están basados en agregados secos y compactados con varilla, como se describe en la Norma ASTM C 29, "Peso unitario de los agregados." Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un concreto con un grado de trabajabilidad apropiado para la construcción ordinaria usual. Para obtener un concreto con menor trabajabilidad como el que se utiliza en la construcción de pavimentos de concreto, estos valores se pueden aumentar en un 10%. Para un concreto con más trabajabilidad como el que algunas veces se requiere cuando la colocación se efectúa por bombeo, estos valores se pueden reducir hasta en un 10%.

\*\*El módulo de finura de la arena es igual a la suma de las relaciones (cumulativas) retenidas en tamices de malla con aberturas de 0.149, 0.297, 0.593, 1.19, 2.35 y 4.75 mm.

TABLA IV.5

6) Peso de la grava en estado seco (PSG):

$$PSG = MVC (VAG) = 929.25 \text{ kg}$$

7) Obtención del volumen sólido excluyendo la arena (VSEA).

a) volumen del agua:  $VA = \frac{AM}{1000} = 0.2 \text{ m}^3$

b) volumen sólido de cemento:  $VSC = \frac{CC}{DC (1000)} = 0.092 \text{ m}^3$

c) volumen sólido de la grava (seca):  $VSGS = \frac{PSG}{DG (1000)} = 0.387 \text{ m}^3$

d) volumen de aire atrapado:  $VAA = \frac{PA}{100} = 0.02 \text{ m}^3$

$$VSEA = VA + VSC + VSGS + VAA = 0.699 \text{ m}^3$$

8) Cálculo del volumen sólido de la arena seca (VSAS):

$$VSAS = 1 - VSEA = 0.301 \text{ m}^3$$

9) Peso de la arena en estado seco (PSA):

$$PSA = VSAS (DA) (1000) = 716.38 \text{ kg}$$

Resumiendo:

agua de mezclado neta:	AM = 200.00 kg
cemento:	CC = 285.70 kg
grava (seca):	PSG = 929.25 kg
arena (seca):	<u>PSA = 716.38 kg</u>
SUMA 1	= 2131.33 kg

Este es el proporcionamiento que se utilizará para elaborar la mezcla de laboratorio, pero antes de proceder a realizar la prueba es necesario corregirlo por humedad de los agregados. Este se determina poco antes de elaborar la mezcla, y para el ejemplo se tuvieron los siguientes resultados:

- humedad de la grava: HG = 2.44%
- humedad de la arena: HA = 11.14%

10) Corrección por humedad de los agregados:

- a) peso de la arena mojada:  $PMA = PSA \left(1 + \frac{HA}{100}\right) = 796.18 \text{ kg}$
- b) peso de la grava mojada:  $PMG = PSG \left(1 + \frac{HG}{100}\right) = 951.92 \text{ kg}$

11) Cálculo del agua efectiva por añadir (AEA):

$$AEA = AM - PSG \left(\frac{HG-AG}{100}\right) - PSA \left(\frac{HA-AA}{100}\right) = 187.78 \text{ kg}$$

De todo esto, el proporcionamiento corregido para la mezcla de laboratorio queda como sigue:

agua efectiva por añadir:	AEA = 187.78 kg
cemento:	CC = 285.70 kg
grava (mojada):	PMG = 951.92 kg
arena (mojada):	<u>PMA = 796.18 kg</u>
SUMA 2	= 2221.58 kg

Como se puede observar, la suma de pesos 1 es menor a la suma 2, debido a que el proporcionamiento corregido considera el agua de absorción de los agregados, la cual no interviene en las reacciones químicas del cemento.

Antes de proceder a efectuar la prueba de laboratorio, los agregados deben cribarse por la malla del N°4 (4.8 mm), con el fin de eliminar la contaminación por supra e infratamaños (ver pág. 76).

Para la prueba de laboratorio, y dependiendo de la capacidad de la mezcladora, se elabora cierto volumen de concreto; siendo para este ejemplo de 0.025 m<sup>3</sup>. Por esto las cantidades del proporcionamiento corregido se multiplican por 0.025, teniendo con esto la dosificación siguiente:

agua:	AL =	4.69 kg
cemento:	CL =	7.14 kg
grava (mojada):	GML =	23.80 kg
arena (mojada):	AML =	19.90 kg
SUMA 3	=	55.53 kg

## 12) Procedimiento de mezclado.

- a) se pesan por separado cada uno de los materiales que se necesitan para la fabricación del concreto, manteniendose en charolas hasta el momento de mezclarlos. Asimismo, se mide cuidadosamente el agua necesaria para la revoltura.
- b) se disponen convenientemente los equipos que se van a necesitar para determinar las características del concreto resultante, siendo estos el cono para medir el revenimiento, el recipiente para calcular el peso unitario del concreto y los moldes para elaborar los cilindros de concreto. Estos últimos deben colocarse en un lugar fijo, debidamente engrasados y ordenados.
- c) se asegura que el mecanismo de funcionamiento de la mezcladora esté en perfectas condiciones; al mismo tiempo se humedece la olla de mezclado y se escurre totalmente el agua sobrante. La olla debe girar entre 18 y 20 rpm.
- d) se mezclan la arena y grava con aproximadamente un 20% del agua a dosificar, manteniendose el mezclado por espacio de un minuto.
- e) se vierte el cemento en la olla, y poco a poco se añade el agua hasta obtener el revenimiento proyectado, el cual se determina como se explicó en la página 36. Es muy frecuente que para obtener el revenimiento proyectado se utilice más o menos agua de la calculada, y por esto debe tenerse cuidado en ir cuantificando el agua que se añade en la mezcla.
- f) una vez obtenido el revenimiento proyectado, se vierte el concreto sobre una charola previamente humedecida; y para eliminar la

segregación que se origina al sacar el concreto de la olla, se efectúa un mezclado a mano por espacio de un minuto.

- g) se determina el peso volumétrico o unitario del concreto, y se elabora un mínimo de 3 cilindros para ensayarlos a 7 y 28 días. Los procedimientos para efectuar estas pruebas se encuentran descritos en las páginas 38 y 39.

Para este ejemplo, el agua de mezclado necesaria para llegar al revestimiento proyectado fue mayor en 0.3 litros a la calculada, y el peso unitario del concreto (PUC) resultó ser de 2203 kg/m<sup>3</sup>.

De todo esto, los pesos requeridos de la mezcla fueron:

agua efectiva para el revestimiento:	AER = 4.99 kg
cemento:	CL = 7.14 kg
grava (mojada):	GML = 23.80 kg
arena (mojada):	AML = 19.90 kg
	<hr/>
SUMA 4	= 55.83 kg

Para no afectar la relación A/C, es necesario ajustar el proporcionamiento.

13) Ajuste del proporcionamiento:

a) fluencia de la mezcla:  $FM = \frac{SUMA\ 4}{PUC} = 0.025342\ m^3$

b) agua de mezclado ajustada:

$$AMA = \frac{AER + PSG \left( \frac{HG-AG}{100} \right) FM + PSA \left( \frac{HA-AA}{100} \right) FM}{FM} = 209.11\ kg$$

c) contenido de cemento ajustado:  $CCA = \frac{AMA}{A/C} = 298.72\ kg$

d) ajustes a la grava:

- peso de la grava mojada ajustada:  $PGMA = \frac{GML}{FM} = 939.15\ kg$

- peso de la grava seca ajustada:  $PGSA = \frac{PGMA}{1 + \frac{HG}{100}} = 916.78\ kg$

e) ajustes a la arena:

- peso de la arena mojada ajustada:  $PAMA = \frac{AML}{FM} = 785.25\ kg$

- peso de la arena seca ajustada:  $PASA = \frac{PAMA}{1 + \frac{HA}{100}} = 706.54\ kg$



f) determinación del contenido de aire en la mezcla de laboratorio (CAL):

$$\text{- agua} = \frac{\text{AMA (FM)}}{1000} = 0.005299 \text{ m}^3$$

$$\text{- grava} = \frac{\text{PGSA (FM)}}{\text{DG (1000)}} = 0.00968 \text{ m}^3$$

$$\text{- arena} = \frac{\text{PASA (FM)}}{\text{DA (1000)}} = 0.007523 \text{ m}^3$$

$$\text{SUMA 5} = 0.024805 \text{ m}^3$$

$$\text{CAL} = \frac{\text{FM} - \text{SUMA 5}}{\text{FM}} \times 100 = 2.12\%$$

g) volúmenes ajustados:

$$\text{- volumen ajustado de agua: VAA} = \frac{\text{AMA}}{1000} = 0.20911 \text{ m}^3$$

$$\text{- volumen ajustado de cemento: VAC} = \frac{\text{CCA}}{\text{DC (1000)}} = 0.09636 \text{ m}^3$$

$$\text{- volumen de aire ajustado: VA} = \frac{\text{CAL}}{100} = 0.0212 \text{ m}^3$$

$$\text{- volumen de grava seca ajustada: VGA} = \frac{\text{PGSA}}{\text{DG (1000)}} = 0.38199 \text{ m}^3$$

$$\text{SUMA 6} = 0.70866 \text{ m}^3$$

h) volumen ajustado de arena:  $\text{VAA} = 1 - \text{SUMA 6} = 0.29134 \text{ m}^3$

i) peso seco de arena ajustado:  $\text{PSAA} = \text{VAA (DA) (1000)} = 693.39 \text{ kg}$

Resumiendo, el proporcionamiento final queda como sigue:

agua: AMA = 209.11 kg

cemento: CCA = 298.72 kg

grava (seca): PGSA = 916.78 kg

arena (seca): PSAA = 693.39 kg

SUMA 7 = 2118.00 kg

También es necesario elaborar una mezcla de laboratorio con el proporcionamiento final, con objeto de corroborar que el ajuste fué el correcto.

j) corrección por humedad de los agregados:

- peso de arena ajustada mojada: PAAM = PSAA  $(1 + \frac{HA}{100})$  = 770.63 kg

- peso de grava ajustada mojada: PGAM = PGSA  $(1 + \frac{HG}{100})$  = 939.15 kg

k) cálculo del agua ajustada efectiva:

$$AAE = AMA - PSAA \left(\frac{HA-AA}{100}\right) - PGSA \left(\frac{HG-AG}{100}\right) = 197.63 \text{ kg}$$

De todo esto, el proporcionamiento para la segunda prueba de laboratorio es el siguiente:

agua:	197.63 kg
cemento:	298.72 kg
grava (mojada):	939.15 kg
arena (mojada):	770.63 kg

Cuando se elaboró la segunda mezcla de laboratorio, el revenimiento obtenido resultó ser de 11 cm, y se elaboraron 3 cilindros de concreto para probarlos a 7 y 28 días.

El ensayo de los cilindros los efectúa un laboratorio de control de calidad, y los resultados obtenidos permiten saber la resistencia a la compresión que se obtiene con el proporcionamiento calculado. En el ejemplo los resultados fueron los siguientes:

PRIMERA MEZCLA DE LABORATORIO

Edad de prueba (días)	7	28
Resis.compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	188	257

SEGUNDA MEZCLA DE LABORATORIO

edad de prueba (días)	7	28
Resis.compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	205	294

NOTA: el resultado a 28 días es el promedio de dos cilindros.

Como se observa, los resultados obtenidos de este ejemplo son mayores a los requeridos, pero hay que tomar en cuenta que esto se debe a lo siguiente:

- elaboración cuidadosa de la mezcla de laboratorio

- elaboración y manejo cuidadoso de los cilindros de concreto
- condiciones ideales en el curado de los cilindros.

En obra, las condiciones de elaboración, manejo y curado del concreto son muy variables; por esto, la resistencia que adquiere una mezcla colada en obra es significativamente menor a la obtenida en cilindros elaborados con la misma mezcla de concreto. En base a esto, para pasar de la resistencia especificada en obra a la resistencia media obtenida en el laboratorio, son de aplicación las siguientes relaciones:

CONDICIONES DE EJECUCION DE LA OBRA	RELACION ENTRE LA RESISTENCIA OBTENIDA EN CILINDROS (Rm) - CON RESPECTO A LA ESPECIFICADA EN OBRA (Ro).
Medias	$R_m = 1.50 R_o + 20 \text{ kg/cm}^2$
Buenas	$R_m = 1.35 R_o + 15 \text{ kg/cm}^2$
Muy buenas	$R_m = 1.20 R_o + 10 \text{ kg/cm}^2$

De esto, se deduce que para una resistencia especificada en obra de  $200 \text{ kg/cm}^2$ , en donde las condiciones de ejecución son buenas; la resistencia que se debe obtener en el cilindro a los 28 días deberá ser de  $285 \text{ kg/cm}^2$ .

#### IV.4 DOSIFICACION Y MEZCLADO DEL CONCRETO

IV.4.1 Dosificación.- La operación de dosificación es uno de los aspectos más importantes en la producción del concreto, pues de la uniformidad y corrección en su ejecución depende en un elevado porcentaje la calidad del concreto resultante. La dosificación consiste en añadir en forma precisa cada uno de los materiales, para que con ello se obtengan los resultados esperados.

Una vez que se tiene el proporcionamiento, ya sea por tablas o experimentación, es necesario ajustarlo cada vez que se produzca concreto. Los ajustes o correcciones que normalmente se efectúan a los agregados, son los siguientes:

- a) corrección por humedad y absorción
- b) corrección por supra e infratamaños

La corrección por el grado de humedad en los agregados es muy importante, pues el agua que tienen en exceso o deficit altera la relación agua-cemento, lo que conduce a tener variaciones en la resistencia esperada. Los proporcionamientos consideran que los agregados estén en estado seco, lo que en la práctica nunca sucede. Por esto se hace necesario

calcular el grado de humedad que poseen los agregados al momento de ser utilizados, para que con el se ajuste el agua de mezclado.

La corrección por infra y supratamaños también es de mucha importancia, pues de esto depende principalmente la trabajabilidad del concreto producido; y su determinación se realiza mediante el cribado de una porción reducida y representativa de cada agregado a emplear, utilizando para ello la malla del #4 (4.8 mm).

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- determinación del infratamaño:

- 1) Pesarse una muestra representativa de la grava
- 2) Cribar la muestra utilizando la malla del #4, captando en una charola el material que no sea retenido por la malla.
- 3) Pesarse el material retenido en la charola, y se efectúa el siguiente cálculo:

$$\% \text{ CONTAMINACION INFRA: CI} = \frac{\text{Peso retenido en la charola}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

- determinación del supratamaño:

- 1) Pesarse una muestra representativa de la arena
- 2) Cribar la muestra por la malla del #4
- 3) Pesarse el material retenido en la malla, y realizar el siguiente cálculo:

$$\% \text{ CONTAMINACION SUPRA: CS} = \frac{\text{Peso retenido en la malla}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Para ejemplificar el uso de las correcciones, se ajustará el proporcionamiento del ejemplo del ACI; en el cual se obtuvieran las siguientes cantidades:

agua: AMA = 209.11 kg

cemento: CCA = 298.72 kg

grava (seca): PGSA = 916.78 kg

arena (seca): PSAA = 693.39 kg

Antes de comenzar la producción, se supone que los agregados tienen las siguientes características:

- humedad de la grava: HG = 5.4%
- humedad de la arena: HA = 10.5%
- contaminación infra: CI = 12.3%
- contaminación supra: CS = 7.5%

También se necesita conocer la absorción de la grava y arena, las cuales se determinan cuando se efectuó el cálculo del proporcionamiento:

- absorción de la grava: AG = 4.4%
- absorción de la arena: AA = 6.88%

La primera corrección que se hace es por contaminación supra e infra, y el procedimiento es el siguiente:

- peso corregido de arena (PCA):

$$PCA = PSAA + \left(\frac{CS}{100-CS}\right) PSAA - \left(\frac{CI}{100-CI}\right) PGSA = 621.03 \text{ kg}$$

- peso corregido de grava (PCG):

$$PCG = P3SA + \left(\frac{CI}{100-CI}\right) PGSA - \left(\frac{CS}{100-CS}\right) PSAA = 989.13 \text{ kg}$$

Una vez calculados los pesos corregidos, se procede a efectuar el ajuste por humedad:

- peso de arena ajustada mojada: PAAM = PCA  $\left(1 + \frac{HA}{100}\right)$  = 689.23 kg
- peso de grava ajustada mojada: PGAM = PCG  $\left(1 + \frac{HG}{100}\right)$  = 1042.54 kg
- agua ajustada efectiva (HAE):

$$AAE = AMA - PCA \left(\frac{HA-AA}{100}\right) - PCG \left(\frac{HG-AG}{100}\right) = 176.83 \text{ kg}$$

De todo esto, los pesos corregidos para dosificar son los siguientes:

- agua: AAE = 176.83 kg
- cemento: CCA = 298.72 kg
- grava (mojada): PGAM = 1042.54 kg
- arena (mojada): PAAM = 689.23 kg

Una vez corregido el proporcionamiento, se procede a dosificar cada uno de los materiales; pudiéndose hacer esto en dos formas usuales:

- e) Dosificación por peso.- Esta consiste en obtener cantidades de materiales constantes, mediante dispositivos adecuados que den seguridad en las pesadas, usándose para la integración de las revolturas cantidades de cada uno de los materiales en forma uniforme dentro de la sensibilidad en la báscula o dispositivo que se use. Constituye la forma más eficaz y segura para obtener no solo uniformidad en el pro-

ducto que se elabora, sino también permite aprovechar al máximo la calidad de los materiales, ya que todas las operaciones de corrección hechas anteriormente, se reflejan en el peso final necesario de cada uno de los ingredientes del concreto. En realidad, en ninguna obra que requiera un buen concreto se debe permitir que los distintos materiales sean dosificados en otra forma; sin embargo, también hay que tomar en cuenta el volumen de la obra, pues cuando hay mayor volumen se refleja mejor la utilidad y ventaja, tanto en calidad como en economía.

b) Dosificación por volumen.- Para que este sistema sea recomendable se necesita que concurren todavía más factores que en la anterior condición, lo que siempre es difícil que se presente.

Como primera condición se requiere que las medidas o recipientes de volumen conocido sean llenados uniformemente hasta el volumen requerido, haciendo cada vez la operación de enrasar; ésto último requiere una persona dedicada expresamente para ello, puesto que de lo contrario nunca habrá la seguridad de estar llenando las medidas en igual forma.

La segunda condición depende del estado en que se encuentren los materiales por lo que respecta a humedad, especialmente en la arena; pues como se sabe, el peso volumétrico de una arena depende principalmente del contenido de humedad que guarde el material.

La tercera condición depende del sistema o forma de llenar la medida, el cual depende a su vez de la persona que ejecute la operación, pudiendo, si son distintas, dar cantidades de material diferente aún siendo las mismas medidas.

La cuarta condición es el factor humano de quien dependen exclusivamente todos los demás factores. La cantidad de energía o cansancio que guarda el personal dosificador de los materiales por volumen, se refleja en la uniformidad de las medidas, existiendo siempre la tendencia de que a mayor cansancio, sean mayores las irregularidades de dosificación.

De esto se observa que es práctica inconveniente la de dosificar por volumen, pues los costos de producción se elevan y la calidad del concreto se ve afectada. Por esto es necesario crear conciencia en los constructores de obras pequeñas y medias, de que es indispensable dosificar por peso, pues esto permite alcanzar un nivel adecuado y uniforme en el concreto que se produzca.

- Dosificación de cemento.- La mejor manera de dosificar el cemento es hacerlo directamente, utilizando para ello recipientes para contenerlo y pesando la cantidad indicada para elaborar cada revoltura. Cuando esto no es posible, se dosifican los sacos completos considerándose el peso teórico (50 kg), pero cuidando de no dosificar por fracciones de saco.

Es muy importante tomar las precauciones necesarias para evitar la pérdida de cemento durante su vaciado a la revolvedora, pues esto causa disminución en la resistencia prevista.

- Dosificación de agregados.- Para dosificar los agregados es conveniente poseer una báscula por cada fracción de agregado, siendo la báscula -

de plataforma y con barra para descontar el peso o tara de los recipientes vacíos. Estos pueden ser charolas, botes de lámina de 18 litros de capacidad, aproximadamente, o carretillas de ruedas neumáticas.

Para evitar que la operación de destarar se repita continuamente, es recomendable usar un solo tipo de recipiente, procurando que todos ellos tengan el mismo peso aproximado. De esta manera se minimiza el tiempo entre pesadas, pues solo se necesita colocar el recipiente vacío sobre la plataforma de la báscula y vertir el agregado hasta que se nivele el fiel de la misma.

A medida que los volúmenes de concreto a producir son mayores, la operación de pesar con básculas se va haciendo más compleja. Por esto se recurre a plantas dosificadoras portátiles, de las cuales hay una gran variedad de capacidades. Las más sencillas y de menor capacidad constan de una tolva pesadora, en donde todas las fracciones de agregado se pesan acumuladamente.

- Dosificación de agua.- La incorporación de agua para cada revoltura debe hacerse con precisión, evitando la adición indiscriminada del líquido con el fin de facilitar el manejo del concreto. Para evitar esto, la dosificación del agua debe hacerse por volumen; utilizando para ello un recipiente calibrado, como el tanque ilustrado en la figura IV.4

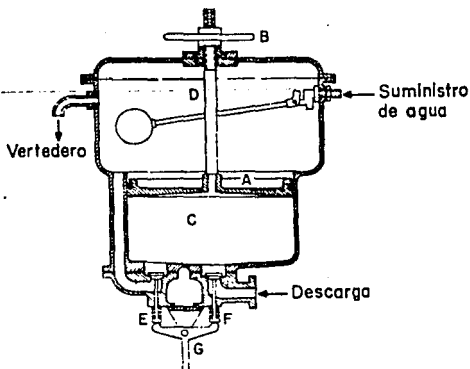


FIG IV.3 TANQUE PARA DOSIFICACION DE AGUA

- Dosificación de aditivos.- Los aditivos, independientemente de si son líquidos o sólidos deben dosificarse junto con el agua de mezclado, después de hacer la solución respectiva. Cuando los aditivos sólidos se disuelven previamente en agua, ésta debe tomarse en cuenta al hacer la dosificación y disminuir el agua de mezclado en proporción a la solución a medida; esto mismo es aplicable a los aditivos líquidos.

Cuando se utilizan en una misma revoltura dos aditivos, es necesario investigar que sean compatibles y que al mezclarlos no se produzca precipitación. También es imprescindible mantener bien tapados los envases que contienen los aditivos, pues esto impide que la concentración de los mismos se modifique por evaporación.

IV. 4.2 Mezclado.- El hecho de revolver o mezclar los distintos ingredientes que forman el concreto, no significa producir. Producción es la elaboración continua de un producto cuyas partes deben mantenerse siempre guardando las mismas características, cualquiera que sea el número de ellas; además, el tiempo que se requiere para la elaboración deberá ser el mismo, y la calidad obtenida (en este caso, de cada revoltura) siempre uniformes.

El mezclado del concreto tiene la finalidad de lograr una pasta homogénea de cemento y agua, la que posteriormente se distribuya uniformemente en los agregados, de manera que cualquier porción de la mezcla posea las mismas características y, por consiguiente, obtenga las mismas propiedades al cabo del tiempo. Para lograr esto, el primer paso consiste en efectuar una dosificación cuidadosa, tal y como se mencionó anteriormente. Otro factor importante es el conocimiento del equipo mezclador: es necesario conocer su funcionamiento y eficacia para operarlo de manera de obtener de él el rendimiento máximo, lo cual define las velocidades de alimentación y producción. Generalmente el mecanismo y forma en que trabajan los mezcladores, cualquiera que sea su tipo y capacidad, es muy semejante para ellas, en consecuencia, el problema se reduce a tres consideraciones:

- a) alimentación adecuada para que en un tiempo mínimo se elabore un concreto de calidad.
- b) tiempo de operación de la mezcladora para obtener una revoltura homogénea.
- c) descarga del producto elaborado en condiciones correctas que no origine pérdidas en las características de manejabilidad y uniformidad del producto, también en el tiempo mínimo necesario.

Las revolvedoras que se usan en las obras menores son las llamadas de tambor, teniéndose de ellas las variantes siguientes:

- fijas o basculantes
- descarga por volteo o por marcha reversible
- tambor y espas fijas o giratorias
- eje horizontal o inclinado

Los tiempos de operación por revoltura o tiempos de mezclado, difieren según la capacidad de la mezcladora. En las de tambor, los tiempos mínimos de mezclado (especificados por el USBR) contados a partir del momento en que todos los materiales se encuentran dentro de la mezcladora, son los siguientes:



## CAPACIDAD DE LA MEZCLADORA

## TIEMPO MINIMO DE MEZCLADO

(M <sup>3</sup> )	(SEGUNDOS)
< 1.5	90
1.50 - 2.25	120
2.25 - 3.00	150
3.00 - 3.75	165
3.75 - 4.50	180

En general, estos tiempos son suficientes para obtener en las distintas capacidades de mezcladoras revolturnas uniformes, requisito indispensable que indica el buen o mal funcionamiento de una mezcladora. La comprobación de lo anterior se puede hacer tomando dos muestras de la misma revuelta, interceptando el chorro de descarga en un recipiente adecuado. Las muestras deben corresponder al inicio y fin de la descarga; en las cuales se determinan el revenimiento y peso volumétrico o unitario. Además, para cada muestra se deben elaborar tres cilindros para ensayarlos a los 7 días de edad. Se considera que una mezcla es homogénea, si los resultados obtenidos no exceden de los valores siguientes:

CONCEPTO	MAXIMA DIFERENCIA PERMISIBLE
1) Revenimiento	
a) $R \leq 10$ cm	1.5 cm
b) $R > 10$ cm	3.0 cm
2) Peso volumétrico	20 kg/m <sup>3</sup>
3) Resistencia a la compresión	
a los 7 días, resultado del promedio de los dos cilindros.	10 kg/cm <sup>2</sup>

Si en base a lo anterior se observa que la revuelta no es homogénea, esto se puede relacionar con diversas causas: tiempo de mezclado insuficiente, dispositivo de espas revolteadoras no eficiente o desgastado, volumen de revuelta en exceso, o incapacidad de la mezcladora para mezclar con eficiencia el concreto a producir, conforme al revenimiento requerido y tamaño máximo de agregado empleado. Algunas de estas causas pueden corregirse, pero otras pueden requerir que se emplee otro equipo mezclador más adecuado a las características del concreto que se desee producir.

Como se mencionó anteriormente, el tiempo de mezclado se inicia en el momento en que todos los ingredientes del concreto se encuentran dentro de la revolvedora, y durante este tiempo no deben observarse derrames de material fuera de la misma; en casos como éste, debe comprobarse la posición de la olla a nivel y si esto no es solución, disminuir el volumen de revuelta hasta que no se observen desperdicios.

Otro aspecto importante en la producción es la descarga de la revolutura, la cual no consiste simplemente en hacer salir de la mezcladora el material revuelto. Este aspecto es bastante delicado, y está íntimamente ligado con el transporte que posteriormente dé salida a la revolutura hacia la cimbra. En general, es siempre recomendable evitar la caída libre y directa desde la mezcladora a la cimbra, piso o vehículo que haya de transportarla; debiendo hacerse siempre sobre una tolva con compuerta, colocada inmediatamente a la salida de la mezcladora. Esta tolva con compuerta cuya capacidad debe ser 2 o 3 veces la de la revolutura elaborada, se comporta como almacenamiento regulador de la producción y como regulador también de la uniformidad de la revolutura elaborada, la cual en la sola operación de descarga puede, aún siendo uniforme dentro de la olla, segregarse solamente por este hecho. La regulación de la producción porque elimina esperas de la mezcladora si el equipo distribuidor del concreto no es eficiente o regular en sus movimientos y evita tiempos excesivos de mezclado, los cuales originan resecamientos de la revolutura.



FIG IV.4 DESCARGA DE LA REVOLUTURA

#### IV.5 TRANSPORTE DEL CONCRETO

La operación de transporte de una revolutura se inicia desde el momento en que se le hace salir de la mezcladora, hasta el momento en que se deposita en la cimbra. Existe una gran variedad de sistemas de transporte, y el uso de cualquiera de ellos depende de las condiciones de la obra y del equipo con que se cuente. En cualquier tipo de transporte que se use, la misión del inspector es observar y evitar que se produzca un cambio en las características de la revolutura, que redunden en perjuicio de la consistencia y manejabilidad.

La segregación de los materiales de una revolutura es la consecuencia inmediata de un mal sistema de transporte empuleado y junto con ella, la pérdida de uniformidad en su manejabilidad final, precisamente en el

momento en que la revoltura se introduce en la cimbra, por tanto, es un aspecto muy importante cuidar que esto no suceda y si llega a ocurrir, hacer las operaciones convenientes que corrijan oportunamente el defecto ocasionado por el transporte incorrecto.

Dentro de los sistemas más comunes de transporte que se usan, puden citarse los siguientes: vaciado directo en la cimbra, canalones, bandas transportadoras, camiones de varios tipos, elevadores, botes, bombas de concreto, carretillas, vagonetas, etc.

La elección del transporte más adecuado depende de los siguientes aspectos principales:

- volumen de concreto a transportar
- distancia entre la descarga y colocación del concreto
- revenimiento y tamaño máximo de agregado en la mezcla
- accesibilidad y medios disponibles para colocar el concreto dentro de las cimbbras.

#### IV.6 CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

El control de calidad es imprescindible para captar las variaciones que se presentan en el concreto producido, y con esto tomar las medidas necesarias para mantenerlo en el nivel especificado.

Existen dos formas usuales para controlar la calidad del concreto: la prueba del revenimiento y la resistencia a la compresión.

El revenimiento constituye una prueba de control de la producción, pudiendo acusar en un momento dado cualquier fluctuación en el contenido de agua durante el proceso de elaboración de un concreto, cuyas características deben ser constantes.

Es por esta razón que esta prueba se hace indispensable en la obra, además de ser verdaderamente sencilla y requerir un equipo mínimo. Así pues, en la producción continua del concreto, la prueba de revenimiento deberá hacerse con la mayor frecuencia posible, llevando un registro de los valores obtenidos y el número de revoltura a la que cada uno de ellos corresponde. Un solo individuo debe ser suficiente para hacerla, y deberá estar reportando al inspector de la mezcladora cada uno de los valores que se vayan obteniendo, permitiendo en esta forma la observación continua de la consistencia del concreto, y en caso de una discrepancia, hacer oportunamente la intervención del inspector de la mezcladora para la corrección permanente.

En el caso de observarse, durante la producción, una discrepancia en la medida del revenimiento, el cual durante la producción no debe variar más de un centímetro arriba o abajo del revenimiento especificado, la intervención del inspector de mezcladora no debe ser inmediata, sino que éste debe acudir y observar personalmente otras dos determinaciones del revenimiento: si la discrepancia continúa después de tres pruebas consecutivas con el mismo error, se corregirán inmediatamente mediante la adición o disminución del agua necesaria para volver a la consistencia especificada, posteriormente hay que revisar si no ha habido variación en las pesadas de los materiales, ya sea por defecto de operación o

por descompostura del equipo pesador, si ésta no es la razón, deberán tomarse nuevas pruebas de los agregados en uso y determinar las humedades respectivas para hacer una nueva corrección por este concepto. Mientras tanto no debe pararse la producción, pero sí debe operarse con toda cautela y seguir observando los revenimientos.

Como puede observarse, el revenimiento por sí solo puede mostrar las variaciones en la uniformidad de la producción, cuando se hacen determinaciones consecutivas y frecuentes. Debe considerarse como la única prueba de campo que da auxilio inmediato al personal de inspección, pues mediante su conocimiento continuo se tiene la seguridad no sólo de estar haciendo una producción uniforme, sino que se evita que la variación en el agua de mezclado origine variaciones en la resistencia del concreto, las cuales serían observadas cuando ya fuera imposible hacer alguna corrección. La observación de la resistencia del concreto puede servir como una calibración a la calidad de control en la producción, pero los resultados obtenidos son muy posteriores para que puedan prestar una ayuda efectiva.

La determinación de la resistencia a la compresión se considera un buen índice de la calidad del concreto endurecido. Por esto mismo, la elaboración y posterior prueba de especímenes representativos es lo acostumbrado para verificar la calidad final del concreto producido. Para que esta prueba sea confiable, es indispensable elaborar los especímenes tal y como lo marcan las normas correspondientes, procurando que la elaboración de los mismos se realice con la mayor frecuencia posible.

Generalmente se elaboran tres cilindros por cada revoltura, con la finalidad de probarlos a 7 y 28 días. En ocasiones se elaboran hasta 8 cilindros por revoltura, los cuales se ensayan por pares a los 3, 7, 14 y 28 días: los resultados obtenidos se utilizan para juzgar la calidad potencial del concreto, a fin de hacer las correcciones y ajustes a menor plazo.

Los resultados de la resistencia a la compresión determinan la calidad del concreto producido, y se relacionan mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{X} \geq f'c + t\sqrt{V}$$

donde:

- $\bar{X}$  = resistencia promedio obtenida a los 28 días
- $f'c$  = resistencia de proyecto del concreto
- $t$  = constante estadística que depende de la proporción de resistencias inferiores a  $f'c$  que permitan las especificaciones de la obra.
- $\sqrt{V}$  = desviación estandar, que define la uniformidad.

Todos estos aspectos se explican con mayor amplitud en el capítulo siguiente.

## V. CONSIDERACIONES TECNICAS

### V.I. INTRODUCCION

Las consideraciones técnicas se refieren a la calidad y control de los materiales, precisión de los equipos de dosificación y mezclado, capacidad del personal y procedimientos disponibles en cada obra para la producción del concreto. Estas consideraciones se pueden evaluar estadísticamente, y los resultados obtenidos son parámetros que reflejan la capacidad de los productores para reproducir con la mayor fidelidad, y tantas veces sea necesario, las características de la mezcla de diseño.

Con lo expuesto en los capítulos anteriores, se puede decir que bajo cuidadosa elaboración, el concreto hecho en obra puede competir en calidad con el concreto premezclado. Sin embargo, muy pocos constructores le dan la real importancia que merece la fabricación del concreto en la obra, provocando con esto baja calidad en el concreto resultante. Esto se corrobora con los resultados a la compresión que se obtienen de la prueba de cilindros, la cual es llevada a cabo por laboratorios independientes que se dedican a este tipo de actividades. Los resultados obtenidos de las pruebas muestran una gran variación entre la resistencia obtenida con respecto a la especificada, haciendo que el nivel de confiabilidad - del concreto hecho en obra sea muy bajo.

Para poder evaluar los resultados de las pruebas de resistencia tanto del concreto premezclado como del hecho en obra, los procedimientos estadísticos son de gran ayuda, pues permiten visualizar en forma numérica las variaciones que se manifiestan en la resistencia del concreto. Por esto mismo, en este capítulo se presentan los procedimientos estadísticos útiles para determinar las variaciones del concreto, así como las características que deben poseer los datos utilizados en el análisis.

### V.2 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Una forma indebida de valorar el nivel de calidad del concreto es - hacerlo únicamente por el valor del promedio de la resistencia a la compresión ( $\bar{X}$ ). Para establecer el nivel de calidad del concreto, es necesario definir su valor promedio y su intervalo de variación, este último comprendido entre las resistencias mínima y máxima que son factibles de obtenerse. Cuando se tiene un límite que señala la calidad mínima aceptable, la forma de superarlo es con un promedio alto y un intervalo de variación reducido.

Muchas de las características y propiedades del concreto se relacionan con pruebas índice de calidad, como lo es la resistencia de proyecto a la compresión ( $f'c$ ). Esta resistencia no debe interpretarse como el promedio supuesto por el proyectista para efectuar el diseño estructural, ni tampoco referirlo al límite inferior del intervalo de variación, pues esto resulta antieconómico. La práctica más sensata, consiste en ubicar la resistencia de proyecto entre el valor promedio y el límite inferior

del intervalo de variación.

Una vez determinado el valor de  $f'c$  existen dos medios teóricos para mantener la calidad del concreto dentro de límites convenientes:

- 1) reduciendo el intervalo de variación
- 2) aumentando el valor promedio

El aumento del valor promedio implica, normalmente, incrementar el contenido unitario de cemento y/o reducir el de agua, pero es más aconsejable el intervalo de variación, pues esto permite hacer más uniforme la calidad del concreto.

En las obras grandes, y debido al elevado volumen de concreto que se produce, se justifican las fuertes erogaciones para mantener un control de calidad drástico sobre los ingredientes (cemento, agregados, aditivos y agua), y la disposición de equipos precisos para dosificarlos y mezclarlos, comprobándose frecuentemente la calidad del producto para proceder a realizar los ajustes necesarios. Todo esto motiva la uniformidad del concreto producido, manifestándose en la obtención de un intervalo de variación reducido. A medida que el volumen de concreto a producir va disminuyendo, es frecuente que el control sobre los ingredientes y la precisión de los equipos tiendan también a disminuir, obteniéndose con esto intervalos de variación cada vez mayores.

En resumen, para definir completamente el nivel de calidad del concreto, es necesario contar con los datos siguientes: resistencia de proyecto, valor promedio y el intervalo de variación. Este último dato es una característica propia de cada obra, pues depende de los materiales, equipo, personal y procedimientos que en ella se disponen para reproducir, cuantas veces sea necesario, la mezcla de diseño.

El procedimiento normal que se sigue para diseñar una mezcla, y su ajuste posterior durante la producción, es el siguiente:

- a) el proyectista de la estructura establece un valor de resistencia mínima permisible en el concreto ( $f'c$ ), considerando un factor de seguridad que depende de las condiciones de operación de la estructura, limitando la posibilidad de que se produzcan resistencias demasiado bajas en el concreto con que se construya
- b) Una vez conocido el valor de la resistencia mínima permisible, el encargado del diseño de la mezcla debe definir la resistencia promedio requerida para que el límite inferior del intervalo de variación resulte lo más cercano posible a  $f'c$ . Como el intervalo de variación depende de las condiciones de producción en la obra, es necesario suponerlo antes de iniciar la construcción.

Para determinar la resistencia promedio requerida ( $f_{cr}$ ), el ACI-318 propone utilizar los criterios siguientes:

- 1) empleando la tabla V.1, que se utiliza para establecer  $f_{cr}$ , y también para determinar la probabilidad de pruebas inferiores a la  $re$

sistencia especificada que pueden aparecer en un proyecto, cuando se conoce el valor de  $\sqrt{V}$ .

Resistencia promedio $\bar{X}$	Porcentaje de resultados bajos	Resistencia promedio $\bar{X}$	Porcentaje de resultados bajos
$f'c + 0.10\sigma$	48.0	$f'c + 1.8 \sigma$	5.5
$f'c + 0.20\sigma$	42.1	$f'c + 1.7 \sigma$	4.5
$f'c + 0.30\sigma$	38.2	$f'c + 1.8 \sigma$	3.6
$f'c + 0.40\sigma$	34.5	$f'c + 1.9 \sigma$	2.9
$f'c + 0.50\sigma$	30.9	$f'c + 2 \sigma$	2.3
$f'c + 0.60\sigma$	27.4	$f'c + 2.1 \sigma$	1.8
$f'c + 0.70\sigma$	24.2	$f'c + 2.2 \sigma$	1.4
$f'c + 0.8 \sigma$	21.2	$f'c + 2.3 \sigma$	1.1
$f'c + 0.9 \sigma$	18.4	$f'c + 2.4 \sigma$	0.8
$f'c + \sigma$	15.9	$f'c + 2.5 \sigma$	0.6
$f'c + 1.1 \sigma$	13.6	$f'c + 2.6 \sigma$	0.45
$f'c + 1.2 \sigma$	11.5	$f'c + 2.7 \sigma$	0.35
$f'c + 1.3 \sigma$	9.7	$f'c + 2.8 \sigma$	0.25
$f'c + 1.4 \sigma$	8.1	$f'c + 2.9 \sigma$	0.19
$f'c + 1.5 \sigma$	6.7	$f'c + 3 \sigma$	0.13

TABLA V.1 PORCENTAJES INFERIORES A  $f'c$  ESPERADOS EN LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

2) empleando las ecuaciones V-1 y V-2, así como la tabla V.2

$$fcr = \frac{f'c}{(1-tV)} \dots V-1$$

$$fcr = f'c + t\sqrt{V} \dots V-2$$

En cualquier caso, los valores de la desviación estándar ( $\sqrt{V}$ ) y el coeficiente de variación ( $V$ ) se obtienen de la tabla V.3, que indica el valor de  $\sqrt{V}$  y  $V$  en función de las condiciones de producción del concreto. A continuación se ejemplifica el uso del criterio 1, dejando para más adelante ejemplos para aplicar el criterio 2:

#### EJEMPLO.

Suponiendo que el encargado del diseño de una mezcla le gustaría limitar al 5% la probabilidad de pruebas inferiores a  $200 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando un valor de la desviación estándar esperada de  $32 \text{ kg/cm}^2$ . ¿Para que resistencia promedio debe proyectarse el concreto?. En la tabla V.1 para 5% de pruebas abajo de  $f'c$ , se ve que:

$$\begin{aligned} fcr &= f'c + 1.65 \sqrt{V} \\ &= 200 + 1.65 (32) \end{aligned}$$

- = 200 + 53
- = 253 kg/cm<sup>2</sup>

Como resultado, para concreto de resistencia  $f'c$  de 200 kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla de concreto debe estar proporcionada para obtener una resistencia promedio no menor de 253 kg/cm<sup>2</sup>.

Porcentajes de pruebas que caen dentro de los límites $X \pm t\sigma$	Probabilidades de que caigan por debajo del límite inferior	t
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.65
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

**TABLA V.2 CRITERIOS PARA LOS REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA**

Cuando las obras son pequeñas y no existe información previa disponible en cuanto a los valores de  $\bar{V}$  y  $V$ , el concreto debe diseñarse para obtener una  $fcr$  de por lo menos 85 kg/cm<sup>2</sup> mayor a  $f'c$ . Conforme avanza la obra y se obtengan más pruebas de resistencia a la compresión (un mínimo de 30), se puede obtener un cálculo más aproximado de la desviación estándar y el coeficiente de variación, para posteriormente aplicar los criterios antes mencionados y obtener una  $fcr$  más real.

c) durante la producción se elaboran revolturas de concreto, cuyas características deben ser teóricamente idénticas a las obtenidas en la mezcla de diseño. Sin embargo, la precisión con que se obtenga la resistencia prevista depende del nivel del control de calidad que se tenga sobre los ingredientes, su dosificación y posterior mezclado.

Es normal que se presenten variaciones respecto a la resistencia prevista, pero si estas se deben a causas fortuitas, puede esperarse que los resultados a la compresión sean alternativamente mayores y menores que el promedio obtenido ( $\bar{X}$ ). Esto indica una cierta simetría, quedando  $\bar{X}$  ubicado al centro del intervalo de variación, aproximadamente.

Una vez conocidos el promedio, el intervalo de variación y siendo simétrica la distribución de resultados, se procede a efectuar los ajustes necesarios, con la finalidad de adaptarse a las condiciones reales



que prevalecen en la obra.

V	✓	CALIFICACION	CONDICIONES FRECUENTES EN QUE SE OBTIENEN PARA CONCRETO HECHO EN OBRA.
0-5	0-15	EXCELENTE	CONDICIONES DE LABORATORIO
5-10	15-25	MUY BUENO	PRECISO CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR PESO.
10-15	25-35	BUENO	BUEN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR PESO
15-20	35-40	MEDIANO	ALGUN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR PESO
20-25	40-50	MALO	ALGUN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR VOLUMEN
25	50	MUY MALO	NINGUN CONTROL EN LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR VOLUMEN

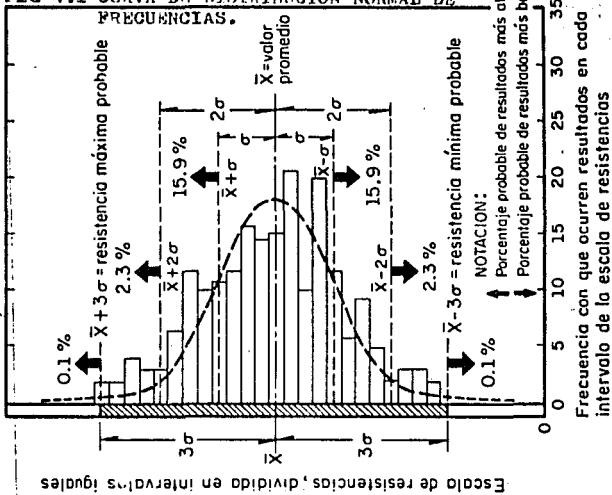
TABLA V.3 CALIFICACION DEL CONCRETO EN FUNCION DE V Y ✓

### V.3 INTERPRETACION Y UTILIDAD DE LA DISTRIBUCION NORMAL DE FRECUENCIAS

Los valores de resistencia a la compresión para determinar  $\bar{X}$  y el intervalo de variación deben representar un grupo, de por lo menos, 30 pruebas consecutivas efectuadas a una producción de concreto con las mismas características de la mezcla de proyecto, es decir, que representen una misma clase de concreto. Una prueba está definida como la resistencia promedio de todos los cilindros de la misma edad, elaborados de una muestra tomada de una única mezcla de concreto.

Cuando existe simetría en la distribución de resultados, se forma un diagrama de barras como el mostrado en la figura V.1, en donde la curva sobrepuesta es la llamada distribución normal de frecuencias, que representa la ley de variación en los resultados de resistencia a la compresión.

FIG V.1 CURVA DE DISTRIBUCION NORMAL DE FRECUENCIAS.



La forma acostumbrada para definir la amplitud del intervalo de variación es usando la desviación estándar, que es una medida de la dispersión o variabilidad de los datos. se define como el radio de giro del área bajo la curva (de distribución de frecuencias) respecto al eje de simetría (establecido por  $\bar{X}$ ), y se calcula con la fórmula siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

donde:

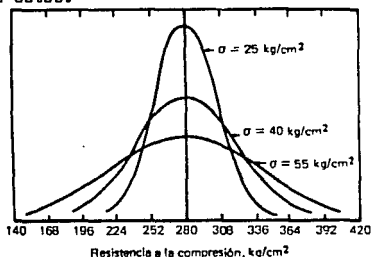
$X_1, X_2, X_n$  : representan valores individuales de las pruebas de resistencia.

$\bar{X}$  : es la resistencia promedio

$(n - 1)$  : es el número de pruebas reducido en una unidad, pues esto aumenta el valor de  $s$  y compensa la inseguridad que se presenta cuando las muestras son pequeñas.

La figura V.2 muestra una serie de curvas normales de distribución

de frecuencias para diferentes desviaciones estándar. Cuando la curva es alta y estrecha, los valores de resistencia se aglomeran alrededor de  $\bar{X}$  y el valor de  $\sigma$  es pequeño, lo que indica poca variabilidad en los datos. Cuando la curva es baja y alargada,  $\sigma$  es alto e indica mucha variación o dispersión en los datos.



**FIG V.2 CURVAS NORMALES DE FRECUENCIA PARA DIFERENTES  $\sigma$**

Cualquiera que sea la forma de la curva de distribución y el valor de  $\sigma$ , el área bajo la curva se encuentra comprendida en los valores siguientes:

$$\bar{X} \pm \sigma : 68.27\%$$

$$\bar{X} \pm 2\sigma : 95.45\%$$

$$\bar{X} \pm 3\sigma : 99.70\%$$

Dada la baja probabilidad (0.1%) de que fuera de  $\bar{X} \pm 3\sigma$  se presenten eventos, se considera que en este intervalo resulta comprendida la totalidad de los valores posibles. Por esto mismo, para definir el valor mínimo probable que puede esperarse en determinadas condiciones de dispersión basta restar 3 el valor promedio.

A fin de comparar en una escala de magnitudes la dispersión de un conjunto de valores, se hace uso del concepto de coeficiente de variación (V), que es la desviación estándar expresada como un porcentaje de la resistencia promedio.

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

Esta fórmula indica que para conjuntos con igual dispersión el V aumenta al disminuir el promedio, y para igual promedio, aumenta al incrementarse la dispersión. Conforme al RCDF, la dispersión de las resistencias del concreto se expresa en función de V y este se califica como lo indica la tabla V.3.

#### V.4 CONCESIONES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CONCRETO

Cuando se dispone de ingredientes de buena calidad, se los combina en proporción adecuada y se dispone de medios para asegurar la calidad de los mismos, el volumen total de concreto que se elabora en el curso de cualquier lapso manifiesta propiedades muy semejantes a las esperadas. Esto es lo que se realiza en obras o empresas que producen grandes volúmenes de concreto, justificándose la inversión que se hace para controlar la calidad de cada uno de los ingredientes, utilizando equipos que propicien su uniformidad en base a una dosificación precisa y mezclado adecuado en cada revoltura.

En las obras pequeñas se hacen concesiones en cuanto al control de calidad de los ingredientes y la precisión de los equipos, reflejándose negativamente en la calidad del concreto producido. Las concesiones propician variaciones en el contenido de agua de mezclado, y por consiguiente, en la relación agua-cemento. A continuación se mencionan las más importantes:

- a) Falta de control en la consistencia del concreto, debido a la omisión o defectuoso control del revenimiento.
- b) Imprecisión en la dosificación del agua de mezclado.
- c) Falta de control en la humedad de los agregados.
- d) Falta de control en la granulometría de los agregados.

#### V.5 CRITERIOS PARA DISEÑO DE MEZCLAS

Para diseñar mezclas de concreto es frecuente la adopción de los criterios 214 y 318 del ACI.

- 1) ACI - 214.- este criterio distingue el concreto en dos clases:

- a) CLASE 1 (llamado GRADO B por la NUM-C-155). Se utiliza para evaluar la resistencia promedio requerida para concreto estructural diseñado por el método de resistencia última (diseño plástico), en donde fcr debe ser tal que un máximo de 10% de los valores obtenidos en las pruebas sean inferiores a f'c.
- b) CLASE 2 (GRADO A).- se utiliza para evaluar la fcr para concreto estructural diseñado por el método de esfuerzos de trabajo (diseño elástico), aumentándose a 20% la proporción permisible de valores inferiores a f'c.
- 2) ACI-318.- establece un criterio único para evaluar todo concreto estructural, considerando que el nivel de resistencia del concreto es satisfactorio cuando exista la probabilidad de 1 en 100 de que un valor individual de resistencias sea inferior al valor de f'c disminuido en 35 Kg/cm<sup>2</sup>, esto es, define una resistencia mínima permisible igual a f'c - 35 Kg/cm<sup>2</sup>, que es independiente de la resistencia de proyecto.

Para juzgar los dos criterios desde una misma base, en la tabla V.4 se resumen los valores de resistencia promedio requerida, para diferentes resistencias de proyecto y coeficiente de variación. Se observa que, con igual V, es mayor la fcr necesaria para cumplir con los requisitos del ACI-318.

Resistencia de proyecto, f'c, en kg/cm <sup>2</sup>	Coeficientes de variación, V, en porcentaje													
	5		10		15		20		25		30		35	
	TABLA V.4 Resistencias promedio requeridas, en kg/cm <sup>2</sup> , según Comité ACI-214 y 318													
ACI-318	ACI-214		ACI-318	ACI-214		ACI-318	ACI-214		ACI-318	ACI-214		ACI-318	ACI-214	
	Clase 1	Clase 2		Clase 1	Clase 2		Clase 1	Clase 2		Clase 1	Clase 2		Clase 1	Clase 2
150	161	161	156	173	173	164	186	171	215	201	190	224	221	191
200	214	214	208	231	230	219	263	229	308	268	240	324	294	254
250	268	267	261	289	287	273	329	310	396	336	301	512	368	317
300	321	320	313	347	344	320	406	371	495	404	361	632	442	380
350	375	374	365	410	401	382	483	433	601	471	421	750	515	443
400	429	427	418	475	459	437	560	495	698	538	481	873	599	507

Cuando las obras están mal controladas y se cuenta con equipo y procedimientos inadecuados, la fcr necesaria para cumplir con la calidad requerida aumenta en forma importante, implicando la elevación en los costos de producción.

A continuación se muestran ejemplos de aplicación de los criterios de diseño mencionados:

#### EJEMPLO DE APLICACION DEL ACI-214 (clase 1)

Considérese la situación en la cual no mas de 1 en 10 de las resistencias seleccionadas se les permita caer por debajo de un valor de 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

- aplicando la desviación estándar.

Tomando un valor de  $\sqrt{f} = 30 \text{ Kg/cm}^2$ , que significa un control de calidad bueno. Utilizando la ecuación V-2 y la tabla V.2:

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'c + t \sqrt{f} \\ &= 300 + 1.28 (30) \\ &= \underline{338 \text{ Kg/cm}^2} \end{aligned}$$

- aplicando el coeficiente de variación.

Tomando un valor de  $V = 15\%$ , utilizando la ecuación V-1 y la tabla V.2, se obtiene:

$$\begin{aligned} f_{cr} &= \frac{f'c}{(1-tV)} \\ &= \frac{300}{1-1.28(0.15)} \\ &= \underline{371 \text{ Kg/cm}^2} \end{aligned}$$

#### EJEMPLO DE APLICACION DEL ACI-214 (clase 2)

Considerando que no más de 2 en 10 de las resistencias individuales seleccionadas se les permita caer por debajo de un valor de  $f'c$  de 300  $\text{Kg/cm}^2$ .

- aplicando la desviación estándar.

Tomando  $\sqrt{f} = 30 \text{ Kg/cm}^2$  y utilizando la ecuación V-2 y la tabla V.2, se obtiene:

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'c + t \sqrt{f} \\ &= 300 + 0.84 (30) \\ &= \underline{325 \text{ Kg/cm}^2} \end{aligned}$$

- aplicando el coeficiente de variación.

Tomando  $V=15\%$  y utilizando la ecuación V-1 y la tabla V.2:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f'_c}{1-tV} \\
 &= \frac{300}{1-0.84(0.15)} \\
 &= \underline{343 \text{ Kg/cm}^2}
 \end{aligned}$$

#### EJEMPLO DE APLICACION DEL ACI-318

Considérese una probabilidad de 1 en 100 de que una prueba de resistencia sea más baja de 35 Kg/cm<sup>2</sup> por debajo de una f'c de 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

- aplicando la desviación estándar.

Utilizando  $\sigma = 30 \text{ Kg/cm}^2$  y aplicando la ecuación V-2 y la tabla V.2, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f'_c - 35 + t\sigma \\
 &= 300 - 35 + 2.33(30) \\
 &= \underline{335 \text{ Kg/cm}^2}
 \end{aligned}$$

- aplicando el coeficiente de variación.

Tomando V = 15% y utilizando la ecuación V-1 y la tabla V.2, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f'_c - 35}{1 - tV} \\
 &= \frac{300 - 35}{1 - 2.33(0.15)} \\
 &= \underline{407 \text{ Kg/cm}^2}
 \end{aligned}$$

#### V.6 Comparación estadística del concreto premezclado respecto al hecho en obra.

Para comparar la desviación estándar y el coeficiente de variación, se investigó en un laboratorio de control de calidad los resultados de pruebas a la compresión de diferentes constructoras y premezcladoras. Se tomaron al azar los resultados de 10 pruebas para 6 constructoras y 6 premezcladoras, con el fin de tener un panorama más amplio. A continuación se muestra la información recabada, la cual se refiere a concreto con las siguientes características de diseño:

$$f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

TIPO : normal

TMA = 20 mm

REV = 14 cm

CONSTRUCTORA	f'c a los 28 días	CONSTRUCTORA	f'c a los 28 días
A	132 112 271 247 222 256 150 232 262 210	B	324 374 342 355 247 246 288 288 232 222
C	118 144 156 203 213 208 229 216 169 171	D	286 256 301 235 290 272 295 277 245 274
E	152 181 211 189 195 193 173 197 182 197	F	231 167 170 222 216 203 252 259 215 237



PREMEZCLADORA	f'c a los 28 días	PREMEZCLADORA	f'c a los 28 días
A	253	B	227
	275		220
	292		216
	293		199
	253		206
	247		199
	225		224
	210		241
C	271	D	208
	198		216
	291		228
	299		228
	303		236
	238		258
	315		243
	283		309
E	291	F	275
	263		270
	286		260
	256		263
	230		234
	232		247
	233		250
	245		224
	231		200
	252		233
	217		218
	204		216
	233		226
	219		259

Los valores de  $\bar{x}$ ,  $\sqrt{v}$  y  $V$  obtenidos, son los siguientes:

- para el concreto premezclado.

$$\bar{x} = 244.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sqrt{v} = 30.2 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = 12.4 \%$$

- para el concreto hecho en obra.

$$\bar{x} = 226.9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sqrt{v} = 55.8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = 24.6 \%$$

Se Observa que los valores de  $f'c$  y  $V$  obtenidos del concreto hecho en obra son muy altos, y corresponden según la tabla V.3 a una calificación mala del grado de uniformidad del concreto. Sin embargo, los resultados engloban a varias constructoras, y no se puede aplicar la misma calificación a cada una de ellas, pues entre estas hay algunas que tienen un mejor control de calidad que el reflejado por el promedio obtenido.

En cuanto a los resultados del concreto premezclado, los valores de  $f'c$  y  $V$  corresponden a una calificación buena en cuanto a la uniformidad del concreto, lo cual refleja la atención que se tiene sobre los materiales, equipo y personal utilizado en la producción. A pesar de que hay premezcladoras que tienen un mejor control de calidad que otras en cuanto al concreto producido, los resultados individuales de las seis seleccionadas demuestran una gran semejanza, lo que permite tener seguridad en la calidad del concreto proporcionado por las empresas premezcladoras existentes.

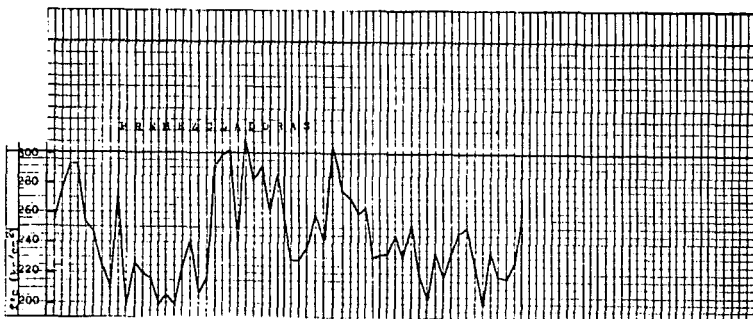
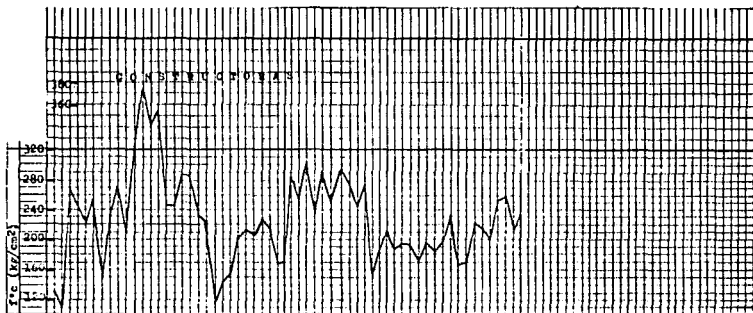
#### V.7 CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD

Las cartas de control de calidad fueron introducidas en un principio por las industrias manufactureras, con el fin de reducir la variabilidad en la calidad de los productos, permitiendo incrementar la producción en base a una mayor eficiencia. Posteriormente la industria del concreto adoptó estas cartas, las cuales con el tiempo se han ido adaptando a las necesidades particulares de la misma. Se recomienda utilizar las cuando exista una producción continua de concreto a lo largo de períodos importantes de tiempo, como es el caso de la industria del concreto premezclado y en obras grandes en donde se utiliza concreto fabricado allí mismo.

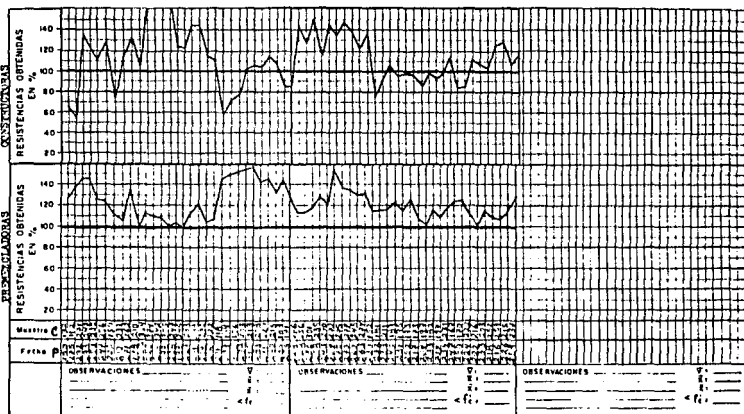
A continuación se describen tres cartas de control de calidad usuales en la industria del concreto, las cuales se ejemplifican con los resultados recibidos de pruebas de resistencia a la compresión de premezcladoras y constructoras. Es conveniente hacer mención que los resultados plasmados en las cartas del ejemplo no corresponden a la realidad, pues las características del concreto varían de una premezcladora a otra, así como de una constructora a otra. Sin embargo, para hacer un ejemplo más completo, se tomarán los datos como si fuera una sola premezcladora y una sola constructora.

- a) carta para pruebas individuales de resistencia.- se utiliza para plasmar los resultados de las pruebas individuales de resistencia (cada prueba formada por dos cilindros compañeros), conforme se reciben. Para una mejor visualización de los resultados, es conveniente trazar la línea de resistencia de diseño especificada, así como la referente a la resistencia promedio requerida  $f'cr$ . En este ejemplo no se traza esta última línea, pues el valor de  $f'cr$  no estaba especificado en los datos recabados en el laboratorio independiente.
- b) carta de resistencias obtenidas en porcentaje.- En esta carta se plasma en %, respecto a la resistencia de diseño especificada, los resultados obtenidos de cada prueba recibida. Esto permite visualizar si el concreto producido está por arriba o abajo de  $f'c$ , permitiendo hacer los ajustes necesarios de una manera rápida y eficiente.

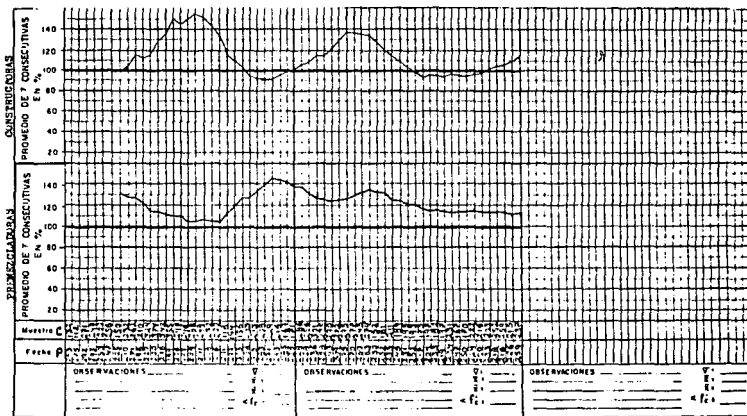
c) carta del promedio variable para la resistencia a la compresión.- en este tipo de carta se traza el promedio de 7 grupos previos de dos cilindros compañeros (7 consecutivas), y en este caso la resistencia especificada constituye el límite inferior. Esta carta sirve para indicar las tendencias, y muestra la influencia de los cambios climatológicos, los cambios de materiales, las fallas en los equipos, etc.



CARTA PARA PRUEBAS INDIVIDUALES DE RESISTENCIA



**CARTA DE RESISTENCIAS OBTENIDAS EN PORCENTAJE**



**CARTA DEL PROMEDIO VARIABLE PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION**

## CAPITULO VI CONSIDERACIONES ECONOMICAS

### VI.1 INTRODUCCION

Juzgar desde el punto de vista económico al concreto premezclado con respecto al hecho en obra, es una situación un tanto compleja. El conocer el costo del concreto premezclado no ofrece ningún problema, pues basta con hacer una llamada telefónica. Por el contrario, el costo real del concreto hecho en obra está afectado por varios factores que dificultan su análisis.

Como se mencionó en capítulos anteriores, el concreto premezclado se produce en una planta central, en donde la calidad de las materias primas y el producto terminado están cuidadosamente controlados. Esto posibilita la responsabilidad y garantía del premezclador en el diseño de su mezcla, en cuanto a la trabajabilidad y resistencia mecánica a la compresión. Esta ventaja, aunada a la de conocer el costo real del concreto, son cuestiones que hacen más confiable el concreto premezclado que el producido en obra.

### VI.2 DETERMINACION DEL COSTO DIRECTO

Para determinar el costo directo del concreto hecho en obra, es imprescindible conocer el costo de materiales, salarios del personal y el costo-honorario de las revolvedoras, básicamente. También es necesario tomar en cuenta los desperdicios de material, así como el rendimiento del personal y maquinaria disponibles.

Es menester estar al tanto de las variaciones que se presenten en los salarios, así como en los costos de materiales y maquinaria; pues esto permite actualizar los costos directos, y en un momento dado, solicitar la aplicación de la cláusula de ajuste de precios.

Hasta este momento, se observa que no hay ningún problema para la determinación del costo del concreto hecho en obra. Sin embargo, el costo directo forma parte de lo que se conoce como precio unitario, al cual también lo forman los costos indirectos y un porcentaje de utilidad que determina la empresa constructora.

Como se sabe, el costo indirecto son todos aquellos gastos generales necesarios para la construcción del proyecto, y que no han sido considerados dentro de los costos directos. Estos gastos se dividen de la siguiente forma:

- a) administración en obra
- b) administración central

- c) financiamiento
- d) fianzas y seguros
- e) imprevistas

Cuando se fabrica el concreto en la obra, es necesario contar con lugares especiales para el almacenamiento de arena y grava, así como bodegas para el almacenamiento del cemento. Todo esto implica destinar recursos económicos y humanos para la construcción y operación de los almacenes, incrementándose así el costo de producción. Asimismo, se debe tener en cuenta al personal especializado en el diseño de mezclas y sus posteriores correcciones, lo que implica una erogación extra.

Entre los imprevistos se pueden citar la descompostura de los equipos, la escasez de materiales, variación en la calidad de los mismos etc. Esto implica tiempos extras y prestaciones adicionales para el personal, pues es necesario cumplir con el programa de obra. Todos estos costos se introducen en los indirectos, lo cual incrementa en forma importante al precio unitario.

En base a lo anterior, la decisión de utilizar concreto hecho en obra debe hacerse tomando en cuenta los siguientes puntos principales:

- 1) exista espacio suficiente en la obra para la instalación de almacenes y bodegas.
- 2) Se cuente con personal capacitado para diseñar mezclas y sus posteriores correcciones durante la producción. Esto es un punto muy importante, pues permite dosificar los materiales de acuerdo a su calidad y a su estado de humedad y contaminación al momento de ser utilizados.
- 3) el volumen de concreto a producir sea el adecuado para la capacidad y calidad del equipo disponible, así como el personal con que se cuente.

A continuación se desarrolla un ejemplo para la obtención del costo directo del concreto hecho en obra, para una  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ .

- 1) COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA, para una revolvedora MIPS A R-10 Portátil de 1 saco.

CONSTRUCTORA:

Máquina: REVOLVEDORA

Hoja No: \_\_\_\_\_

Modelo: MIPSA R-10

Cálculo: \_\_\_\_\_

Datos Adic: 1 SAO POZA

Revisó: \_\_\_\_\_

Fecha: AGOSTO 1991

OBRA: \_\_\_\_\_

## DATOS GENERALES.

Precio adquisición: \$ 8,323,700

Equipo edic.: \_\_\_\_\_

Fecha cotización: AGO '91Vida económica (Val) = 2 añosHoras por año (H/a) = 1600 h/añoMotor: KOHLER GASOL de 8 H.P.Factor operación = 0.70Potencia operación = 5.6 HP op.Factor mantenimiento (Q) = 1.0Valor inicial (Val): \$ 8,323,700Valor rescate (Vr): 10.0% = \$ 832,370Tasa interés (I): 22.0%Prima seguros (S): 3.0%

## I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciación:  $D = \frac{Va - Vr}{Va} = \frac{8,323,700 - 832,370}{2(1600)} = 2341.04$

b) Inversión:  $I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} = \frac{9,156,070}{2(1600)} (0.22) = 629.48$

c) Seguros:  $S = \frac{Va + Vr}{2 Ha} = \frac{9,156,070}{2(1600)} (0.03) = 85.84$

d) Mantenimiento:  $M = QD = 1.0 (2341.04) = 2341.04$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA

\$ 5,397.4

## II.- CONSUMOS.

a) Combustible: E = a PC

Diesel: E = 0.20 x \_\_\_\_\_ HP op. = \$ \_\_\_\_\_ /lt = \$

Gasolina: E = 0.24 x 5.6 HP op. = \$ 710 /H. = 3,976.0

b) Otras fuentes de energía: \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

c) Lubricantes: L = a Pe

Capacidad Carter = C = 2 litros

Cambios aceite:  $\tau = \frac{30}{\text{horas}}$

$e = C/\tau + \frac{0.0035}{0.0030} \times 5.6$  HP op. = 0.086 H/hr

$\therefore L = 0.086 \text{ hr} \times \$4,500/\text{lt} = 387.0$

d) Llantas: Li = 2 (valor llantas)

Vida económica: Hv = \_\_\_\_\_ horas

$\therefore Li = \frac{2}{\text{horas}} = 4,363.0$

SUMA CONSUMOS POR HORA

\$ \_\_\_\_\_

## III.- OPERACION.

Salarios: S

operador: \$ 17,375 (1,611.8) = 28,005.025

OF. ALBANILERIA

Sal./turno-prom.: \$ 28,005.025

Horas/turno-prom. (H)

H = 8 horas  $\times \frac{0.15}{6}$  factor operacional = 6.0 horas

$\therefore$  Operación =  $O = \frac{S}{H} = \frac{28,005.025}{6} = \$4,667.5$

SUMA OPERACION POR HORA \$ 4,667.5COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 14,427.9

2) COSTO DIRECTO DEL CONCRETO HECHO EN OBRA.

a) consideraciones sobre el material:

- desperdicios

cemento: 1% descarga en almacén

1% bodega je

2% acarrees en obra

2% utilización

6%

arena: 7%

grava: 7%

agua: 25%

El costo de material que se anota para el análisis del costo directo, corresponde al "costo del material en obra", el cual está integrado por el precio de adquisición en fábrica, más el costo de transporte incluyendo carga y descarga.

Para el ejemplo se utiliza un proporcionamiento recomendado por una publicación especializada en el análisis de precios unitarios fig.VI.1, que se basa en una gráfica obtenida de pruebas de laboratorio con cementos y agregados comunes existentes en el D.F.

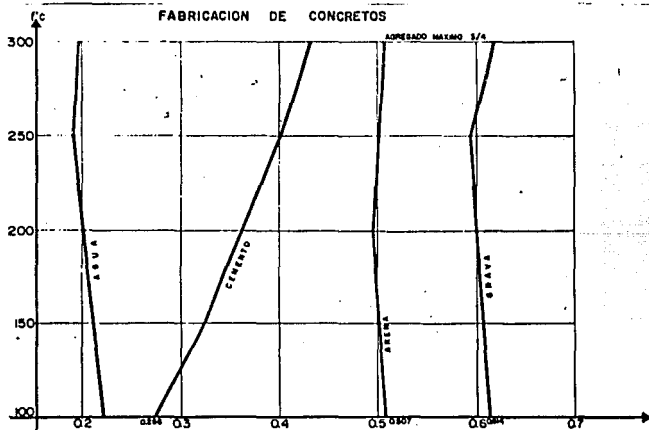


FIG VI.1 GRAFICA DE PROPORCIONAMIENTOS CON AGREGADOS Y CEMENTO COMUNES EN EL DISTRITO FEDERAL. CEMENTO EN TON. ARENA Y GRAVA EN M<sup>3</sup>. AGUA EN M<sup>3</sup>.



b) consideraciones sobre la mano de obra:

- personal necesario

3 peones (cemento y agua)

2 peones (arena)

2 peones (grava)

7 peones

- salarios del personal.- para salario mínimo, el factor de salario real que se aplica es de 1.6689, que toma en cuenta las prestaciones de la Ley Federal del Trabajo.

En Agosto de 1991, el salario mínimo para peon era de \$11,900.00. Considerando un factor de rendimiento de 0.75, el costo de mano de obra es el siguiente:

$$\text{COSTO} = \frac{7(11,900)(1.6689)}{0.75} = \$185,359.00$$

Como se trabaja 8 horas por jornada, y el rendimiento de la cuadrilla y revolvedora es de 1.5 M<sup>3</sup> por hora efectiva de trabajo, el porcentaje de jornada para producir un M<sup>3</sup> de concreto es el siguiente:

$$\frac{1}{(1.5 \times 8)} = 0.08333 \times 100 = 8.333\%$$

Con la información anterior, se obtiene el siguiente costo directo:

ESPECIFICACION

ELABORACION DE CONCRETO EN OBRA  
f'c 200 kg/cm<sup>2</sup>



FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS No.	OBRA: UBICACION:	UNIDAD M <sup>3</sup>	CALCULO:	REVISO:	FECHA: AGOSTO '91
	MATERIAL	U	CANTIDAD	FACTOR	COSTO (\$) IMPORTE (\$)
	CEMENTO 0.358 + 6%	TON	0.3794	1.00	270,000 102,438
	ARENA 0.497 + 7%	M3	0.5318	1.00	31,400 16,693.5
	GRAVA 0.601 + 7%	M3	0.6431	1.00	31,400 20,193.1
	AGUA 0.202 + 25%	M3	0.2525	1.00	1,100 277.5
					SUMA 139,607.5
	OBRA DE MANO				
	7 P. OMS (NO INCLUYE OPERADOR)	TOBO	0.08333	1.00	185,359 15,445.4
					SUMA 15,445.4
	EQUIPO Y HERRAMIENTA				
	REVOLVEDORA MIPSA R-10 1 SACO PORTATIL (INCLUYE OPERADOR)	M3	1.00	1.00	9,618.6 9,618.6
					SUMA 9,618.6
OBSERVACIONES :					COSTO DIRECTO 164,672
					INDIRECTOS
					UTILIDAD
					PRECIO UNITARIO

En Agosto de 1991, el costo del concreto premezclado de tipo normal y  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , era de \$230,000.00, lo cual es un 39.7% más el vado que el fabricado en obra. Sin embargo, hay que tomar en cuenta los costos indirectos, que en el concreto premezclado son mínimos, mientras que en el concreto hecho en obra pueden ser muy importantes.

En resumen, el concreto premezclado aventaja al fabricado en obra en los siguientes aspectos principales:

- rapidez en el colado, pues las premezcladoras cuentan con la capacidad para suministrar cualquier volumen que se requiera
- se conoce el costo real del concreto
- responsabilidad y garantía del diseño de la mezcla, en cuanto a trabajabilidad y resistencia mecánica a la compresión.

Sin embargo, hay ocasiones en que por causas técnicas es necesario fabricar el concreto en obra, lo cual no es un inconveniente si la dosificación y mezclado del concreto asegura la calidad del producto final.

## CAPITULO VII CONCLUSIONES

Por su versatilidad para ser moldeado, así como por las excelentes propiedades mecánicas con que cuenta, el concreto ha tomado gran importancia en las últimas décadas. El concreto premezclado, por su parte, también ha tenido mucha aceptación en el campo de la construcción, pero en México aún se prefiere, en muchos casos, la utilización del concreto hecho en obra. Esto se debe, entre otras cosas, al desconocimiento que se tiene sobre las ventajas de usar concreto premezclado, lo cual ha impedido que esta industria tenga tanta importancia como en otros países.

Como se informó en el capítulo V, el concreto hecho en obra carece, en general, de la calidad para competir con el concreto premezclado, pues la mayoría de los constructores no comprenden la importancia de llevar un control de calidad en la producción. El destinar recursos económicos para diseñar mezclas elaboradas con los materiales disponibles redundan en un concreto más económico, pues no se añade cemento en exceso para asegurar la obtención de la resistencia de proyecto.

A pesar de que la estadística es un medio muy útil para llevar el control de calidad del concreto, en la gran mayoría de las constructoras no se le toma en cuenta. La estadística permite captar las variaciones que se presentan en la producción del concreto, permitiendo hacer correcciones en las mezclas para que éstas se traduzcan en proporcionamientos que den los resultados esperados.

Como conclusión final, puede decirse que el concreto hecho en obra puede tener la calidad requerida, solo si se cumple con los siguientes puntos:

- 1) diseñar mezclas elaboradas con los materiales disponibles en la localidad, para lo cual es necesario contar con personal especializado para determinar las propiedades de los mismos.
- 2) contar con una persona que conozca de concreto para encargarse de toda la producción.
- 3) llevar un control de calidad, utilizando los medios estadísticos para captar las variaciones en la calidad del concreto producido.
- 4) utilizar personal y equipo adecuados para la dosificación y mezclado del concreto.

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

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.  
(IMCYC).- Control de calidad del Concreto (ACI E  
704-4). 1990, Editorial LIMUSA.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.  
(IMCYC).- Práctica recomendable para la evaluación  
de los resultados de las pruebas de resistencia del  
concreto (ACI 214-77). 1989, Editorial LIMUSA.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.  
(IMCYC).- El concreto en la obra, TOMOS I y II. 1989  
Editorial LIMUSA.

A.M.Neville.- Tecnología del concreto TOMOS I y II  
1977, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto  
A.C.

TIPS del concreto. Folleto editado por Concretos Al  
ta Resistencia, 1989.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM) correspondientes -  
al área de la Industria de la Construcción, y en es  
pecial las referentes al concreto.