



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
A R A G O N

MANUAL DE PRACTICAS DE CONSTRUCCION II

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ANTONIO ALEJANDRO ALCANTARA BAÑOS

Sn. Juan de Aragón, Edo. de Méx. Nov. 1986



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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.



ACADEMIA NACIONAL  
DE INGENIERIA  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON  
DIRECCION

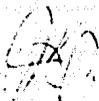
ANTONIO ALEJANDRO ALCANTARA BAÑOS  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 19 de agosto del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSE PAULO MEJORADA MOTA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " MANUAL DE PRACTICAS DE CONSTRUCCION II ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Méx., septiembre 22 de 1986  
EL DIRECTOR

  
Lic. SERGIO GUERRERO VERDEJO

  
c.c.p. Coordinación de Ingeniería (21).  
Unidad Académica.  
Departamento de Servicios Escolares.  
Asesor de Tesis.

SGV'AMCP'IIa.

## PROLOGO

El manual de Prácticas de Construcción II, se ha elaborado con el objeto de servir como guía en el Laboratorio de Construcción, cuyo curso se circunscribe a la elaboración de mezclas de Concreto (Hormigón) y al Control de Calidad del mismo. Para tal fin, se han dispuesto los Capítulos del 2 al 13, en donde se ha desarrollado íntegramente el curso de laboratorio. Sin embargo, al referirse a la fabricación del Concreto, surge imperiosa la necesidad de aludir al tiempo de fraguado, trabajabilidad, revenimiento, etc, etc. Los cuales cada uno podría fácilmente llenar varias hojas. En estos apuntes se menciona un poco de cada tema de éstos en forma de introducción en el Capítulo 1, ahondando en aquellos en que son de especial interés o que incluso son generalmente desconocidos por el estudiante.

Estos apuntes están compendiados básicamente en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y en el ACI Manual of Concrete Practice 1986 (Part 1), también de pequeños extractos de la Bibliografía que se incluye al final.

Para tratar de complementar este Manual y lograr mayor claridad, se incluyen en el Capítulo 14, cuatro apéndices; En el Primero, se dan las recomendaciones finales; En el Segundo, se definen algunos términos importantes o dudosos, teniendo en cuenta que este trabajo va dirigido a los estudiantes de los primeros semestres; En el Tercero se mencionan las denominaciones de las aberturas de las mallas y en el último una serie de proporcionamientos empíricos para la dosificación de mezclas de concreto, los cuales sólo se deberán usar en obras de pequeña importancia, o para tener una idea cuantitativa de los materiales requeridos en una obra.

# CONTENIDO

	<i>pag.</i>
CAPITULO 1, INTRODUCCION. . . . .	8
1-1 GENERALIDADES SOBRE EL CONCRETO . . . . .	8
1-1,1 Aplicaciones, . . . . .	8
1-1,2 Clasificación . . . . .	8
1-1,3 Requisitos. . . . .	9
1-1.4 Antecedentes Históricos . . . . .	10
1-2 VENTAJAS . . . . .	13
1-2.1 Durabilidad . . . . .	13
1-2.2 Resistencia al fuego. . . . .	13
1-2.3 Bajo costo comparativo. . . . .	13
1-2.4 Obtención . . . . .	13
1-2.5 Moldeabilidad . . . . .	14
1-2.6 Resistencia a la compresión . . . . .	14
1-2.7 Continuidad . . . . .	14
1-2.8 Resistencia con la edad . . . . .	14
1-3 DESVENTAJAS. . . . .	16
1-3.1 Baja resistencia a la tensión . . . . .	16
1-3.2 Alto peso volumétrico . . . . .	16
1-3.3 Resistencia paulatina . . . . .	16
1-4 COMPONENTES DEL CONCRETO . . . . .	17
1-4.1 Cemento . . . . .	17
1-4.2 Arena . . . . .	24
1-4.3 Grava . . . . .	25
1-4.4 Agua. . . . .	26

	pag.
1-5 CARACTERISTICAS DEL CONCRETO. . . . .	27
1-5.1 Módulo de elasticidad (Ec) . . . . .	27
1-5.2 Deformación térmica. . . . .	28
1-5.3 Trabajabilidad . . . . .	28
1-5.4 Revenimiento . . . . .	28
1-5.5 Fraguado y Endurecimiento. . . . .	29
1-5.6 Sangrado . . . . .	30
1-5.7 Segregación. . . . .	30
1-5.8 Transporte . . . . .	31
1-5.9 Colocación y Compactación. . . . .	31
1-5.10 Permeabilidad. . . . .	32
1-5.11 Proporcionamiento. . . . .	32
1-5.12 Mezclado . . . . .	33
1-6 CONTROL DE CALIDAD. . . . .	34
1-6.1 Curado . . . . .	35
 CAPITULO 2. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA . . . . .	 36
2-1 OBJETIVO. . . . .	36
2-2 INTRODUCCION. . . . .	36
2-3 MATERIAL Y EQUIPO . . . . .	39
2-4 DESARROLLO. . . . .	39
 CAPITULO 3. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA GRAVA . . . . .	 41
3-1 OBJETIVO. . . . .	41
3-2 INTRODUCCION. . . . .	41
3-3 MATERIAL Y EQUIPO . . . . .	43
3-4 DESARROLLO. . . . .	44

	pag.
CAPITULO 4, PESO VOLUMETRICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS (FINOS Y GRUESOS), . . .	45
4-1 OBJETIVO, . . . . .	45
4-2 INTRODUCCION, . . . . .	45
4-3 MATERIAL Y EQUIPO . . . . .	48
4-4 DESARROLLO, . . . . .	50
 CAPITULO 5, ABSORCION Y PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA . .	 54
5-1 OBJETIVO, . . . . .	54
5-2 INTRODUCCION, . . . . .	54
5-3 MATERIAL Y EQUIPO . . . . .	56
5-4 DESARROLLO, . . . . .	56
 CAPITULO 6, ABSORCION Y PESO ESPECIFICO DE LA ARENA . .	 59
6-1 OBJETIVO, . . . . .	59
6-2 INTRODUCCION, . . . . .	59
6-3 MATERIAL Y EQUIPO . . . . .	59
6-4 DESARROLLO, . . . . .	60
 CAPITULO 7, DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO . . . . .	 65
7-1 OBJETIVO, . . . . .	65
7-2 INTRODUCCION, . . . . .	65
7-3 DESARROLLO, . . . . .	66
7-3.1 Metodo del ACI, . . . . .	66
7-3.2 Diseño Empírico de Mezclas de Concreto, . . . . .	78
7-3.3 Metodo del ACI para Obras Pequeñas, . . . . .	79



	Pag.
CAPITULO 12, PRUEBA DE TENSION BRASILEÑA EN CILINDROS DE CONCRETO . . . . .	111
12-1 OBJETIVO. . . . .	111
12-2 INTRODUCCION. . . . .	111
12-3 MATERIAL Y EQUIPO . . . . .	112
12-4 DESARROLLO. . . . .	115
 CAPITULO 13, INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO, . . . . .	    118
13-1 OBJETIVO. . . . .	118
13-2 INTRODUCCION. . . . .	118
13-3 EVALUACION DE DATOS . . . . .	119
 CAPITULO 14, APENDICES . . . . .	 123
A. CONCLUSION . . . . .	123
B. DEFINICIONES . . . . .	124
C. MALLAS . . . . .	127
D. PROPORCIONAMIENTOS EMPIRICOS DE MEZCLAS DE CONCRETO. . . . .	129

# 1

## INTRODUCCION

## 1-1 GENERALIDADES SOBRE EL CONCRETO.

El concreto es un conglomerado pétreo artificial, cuyas propiedades están íntimamente ligadas a la proporción que tienen sus constituyentes; como son: cemento, agua, agregados pétreos o artificiales y en ocasiones aditivos. El componente activo de la mezcla es el cemento, el cual se encarga de unir físicamente y químicamente a los agregados con el agua.

## 1-1.1 APLICACIONES.

El concreto ha tenido un uso relevante desde el final del siglo pasado, es el material de construcción más ampliamente usado en el mundo, actualmente se le utiliza en cualquier tipo de obra, tales como: Edificios, casas habitación, presas, puentes, viaductos, rompeolas, diques, alcantarillas, muros de contención, tubería de centrales eléctricas, pavimentación de carreteras, pistas de aterrizaje, obras subacuáticas, en la ornamentación, etc.

## 1-1.2 CLASIFICACION.

El concreto se puede clasificar de acuerdo a su densidad:

-Concreto Ligero.- Se puede usar como relleno, aislante o estructural, su densidad varía entre 300 a 2000 kg/m<sup>3</sup>.

-Concreto Común o Corriente.- Es el más empleado, su densidad varía entre 2000 y 2600 kg/m<sup>3</sup>, resiste satisfactoriamente a altos esfuerzos de compresión.

También se puede clasificar según la presencia de acero de refuerzo en:

-Concreto Simple.- No tiene acero de refuerzo, se le utiliza en obras exentas a esfuerzos de tensión, su densidad se considera de 2200 kg/m<sup>3</sup>.

-Concreto Armado.- Se refuerza su resistencia a tensión con barras de acero, su densidad aproximada es de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

### 1-1.3 REQUISITOS.

La fabricación del concreto debe de cumplir las solicitudes que le imponga el tipo de obra para la cual servirá éste. Generalmente los requisitos más importantes que deben cumplir todos los concretos son los siguientes.

- a) ECONOMIA.- La combinación adecuada de sus constituyentes es muy importante para reducir el costo del concreto, ya que un exceso en la cantidad del cemento incrementa considerablemente el costo de una obra.
- b) RESISTENCIA.- Debe cumplir satisfactoriamente con las solicitaciones a las que vaya a estar sujeto, con suficiente margen de seguridad, sin presentar grietas o flechas importantes.
- c) DURABILIDAD.- Debe permanecer inalterable en el tiempo, so

portando la abrasión, humedad, temperatura, ambientes químicamente agresivos, heladas, vibraciones o cualquier otro tipo de sollicitación.

d) **TRABAJABILIDAD.**- Es muy importante en una mezcla de concreto, la facilidad con que ésta sea transportada y colocada sin provocar segregación y facilitando su compactado.

e) **APARIENCIA.**- El concreto es un material que paulatinamente pasa del estado plástico al sólido, gracias a ello, puede adoptar la forma de la cimbra que lo contenga. Una vez que la cimbra es quitada, la superficie debe quedar exenta de oquedades y presentar un aspecto visual agradable.

#### 1-1.4 ANTECEDENTES HISTORICOS,

**CONCRETO SIMPLE,**- Mucho se ha hablado sobre quien fue la primera civilización que utilizó el concreto para sus edificaciones, muchas de ellas usaron algún cementante mezclándolo con arcilla u otro agregado, sin embargo eso sólo es lo que conocemos como " mortero ".

Fue a los Romanos, a quienes se les atribuye la utilización del concreto por primera vez en la historia, a fines del siglo II a.n.e., en la construcción de muros, de arcos y bóvedas que caracterizaban su arquitectura, la cimbra para el colado de los muros estaba formada por muros de piedra, donde en medio de ésta vaciaban el concreto puzolánico y para la construcción de bóvedas combinaban la madera y el tabique en forma de nervaduras, como en el panteón de Agripa, en Roma.

Los Romanos usaban piedras ligeras, pedacera de tabique o tobas como agregados en el concreto, e incluso, se han encontrado recipientes vacíos inmersos en éste. Más de 2 000 años

después, se ha vuelto al principio de aligerar concreto a base de unicel, corcho, aire, etc. y se le nombró " Concreto Aligerado."

Sin embargo, después de los Romanos no se han encontrado vestigios dignos de confianza del uso del concreto, hasta que en 1756 se volvió a utilizar en la reconstrucción del Faro de Eddystone, en la costa sureste de Inglaterra, donde por efecto del intemperismo, eran ya notorios los desperfectos, principalmente en la cimentación. En aquel entonces J. Smeaton mezcló cal viva, arcilla, arena y escoria de hierro en polvo.

CONCRETO ARMADO.- El concreto tiene la desventaja de tener escasa facultad para resistir los esfuerzos de tensión, eso hizo que hace más de 100 años se empezara a introducir en él un refuerzo que tuviera alta resistencia a la tensión; se logró por lo tanto emplear el concreto armado. En la actualidad es difícil hablar del concreto sin aludir al acero, de la misma manera hubiera sido difícil introducir el acero en el concreto si Joseph Aspdin no hubiera producido en Leeds, Inglaterra el primer aglomerante hidráulico llamado "Cemento Portland" en el año de 1824, ya que 20 años después se construirían con él almacenes de hasta 8 pisos, según el diseño del ingeniero de Manchester William Fairbain, quien ahogó en el concreto perfiles de acero en forma muy similar a como hoy se realiza, aunque sin los cálculos matemáticos que lo caracterizan.

También contribuyó H. Cambot considerablemente, al intentar construir depósitos de alimentos con cemento armado, lo grandolo en 1841 de manera muy ingeniosa, haciendo cajas para almacén de naranjas, después usó esos principios para la fabricación de la primera barca de cemento armado, poniéndola a flote en su propio lago de Miraval en 1849, después la exhibió exitosamente en París en 1855 y la llamó "Bateau Ciment", actual

mente se sigue exhibiendo en un museo de Francia.

En París, en el año de 1853 F. Coignet construyó la primera casa de concreto armado, aunque no logró desplazar totalmente el uso de bloques de piedra y otros materiales, pero 8 años más tarde, expresaba los principios del concreto armado y su utilización en diversos tipos de obras como: losas, bóvedas, tubos, presas. etc.

El concreto armado requiere para su uso, un riguroso estudio de las fuerzas que intervienen en la estructura para poder dimensionar los elementos en forma económica. Hacia los años de 1878 y 1886, Norteamericanos, Franceses, Ingleses y Alemanes, hacían esfuerzos por encontrar reglas y cálculos científicos para el uso del concreto y aunque cada uno de ellos se atribuye la invención del concreto armado, tal vez se le deba atribuir al Francés J. Monier como "El inventor del Concreto Armado", ya que sus teorías desde el año de 1867 fueron las que motivaron a los extranjeros a tal búsqueda.

En 1888, Francois Hennebique aportó a la ingeniería mundial el primer edificio de concreto armado, construyéndolo en Lombardzeye, Bélgica, con los principios modernos del análisis y diseño estructurales y dió un increíble impulso a su difusión, aplicando el concreto armado a más de 3000 obras de todo tipo, en tan sólo 8 años ( de 1892 a 1899 ).

Este sistema llegó a México a principios de siglo.

## 1-2 VENTAJAS.

El concreto presenta múltiples ventajas sobre otros materiales de construcción, lo que por supuesto, ha justificado su difusión por todo el mundo, a continuación se mencionan algunas de las más interesantes.

### 1-2.1 DURABILIDAD.

Es muy resistente a la aplicación de las cargas, así como a muy diversas condiciones ambientales. Es difícil de corroer, se puede aumentar considerablemente su resistencia con un esmero cuidado en su fabricación o con la inclusión de algún aditivo.

### 1-2.2 RESISTENCIA AL FUEGO.

Resiste satisfactoriamente a temperaturas tan altas como 400°C, no obstante, al sobrepasar los 500°C, puede perder hasta el 50 % de su resistencia.

### 1-2.3 BAJO COSTO COMPARATIVO.

Aventaja en costo a la mayoría de los materiales de construcción, ya que no se requiere para su fabricación de los sofisticados procesos y maquinarias que necesitan los metales.

### 1-2.4 OBTENCIÓN.

Los materiales que integran el concreto, son de fácil extracción, encontrándose éstos en abundancia y en todas las partes del planeta.

### 1-2.5 MOLDEABILIDAD.

Se le puede dar diversas formas gracias a su plasticidad dependiendo de la cimbra que lo contenga. En contraposición a los metales y plásticos, no necesita calor para su moldeo, excepto el que se genera durante el fraguado.

### 1-2.6 RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Cuando endurece, adquiere considerable resistencia a la compresión. Generalmente se usan concretos con resistencias últimas ( $f'c$ ) de 200 a 300 Kg/cm<sup>2</sup>, pero en la actualidad, con una buena dosificación y compactación, es posible obtener concretos de hasta más de 7000 Kg/cm<sup>2</sup>.

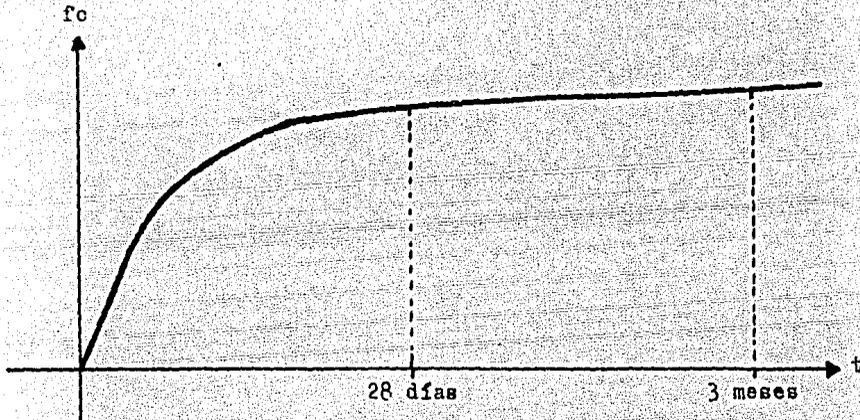
### 1-2.7 CONTINUIDAD.

Como es un material que se vierte estando aún en estado plástico, permite fabricar estructuras homogéneas, lo cual evita múltiples problemas en el diseño, ya que carece de conexiones. Ciertas estructuras metálicas representan graves problemas para la transmisión de esfuerzos en las conexiones, como es el caso de las plataformas marinas tubulares.

### 1-2.8 RESISTENCIA CON LA EDAD.

Es bien sabido, que el cemento en combinación con el agua tienen un proceso continuo de hidratación, esta característica hace del concreto el único material, que en condiciones favorables, incrementa su resistencia con la edad. Esto trae consigo la incertidumbre para conocer su resistencia, ya que ésta  $d_2$

pende del tiempo en que se halla elaborado el concreto. No obstante, los incrementos en la resistencia después de 3 a 6 meses se vuelven pequeños, tal como se muestra en la gráfica siguiente con su tabulación correspondiente.



TIEMPO (días)	RESISTENCIA (%)
7	65
14	85
28	100
60	105

Convencionalmente y por seguridad, se supone y acepta que el concreto ha alcanzado su resistencia, al cabo de 28 días. Debido a ello, las exigencias de resistencia se especifican y verifican a esa edad.

## 1-3 DESVENTAJAS.

Desgraciadamente, en algunas condiciones no es favorable la utilización del concreto, teniéndose que utilizar materiales cuyas propiedades satisfagan determinados requisitos. Por tal motivo, es muy importante el estudio de las propiedades de diversos materiales y de su incorporación en la construcción.

Las principales desventajas son las siguientes:

### 1-3.1 BAJA RESISTENCIA A LA TENSION.

Esta es la gran debilidad del concreto, y la principal restricción para utilizar el concreto simple. Llega a resistir tan sólo entre el 6 al 10 % de su resistencia a la compresión, lo cual prácticamente y por seguridad se considera nula, por tal motivo se incrementa su costo al tener que sumergir en él, barras de acero que resistan los esfuerzos de tensión.

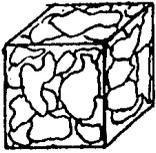
### 1-3.2 ALTO PESO VOLUMETRICO.

Su peso volumétrico (Densidad) se considera de  $2200 \text{ kg/m}^3$  en el concreto simple y de  $2400 \text{ kg/m}^3$  en el armado, lo que ocasiona grandes cargas muertas en las estructuras.

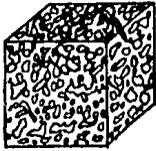
### 1-3.3 RESISTENCIA PAULATINA.

El concreto va alcanzando poco a poco su capacidad de resistir cargas, lo que ocasiona mayor tiempo en la ejecución de una obra y la imposibilidad de utilizar la cimbra para otro elemento. Descimbrar cuando el concreto no ha alcanzado su resistencia puede ocasionar grandes problemas, que van desde simples grietas y flechas hasta el colapso total.





(A)



(B)

Si tuviésemos que llenar 2 volúmenes unitarios de concreto, en cubos (A) y (B), con la salvedad de que los agregados en (A), son mucho más grandes a los de (B) ¿Cual de sendos cubos requeriría menor cantidad de cemento?

Si la granulometría de los agregados de ambos cubos está bien graduada, es evidente que se necesitaría mayor cantidad de cemento para llenar los vacíos del cubo (B). Análogamente, la sumatoria de las superficies de todos y cada uno de los agregados en (B), es mucho mayor que los de (A), por lo tanto requeriría más mortero para pegar sus superficies. Queda entonces claro, que los agregados grandes del cubo (A), necesitan menor cantidad de cemento.

b) Proporciona resistencia al concreto cuando endurece, para ello, intervienen los siguientes factores:

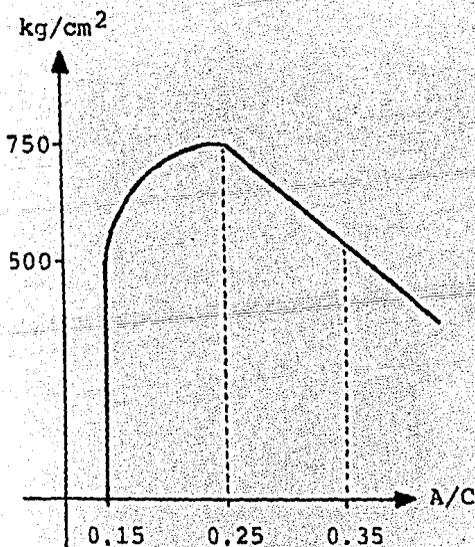
- Relación agua-cemento,
- Tipo de cemento empleado.
- Humedad, tiempo y temperatura favorables para el curado del concreto, tratamiento este, que favorece la reacción química entre el cemento y el agua.

Características muy importantes del cemento son su peso volumétrico o densidad y su peso específico o gravedad específica, En un bulto de cemento de 50 kg., su volumen puede variar significativamente, según las condiciones de compacidad de sus partículas, sin embargo el valor de su peso volumétrico se considera de  $1.5 \text{ kg/dm}^3$ , es decir, un bulto ocuparía aprox

madamente 33 lt. y como para el peso específico no interviene la compacidad de las partículas, este es invariable y vale a aproximadamente  $3.15 \text{ kg/dm}^3$ .

En cuanto al fraguado del cemento Portland, este suele durar de 3 a 6 horas, tiempo suficiente para el mezclado, transporte y vaciado del mismo. Cuando el cemento se ha almacenado por largo tiempo, muestra retardo en su reacción química con el agua, es decir, el fraguado se retrasa. Esto en muchas ocasiones es muy conveniente, siempre y cuando el cemento no tenga terrones endurecidos por la humedad.

Weisgerber hizo los primeros experimentos de resistencia a compresión del cemento Portland, con cubos de 7 cm de lado. Encontró que la cantidad de agua necesaria para el fraguado influye notablemente en la resistencia. Es bien sabido que excesiva cantidad de agua reduce la resistencia, pero si es escasa, no alcanza a realizarse bien la reacción química. Weisgerber encontró en aquel entonces, una relación óptima agua-cemento de 0.25. Cuando aumentó la cantidad de agua, disminuyó la resistencia, aparentemente descendiendo en forma lineal, tal como se muestra en la figura. También halló que al bajar la relación agua - cemento de 0.15, no alcanzaba el agua para realizar el endurecimiento satisfactoriamente.



El cemento se compone básicamente de materiales arcillosos y calcáreos, también contiene yeso y algunos otros materiales en muy pequeña cantidad. Químicamente, cuatro componentes forman el 90 % del cemento:

- 1) SILICATO TRICALCICO ( $Ca_3Si$ ).- Proporciona resistencia desde que endurece hasta alcanzar aproximadamente 28 días.
- 2) SILICATO DICALCICO ( $Ca_2Si$ ).- Se encarga de la resistencia a partir de los 28 primeros días.
- 3) ALUMINATO TRICALCICO ( $Ca_3Al$ ).- Es el que genera el calor durante la reacción, así como la variación en el volumen del cemento, acarreado la formación de grietas.
- 4) FERROALUMINATO TETRACALCICO ( $Ca_4AlFe$ ).- Funciona como catalizador; ya que acelera la reacción.

El restante 10 % lo forman: Yeso, magnesio, alcalis, residuos insolubles, cal libre y otros elementos que dependen de las características del cemento.

Dada la gran diversidad de exigencias a las cuales se someterá el concreto, es difícil que un solo tipo de cemento cumpla exitosamente su función. Por tal motivo, actualmente se requiere el uso de cementos con propiedades muy peculiares, aun que el de mayor empleo sigue siendo el normal o común. A continuación se mencionan los más importantes:

TIPO 1 (Normal o Común).- Se considera prototipo del cemento Portland, el cual se emplea mucho en todo el mundo. México alcanzó una producción de cementos de 12 millones de toneladas en 1984, de las cuales más de 7 millones correspon

dieron al Tipo I. No obstante, su uso se limita en ambientes químicos muy agresivos, como son las concentraciones de sulfatos o también para obras de concreto en masa, ya que genera mucho calor de hidratación.

TIPO II (Modificado).- Su resistencia es similar al Tipo I empero, se ha controlado la química del mismo en cuanto a una menor generación de calor de hidratación y moderada resistencia al ataque de los sulfatos. De las 12 millones de toneladas antes citadas, 4 millones correspondieron al Tipo II, el resto a los tipos III, blanco y especiales.

TIPO III (De alta Resistencia),- Alcanza en tan sólo 7 días la resistencia especificada de los demás cementos a los 28 días, también reduce la cantidad de cemento a una resistencia dada, pero su precio es proporcionalmente más elevado y requiere un riguroso control de calidad, ya que sus partículas son más finas de lo normal y libera mayor cantidad de calor de hidratación.

TIPO IV (De Bajo Calor De Hidratación).- Se reduce considerablemente el contenido de compuestos químicos que producen mayor calor de hidratación, por lo tanto es ideal para colados en masa; donde se necesita reducir el calor, tal es el caso de obras hidráulicas de gran envergadura, reduciendo favorablemente la formación de grietas. Esas propiedades atraen como consecuencia un desarrollo lento en la resistencia, siendo comparable al resto de los cementos a partir de 6 meses.

TIPO V (Alta Resistencia a Los Sulfatos).- Es ideal para obras que estén en contacto con el agua o la humedad, inclu

yendo el agua de mar, ya que su composición ha sido ajustada para reducir a bajas proporciones el compuesto químico que lo hace vulnerable al ataque de sulfatos disueltos en agua. Se usa ampliamente en: alcantarillas, túneles, sifones revestimiento de canales, etc. Su resistencia a edades tempranas es relativamente baja, pero después puede incluso su perar a los cementos citados.

Cemento Blanco.- Se ubica por lo general en la misma clasificación que el tipo I, ya que sus propiedades son las mismas a excepción del color, debido a la eliminación casi total del óxido férrico, este proceso resulta costoso por lo cual su uso se circunscribe sólo a fines ornamentales.

Cemento de Albañilería.- Contiene del 30 al 50% de cemento Portland y un fluidificante como carbonato de calcio, arcilla o puzolana, así como también pequeñas cantidades de aditivos orgánicos que hacen aumentar las características de adherencia, plasticidad y trabajabilidad, relegando a segundo término la resistencia. Se emplea para pegar tabiques, ladrillos o rocas entre sí, así también en aplanados de muros y para tender firmes de los pisos.

Cementos Extendidos.- Se agrupan aquí a los llamados cementos puzolánicos, de escoria de alto horno y los siderúrgicos; éstos contienen materiales activos que contribuyen a la generación de resistencias mecánicas y que imparten propiedades especiales a la mezcla. En México abundan las puzolanas naturales, como las pumicitas y las tobas, ambas producto de la actividad volcánica, lo cual ha hecho que alrededor de un tercio de la producción en nuestro país corresponda a cementos puzolánicos, especialmente en climas cálidos.

dos. Los cementos puzolánicos brindan menor resistencia mecánica a edades tempranas comparado con el Tipo I, pero a edades posteriores los pueden superar, generan menor calor de hidratación y resisten mejor a condiciones químicas agresivas, pero son más delicados en el curado.

**Cementos De Alta Alúmina.-** Se caracterizan por su color oscuro, alta resistencia mecánica inicial, elevado calor de hidratación, alta resistencia al ataque químico y propiedades refractarias, no obstante las importantes ventajas que tiene, es muy poco usado en México, debido a su elevado costo respecto a los cementos Portland y a la escasez de materias primas en nuestro territorio, lo que ocasiona inevitable su fabricación en México, teniéndose que importar algunas decenas de toneladas anuales para usos especiales.

**Cemento Petrolero.-** Se le utiliza para la perforación de pozos petroleros, para controlar el flujo de aguas subterráneas, para aumentar resistencia y soporte al ademe de acero y para proteger a éste contra la corrosión. Su composición es muy parecida a los cementos Tipos I, II y V a excepción de la inclusión de aditivos químicos, que modifican el fraguado en condiciones especiales de alta presión y temperatura. Progresivamente se ha ido reduciendo la importación de cementos petroleros, debido al incremento que se ha venido desarrollando en la producción nacional.

**Cementos Expansivos.-** Se usan para cierto tipo de reparaciones especiales o en colados de concreto donde el menor encojimiento puede ser crítico. La característica principal es que se expande al fraguar. No se fabrica en México debido a su reducido empleo.

## 1-4.2 ARENA,

Los agregados del concreto, están constituidos por partículas de distinto tamaño que normalmente varían entre 70 mm. y 0,080 mm. En la práctica esta serie de tamaños se divide en arena y grava, para el mejor manejo y estudio de las condiciones del concreto. Cabe mencionar, que generalmente a la grava se le llama agregado grueso, sin embargo, esa denominación también le corresponde a los boleos ( piedra grande menor de 45 kg ) y al agregado ciclópeo ( piedras mayores de 45 kg ), los cuales se usan por economía en concreto en masa.

La arena se define como el agregado fino menor de 4.75 mm y mayor de 0.149 mm. Cuando la arena pasa libremente por la malla número 100 de 0,149mm de abertura (ver apéndice C), se le considera ya como polvo y habrá que restringir su contenido, dentro de ciertos límites (ver capítulo 2). También es muy importante limitar las sustancias nocivas, tales como las impurezas orgánicas o cualquier otro tipo de contaminación, para poder obtener un concreto de buena calidad.

Las fuentes de abastecimiento de los agregados son las siguientes: DEPOSITOS DE RIOS; localizados en los playones o cauces de los mismos, que proporcionan agregados redondos, de fácil y económica explotación; VOLCANICAS, los agregados se encuentran en las faldas de los volcanes y están formados por: cenizas, basaltos, andesitas y tobas porosas; MARITIMAS Y LACUSTRES, que proporcionan agregados casi del mismo tamaño, lo cual no es conveniente; CANTERAS, son agregados generalmente de buena calidad que se obtienen por trituración, debiéndose eliminar rocas foliadas, como son las pizarras, esquistos, etc; MINAS, son depósitos de materiales fragmentados que posteriormente fueron cubiertos por otros; y de mínima utilización, DEPOSITOS EOLICOS y de GLACIACION.

### 1-4.3 GRAVA.

La grava es el agregado grueso mayor de 4.75 mm y generalmente menor que 7.6 cm. Es el elemento de mayor tamaño que se incluye en el concreto, así como el mayor componente, tanto en peso como en volumen. Por tales motivos, es muy importante la calidad de la grava para obtener un concreto durable y de alta resistencia a la compresión, ya que es imposible obtener elevada resistencia en el concreto si la grava es de mala calidad, no obstante se use excesiva cantidad de cemento.

Tanto la grava como la arena tienen 2 funciones principales en la mezcla de concreto:

a) Proveen una masa de partículas apta para resistir el efecto de las cargas aplicadas, la cual debe tener un comportamiento satisfactorio ante la abrasión, humedad y la acción climática.

b) Reducen los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y de endurecimiento y de los cambios de humedad de la pasta de cemento.

Existen 3 tipos de agregados, clasificados según su fuente de obtención, variando entre ellos la calidad del agregado grueso: AGREGADOS NATURALES, son los más comunes, de mayor empleo y resistencia; AGREGADOS NATURALES PROCESADOS, son aquellos que necesitan tratamientos más sofisticados para su utilización, como trituración, calcinación, etc; AGREGADOS ARTIFICIALES, son los que se obtienen de una transformación completa como el caso de escorias de altos hornos, aunque en el sentido estricto de la palabra, serían aquellos agregados no pétreos, como ciertos plásticos aligerantes en el concreto.

#### 1-4.4 AGUA.

Va se ha mencionado la importancia de los agregados y del cemento en la mezcla de concreto, sólo falta el agua, que es el cuarto componente del concreto y al cual no se le debe restar importancia. En la práctica, es frecuente descuidar la pureza del agua, lo que ha ocasionado graves problemas de corrosión e incluso fallas catastróficas.

Hay que restringir el uso de agua contaminada o de mar, tanto en el amasado de la mezcla, como en el curado del concreto, únicamente se podría utilizar en casos imprescindibles cuando no hay acero de refuerzo. Las Normas NOM C- 122 y C-283 1982, marcan los límites máximos tolerables de sales e impurezas, cuando se use agua de dudosa calidad y señalan los métodos de análisis del agua de mezclado.

El agua física y químicamente potable es utilizable, de sechándose las que contengan barros, fangos o materia orgánica y desde luego las que por proceder de industrias, lleven en solución ácidos sulfúricos u otros, o cloruros de sodio o magnesio. No deben emplearse aguas ferroginosas, y jamás las que contengan yeso, llamadas aguas selenitosas, ya que precisamente se le atribuye a la presencia del sulfato de cal (yeso), la total destrucción de los cimientos del puente de Magdeburgo, en Alemania en menos de 2 años.

Las grasas y aceites son muy perjudiciales, ya que impiden la adherencia entre las partículas mismas del concreto y entre el acero de refuerzo y el concreto y disminuyen la capacidad de resistir esfuerzos de compresión.

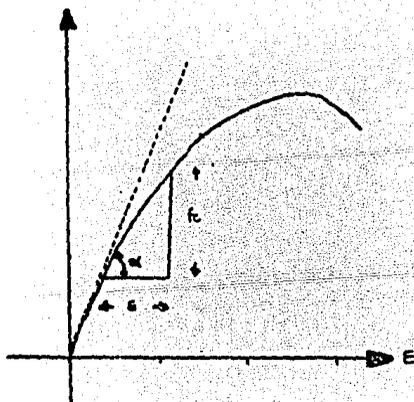
No solo los aspectos cualitativos son importantes en el agua de mezclado, sino también los cuantitativos. La cantidad de agua de mezclado debe ser perfectamente mensurable para obtener un concreto de alta calidad.

## 1-5 CARACTERISTICAS DEL CONCRETO.

Es muy importante conocer las características del concreto, ya que de esta manera se realizan, tanto cálculos estructurales adecuados como buena fabricación de concreto.

### 1-5.1 MODULO DE ELASTICIDAD.

Representa el grado de rigidez de un material, es decir, indica que tan "deformable" se comporta ante un esfuerzo dado. Matemáticamente, el Módulo de Elasticidad es la tangente del ángulo  $\alpha$  mostrado en la figura, o sea:  $E_c = f_c / \epsilon$ . Donde:  $f_c$  es el esfuerzo a compresión y  $\epsilon$  es la deformación unitaria dada en forma adimensional, ya que es el cociente de 2 magnitudes de longitud.



(la deformación total  $\delta$  y la longitud total  $L$ ). El subíndice "c" en  $E_c$ , indica el tipo de material al cual corresponde el Módulo de Elasticidad, en este caso "concreto". Aunque se llegue a suponer que el concreto es un material elástico en sus primeras fases de carga, estrictamente no lo es, como se puede visualizar por la desviación entre la línea punteada y la curva. Esto ocasiona una

considerable variación en el Módulo de Elasticidad, según la magnitud de la carga, ya que para cierto valor de ésta, le corresponde un valor del ángulo  $\alpha$ .

Las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del DF, asignan un valor de  $10\,000\sqrt{f'c}$ , para

concretos normales y recomiendan determinar experimentalmente el Módulo de Elasticidad para concretos ligeros, mediante el ensayo de 6 cilindros como mínimo para cada resistencia y cada tipo de agregado.

#### 1-5.2 DEFORMACION TERMICA.

Al igual que el Módulo de Elasticidad, la deformación unitaria causada por cambios térmicos, varía según la densidad del concreto. Para concretos normales se ha determinado un coeficiente de expansión térmica de entre 0,000007 y 0,000011 de deformación unitaria por cada grado centígrado de cambio de temperatura.

#### 1-5.3 TRABAJABILIDAD.

Es la facilidad con la cual se puede manejar una mezcla de concreto, tanto en su elaboración como en su transporte y vaciado. Para cada tipo de trabajo se requieren diversos grados de trabajabilidad (plasticidad).

La trabajabilidad de la mezcla, está en función de la cantidad de agua y de la forma de los agregados. Mientras más redondas sean las partículas de los agregados, se obtendrá mayor trabajabilidad.

#### 1-5.4 REVENIMIENTO.

Mide la consistencia del concreto. La prueba de revenimiento se lleva a cabo con el cono de Abrams, llenándolo en 3 capas iguales, en las cuales al vaciar cada una de ellas se procede a compactarlas, con 25 golpes distribuidos con una varilla, antes de vaciar la capa siguiente. Posteriormente se qui

ta lentamente el cono, siendo la disminución en la altura de la mezcla el revenimiento medido en cm.

#### 1-5.5 FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO.

Los fenómenos de fraguado y endurecimiento son la consecuencia de la hidratación del cemento, debido a la reacción química del agua con las fases mineralizadas del Clinker.

La hidratación es un proceso complejo, que se alarga en el tiempo y se manifiesta por un progresivo espesamiento y rigidización de la mezcla.

Aunque ha caído en desuso, aún algunos autores clasifican al fraguado en 2 partes: Fraguado inicial y Fraguado final. Estos estados se determinan con las agujas de Vicat o de Gillmore cuando el concreto alcanza ciertos estados de consistencia. Actualmente se prefiere denominar un sólo estado de la consistencia de la mezcla denominado "tiempo de fraguado". El procedimiento para encontrar ese estado se describe en la NOM C 59 (Norma Oficial Mexicana) con el aparato de Vicat y también con el aparato de Gillmore en la NOM C 58.

El tiempo de fraguado es un estado meramente convencional, ya que no responde a nada precisa y claramente señalado, sino sólo en forma arbitraria con los instrumentos requeridos. Prácticamente se puede considerar que el fraguado ha terminado cuando resiste a una ligera presión de la uña. En ocasiones, el cemento puede tener un estado de rigidización prematura llamado Fraguado Falso, habrá que tener ciertas precauciones como remezclar la masa o en última instancia agregar más agua.

Inmediatamente después del fraguado viene la etapa de endurecimiento, que se caracteriza por una progresiva rigidización de la pasta, manifestada por un desarrollo de la capacidad mecánica resistente (resistencia del cemento).

## 1-5.6 SANGRADO.

Se produce cuando parte del agua de mezclado asciende a la superficie del concreto ya colocado y compactado, causado por la sedimentación de los sólidos. En la superficie del concreto se puede observar una capa brillante de agua con sedimentos finos. Es una superficie débil, porosa y poco resistente al desgaste.

Cuando se presenta el fenómeno del sangrado, el agua depositada en la superficie se evapora rápidamente, generándose así, tensiones superficiales que generalmente crean grietas. También parte del agua en ascenso puede quedar atrapada debajo del acero de refuerzo o de las partículas mayores del agregado, ocasionando reducción en la adherencia. La NOM C 296 explica la determinación del sangrado en el concreto.

En seguida se indican algunas formas para controlar el sangrado:

- Empleando agregados de granulometría adecuada (ver capítulos 2 y 3) y proporciones favorables de grava y arena, es decir, una adecuada dosificación.
- Con bajas dosis de agua.
- Empleando aditivos incorporadores de aire.
- Colocando el concreto en capas delgadas.

## 1-5.7 SEGREGACION.

Este fenómeno consiste en la separación de los componentes del concreto ya amasado, con lo que la mezcla deja de ser uniforme en cuanto a la distribución de partículas que contiene. Produce dificultades en la colocación y en la compactación debido a lo cual las estructuras resultan defectuosas, con po

ros y nidos. La segregación puede eliminarse de la siguiente manera:

- Empleando agregados bien graduados y cuidando su manejo.
- Buena dosificación.
- Ejecución correcta de los procesos de transporte, colocación y compactación del concreto.
- Evitando la caída de gran altura del concreto, así como un exceso en el vibrado.

#### 1-5.8 TRANSPORTE.

Los medios y procedimientos empleados para transportar el concreto deberán garantizar la adecuada conservación de la mezcla hasta el lugar de su colocación sin que sus ingredientes se pierdan o se segreguen. El medio más sencillo es mediante carretillas colocadas en la descarga de las revolventoras y cuando se dispone de un espacio muy reducido para transportar el concreto es muy útil el empleo de bombas.

El tiempo requerido para transportar el concreto, medido desde que se adicione el agua de mezclado hasta su colocación en los moldes, no será mayor de 2 horas a menos que se tomen medidas para lograr que la consistencia del concreto después de las 2 horas sea tal que pueda ser colocado sin necesidad de añadirle agua.

#### 1-5.9 COLOCACION Y COMPACTACION.

Antes de efectuarse el colado deberán limpiarse los elementos de transporte y el lugar donde se vaya a depositar el concreto. La colocación y compactación deben asegurar una densidad uniforme de la mezcla, para ello se escogerán los método

dos adecuados para cada tipo de obra.

Es muy importante humedecer la superficie que estará en contacto del concreto para no reducir la cantidad de agua de mezclado, posteriormente se procede al vaciado y compactación del concreto. El vibrado es un procedimiento muy efectivo para la correcta consolidación de las mezclas, pero se debe tener cuidado de no sobrepasar el tiempo en este proceso, ya que se puede segregar la mezcla.

#### 1-5.10 PERMEABILIDAD.

Prácticamente se estima que el concreto es impermeable, lo que lo hace especialmente importante en las obras hidráulicas o cualquier tipo de obra que esté expuesta al agua. En el concreto armado evita la oxidación del acero de refuerzo.

La permeabilidad se puede mejorar significativamente con los factores siguientes:

- a) Baja relación agua - cemento.
- b) Buena dosificación.
- c) Compactación adecuada.
- d) Inclusión de un aditivo.

#### 1-5.11 PROPORCIONAMIENTO.

A primera instancia, la elaboración de una mezcla de concreto se realiza fácilmente, al grado tal, que cualquier persona aún sin conocimiento puede mezclar agregados, cemento y agua y fabricar así un concreto, pero la mezcla resultante tendrá propiedades imposibles de predecir y difícilmente se usará para un propósito determinado. En la práctica, los concretos deben cumplir exigencias claramente especificadas, por

lo que el proporcionamiento debería hacerse en forma tan rigurosa, como lo exija la importancia de la obra.

En términos generales, el principio que rige las proporciones es que las partículas finas, como la arena y el cemento llenen los huecos dejados por el agregado grueso, por supuesto, mientras más redondas sean las partículas de éste, existirán menos huecos. En los capítulos 7 y 8 se explica el proceso para la dosificación de mezclas de concreto.

#### 1-5.12 MEZCLADO.

Es importante incorporar íntimamente a todos los materiales del concreto para formar una masa homogénea, tanto en forma mecánica o cuando se realice manualmente. El reglamento del DF indica el empleo del mezclado mecánico para concretos con resistencia mayor de  $150 \text{ kg/cm}^2$ , debido a que éste proporciona una mezcla muy uniforme cuando se siguen los pasos siguientes:

a) Antes de iniciar el mezclado es necesario agregar un 10% del peso del cemento y de arena, después se le agrega agua y se mezclan, esto es con el fin de "enmantequillar" las paredes de la revolvedora, para que cuando se efectúe la descarga de la mezcladora se obtenga un concreto de la calidad deseada y que el cemento y el agua no se reduzcan por la pérdida en las paredes de la revolvedora.

b) Una vez pesados todos los componentes de la mezcla, se colocan en la revolvedora. Primero se vierte la grava, después la arena y al final el cemento, se procede a un mezclado corto a fin de obtener cierta uniformidad en el mezclado de los agregados. Después se incorpora el agua a la mezcladora, mientras se encuentra en funcionamiento para obtener mayor uniformidad.

c) El tiempo de mezclado se mide a partir del momento en que todos los materiales sólidos se introducen a la mezcladora, este tiempo depende de la eficiencia, velocidad de rotación y capacidad de la REVOLVEDORA. La NOM indica que el tiempo de mezclado no debe ser menor de 1 min. para mezcladoras con capacidad de  $1.0 \text{ m}^3$  o menos y con revenimiento del concreto mayor de 5 cm. Para mezcladoras de mayor capacidad, el tiempo mínimo especificado debe ser aumentado en 15 seg. por cada metro cúbico o fracción de capacidad adicional.

## 1-6 CONTROL DE CALIDAD:

Del análisis de los incisos anteriores, podemos percatarnos de la gran diversidad de propiedades que posee el concreto, todas ellas mensurables y representativas de su calidad en cierta forma, no obstante, la más representativa es la resistencia a los esfuerzos mecánicos, y en especial, la resistencia a compresión; ello ha hecho, que la mayoría de los tratados sobre el concreto, aludan a la resistencia a compresión simplemente por "resistencia".

En la práctica, se suele indicar la calidad del concreto, por su resistencia a los 28 días; por ejemplo, en los planos estructurales de alguna obra se menciona: "Calidad del concreto:  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ ".

Por los motivos antes mencionados, se habrá de tener mucho cuidado en el control de la resistencia a los esfuerzos mecánicos, para ello, se han desarrollado los capítulos 11, 12 y 13.

Durante todo el proceso de fabricación del concreto, se debe llevar un estricto control de calidad, desde que se empiezan a mezclar los constituyentes hasta la verificación de la resistencia a los 28 días. En dicho intervalo, es muy común

descuidar el "curado", tratamiento este, muy importante en la calidad del concreto, a continuación se refiere.

#### 1-6,1 CURADO.

Es de las operaciones más importantes en la construcción de concreto y lamentablemente una de las más descuidadas. Cuando el curado se realiza en óptimas condiciones, aumenta mucho la resistencia y durabilidad.

El curado debe empezar tan pronto como sea posible, pero sin dañar la superficie, este proceso tiene por objeto mantener constantemente mojado al concreto mediante cualquier método, ya sea por medio de vapor, recubrimientos impermeables, retenedores de humedad o la aplicación directa de agua.

El artículo 339 del Reglamento de Construcciones para el D. F., establece un tiempo mínimo de curado de 7 días para cemento normal y de 3 días si se emplea cemento de resistencia rápida. Así mismo, es muy importante mantener la temperatura entre ciertos rangos, ya que las temperaturas por debajo de 10°C afectan considerablemente el proceso de hidratación y a 0°C prácticamente lo interrumpe.

**2**

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA

## 2-1 OBJETIVO.

Conocer el procedimiento para obtener el Análisis Granulométrico de la arena, con el cual se determinan los porcentajes de los distintos tamaños de las partículas que la constituyen. Con tales porcentajes podemos calcular el Módulo de Finura (ver Apéndice B), el cual es dato importante para el proporcionamiento de una mezcla de concreto. En el capítulo 8 se ilustra la incorporación del Módulo de Finura en una dosificación.

## 2-2 INTRODUCCION.

Para poder proporcionar correctamente una mezcla de concreto, es necesario controlar adecuadamente las cantidades de cemento, arena, grava y agua, ya que la resistencia depende principalmente de la relación que guardan entre sí estos elementos. También es muy importante la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de los agregados, por tal motivo en los capítulos 2 y 3 se indican los límites granulométricos para la arena y la grava, respectivamente.

Se puede verificar en los capítulos 7 y 8 que los datos requeridos para diseñar una mezcla de concreto son los siguientes: Módulo de Finura, límites granulométricos adecuados, peso volumétrico y específico de los agregados, así como la absorción y humedad de éstos. Para obtener tales datos se realizan pruebas en el laboratorio con los agregados, denominadas "Prue

bas índice", mismas que se describen del capítulo 2 al 6.

El Análisis Granulométrico o simplemente llamado Granulometría, es una de las pruebas que se realizan a los agregados con el fin de saber si la distribución de los diferentes tamaños de las partículas es la adecuada para obtener concretos económicos y resistentes.

El agregado fino requerido para la elaboración de una mezcla de concreto debe cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Estar dentro de los límites indicados en la tabla 2-2.1.
- b) El Módulo de Finura debe ser menor de 3.1 y mayor de 2.3.
- c) El retenido parcial en cualquier criba no debe ser mayor de 45%, se puede aumentar los porcentajes del retenido acumulado en las cribas números 50 y 100 a 95 y 100% respectivamente, siempre que el contenido de cemento sea mayor de 250 kg/m<sup>3</sup> para concreto con aire incluido, o mayor de 300 kg/m<sup>3</sup> para concreto sin aire incluido o bien supliendo la deficiencia del material que pasa por estas cribas, mediante la adición de un mineral finamente molido y aprobado.

TABLA 2-2.1 LIMITES GRANULOMETRICOS DE LA ARENA.

Criba Tyler Estándar*	% Retenido Acumulado
3/8"	0
4	0 a 5
8	0 a 20
14	15 a 50
28	40 a 75
48	70 a 90
100	90 a 98
charola	100

\*También se pueden usar cribas U. S. Bureau of Standards, comúnmente llamadas Cribas Estándar mencionadas a continuación: 3/8", Números 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

AGREGADO FINO CON DEFICIENCIAS GRANULOMETRICAS.- La tolerancia máxima de variación de los valores del Módulo de Finura para la aceptación del agregado fino es de 0.20 con respecto al valor del módulo de finura empleado en el diseño del proporcionamiento del concreto. Si se excede de la tolerancia indicada en caso de ser aceptado, puede utilizarse dicho agregado siempre que se haga un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar dichas deficiencias en la granulometría.

La cantidad de sustancias nocivas no debe exceder los límites establecidos en la tabla 2-2.2.

TABLA 2-2.2 LIMITES MAXIMOS DE SUSTANCIAS NOCIVAS EN LA ARENA\*

Conceptos	Max. % en masa de la muestra total
-Grumos de arcilla y partículas deleznable	3.0
Materiales finos que pasan la criba No 200 en:	
-Concreto sujeto a abrasión	3.0
-Otros concretos	5.0
Carbón y lignito en:	
-Concreto aparente	0.5
-Otros concretos	1.0

\* En el caso de material fino que pasa la criba No. 200, si es producto de la desintegración de rocas, los porcentajes límites se incrementan a 5 y 10% respectivamente. Los materiales que rebasen estos límites deben estar sujetos a la aprobación del usuario.

## 2-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Balanza. Con aproximación de 0.1% de la masa de la muestra.
- Juego de cribas (descritas en la tabla 2-2.1) con su respectivo fondo y tapa.
- Brochuelo de cerda y cepillo de alambre para realizar la limpieza de las mallas.
- Cucharón
- Máquina agitadora (Rotap) para el cribado, capaz de sostener el juego completo de cribas para esta determinación (sólo cuando el procedimiento se decida realizar mecánicamente).
- Horno.
- Cantidad suficiente de arena para reducirla por cuarteo, de tal manera que el retenido en cada criba no sea mayor que  $0.6 \text{ gr/cm}^2$ ; este valor equivale a 180 gr para las cribas de 203 mm de diámetro (en el marco).

## 2-4 DESARROLLO.

PASO 1. Se humedece la masa del agregado para evitar pérdidas por segregación y se prosigue a reducirla por cuarteo. No se debe permitir el ajuste a una masa predeterminada que no sea el cuarteo.

PASO 2. Se seca la muestra hasta masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

PASO 3. Se arman las cribas que se van a emplear en orden descendente de aberturas, terminando con la charola (fondo) y se coloca la muestra en la criba superior con su tapa bien puesta. Se agitan las cribas a mano o con un aparato mecánico (Rotap) por un tiempo suficiente, que se establece por experiencias o por comprobación en la muestra que se prueba, de tal forma que se satisfaga el criterio de un cribado correcto, el cual se describe en el paso siguiente.

PASO 4. Se continúa el cribado por un periodo suficiente de tal manera que después de haberse completado, no más del 1% en masa del residuo, en cualquier criba pase durante un minuto de cribado manual continuo hecho del modo siguiente:

Manténgase la criba individual con su charola y tapa bien ajustadas en posición ligeramente inclinada en una mano. Golpéese el lado de la criba con rapidez y désele un movimiento hacia arriba y golpeando la palma de la otra mano a una frecuencia de 150 veces por minuto, gírese la criba un sexto de vuelta cada vez que se le dan 25 golpes.

PASO 5. Se pasa el agregado retenido en cada criba y se calculan los porcentajes hasta los décimos, basándose en la masa total de la muestra.

### 3-1 OBJETIVO.

Verificar mediante el análisis granulométrico, que la distribución de los diferentes tamaños del agregado grueso, estén dentro de los intervalos que indica la Norma Oficial Mexicana ( NOM ).

### 3-2 INTRODUCCION.

Como se puede constatar en el capítulo 8 dedicado al diseño de una mezcla de concreto, se hace referencia al peso, humedad y Tamaño Máximo del agregado grueso, sin aludir a la granulometría. Sin embargo, implícitamente se supone que cumple satisfactoriamente con la gradación de sus partículas. En la tabla 3-2.1 se ilustra la granulometría requerida para diferentes tamaños de agregado grueso para su incorporación en una mezcla de concreto.

Cuando un agregado grueso esté fuera de los límites indicados en la tabla 3-2.1, se deberá procesar para que satisfaga dichos límites. En caso de que no sea posible satisfacer las exigencias indicadas por la Norma Oficial Mexicana, se deberá hacer un ajuste adecuado en el proporcionamiento de la mezcla de concreto, para compensar de alguna forma las deficiencias granulométricas.

TABLA 3-2.1 LIMITES GRANULOMETRICOS DEL AGREGADO GRUESO EN PORCENTAJE.

TAMAÑO NOMINAL (mm)	4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16
90 a 40	0	0 a 10		75 a 40		85 a 100		95 a 100					
64 a 40			0	0 a 10	30 a 65	85 a 100		95 a 100					
50 a 5				0	0 a 5		30 a 65		70 a 90		95 a 100		
40 a 5					0	0 a 5		30 a 65		70 a 90	95 a 100		
25 a 5						0	0 a 5		40 a 75		90 a 100	95 a 100	
20 a 5							0	0 a 10		45 a 80	90 a 100	95 a 100	
13 a 5								0	0 a 10	30 a 60	65 a 100	95 a 100	
10 a 2.5									0	0 a 15	70 a 90	90 a 100	95 a 100
50 a 25				0	0 a 10	30 a 65	85 a 100		95 a 100				
40 a 20					0	0 a 10	45 a 80	85 a 100		95 a 100			

### 3-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Balanza con aproximación de 0.1% de la masa de la muestra.
- Cribas. Las que sean necesarias según el Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso, generalmente son las siguientes: Número 4, 3/8", 3/4", 1 1/2 y 3".
- Cucharón.
- Máquina agitadora para el cribado capaz de sostener el juego completo (sólo cuando el procedimiento se decida realizar mecánicamente).
- Horno.
- Cantidad suficiente de agregado grueso para reducirlo por cuarteo, de tal manera que la muestra resultante tenga una masa de por lo menos la indicada en la tabla 3-3.1.

TABLA 3-3.1 CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA SECA  
DE AGREGADO GRUESO.

TAMAÑO NOMINAL MAXIMO ( mm )	MASA MINIMA DE LA MUESTRA (kg)
10	2
13	4
20	8
25	12
40	16
50	20
65	25
75	45
90	70

### 3-4 DESARROLLO.

Se recomienda realizar el Análisis Granulométrico del agregado grueso con cribas de 40 cm de diámetro o mayor.

Para obtener la granulometría del agregado grueso se si guen los 5 pasos descritos en el inciso 2-4 del Capítulo 2.



## PESO VOLUMETRICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS (FINOS Y GRUESOS).

### 4-1 OBJETIVO.

Conocer el procedimiento para obtener el Peso Volumétrico tanto en estado suelto como compactado y el Contenido de Humedad de una muestra de agregado. Estos datos sirven para calcular la cantidad de agregado necesario por  $m^3$  de concreto.

### 4-2 INTRODUCCION.

El Peso Volumétrico de los agregados se define como la relación entre su peso y el volumen que ocupa en un recipiente especificado, incluyendo los vacíos generados entre cada partícula. También se le suele llamar " Masa Volumétrica ", tal como lo denomina la NOM C 73-1983.

El Peso Volumétrico puede ser suelto o compactado, depen- diendo del sistema de acomodamiento que se le haya dado al material antes de la prueba. Si el material ha estado sujeto a acomodamiento o asentamiento provocado por la acción del tiempo, por el tránsito sobre ellos o si el agregado está aplado usamos el Peso Volumétrico Compactado.

La compactación se lleva a cabo con una varilla dando 25 golpes distribuidos en cada una de las 3 capas en que se divide el material en el recipiente (en el inciso 4-4 se explíca la metodología). Sin embargo este método no lo podemos usar pa- ra agregados con TMN mayor de 40 mm, debido a la dificultad que ofrece el agregado a ser atravesado por la varilla, por

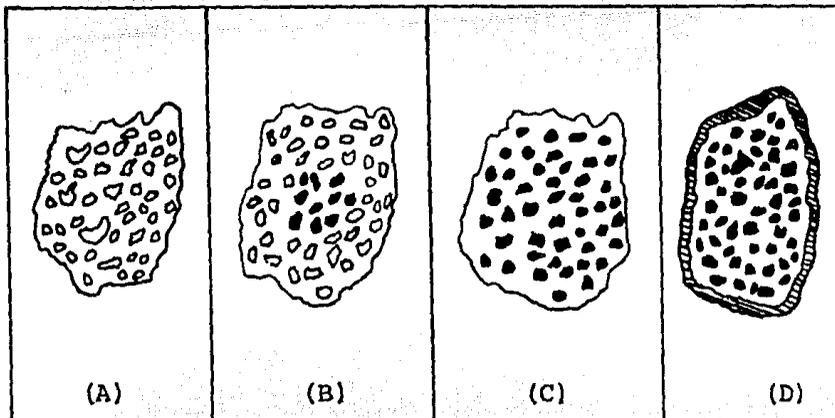
tal motivo utilizamos otro método de compactación que se llama " Compactacion Por Impactos ",

El Contenido Total de Humedad se define en la NOM C-166 - 1983 de la manera siguiente: "Es la cantidad de agua que contiene la muestra de agregado al momento de efectuar la determinación de su peso para dosificar una revoltura; puede estar constituida por la suma de la humedad superficial y la absorbida". Para obtener el Contenido de Humedad Superficial se obtiene la diferencia entre el contenido de humedad total y la absorción.

Este método deja de ser aplicado cuando se requiere hacer mediciones muy refinadas o cuando el agregado llegara a sufrir alguna alteración por el calor.

Para hacer el ajuste de la cantidad de agua en el diseño de una mezcla de concreto, es importante conocer los 4 estados de humedad en el cual se puede encontrar un agregado, mismos que se muestran en la fig. 4-2,1. En donde se muestran los poros internos del agregado mediante un corte transversal.

FIGURA 4-2,1 ESTADO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.



El estado (A), es aquel en donde no existe la más mínima cantidad de agua, por lo tanto, los poros del agregado están llenos de aire. Generalmente este estado se logra únicamente en el laboratorio, sometiendo al agregado a una temperatura de 100 a 110 °C.

Cuando el agregado usado en la mezcla se encuentre en este estado, tenderá a absorber el agua de esta hasta saturarse, es por ello que se debe aumentar el contenido de agua calculada en una cantidad igual a la absorción del agregado.

El estado (B) se caracteriza por tener agua sólo en el interior del agregado, ya que el secado a la intemperie no alcanza a desalojar el agua atrapada en el interior, aunque los rayos solares calienten al agregado.

El estado (C) corresponde precisamente a la absorción del agregado, en donde todos los poros están saturados, pero sin capa alguna de agua sobre la superficie del agregado, cabe mencionar que el agua de absorción no se considera como agua de mezclado, ya que no entra en contacto con las partículas del cemento. En el diseño de una mezcla de concreto, se toma como base, la cantidad de agua absorbida, o sea que no se tendría que hacer ningún ajuste de la cantidad de agua si el agregado estuviera en este estado.

El estado (D) se obtiene cuando el agregado está totalmente saturado, tanto en su interior como en su superficie, mostrando una capa de agua cubriendo a todo el material llamada " Humedad Superficial " o " Humedad libre " . Esta humedad permanece unida al agregado por condiciones intrínsecas y extrínsecas del agua, como por ejemplo la viscosidad y la gravedad respectivamente. Como se mencionó anteriormente, el agua de

absorción es la que se toma de base en la metodología del diseño de mezclas de concreto, por lo tanto cuando un agregado se encuentra en el estado (D), indica que tiene cierta cantidad de agua adicional que en el estado de absorción (C), esta cantidad de agua adicional es precisamente la humedad superficial, misma que se deberá restar a la cantidad de agua inicialmente calculada.

#### 4-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Balanza. Con sensibilidad de 0.1%.
- Horno o cualquier otra fuente de calor. Como por ejemplo: parrilla de placa, eléctrica o de gas o lámpara eléctrica; con la condición de que puedan mantener la temperatura a  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Cucharón y cuchara de albañil o una espátula.
- Varilla compactadora. Con punta de casquete esférico de 60 cm de longitud
- Placa de vidrio. Para enrasar el agua en el recipiente.
- Termómetro.
- Recipiente para obtener el Peso Volumétrico. Con los requisitos indicados en la tabla 4-3.1. El cual también se podría usar para determinar el Contenido de Humedad Total.

TABLA 4-3.1 DIMENSIONES DE LOS RECIPIENTES.

CAPACIDAD (lt)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ALTURA IN TERIOR (mm)	TMN DEL AGREGADO (mm)
3	$155 \pm 2$	$160 \pm 2$	13
10	$205 \pm 2$	$305 \pm 2$	25
15	$255 \pm 2$	$295 \pm 2$	40
30	$355 \pm 2$	$305 \pm 2$	100

Muestra representativa del material previamente cuarteado. En la tabla 4-3.2 se muestra el peso mínimo requerido.

TABLA 4-3.2 PESO MINIMO DE LA MUESTRA \*

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (mm)	PESO DE LA MUESTRA (kg)
150	30
102	25
90	16
75	13
63	10
50	8
38	6
25	4
19	3
12.5	2
9.5	1.5
Agregado Fino	0.5

\* Los pesos citados son para determinar el Contenido de Humedad Total, ya que para calcular el Peso Volumétrico, el peso de la muestra se rige por el volumen del recipiente elegido.

NOTA: La Norma Oficial Mexicana indica en procedimientos separados, la determinación del Peso Volumétrico y del contenido de humedad total de los agregados. Cuando se desee realizar juntas tales pruebas, la cantidad de muestra será elegida de acuerdo al volumen del recipiente indicado en la tabla 4-3.1, desechándose por lo tanto la tabla 4-3.2.

#### 4-4 DESARROLLO,

### PREPARACION DEL MATERIAL Y CALCULO DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD:

PASO 1. Se cuartea suficiente cantidad de agregado tratando de evitar la pérdida de Humedad, se mezcla perfectamente y se pesa con aproximación de 1 al millar.

PASO 2. Se seca totalmente la muestra en el recipiente a  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , evitando pérdidas de partículas durante el proceso; Se considera que la muestra ya ha sido secada, cuando un calentamiento adicional origine una pérdida de peso menor de 1 al millar. Cuando se emplee una fuente de calor diferente a la controlable de un horno, se debe mover continuamente la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar sobrecalentamientos localizados.

PASO 3. Se deja enfriar la muestra hasta la temperatura ambiente y se pesa con la misma aproximación.

PASO 4. Se calcula la humedad total con la fórmula siguiente:

$$H = 100 \frac{(M_h - M_s)}{M_s} \quad \text{donde:}$$

H = Contenido Total de Humedad de la muestra en porcentaje.

M<sub>h</sub> = Masa de la muestra representativa en gr.

M<sub>s</sub> = Masa de la muestra seca en gr.

PASO 5. Se obtiene el peso del recipiente que se vaya a utilizar (de acuerdo a la tabla 4-3.1) junto con la tapa de vidrio con aproximación de  $\pm 0.1\%$ . Luego se llena con agua limpia a la temperatura ambiente y se cubre con la tapa de vidrio para enrasarla, se obtiene el peso y la temperatura del agua.

PASO 6. Con la temperatura obtenida en el paso 5, se obtiene el peso unitario (densidad) del agua como se indica en la tabla 4-4.1.

TABLA 4-4.1 PESO UNITARIO DEL AGUA SEGUN LA TEMPERATURA.

°C	PESO UNITARIO	°C	PESO UNITARIO	°C	PESO UNITARIO
0	0.99987				
1	0.99993	11	0.99963	21	0.99802
2	0.99997	12	0.99952	22	0.99780
3	0.99999	13	0.99940	23	0.99757
4	1.00000	14	0.99927	24	0.99733
5	0.99999	15	0.99913	25	0.99708
6	0.99997	16	0.99897	26	0.99682
7	0.99993	17	0.99880	27	0.99655
8	0.99988	18	0.99862	28	0.99627
9	0.99981	19	0.99843	29	0.99598
10	0.99973	20	0.99823	30	0.99568

PASO 7. Se divide el peso unitario del agua entre el peso de la misma, esta relación se conoce con el nombre de "Factor del recipiente."

**PESO VOLUMETRICO SUELTO.**- Esta prueba se realiza cuando el Tamaño Máximo Nominal del agregado es de 100 mm o menos.

PASO 8. Se llena el recipiente con el cucharón hasta que se derrame, dejándolo caer desde una altura a partir del recipiente de 5cm, tratando de evitar la segregación de la muestra

PASO 9. Se nivela la superficie del recipiente con un ra-sero cuando el agregado así lo permite, o con la mano cuando el agregado es grande, cuidando de compensar las partes salientes del agregado con las depresiones con respecto a la superficie del recipiente.

PASO 10. Se pesa la muestra contenida en el recipiente y se calcula el peso volumétrico del agregado, multiplicando su peso por el factor del recipiente obtenido en el paso 7.

**PESO VOLUMETRICO COMPACTADO.**- Procedimiento de compactación con varilla. Esta prueba se realiza cuando el TMN del agregado es de 40 mm o menos (ver inciso 4-2, pag. 45).

PASO 11. Se llena el recipiente hasta la tercera parte y se enrasa con los dedos o con un pequeño enrasador, luego se compacta dando 25 golpes con la parte esférica de la varilla distribuidos en toda la superficie, usando una fuerza necesaria a modo de atravesar la capa de agregado, pero sin tocar el fondo del recipiente.

PASO 12. Se llena el recipiente hasta las 2/3 partes de su volumen y se compacta en forma similar cuidando de no usar una fuerza tal que triture a los agregados ni que toque la primera capa, posteriormente se llena todo el recipiente dejando

que el material sobrepase el borde superior, luego se compacta de la manera ya indicada, cuidando que la varilla no atraviese la segunda capa, finalmente se elimina el agregado sobrante usando la varilla compactadora como rasero.

PASO 13. Se obtiene el peso del agregado contenido en el recipiente. El peso volumétrico se determina multiplicando el peso del agregado por el factor del recipiente determinado en el paso 7.

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION POR IMPACTOS.- Esta prueba se realiza cuando el TMN del agregado es mayor de 40 mm y menor de 100 mm.

PASO 14. Se llena el recipiente hasta la 3° parte de su volumen y se compacta el agregado dejando caer alternativamente el recipiente 50 veces sobre sus lados diametralmente opuestos desde una altura de 5 cm sobre una base firme y dura, posteriormente se procede en forma similar para la compactación de las 2° y 3° capas.

PASO 15. Se nivela la superficie del recipiente con un rasero o con los dedos, a modo de compensar las depresiones bajo la superficie del recipiente envasado con los rebordes de las partículas del agregado que sobresalgan del nivel del recipiente. Se pesa la muestra y se calcula el peso volumétrico compactado, multiplicando el peso de la muestra por el factor del recipiente del paso 7.

**5**

## ABSORCION Y PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.

## 5-1 OBJETIVO,

*Determinar la Absorción y el Peso Específico del agregado grueso, datos que son necesarios para el cálculo de las cantidades de materiales que intervienen en una mezcla de concreto.*

## 5-2 INTRODUCCION,

*La prueba del Peso Específico y Absorción de los agregados se realizan juntas, debido a la similitud en los primeros pasos del desarrollo, tal y como se puede verificar en el inciso 5-4, en donde se siguen las indicaciones que marca la NOM C 164.*

*Se sabe que el Peso Específico de un material, es la relación de su peso y el volumen que ocupa, en  $\text{ton/m}^3$ . Sin embargo para los propósitos de proporcionamientos de mezclas de concreto, este se considera adimensional, ya que se obtiene por la relación de 2 unidades de peso. El Peso Específico de la grava es la relación del peso seco de la muestra y el volumen que ocupa, sin incluir el aire existente entre cada partícula, únicamente se considera el volumen de aire existente en los poros del agregado. Como se puede comprobar en el desarrollo de este capítulo, el volumen del agregado se obtiene de la diferencia del peso de la muestra saturada y superficialmente seca (SSS), y su peso sumergido en agua.*

*En algunas ocasiones es conveniente probar un agregado*

grueso en fracciones separadas para su mejor resultado. Si alguna muestra contiene más del 15% de material más grande de 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" (38.1 mm), se deberá probar por separado esa fracción.

Tanto para fracciones como para muestras totales, siempre se deberá tener la cantidad de muestra que se indica en la tabla 5-2.1 en función del TMN.

TABLA 5-2.1 CANTIDAD DE MUESTRA PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO Y LA ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL EN (mm)	PESO MINIMO DE LA MUESTRA (en kg)
12.5 o menos	2
20	3
25	4
40	5
50	8
65	12
75	18
90	25

Generalmente, cuando el Peso Especifico es alto, se obtienen valores bajos de Absorción, debido a que existen menos huecos en el agregado. La Absorción se usa para hacer el ajuste de la cantidad de agua de mezclado, pero, también indica en cierta forma el tamaño y cantidad de los poros del agregado.

La Absorción también se le conoce con el nombre de " Humedad interna " y corresponde al estado en el cual todos los poros internos están saturados, pero sin capas de agua en la superficie.

Cuando un agregado contiene muy poca agua en su estado natural de Humedad, este tenderá a absorber el agua de mezclado del concreto fresco hasta saturarse, de ahí la importancia de conocer la absorción del agregado.

Es muy importante tener en cuenta que el agua de absorción nunca interviene para mezclarse con el cemento, ya que éste no puede penetrar en los poros del agregado, no obstante se lleve a cabo un mezclado excesivo. Por lo tanto el agua de absorción no forma parte del agua de mezclado (agua que sí hace reacción química con el cemento) pero sí la puede disminuir.

### 5-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Balanza. Con capacidad de 5 kg o más, según el tamaño de la muestra y con sensibilidad de 0.5 gr y precisión de 0.1 % del peso de la muestra.
- Canasta de alambre del número 6 o cubeta. Con capacidad de 4 a 7 litros, para contener al agregado con TMN de 40 mm o menos. Cuando se use agregado con TMN mayor de 40 mm, se usará un recipiente con capacidad de 8 a 16 litros.
- Dispositivo de suspensión. Apropriado para suspender el recipiente con la muestra sumergida en agua a uno de los platos de la balanza.
- Muestra de material. Previamente cuarteado y bien mezclado, en cantidad suficiente, según se indica en la tabla 5-2.1.
- Trapo o franela.
- Termómetro.

### 5-4. DESARROLLO.

PASO 1. Se lava la muestra para eliminar cualquier tipo de materia extraña de su superficie y después se sumerge en

agua a temperatura ambiente durante  $24 \pm 4$  horas.

NOTA.- La Norma Oficial Mexicana recomienda después de lavar la muestra, someterla a secado hasta peso constante a una temperatura de 100 a 110 °C, posteriormente enfriarla a la temperatura ambiente de 1 a 3 hr.

Si el agregado con el que se va a realizar la prueba, ha estado continuamente mojado (más de 24 hr) durante su almacenamiento, se considera que ya está saturado. Por tal motivo se podría suprimir la sumersión indicada en el paso 1.

Cuando la muestra no se somete a secado, se pueden dar resultados notablemente diferentes a los que se obtendrían cuando se seca a peso constante.

PASO 2. Se saca la muestra del agua y se seca su superficie con un trapo, hasta que desaparezca el brillo acuoso de las partículas, las más grandes se secan individualmente con el trapo, tratando de evitar la evaporación o la absorción del agua de los poros. Una vez realizado esto, el agregado está en su condición de Saturado y Superficialmente Seco (SSS), se registra su peso con aprox. de 0.5 gr.

PASO 3. Se coloca el agregado saturado y superficialmente seco en el recipiente y se determina su peso en el agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C y con una densidad de  $0.997 \pm 0.002$  gr/cm<sup>3</sup>. Se debe tener cuidado de eliminar todo el aire atrapado, golpeando o agitando el recipiente mientras se sumerge.

Durante el pesado, el recipiente se debe sumergir a una profundidad suficiente para cubrirlo con agua junto con la muestra. El alambre que sostiene el recipiente debe ser lo más delgado posible para minimizar su influencia en el volumen de salojado al sumergirlo.

PASO 4. Se seca el material hasta peso constante a una temperatura de 100 a 110°C y se enfría a temperatura ambiente de 1 a 3 hr y se pesa.

PASO 5. Se calcula el Peso Específico y la Absorción de la siguiente manera:

$$\text{Peso Específico} = \frac{a}{b - c}$$

$$\text{Absorción} = \frac{b - a}{a} \times 100$$

Donde:

a= Peso de la muestra en el aire, secada en el horno en kg.

b= Peso de la muestra en el aire, saturada y superficialmente seca en kg.

c= Peso de la muestra saturada, sumergida en el agua en kg.



## ABSORCION Y PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.

### 6-1 OBJETIVO.

Hallar mediante la prueba de laboratorio correspondiente, la Absorción y el Peso Específico de la arena, con el fin de hacer los ajustes necesarios en la cantidad de agua, así como para calcular el consumo de arena por metro cúbico.

### 6-2 INTRODUCCION.

La determinación del Peso Específico y Absorción de la arena se lleva a cabo como lo indica la NOM C 165-1977, vigente aún hasta hoy. Básicamente los antecedentes son los mismos que se mencionaron en el capítulo 5, con la salvedad del tamaño del agregado.

### 6-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Balanza. Con capacidad mínima de un kg, dependiendo del tamaño de la muestra. Debe tener sensibilidad de 0.1 gr y precisión del 0.1% del peso de la muestra.
- Picnómetro. Recipiente en el cual se puede introducir fácilmente el agregado fino y en el que se puede determinar con exactitud de  $\pm 0.1 \text{ cm}^3$  el volumen contenido. Tal volumen se determina por una marca de aforo y debe ser al menos 50% mayor que el volumen requerido para la muestra de prueba. Un frasco con una capacidad de  $500 \text{ cm}^3$  al que se le pueda adap

adaptar un aforo, es satisfactorio para una muestra de prueba de 500 gr para la mayoría de los agregados.

- Estufa. Equipada con un dispositivo para regular la temperatura, que sea capaz de mantener la temperatura a  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . y tener un termómetro.
- Molde. De forma troncocónica de lámina metálica, con espesor de 0.8 mm, diámetro superior de 40 mm y 90 mm de diámetro inferior, con altura de 75 mm y tolerancia en sus dimensiones de  $\pm 3$  mm.
- Pisón. Pieza cilíndrica de metal, con un diámetro de  $25 \pm 3$  mm, peso de  $340 \pm 15$  gr. y una superficie circular plana y lisa.
- Muestra representativa del agregado. Mediante cuarteo se obtiene aproximadamente 1000 gr de arena.

#### 6-4 DESARROLLO.

PASO 1. Se seca la muestra a temperatura de 100 a  $110^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante y se deja enfriar a la temperatura ambiente de 1 a 3 horas. Después se sumerge en agua a temperatura ambiente por un periodo de  $24 \pm 4$  hr. Se decanta con cuidado el agua, sin permitir la pérdida de partículas pequeñas.

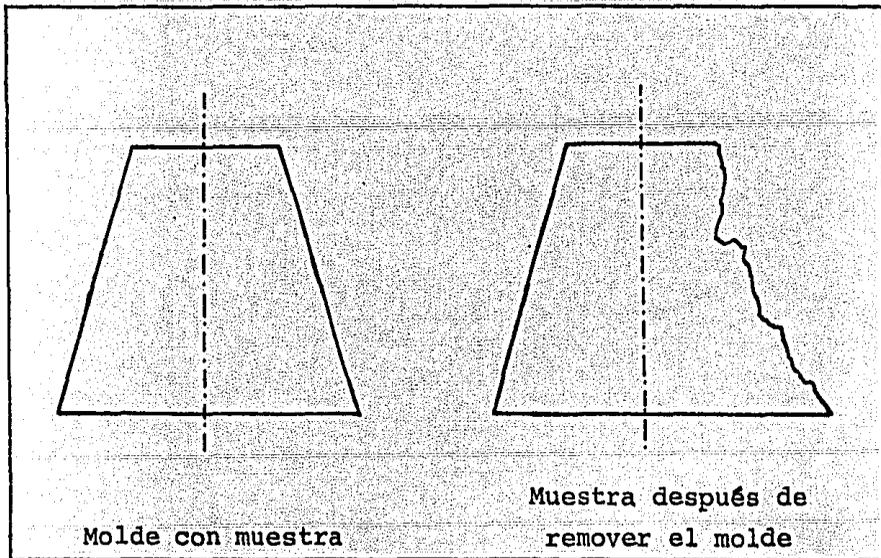
PASO 2. Se extiende la muestra en una superficie lisa no absorbente y expuesta a una corriente de aire caliente, se remueve frecuentemente para asegurar una evaporación uniforme de la Humedad superficial, hasta obtener el estado de Saturado y Superficialmente Seco (SSS), el cual se puede detectar cuando el agregado fluye libremente. Después se fija firmemente el molde con una mano para que no se mueva, con su boca mayor hacia abajo sobre una superficie tersa no absorbente, y se procede a llenarlo con el agregado fino, luego se compacta con el

sólo peso del pistón, colocándolo suavemente 25 veces, sin altura de caída, sobre la superficie enrasada de la muestra, volviendo a enrasar cada vez que se requiera.

En seguida se levanta el molde verticalmente; Si se observa que el material conserva la forma del molde, es que el agregado todavía tiene humedad superficial.

Se continúa evaporando y revolviendo la muestra, repitiéndose el procedimiento hasta lograr que el agregado llegue a la condición de saturado y superficialmente seco, que es cuando al retirar el molde el material de la muestra se disgrega un poco perdiendo parcialmente la forma, tal y como se muestra en la figura 6-4.1. También se pueden usar medios mecánicos para lograr la condición de Saturado y Superficialmente Seco de la muestra del agregado fino, como por ejemplo la agitación.

FIGURA 6-4.1 MUESTRA SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA DEL AGREGADO FINO.



PASO 3. La condición de Saturado y Superficialmente Seco (SSS) se logra mediante intentos sucesivos, es muy difícil obtener este estado en el primer intento e incluso no se recomienda.

Cuando la muestra se seque más de la condición de Saturado y Superficialmente seco, que se nota por una excesiva deformación de la arena al retirar el cono, se debe mezclar el material con unos cuantos centímetros cúbicos de agua e introducirlo en un recipiente, se tapa y se deja reposar 30 minutos; se debe repetir el procedimiento a partir del paso 2.

NOTA.- Cuando los agregados que se vayan a usar en el proporcionamiento de mezclas de concreto estén en su condición natural de Humedad, el requerimiento del secado inicial hasta alcanzar peso constante, puede ser eliminado y si las superficies de la muestra han estado continuamente mojadas hasta la prueba, el mojado de las 24 hr. se puede suprimir.

Los valores de la Absorción y del Peso Específico en la condición de Saturado y Superficialmente Seco, pueden ser considerablemente más altos, para el agregado que no se secó en el horno antes de sumergirlo, que la muestra tratada como se indicó en los pasos 1 y 2. Por lo tanto cualquier cambio en relación a lo tratado en los pasos 1 y 2, debe indicarse en el informe de los resultados.

PASO 4. Se limpia el Picnómetro y se registra su peso cuando está totalmente seco, es decir, cuando en lecturas sucesivas el peso se mantiene constante, (P).

PASO 5. Se llena el picnómetro con agua hasta su nivel de aforo, a una temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . y se anota su peso.

Si se usa una bureta con precisión de  $0,10 \text{ cm}^3$  a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , el peso del picnómetro lleno con agua puede determinarse con la fórmula 6-4.1,

$$B = 0,9976 V + P \quad (\text{fórmula 6-4.1}) \quad \text{donde:}$$

B = Peso del picnómetro lleno con agua (gr).

V = Volumen del picnómetro, en  $\text{cm}^3$ .

P = Peso del picnómetro vacío y secado a peso constante (gr).

PASO 6. Se introducen 500 gr de arena en el picnómetro y se llena de agua aproximadamente al 90% de su capacidad; se gira, se agita e invierte el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire. Se ajusta la temperatura si es necesario sumergiendo el picnómetro en agua circulante hasta alcanzar  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ; después se llena de agua hasta el nivel de aforo del picnómetro y se pesa con una aproximación de 0,1 gr.

Se puede usar una muestra de peso diferente de 500 gr, pero no menor de 50 gr, sólo hay que cambiar el número 500 que aparece en las fórmulas 6-4.2 y 6-4.3 por el peso de la muestra empleada. Si el peso empleado es menor de 500 gr, se reducen proporcionalmente los límites de exactitud.

PASO 7. Se saca la muestra del picnómetro y se seca hasta alcanzar peso constante a una temperatura de  $100$  a  $110^\circ\text{C}$ ; se enfría a temperatura ambiente por un tiempo de 30 a 90 minutos y se pesa.

PASO 8.- Se calcula el Peso Específico de la arena (La Norma Oficial Mexicana lo denomina "Peso Específico Real Seco") con la fórmula 6-4.2 y el porcentaje de absorción con la fórmula 6-4.3.

$$\text{Peso Específico} = \frac{A}{(B + 500 - C)} \dots\dots\dots (6-4.2)$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{(500 - A)}{A} \times 100 \dots\dots\dots (6-4.3)$$

En donde:

A= Peso de la muestra secada en el horno, en gr.

B= Peso del picnómetro llenado con agua, en gr.

C= Peso del picnómetro con la muestra y agua hasta el nivel de aforo, en gr.

NOTA.- En las pruebas efectuadas en un laboratorio, con una misma muestra de agregado de peso normal, se deben obtener resultados con la precisión siguiente:

EN PESOS ESPECIFICOS.- La precisión de un sólo operador o de varios operadores, debe estar dentro de + 0.02 del promedio de los pesos específicos obtenidos. Diferencias mayores de 0.03 entre dos pruebas iguales, hechas con la misma muestra y con el mismo o diferente operador, deben ocurrir en menos del 5 % de las veces.

EN PRUEBAS DE ABSORCIÓN.- La precisión debida a un sólo operador debe estar dentro de + 0.31 del porcentaje de absorción promedio, el 95% de las veces. Las pruebas realizadas por varios operadores son probabilísticamente menos precisas. La diferencia entre pruebas realizadas por el mismo operador, en la misma muestra, no debe exceder de 0.45 en más del 5% de las veces.

**7**

## DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.

## 7-1 OBJETIVO.

Conocer algunos de los métodos modernos existentes de mayor uso, para el diseño de mezclas de concreto.

## 7-2 INTRODUCCION.

Generalmente la resistencia y economía son los 2 factores mas importantes, que se toman en cuenta para el diseño de una mezcla de concreto, empero, no se le resta importancia a otros factores, como son: trabajabilidad, durabilidad, etc.

Al obtenerse un concreto de alta resistencia, intrínsecamente se asegura durabilidad satisfactoria, a menos que el concreto esté expuesto a agentes agresivos, tales como; concentraciones altas de sulfuros, sulfatos, ácidos, etc. Para tales casos, habrá que tomar medidas especiales, como la determinación del tipo de cemento apropiado o la inclusión de algún aditivo.

De las investigaciones que han surgido, según varias teorías sobre proporcionamientos, actualmente se pueden elaborar mezclas de concreto con asombrosa exactitud, en cuanto a la resistencia especificada. Existe un gran número de procedimientos para dosificar dichas mezclas, desde métodos analíticos, experimentales y semianalíticos, hasta los empíricos (por nomogramas, tablas o simples relaciones). Los métodos más usados, son aquellos, en donde la proporción final se obtiene a través de varios tanteos y ensayos. Estos métodos han sido desarrolla

dos debido a la valiosa contribución de Fuller, Thompson, Talbot, Abrams, Edwards, Young y Richart, entre otros. No obstante, siguen siendo muy usadas las mezclas empíricas, incluso la mayoría de los tratados y manuales sobre concreto, aún las mencionan.

La elección del método para diseñar una mezcla de concreto dependerá del tipo de obra a ejecutar. Así por ejemplo, para el colado de un cajón para estacionamiento, de 2 X 4 m., resultaría impráctico y costoso, realizar pruebas de laboratorio para el uso de un método iterativo de diseño; de la misma manera, no podemos usar un proporcionamiento empírico para la ejecución de grandes obras o en trabajos de investigación, en donde se requiere suma precisión en la resistencia de diseño indicada.

### 7-3 DESARROLLO.

A continuación se explican algunos métodos para el diseño de mezclas de concreto. En el capítulo 8 se darán los ejemplos correspondientes.

#### 7-3,1 METODO DEL ACI.

En 1954, el Comité ACI 613 publicó un método de dosificación de mezclas de concreto, el cual sirvió de base para las actuales dosificaciones. En 1974, se publicó su actualización (ACI 211,1-74) y la aplicación con un nuevo criterio de dosificación y de corrección de las mezclas tentativas. Posteriormente, en 1981 se hicieron algunas modificaciones (ACI 211,1-81), se volvió a revisar en 1984 sin cambio alguno y en 1986 aún es está vigente. Este método es aplicable para concreto normal, pesado y en masa, elaborados con cementos Portland y puzolánicos.

Dado el alcance de este trabajo, sólo se hará mención del concreto normal elaborado con cemento Tipo 1, El ACI recomienda también una dosificación empírica para trabajos poco importantes, la cual se explica en el inciso 7-3.3

En seguida se explican los pasos del método del ACI:

PASO 1. ELECCION DEL REVENIMIENTO,- Si el revenimiento no está especificado, se puede seleccionar un valor apropiado para la obra en la tabla 7-3,1. Los rangos del revenimiento mostrados, se aplican cuando el método de vibración es usado para compactar el concreto. Se debe usar la consistencia más blanda posible de la mezcla, que pueda ser colocada eficientemente.

TABLA 7-3,1 REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCION.

Tipo de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas 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 pesado en masa	8	2

\*Se puede incrementar 2 cm para métodos de compactación diferentes al de vibración.

PASO 2. ELECCION DEL TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO, - Los Tamaños más grandes de agregados bien graduados, tienen menos vacios que los tamaños más pequeños, Por lo tanto los concretos con los agregados más grandes, requieren menos mortero por unidad de volúmen. Generalmente, el TMN del agregado debe ser lo más grande que económicamente sea posible y consistente con las dimensiones de la estructura, pero en ningún caso deberá ser mayor que:

- 1/5 de la menor dimensión entre las paredes de la cimbra,
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las varillas de refuerzo, amarres de varillas o cables pretensados.
- 1/3 del espesor de las losas,

Estas limitaciones, son muchas veces descartadas, si la trabajabilidad y los métodos de compactación, son tales, que el concreto pueda ser colocado sin dejar oquedades. Cuando se desee obtener concreto de alta resistencia, mejores resultados pueden ser obtenidos, reduciendo el tamaño máximo del agregado, ya que éstos producen mayores resistencias con una relación agua-cemento dada.

PASO 3. ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO Y DEL CONTENIDO DE AIRE, - La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir un revenimiento dado, depende del tamaño máximo, forma de la partícula y gradación de los materiales, así como de la cantidad de aire retenido. La tabla 7-3.2 provee la estimación de agua de mezclado, requerida para concretos fabricados con varios tamaños de agregados, con o sin aire retenido, cabe mencionar que esa cantidad de agua no está afectada principalmente por la cantidad de cemento. Dependiendo de la forma y textura de los agregados. Los requerimientos de a

gua de mezclado, puede estar un poco arriba o abajo de los valores tabulados, pero son lo suficientemente aproximados, como para una primera estimación,

TABLA 7-3,2 REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO\*\*

Revenimiento (cm)	Agua en kg/m <sup>3</sup> de concreto según el tamaño máximo del agregado (en mm)							
	10	12,5	20	25	40	50*	70*	150*
Sin aire incluido.								
3 a 5	205	200	185	180	160	155	140	125
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aprox. de aire incluido en %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
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 en %	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

\* 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 las partículas

mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo,

\*\* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son las máximas para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados, graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas,

PASO 4, SELECCION DE LA RELACION AGUA-CEMENTO;- La relación agua-cemento, se determina no sólo por los requerimientos de resistencia, sino también por factores tales como durabilidad y propiedades requeridas. Ya que diferentes cementos y agregados producen diferentes resistencias, para una determinada relación agua-cemento, es muy deseable tener o desarrollar los vínculos entre resistencia y relación agua - cemento para los materiales que efectivamente se vayan a usar. Sin embargo cuando no se tengan tales datos, una aproximación relativamente conservadora de esos valores cuando se use cemento Tipo I, pueden ser tomados de la tabla 7-3,3a. Con los materiales típicos usados, las relaciones agua-cemento tabuladas, deben producir las resistencias indicadas, basadas en pruebas de especímenes a los 28 días, curados bajo condiciones estándares de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe, por supuesto, exceder la resistencia especificada con suficiente margen para mantener el número de resistencias bajas, dentro de ciertos límites.

Para condiciones severas de exposición, la relación agua cemento debe ser mantenida, a los valores que indique la tabla 7-3.3b, no obstante, los valores de resistencia marquen valores más altos.

TABLA 7-3.3a CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION AGUA-CEM<sub>EN</sub>  
TO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO,

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm <sup>2</sup> , (*)	Relación agua-cemento por peso	
	sin aire incluido	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 % de aire no mayor que el indicado en la tabla 7-3,2. Para una relación agua - cemento constante, la resistencia se reduce en el concreto conforme aumenta el contenido de aire.

La resistencia está basada en cilindros de 15 X 30 cm curados en húmedo durante 28 días a  $23 \pm 1,7$  °C de acuerdo a la norma ASTM C-31, "Fabricación y curado de muestras de concreto para pruebas a flexión y a compresión en el campo". La resistencia de los cubos será mayor de 20 % aproximadamente.

Las relaciones se aproximan al Tamaño máximo del agregado de entre 20 a 30mm; para agregados de una procedencia determinada, la resistencia producida para una relación de agua-cemento dada, aumentará mientras el tamaño máximo disminuya.

TABLA 7-3,3b RELACIONES AGUA-CEMENTO MAXIMAS PERMISIBLES  
PARA CONCRETO EXPUESTO A CONDICIONES SEVERAS \*

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda y expuesta a congelaciones y deshielo **.	Estructura expuesta al agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas (rieles, bordillos, durmientes, obras ornamentales y secciones con menos de 3 cm de recubrimiento sobre el acero,	0,45	0,40***
Todas las demás estructuras,	0,50	0,45***

\* Basadas en el reporte del Comité ACI 201, " Durabilidad del concreto en servicio."

\*\* El concreto también debe ser del tipo de aire incluido.

\*\*\* Si se usa cemento resistente a los sulfatos ( tipo II o Tipo V de la Norma ASTM-150 ), la relación agua-cemento permisible podrá aumentarse en 0,05.

**PASO 5. CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.** La cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto, se obtienen de los pasos 3 y 4 mencionados previamente. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado ( paso 3 ) dividiendo el valor obtenido en el paso 4. No obstante, si se incluye en las especificaciones un contenido de cemento mínimo, además de los requisitos anteriores se deberá emplear el mayor de los criterios.

PASO 6, ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO, Los agregados con el tamaño y granulometrías esencialmente iguales producirán concretos de trabajabilidad satisfactoria, para un volumen dado de agregado grueso, seco y varillado, se usa para un volumen unitario de concreto, Los valores apropiados para el volumen de este agregado se dan en la tabla 7-3.4, Se puede ver, que para igual trabajabilidad, el volumen del agregado grueso en un volumen unitario de concreto, depende solamente de su tamaño máximo y de la cantidad de mortero requerido para la trabajabilidad con diferentes agregados, debido a las diferencias entre la forma de las partículas y a la granulometría, se compensan automáticamente por las diferencias en el contenido de vacíos en el agregado seco y varillado.

TABLA 7-3.4 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

Tamaño máximo del agregado (TMN) en 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	0.76	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. Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un concreto con un grado de trabajabilidad apropiado para la construcción reforzada usual. Para obtener un concreto con menos 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 por ciento.

**PASO 7. ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO.** Hasta el paso anterior, todos los ingredientes se han estimado salvo el contenido de arena. Existen 2 métodos para estimarlo; por volumen absoluto y por peso. Ambos trabajan por diferencias.

a) *Por Volumen Absoluto.* Este método es muy conocido, se trata de transformar los pesos obtenidos por metro cúbico, al volumen que ocupan, dividiéndolos por los pesos específicos correspondientes, se suman todos los volúmenes, incluyendo el volumen de aire y se restan del metro cúbico, la diferencia representa el volumen que debe ocupar la arena, que multiplicada por su peso específico se determina en peso por metro cúbico de concreto.

b) *Por Peso.* Si se puede estimar previamente por experiencia o suponer el peso unitario del concreto, el peso requerido de arena será la diferencia de este peso y la suma de los pesos de los otros ingredientes. Frecuentemente, por la experiencia se puede estimar con bastante aproximación el peso unitario del concreto, Si no se dispone de esta información, se pue

\* Los volúmenes están basados en agregados secos y compactados con varilla. Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un concreto con un grado de trabajabilidad apropiado para la construcción reforzada usual. Para obtener un concreto con menos 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 por ciento.

**PASO 7, ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO.** Hasta el paso anterior, todos los ingredientes se han estimado salvo el contenido de arena. Existen 2 métodos para estimarlo; por volumen absoluto y por peso. Ambos trabajan por diferencias.

a) *Por Volumen Absoluto.* Este método es muy conocido, se trata de transformar los pesos obtenidos por metro cúbico, al volumen que ocupan, dividiéndolos por los pesos específicos correspondientes, se suman todos los volúmenes, incluyendo el volumen de aire y se restan del metro cúbico, la diferencia representa el volumen que debe ocupar la arena, que multiplicada por su peso específico se determina en peso por metro cúbico de concreto.

b) *Por Peso.* Si se puede estimar previamente por experiencia o suponer el peso unitario del concreto, el peso requerido de arena será la diferencia de este peso y la suma de los pesos de los otros ingredientes. Frecuentemente, por la experiencia se puede estimar con bastante aproximación el peso unitario del concreto, Si no se dispone de esta información, se pue

den aplicar los valores dados en la tabla 7-3,5 para hacer una primera estimación. Aunque estos valores son una aproximación gruesa, las cantidades de los ingredientes pueden ajustarse fácilmente, en base a revolturas tentativas. Si se desea calcular el peso unitario del concreto, con exactitud teórica, se puede emplear la fórmula 7-3,1:

$$U_m = 10G_a(100-A) + C_m(1-G_a/G_c) - W_m(G_a-1) \quad \text{donde:}$$

$U_m$  = Peso unitario del concreto fresco,  $\text{kg/m}^3$ ,

$G_a$  = Peso específico promedio pesado de la combinación de los agregados fino y grueso, SSS.

$G_c$  = Peso específico del cemento (generalmente 3,15)

$A$  = Porcentaje de contenido de aire,

$W_m$  = Agua de mezclado requerida,  $\text{kg/m}^3$ .

$C_m$  = Contenido de cemento requerido,  $\text{kg/m}^3$ .

TABLA 7-3.5 PRIMERA ESTIMACION DEL PESO DEL CONCRETO FRESCO.

Tamaño máximo del agregado, en mm	Primera estimación del peso del concreto, $\text{kg/m}^3$ *	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10	2282	2190
12,5	2325	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2465	2400
150	2505	2435

\* Valores calculados por la ecuación 7-3,1 para concretos medianamente ricos (330 kg de cemento por  $m^3$ ) y revenimiento medio con agregados cuyo peso específico es de 2,7. Los requerimientos de agua están basados en los valores de revenimiento de 8 a 10 cm de la tabla 7-3,2. Si se desea se puede precisar más la estimación del peso como sigue, si la información necesaria está disponible; Por cada 5kg de diferencia en el agua de mezclado de la tabla 7-3,2 para valores del revenimiento de entre 8 a 10 cm, corríjase el peso por  $m^3$  en dirección opuesta 8 kg; Por cada 20 kg de diferencia en el contenido de cemento respecto a 330 kg (por metro cúbico), corríjase el peso por metro cúbico en la misma dirección 3 kg; Por cada 0.1 de diferencia en el peso específico respecto a 2.7, corríjase el peso del concreto en la misma dirección 70 kg.

#### PASO 8. AJUSTES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

Las cantidades de los agregados que realmente deben ser pesados para el concreto, deben estar corregidos por humedad y absorción. Generalmente los agregados estarán húmedos y sus pesos secos deberán incrementarse por el porcentaje de agua que contienen, tanto la absorbida como la superficial. El agua de mezclado agregada a la mezcla, se debe reducir por una cantidad igual a la humedad libre contenida por el agregado, es decir, la humedad total menos la absorción.

PASO 9. AJUSTES A LAS PRUEBAS DE MEZCLA, Las proporciones de mezcla calculadas, deberán checar por medio de las mezclas de prueba, preparadas y probadas de acuerdo a la norma ASTM C 192 o con pruebas de campo con el tamaño real. Solamente se usará la cantidad de agua suficiente para producir el revenimiento descuidado requerido de la cantidad propuesta en la se

lección de las proporciones de prueba, El concreto debe chequear por peso unitario y rendimiento (ASTM C-138) y por contenido de aire (ASTM C-138, C-173, o C-231). También se observará cuidadosamente una adecuada trabajabilidad, exención de segregado y propiedades finales. Las siguientes reglas "empíricas" se pueden usar para llegar a aproximaciones más cercanas de cantidades unitarias de mezcla basadas en resultados para pruebas de mezcla:

a) El agua de mezclado estimada para producir el mismo revenimiento al de la prueba de mezcla, será igual a la cantidad de agua de mezclado, dividida por el rendimiento de la prueba de mezcla en  $m^3$ . Si el revenimiento de la prueba de mezcla no fue el correcto, se aumentará o disminuirá el contenido de agua reestimada por  $2 \text{ kg}/m^3$  de concreto, por un cm de aumento o decremento en el revenimiento deseado.

b) Para el ajuste del efecto del contenido de aire erróneo, en una prueba de mezcla de concreto con aire incluido en el revenimiento, se reduce o incrementa el contenido de agua de mezclado del inciso anterior, de 1 a  $3 \text{ kg}/m^3$  de concreto por cada 1 % por el cual el contenido de aire sea aumentado o reducido, de aquel de la prueba de mezcla

c) El peso unitario reestimado de el concreto fresco, para ajustes en el proporcionamiento de las pruebas de mezcla, es igual al peso unitario en  $\text{kg}/m^3$ , medido en la prueba de mezcla, reducido o incrementado por el porcentaje de aumento o decremento en el contenido de aire de la mezcla ajustada de la primer prueba de mezcla,

### 7-3.2 DISEÑO EMPÍRICO DE MEZCLAS DE CONCRETO.

La ventaja que tiene este tipo de diseño es la rapidez con la que se puede elaborar una mezcla de concreto. Ya se mencionó en el inciso 7-2 las limitantes existentes para emplear este tipo de diseños, ya que no toman en cuenta ni la humedad de los agregados ni sus pesos volumétricos y específicos. Consecuentemente, 2 tipos de agregados que difieran bastante en su peso específico se dosificarían en forma similar, la diferencia de resistencias resultantes serían obvias.

Los proporcionamientos más efímeros son los que indican en volumen, la cantidad de cemento, arena y grava (c: a: g) en ese mismo orden; por ejemplo 1:2:4, y la cantidad de agua se ajusta a la consistencia deseada de la mezcla.

En ocasiones no se tiene idea del proporcionamiento de una mezcla de concreto para pequeños trabajos, como por ejemplo el colado de una mojonera o la reparación de una dala o castillo, la Tabla 7-3.2.1 muestra proporcionamientos para los casos antes indicados.

TABLA 7-3.2.1 PROPORCIONAMIENTOS PARA PEQUEÑOS TRABAJOS

Tipo de concreto	Uso	Proporcionamiento (c: a: g) en vol.
Concreto reforzado	Dalas, castillos etc.	1: 2: 4
Concreto en masa	Mojonera o con trapeso	1: 3: 5
Bases	Pavimento	1: 2.5: 4
	Banquetas	1: 2: 3

Debido a la gran cantidad de obras pequeñas que se elaboran con diseños empíricos, como son por ejemplo las casas habitación, se ha juzgado conveniente incluir en el apéndice D una serie de proporcionamientos empíricos muy prácticos y de fácil ejecución. Generalmente la resistencia resultante con estos proporcionamientos es muy cercana a la que se indica, pero se aleja en el aspecto económico con respecto a un concreto elaborado con un método iterativo.

### 7-3.3 METODO DEL ACI PARA OBRAS PEQUEÑAS.

Para pequeños trabajos en que no se dispone ni de tiempo ni de personal para determinar proporciones de acuerdo con el procedimiento recomendado, las mezclas indicadas en la tabla 7-3.3.1 proporcionarán generalmente concretos con suficiente resistencia y durabilidad, si la cantidad de agua agregada en la mezcla no es excesiva como para sobresaturar la mezcla de concreto. Estas mezclas han sido predeterminadas conforme al proceso recomendado (inciso 7-3.1) en condiciones aproximadas, aplicables al promedio de obras pequeñas, y para pesos específicos medios de los agregados. Se dan 3 mezclas por cada tamaño máximo del agregado. Para seleccionar el tamaño del agregado grueso, se puede usar la mezcla B en forma inicial. Si se prueba que esta mezcla contiene demasiada arena, cambie a la mezcla C; si en cambio ésta se encuentra baja en contenido de arena, cambie a la mezcla A.

Se puede notar que las Mezclas indicadas en la tabla están basadas en arena seca o superficialmente secas. Si la arena está húmeda o mojada, haga las correcciones en el peso de las mezclas prescritas abajo de la tabla ( en asteriscos).

El contenido aproximado de cemento por pie cúbico de concreto indicado en la tabla será de utilidad en la estima

ción del cemento requerido para la obra. Estos requerimientos están basados en concretos con suficiente cantidad de agua, para permitir una trabajabilidad adecuada en las cimbras, sin provocar segregación. El concreto debe deslizarse de la pala pero sin vaciarse.

TABLA 7-3.3.1 DOSIFICACIONES PARA OBRAS PEQUEÑAS.

Procedimiento: Seleccione el tamaño máximo adecuado del agregado. Use la mezcla B, agregando suficiente agua para producir una consistencia trabajable. Si el concreto muestra estar saturado en arena, cambie a la mezcla A, y si ésta aparece baja en contenido de arena, cambie a la mezcla C.

Tamaño Máximo de agregado en pulg.	Tipo de mezcla	Pesos aproximados de sólidos en lb/pie <sup>3</sup> .				
		Cemento	arena**		Agregado grueso	
			Concreto con aire incluido*	Concreto sin aire incluido	grava o roca triturada	escoria de hierro de alto horno
1/2	A	25	48	51	54	47
	B	25	46	49	56	49
	C	25	44	47	58	51
3/4	A	23	45	49	62	54
	B	23	43	47	64	56
	C	23	41	45	66	58
1	A	22	41	45	70	61
	B	22	39	43	72	63
	C	22	37	41	74	65
1 1/2	A	20	41	45	75	65
	B	20	39	43	77	67
	C	20	37	41	79	69
2	A	19	40	45	79	69
	B	19	38	43	81	71
	C	19	36	41	83	72

\* El concreto con aire incluido se debe usar en todas las es tructuras expuestas a ciclos alternos de congelamiento y des hielo. El aire incluido se puede obtener mediante el uso de un cemento inclusor de aire o agregando un aditivo de características similares. Si se usa un aditivo, la cantidad recomen dada por el fabricante, producirá en todo caso, el contenido de aire deseado.

\*\* Los pesos se refieren a arena seca. Si se usa arena húmeda, incremente los pesos tabulados de arena en 2 libras, y si se u sa arena muy mojada, aumentese 4 libras.



## ELABORACION DE UNA MEZCLA DE CONCRETO,

## 8-1 OBJETIVO.

Calcular la dosificación de una mezcla de concreto, para un tipo de obra especificada, mediante los métodos descritos en el capítulo 7. Analizar los resultados.

## 8-2 INTRODUCCION.

A continuación, se mencionarán las condiciones y los resultados de las pruebas de laboratorio, en la elaboración de un metro cúbico de concreto para una obra determinada.

## EJEMPLO.-

La obra a ejecutar, estará sujeta a condiciones normales de intemperismo y no requerirá de medios especiales para su transporte y vaciado, es decir, es una "obra común". Las especificaciones que se indican son las siguientes:

- Resistencia promedio:  $300 \text{ kg/cm}^2$ ,
- Agregado grueso con tamaño máximo nominal (TMN) de: 40 mm,
- Revenimiento de 8 a 10 cm.

En el laboratorio se han obtenido los resultados siguientes:

-Grava:	Peso volumétrico Varillado	1750 kg/m <sup>3</sup>
	Peso Específico	2.54
	Absorción	2.3 %
	Humedad Total	3.1 %
-Arena	Módulo de Finura	2.8
	Peso Específico	2.62
	Absorción	2.5 %
	Humedad Total	4.7 %

### 8-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Equipo necesario para realizar las pruebas Índice.
- Cemento, grava, arena y agua suficientes.
- Pala y cubeta (o botel).
- Revolvedora.
- Cona de Abrams con sus implementos.
- Báscula.

### 8-4 DESARROLLO.

De las condiciones del ejemplo anteriormente citado, podemos notar que no necesitamos de un aditivo ni de algún cementante especial, debido a que se trata de una "obra común". Por lo tanto se usará cemento Tipo I, que como es bien sabido, tiene un peso específico de 3.15.

También podemos percatarnos de que el valor de la Humedad total es mayor al de la absorción, esto se debe a que el agregado ha estado en presencia de agua durante su almacenamiento, a tal grado, que no sólo se han saturado sus poros internos, sino que también existe una Humedad Superficial (capa de agua que rodea al agregado).

Para evitar confusiones, se seguirán al pie de la letra, los pasos mostrados en el inciso 7-3.1, aunque algunos de estos no sean necesarios.

a) SOLUCION POR EL METODO DEL ACT.

PASO 1. ELECCION DEL REVENIMIENTO.- En este caso ya se ha especificado su valor, que es de 8 a 10 cm. No obstante, si este no se hubiera mencionado, se podría obtener de los valores recomendados de la tabla 7-3.1.

PASO 2. ELECCION DEL TMN DEL AGREGADO.- También ya viene especificado su valor: 40 mm.

PASO 3. ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO Y DEL CONTENIDO DE AIRE.- Sabemos que el concreto no estará sometido a condiciones severas de intemperismo, por lo tanto, usaremos concreto sin aire incluido. Para un revenimiento de 8 a 10cm y TMN de 40 mm, encontramos en la tabla 7-3.2, el contenido de agua en  $\text{kg/m}^3$  [1 lt. pesa 1 kg.]. Dicho valor es:  $175 \text{ kg/m}^3$ .

PASO 4. SELECCION DE LA RELACION AGUA-CEMENTO.- Para concreto sin aire incluido con resistencia de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene su valor de la tabla 7-3.3a: 0.55.

PASO 5. CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.- Se obtiene de dividir los resultados de los pasos 3 y 4. Es decir:

$$175 \text{ kg/m}^3 / 0.55 = 318 \text{ kg/m}^3.$$

PASO 6. ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO. Se obtiene de la tabla 7-3.4 para arena con Módulo de Finura de 2.8 y grava con TMN de 40 mm, la tabla indica  $0.72 \text{ m}^3$  de volu

men de grava seca y varillada. Por lo tanto, el peso seco requerido de agregado grueso es:

$$0.72 \times 1750 = 1260 \text{ kg.}$$

PASO 7. ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO.- Con las cantidades de agua, cemento y grava establecidos, el material restante que forma el metro cúbico de concreto debe consistir de arena y del aire atrapado. La arena requerida puede determinarse en base al peso o al volumen absoluto. Los resultados obtenidos en base al peso, son más confiables que los obtenidos por volumen absoluto, ya que este último puede variar considerablemente con el contenido de humedad y forma del agregado. No obstante, ambos métodos se desarrollarán en seguida:

i) POR PESO.- El peso de un metro cúbico de concreto sin aire incluido con agregado de TMN de 40mm, se localiza en la tabla 7-3.5 y vale 2420 kg. Por lo tanto, el contenido de arena será la diferencia entre el sobredicho peso del concreto y la sumatoria de los pesos de los restantes componentes:

agua	175 kg.
cemento	318 kg.
grava	<u>1260 kg.</u>
TOTAL	1753 kg.

El peso de la arena es:  $2420 - 1753 = 667 \text{ kg.}$

ii) POR VOLUMEN ABSOLUTO.- Con las cantidades de cemento, agua y grava establecidos, y la cantidad aproximada de aire de 1 % que se determina en la tabla 7-3.2, el contenido de arena se calcula a continuación; sabiendo que el volumen es igual al peso entre el peso específico:

- Volumen de agua =  $175/1000 = 0,175 \text{ m}^3$ .
- Volumen de los sólidos del cemento =  $318/(3,15 \times 1000) = 0,101 \text{ m}^3$ .
- Volumen de los sólidos de la grava =  $1260/[2,54 \times 1000] = 0,496 \text{ m}^3$ .
- Volumen de aire atrapado =  $0,01 \times 1000 = 0,010 \text{ m}^3$ .

Volumen total de sólidos  
excepto de arena =  $0,782 \text{ m}^3$ .

El volumen requerido de arena es:  $1000 - 0,782 = 0,218 \text{ m}^3$   
por lo tanto, el peso requerido de arena seca es:  
 $0,218 \times 2,62 \times 1000 = 571 \text{ kg}$ .

La variación existente entre ambos métodos es de  $667 - 571 = 96 \text{ kg}$ . Por los motivos anteriormente expuestos, se concluirá el ejemplo en base al peso, por lo tanto se considerará el va los correspondiente de  $667 \text{ kg}$  de arena.

**PASO 8. AJUSTES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.**  
Al usarse las proporciones de la prueba de mezcla en base al peso, los ajustes necesarios, al peso de los agregados son:

grava (mojada) =  $1260(1,031) = 1299 \text{ kg}$ .  
arena (mojada) =  $667(1,047) = 698 \text{ kg}$ .

Como se ha mencionado en Capítulos anteriores, el agua de absorción no forma parte del agua de mezclado, por lo cual debe excluirse. Por lo tanto, el agua que se forma parte del contenido de agua de mezclado es la Humedad Superficial, la cual se obtiene de la diferencia entre la Humedad Total y la Absor

ción. Para la grava, la Humedad Superficial es:  $3.1 - 2.3 = 0.8\%$ ; para la arena, tal valor es:  $4.7 - 2.5 = 2.2\%$ .

Los porcentajes de Humedad Superficial anteriormente citados que contribuyen al mezclado, se restan al contenido total de agua de mezclado. Con esto, se mantienen estables los 175 kg de agua [calculado en el paso 3] necesarios para la mezcla:

$$175 - 1260[0.008] - 667[0.022] = 150 \text{ kg.}$$

Los pesos estimados	agua agregada	150 kg
para un metro cúbico	cemento	318 kg
de concreto son :	grava mojada	1299 kg
	arena mojada	698 kg
	<hr/>	
	TOTAL	2465 kg

PASO 9. AJUSTES A LAS PRUEBAS DE MEZCLA.- Para las pruebas de mezcla en el laboratorio, se considera conveniente reducir a escala los pesos para producir 20 lt de concreto [0.02 m<sup>3</sup>]

agua agregada =	150[0.02] =	3.00 kg
cemento =	318[0.02] =	6.36 kg
grava mojada =	1299[0.02] =	25.98 kg
arena mojada =	698[0.02] =	13.96 kg
	<hr/>	
TOTAL =		49.30 kg

En seguida se debe obtener el rendimiento de la mezcla. Sin embargo, aún antes de obtener el revenimiento se aprecia que la mezcla no es trabajable. Esto da la pauta para aumentar de antemano el contenido de agua en un intento de obtener el revenimiento deseado de 8 a 10cm. A continuación se muestra tal modificación:

agua agregada	3.40 kg
cemento	6.36 kg
grava mojada	25.98 kg
arena mojada	13.96 kg
<hr/>	
TOTAL	49.70 kg

Se procede a obtener el Peso Volumétrico de la mezcla (para calcular el rendimiento) y también el revenimiento; tales valores son: Revenimiento= 5cm; Peso Volumétrico= 2425 kg/m<sup>3</sup>.

Para los fines del tipo de obra que se ejemplifica, se pueden considerar satisfactorios los resultados obtenidos, desde el punto de vista de la trabajabilidad y propiedades finales del concreto. No obstante, para proveer el rendimiento conveniente y otras características para realizar pruebas futuras, se hacen los siguientes ajustes.

El Rendimiento obtenido con los datos anteriores fue de:

$$\frac{\text{Peso Total } 49.70}{\text{Peso Vol. } 2425} = 0.0205 \text{ m}^3$$

Se calcula la cantidad de agua de mezclado, sumando el agua agregada (3.4kg), el Contenido de Humedad Superficial de los agregados adecuadamente reducidos a escala (por 0.02m<sup>3</sup>)

-agua agregada = 3.4 kg  
 -Humedad Superficial de la grava (reducida a escala) = 1260(0.008)X0.02 = 0.2 kg  
 -Humedad Superficial de la arena (reducida a escala) = 667(0.022)X0.02 = 0.29kg

---

TOTAL = 3.89kg

El agua de mezclado requerida para un metro cúbico de concreto con el mismo revenimiento al de la prueba de mezcla es :

$$\frac{3.89}{0.0205} = 190 \text{ kg}$$

Como se indicó en el inciso a del Paso 9 del Método del ACTI, se debe incrementar 2kg de agua por cm de revenimiento descuidado, y como se necesita aumentar 4cm aproximadamente para obtener el deseado de 8 a 10cm, queda entonces el total de agua de mezclado:  $190 + 8 = 198\text{kg}$ .

Al aumentar el agua de mezclado se necesita agregar más cemento para proveer la relación agua+cemento requerida de 0.55.

$$\frac{198}{0.55} = 360 \text{ kg}$$

El nuevo contenido de cemento resulta :

Al probar el revenimiento, se encuentra que es de 10 cm, lo cual es satisfactorio, por lo que la cantidad de grava por volumen unitario de concreto será mantenida la misma, como en la prueba de mezcla. La cantidad de grava por metro cúbico se convierte en:

$$\frac{25.98}{0.0205} = 1267 \text{ kg (mojada)}$$

Que equivale a:

$$\frac{1267}{1.031} = 1229 \text{ kg (seca)}$$

Y por el porcentaje de Absorción obtenemos el estado de Saturado Superficialmente Seco:  $1229(1.023) = 1257 \text{ kg (SSS)}$ .

La nueva estimación para el peso de un metro cúbico de concreto es el Peso Volumétrico medido de  $2425 \text{ kg/m}^3$ .

Por lo tanto la cantidad  $2425 \cdot [198 + 360 + 1257] = 610 \text{ kg (SSS)}$  de arena requerida es:

$$\text{o bien: } \frac{610}{1,025} = 595 \text{ kg (seca)}$$

Los Pesos básicos ajustados de la mezcla por metro cúbico de concreto son:

agua neta de mezclado = 198 kg  
cemento = 360 kg  
grava seca = 1229 kg  
arena seca = 595 kg

Es conveniente mencionar los pesos de los agregados en estado seco, como se mencionó en líneas arriba, ya que su estado Natural de Humedad es fluctuante. Sin embargo, para fines de este ejemplo, se mencionan a continuación los pesos húmedos:

agua agregada = 132 kg  
cemento = 360 kg  
grava húmeda = 1267 kg  
arena húmeda = 623 kg

## 6] SOLUCION EMPIRICA.

En el Apéndice D, se muestra una tabla muy práctica y de fácil uso, la cual nos servirá para comparar un método muy con fiable como el del ACT, con un Empírico:

En la Columna que indica la resistencia de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , a parecen las cantidades de materiales por bulto de cemento, en tre parentesis las que corresponden a concreto elaborado con agregado de TMN de 40 mm, tales valores son:

4.75 botes de grava  
3.00 botes de arena  
1.00 botes de agua  
1.00 bultos de cemento

Cada bote corresponde a  $0.018 \text{ m}^3$  [18 lt], por lo tanto hacemos la transformación requerida de número de botes a metros cúbicos:

4.75 (0.018) =  $0.0855 \text{ m}^3$  de grava  
3.00 (0.018) =  $0.0540 \text{ m}^3$  de arena  
1.00 (0.018) =  $0.0180 \text{ m}^3$  de agua  
50 kg de cemento

La tabla indica un rendimiento de 112 lt [ $0.112 \text{ m}^3$ ] con las cantidades anteriores de materiales, por lo que necesita mos 8.9 veces más material para completar  $1 \text{ m}^3$  de concreto, tal como lo señala la última fila de la tabla (Bultos por  $\text{m}^3$  de concreto)

8.9 (0.0855) =  $0.761 \text{ m}^3$  de grava  
8.9 (0.0540) =  $0.481 \text{ m}^3$  de arena  
8.9 (0.0180) =  $0.160 \text{ m}^3$  de agua  
8.9 (50.00) = 445 kg de cemento

Si consideramos que el Peso Volumétrico para ambos agregados es de  $1750 \text{ kg/m}^3$ , obtenemos la proporción final:

agua agregada = 160 kg  
cemento = 445 kg  
grava húmeda  $1750(0.761) = 1331 \text{ kg}$   
arena húmeda  $1750(0.481) = 842 \text{ kg}$

#### el INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Si comparamos los resultados de los 2 métodos, podemos observar que el proporcionamiento empírico está más elevado en casi todos los materiales. Es muy importante tener en cuenta que el Método del ACI está desarrollado para obtener resistencias medias (ver capítulo 13), mientras que la mayoría de los métodos empíricos como el que se ha desarrollado, toma en cuenta resistencias últimas. Sin embargo, sin temor a equivocarnos podríamos considerarla como una resistencia media, ya que casi siempre cumplen con la resistencia indicada, con lo cual tal comparación es fidedigna.

Los Métodos empíricos suelen considerar condiciones medias de Humedad de los agregados, y recordemos que los agregados de este ejemplo están totalmente húmedos. Por lo tanto teniendo eso en cuenta, la diferencia de 28 kg de agua entre ambos métodos queda compensada.

Al comparar el contenido de cemento, se verifica el por qué siempre se menciona que los métodos empíricos son muy costosos, ya que existe una diferencia de 85 kg, que representa, cerca del 25% más que el resultado obtenido por el ACI. Esto se explica debido a que los métodos empíricos tienen que asegurar la resistencia que indican, considerando condiciones desfa

vorables, como por ejemplo deficiencias granulométricas, mientras que el ACI considera los límites granulométricos adecuados.

En cuanto a los agregados se refiere, se puede notar un aumento en el contenido de éstos en el Método Empírico, especialmente en la arena, pero si tenemos en cuenta que la cantidad de agregados se especifica en botes de 18 litros, podemos notar que la cantidad es muy similar en ambos métodos, debido a que generalmente en la práctica, se usan botes abollados y aún estando nuevos, éstos nunca se llenan a su capacidad.

Se concluye pues, que el cemento es el único material fuera de orden, tal y como se suponía. De aquí la gran importancia de realizar un estudio de las condiciones económicas de la obra, ya que es preferible pagar horas-hombre, en la ejecución de las pruebas de laboratorio, que dejar innecesariamente grandes cantidades de cemento inmersas en el concreto.

# 9

## ADITIVOS

## 9-1 OBJETIVO.

Conocer los diferentes tipos de aditivos existentes y su utilización, para el mejoramiento de las características en el concreto.

## 9-2 INTRODUCCION.

Los aditivos pueden emplearse para modificar las propiedades del concreto, haciéndolo más adecuado para cierto trabajo, o con propósitos de ahorro de energía o disminuir el costo de una mezcla de concreto. En determinados casos, un aditivo puede ser el único medio de alcanzar el resultado deseado, como por ejemplo en la resistencia a la congelación - deshielo, no obstante, algunos problemas se resuelven mediante cambios en la composición o dosificación de la mezcla de concreto y no mediante el uso de algún aditivo.

Los aditivos no se deben considerar como sustituto de materiales defectuosos; tanto en sus propiedades físicas como granulométricas, ya que la baja resistencia que se pueda tener en el uso de agregados pétreos con exceso de partículas suaves o de arcilla difícilmente puede ser compensada con el empleo de algún aditivo.

La NOM define los aditivos comúnmente reconocidos, excepto aquellos cuyo uso da un tipo especial de concreto, como son los concretos expansivos, aislantes y celulares, reforzados

con fibras y con polímeros. Cuando se desee averiguar sobre estos concretos, se podrán consultar los comités del ACI siguientes: ACI 223, 523, 544 y 548.

#### 9-2.1 DEFINICION.

La Norma ASTM C-125: Definiciones Estándar y la Cement Concrete Terminology: ACI SP-19 definen un aditivo como: " Un material diferente del agua, de los agregados y del cemento hidráulico que se emplea como componente del concreto o mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado."

#### 9-2.2 RAZONES PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS.

En la práctica, se dan un sinnúmero de casos, en donde es muy conveniente el empleo de aditivos. Las razones en su uso son los cambios físicos y químicos generados en el concreto, tanto en estado fresco, como ya endurecido, así mismo, pueden implicar una disminución considerable en el costo de una obra. Frecuentemente, un aditivo permite la aplicación de métodos de construcción o de diseño menos costosos, por ejemplo, del empleo de aditivos retardantes han resultado diseños novedosos y económicos de unidades estructurales.

A continuación se mencionan algunas de las aplicaciones más importantes de los aditivos.

a) PARA AUMENTAR: La trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua, o para reducir el contenido de agua con la misma trabajabilidad; La penetración y la bombeabilidad; La tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas; La resistencia a compresión, tensión o flexión; La durabilidad o la resistencia

a condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales descongelantes; La adherencia del concreto con el refuerzo, así como de concreto viejo con nuevo; La resistencia a la abrasión y al impacto, etc.

b) PARA REDUCIR: El tiempo de fraguado o para crear expansión ligera; La segregación; La tasa de pérdida de revenimiento; La evolución de calor durante el endurecimiento temprano; El flujo capilar de agua; La permeabilidad a los líquidos; La corrosión del metal ahogado, etc.

c) PARA MODIFICAR: La tasa o capacidad de sangrado; El tiempo de fraguado inicial; La expansión causada por la reacción de álcalis con ciertos constituyentes de los agregados, etc.

d) PARA PRODUCIR: Concreto celular; Concretos o morteros con diversos tipos de color, etc.

### 9-2.3 PRECAUCIONES.

Después de haber mencionado los cambios físicos y químicos que proporciona la inclusión de algún aditivo, se puede inferir en la importancia que éstos representan. Se deberá prestar especial atención a las instrucciones indicadas por el fabricante del aditivo, y para obras muy importantes; su uso se deberá realizar, sólo después de haber evaluado apropiadamente sus efectos y especialmente cuando: Se especifican tipos especiales de cemento; Se va a emplear más de un aditivo o cuando el mezclado y el colado se lleven a cabo a temperaturas no ordinarias.

### 9-3 CLASIFICACION.

La NOM clasifica a los aditivos químicos para el concreto en 18 grupos, nominándolos con letras mayúsculas desde la A hasta la R. Cabe mencionar que muchas normas extranjeras, como el ACT, tienen otro tipo de agrupación de aditivos, sin embargo, esencialmente son los mismos a los indicados en la NOM, los cuales se mencionan en seguida.

TIPO A. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA.- Algunas mezclas de compuestos orgánicos e inorgánicos se usan como aditivos, ya sea para concreto con aire incluido como para concreto sin aire incluido, para disminuir el agua de mezclado requerida, o para modificar las propiedades de fraguado, o para sendos casos. Al disminuir el agua, se incrementa la consistencia de la mezcla con la misma relación agua-cemento y el mismo contenido de cemento. El efecto del empleo de estos materiales en el concreto ya endurecido es un aumento en la resistencia a compresión y cierta mejora en la impermeabilidad, así mismo, cuando se combina con una adecuada inclusión de aire, se mejora la resistencia al congelamiento y deshielo.

TIPO B. ADITIVOS RETARDANTES.- Su empleo más importante es para compensar el efecto acelerante y perjudicial de temperaturas elevadas, para mantener trabajable el concreto durante el periodo de colado y, consecuentemente, para eliminar las grietas debidas a las deflexiones de las cimbras. Los retardantes de fraguado se emplean también para mantener fluido el concreto, durante el tiempo suficiente para que puedan hacerse colados subsecuentes, sin el desarrollo de juntas frías o fallas de continuidad en la unidad estructural.

**TIPO C. ADITIVOS ACELERANTES.**- Se emplean para obtener resistencia temprana en la mezcla y acortar el tiempo de fraguado. Los beneficios en su empleo son múltiples, por ejemplo: Re moción más temprana de las cimbras, per íodos más cortos de pro tección necesaria para evitar daños al concreto por con gela ción u otros factores, para una terminación más temprana de una estructura o de una reparación, para balancear los efectos de bajas temperaturas sobre la velocidad del desarrollo de resistencia, así mismo, se puede iniciar más rápido el acabado de una superficie.

**TIPO D. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA Y RETARDANTES.**- Los lignosulfonatos y los ácidos carboxílicos hidroxilados retardan los tiempos de fraguado de 1 a 3 hr, cuando se utilizan a temperaturas entre 18 y 38°C. Los azúcares y sus ácidos, los carbohidratos, las sales de zinc, los boratos y fosfatos en forma no modificada retardan el fraguado del cemento Portland en diversos grados. Esto puede ser muy útil en la prevención del agrietamiento de vigas de concreto, de losas de puentes o de construcciones compuestas. La acción de estos aditivos depende del momento en que se agregan al concreto durante el ciclo de mezclado. La demora en la inclusión del aditivo, hasta 2 minutos después de comenzar el mezclado, aumenta el efecto retardante; incrementa la capacidad de incluir aire y mejora las propiedades reductoras de agua.

**TIPO E. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA Y ACELERANTES.**- Se utilizan para producir morteros o concretos de fraguado rápido, adecuados para operaciones de concreto lanzado, para el sellado de filtraciones o para otros fines especiales. Se pueden obtener tiempos de fraguado tan cortos como de 15 a 30 segundos, o mezclas listas para usarse de cemento, arena y acelerante

que tienen fraguado inicial de 1 a 4 min y fraguado final de 3 a 10 min. Estos aditivos mantienen la misma consistencia de la mezcla, no obstante que reduzcan el contenido de agua.

TIPO F. ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE.- Proporcionan considerable aumento a la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, aunque la principal característica de estos aditivos es la resistencia a la acción de congelación y deshielo cuando está críticamente saturado, también ayudan a reducir el sangrado y la segregación. La inclusión de aire generalmente reduce la resistencia, en particular en concretos con contenido de cemento de mediano a elevado.

TIPO G. ADITIVOS EXPULSORES DE AIRE.- Son productos que se adicionan durante el mezclado del concreto, con el objetivo de disminuir el exceso de aire retenido. Al combinarlo con un buen proceso de compactado, trae como consiguiente un concreto compacto con buena impermeabilidad y un incremento en la resistencia a compresión.

TIPO H. ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES.- Reducen la tasa de penetración de agua dentro de concreto seco, o en la tasa de transmisión de agua a través de concreto no saturado, del lado mojado al lado seco. También pueden tener algún efecto benéfico sobre las propiedades del concreto fresco, aunque no lo indique directamente por su nombre. Por ejemplo, puede propiciar la inclusión de aire, y por lo tanto se podrían considerar también como aditivos inclusores de aire. No obstante lo indicado anteriormente, hay muchos expertos en concreto que desprecian casi totalmente las características de este aditivo, según han mostrado sus investigaciones a largo plazo.

**TIPO I. ADITIVOS EXPANSORES.** - Se usan para mínimizar los efectos de la contracción por secado del concreto, ya que durante el período de hidratación se expanden o reaccionan con otros constituyentes del concreto para causar expansión. Se emplea muy poco en proyectos pequeños en los que se desea alcanzar diversos grados de expansión, pero tienen buena aceptación en proyectos grandes en los que se requiere un grado uniforme y predeterminado de expansión.

**TIPO J. ADITIVOS ESTABILIZADORES DE VOLUMEN.** - En esencia son iguales a los aditivos expansores, debido a que las partículas de gas generadas, controlan el volumen de la masa del concreto.

**TIPO K. ADITIVOS INHIBIDORES DE LA REACCION; AGREGADOS/ALCALIS.** - Son productos que disminuyen la expansión en los agregados producida por la reacción entre ciertos constituyentes silíceos de los mismos y los alcalis del cemento. Debido a la escasez de investigaciones sobre estos aditivos, es muy conveniente que el usuario los pruebe a conciencia antes de emplearlos en la obra.

**TIPO L. ADITIVOS ADHERENTES.** - Aumentan las propiedades de adherencia del cemento Portland y usualmente también el contenido de aire de la mezcla en la que se emplean. Normalmente los fabricantes recomiendan la inclusión de este aditivo de entre el 5 al 20 % por peso de cemento, con lo cual el concreto fresco presenta una consistencia pegajosa. Se emplean satisfactoriamente en operaciones de parchado, cuando se necesitan remiendos delgados, teniendo que estar la superficie limpia, firme y libre de materias extrañas, como pintura, grasa y polvo.

TIPO M. ADITIVOS COLORANTES.- Se formulan para producir el color adecuado sin afectar las propiedades físicas convenientes de la mezcla. Existen pigmentos tanto naturales como sintéticos que se pueden combinar para obtener gran diversidad de colores.

TIPO N. ADITIVOS INHIBIDORES DE LA CORROSION.- Son productos que se usan para reducir el efecto corrosivo de los cloruros en el concreto, que afectan al acero de refuerzo.

TIPO O. ADITIVOS MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS.- Generalmente son polvos más finos que el cemento Portland. Por tal motivo, influyen en las propiedades físicas de la pasta fresca en forma similar a como lo hace el cemento. Estos aditivos ayudan al desarrollo de resistencia del concreto y disminuyen la cantidad de cemento para producir determinada resistencia.

TIPO P. ADITIVOS FLOCULANTES.- Son polielectrolitos sintéticos que disminuyen el sangrado y aceleran dicho fenómeno, incrementan la cohesión y la resistencia tierna.

TIPO Q. ADITIVOS FUNGICIDAS, GERMICIDAS E INSECTICIDAS.- Como su nombre indica, estos aditivos controlan el desarrollo de hongos, gérmenes e insectos respectivamente. Estos problemas se suelen dar en climas húmedos y calurosos, especialmente en pisos y muros de concreto.

TIPO R. ADITIVOS PARA INYECCION.- Estos aditivos se usan para mejorar la trabajabilidad y fluidez en la mezcla de concreto, así también, retardan el fraguado, evitan la segregación y la rápida pérdida de agua, en las mezclas de inyección.

**10**ELABORACION DE UNA MEZCLA DE  
CONCRETO CON ALGUN ADITIVO

## 10-1 OBJETIVO.

*Mostrar la utilidad de un aditivo en la modificación de las propiedades de una mezcla de concreto.*

## 10-2 INTRODUCCION.

*El empleo de un aditivo supone, en primer lugar, que haya sido bien escogido y, a continuación, que esté correctamente utilizado. Es muy importante tener en cuenta las recomendaciones de empleo que indique el fabricante, ya que el uso de cada tipo de aditivo puede variar considerablemente según la marca.*

*Existen ciertas precauciones que se deben cuidar para obtener los resultados deseados; Por ejemplo, los productos en polvo se deben conservar en un sitio seco para evitar atorrónamiento; Los Productos líquidos, se deben agitar perfectamente antes de su utilización, para evitar la formación de sedimentos; Para todos los productos, se debe cerciorar de que no se haya excedido el plazo límite de utilización del aditivo.*

*Una dosificación correcta debe ir necesariamente asociada a una buena distribución y cantidad de aditivo. Así por ejemplo, en obras pequeñas se puede realizar la dosificación por medio de recipientes graduados o por medio de saquitos dosificadores, cuyo contenido corresponde a lo necesario para un sacco de 50 kg de cemento. En obras grandes, generalmente se usan dosificadores que automáticamente controlan el volumen y*

pueden funcionar continua o discontinuamente.

A continuación se resolverá un ejemplo utilizando un aditivo acelerante:

#### EJEMPLO.-

Se necesita realizar el revestimiento de un túnel, mediante el lanzamiento del concreto, para ello se requiere la introducción de un aditivo que logre reducir el tiempo de fraguado. Las especificaciones son las siguientes:

- Resistencia promedio:  $400 \text{ kg/cm}^2$  (ver capítulo 13)
- Agregado Grueso con TMN (tamaño Máximo Nominal) de: 25 mm.
- Revenimiento de 15 cm.

Usaremos los mismos datos del Capítulo 8 para los agregados:

-Grava:	Peso Volumétrico Varillado	$1750 \text{ kg/m}^3$
	Peso Específico	2.54
	Absorción	2.3%
	Humedad Total	3.1%
-Arena:	Módulo de Finura	2.8
	Peso Específico	2.62
	Absorción	2.50%
	Humedad Total	4.7%

### 10-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Equipo necesario para realizar las pruebas índice.
- Cemento , aditivo, grava, arena y agua suficientes.

- ↖Pala y cubeta.
- Revolvedora.
- Cono de Abrams con sus implementos.
- Báscula.

#### 10-4 DESARROLLO.

La cantidad de aditivo que se requiere por bulto de cemento, varía entre 2 y 5% dependiendo del tipo de cemento, de la distancia entre la preparación de la mezcla y el punto de lanzamiento, el avance de obra, etc.

En obras como la que aquí se ejemplifica, es muy recomendable realizar previamente pruebas para determinar la cantidad necesaria de aditivo.

Existen en el mercado varios tipos de aditivos que se podrían utilizar satisfactoriamente. Se usará por ejemplo el LANZACRET LIQUIDO de PROCONSA, el cual es un líquido verdoso y tiene la ventaja de incorporarse a la mezcla junto con el agua, ya que es soluble en ésta.

La Dosificación se hará con Cemento Tipo I, agregando 2 kg de aditivo por cada bulto de cemento.

Cabe mencionar, que aunque el objetivo específico del ejemplo enunciado sea para el recubrimiento de un túnel, también se puede utilizar esa misma mezcla con otros fines, en los cuales se requiera un fraguado rápido.

A continuación se seguirá el Método del ACI para la solución del ejemplo:

En la tabla 7-3.2 encontramos el contenido de agua de mezclado :  $205 \text{ kg/m}^3$ .

El valor de la relación agua-cemento se obtiene de la tabla 7-3.3a: 0.43.

El contenido de cemento es:  $205 \text{ kg/m}^3 / 0.43 = 477 \text{ kg/m}^3$   
 La cantidad de grava se obtiene de la tabla 7-3.4:  $0.67\text{m}^3$ . Por lo tanto, su peso es de  $0.67 [1750] = 1173 \text{ kg}$ .

El peso de un metro cúbico se obtiene de la Tabla 7-3.5:  $2375 \text{ kg}$ , por lo cual el contenido de arena es:  
 $2375 - (1173 + 477 + 205) = 520 \text{ kg}$ .

Los ajustes por Humedad se realizan de la siguiente manera:

grava mojada =  $1173 [1.031] = 1209 \text{ kg}$   
 arena mojada =  $520 [1.047] = 544 \text{ kg}$

Los porcentajes de humedad superficial que contribuyen al mezclado, se restan al contenido total de agua de mezclado:  
 $205 + 1173 [0.008] + 520 [0.022] = 184 \text{ kg}$ .

Los pesos estimados	agua agregada	184 kg
para un metro cúbico	cemento	477 kg
de concreto incluyen -	grava mojada	1209 kg
do 2 kg. de aditivo	arena mojada	544 kg
por cada 50kg de cem.	ADITIVO: $477 \times 2/50$	19 kg
		<hr/>
	TOTAL	2433 kg

En seguida se procede a realizar los ajustes, en caso de que sea necesario, para ello se reducen a escala los pesos, para producir 20 litros de concreto.

agua agregada 3.68 kg  
 cemento 9.54 kg  
 grava mojada 24.18 kg

arena mojada 10.88 Kg

ADITIVO 0.38 Kg

TOTAL 48.66 Kg

Una vez obtenida la dosificación, se procede a agitar perfectamente bien el aditivo, hasta obtener un fluido homogéneo (el aditivo viene en presentaciones de 19 y 200 lt.) en seguida se pesan 380 gr del mismo y se mezcla perfectamente con los 3680 gr de agua agregada.

Finalmente, se procede en forma similar a como se indicó en los capítulos 7 y 8, teniendo cuidado en la verificación del revenimiento principalmente.

**11**PRUEBAS DE COMPRESION EN  
CILINDROS DE CONCRETO

## 11-1 OBJETIVO.

*Determinar mediante las pruebas de compresión, la resistencia última de especímenes cilíndricos de concreto.*

## 11-2 INTRODUCCION.

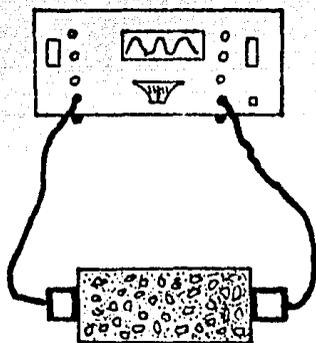
*Es práctica común obtener la resistencia a compresión del concreto mediante el aplastamiento de especímenes cilíndricos, debido, tanto a la facilidad de realizar las pruebas, como por la confiabilidad en los resultados. Para ello se debe uniformizar antes la superficie de los cilindros para que exista una transmisión adecuada de los esfuerzos que aplica la máquina. Estas pruebas se denominan " Métodos Directos ", pero también existen otro tipo de pruebas que no afectan la estructura física de los cilindros, llamados "Métodos Indirectos o no Destructivos", sin embargo aún no brindan la misma confiabilidad que los métodos directos.*

*Los ensayos no destructivos se refieren a un conjunto de técnicas destinadas a inspeccionar o probar un material sin perjudicar su futuro empleo e inclusive estando ya en servicio. Estos ensayos permiten obtener ciertas propiedades del concreto, generalmente elásticas y mediante algunas correlaciones ya tabuladas o graficadas, se puede determinar la resistencia.*

*Debido a la heterogeneidad de la masa del concreto, es e*

vidente, que los resultados obtenidos no brindan la misma fiabilidad que los métodos directos, sin embargo, tienen muchas ventajas sobre éstos. Su uso pués, es alternativo o para una estimación más bien cualitativa del concreto.

Los ensayos indirectos más comunes son los ultrasónicos, los cuales registran la velocidad de los impulsos de las vibraciones que pasan a través del concreto, lo que permite conocer:



La calidad (resistencia) del concreto en comparación de ensayos normalizados; El módulo de Elasticidad; Homogeneidad de la masa y la presencia de fisuras u oquedades.

Para el empleo de este método, hay que tener cuidado en seguir paso a paso las instrucciones que indique el fabricante del aparato medidor en su respectivo manual.

Este método tiene la gran ventaja de poderse realizar en cualquier tipo de forma que tenga el concreto, ya sea en espe  
címenes cuadrados, cilíndricos, etc, como también en elementos  
estructurales. La condición es que los extremos metálicos del medidor, estén perfectamente unidos a la superficie del concre  
to, para lo cual se les unta una pasta especial.

El índice de resistencia más común para el concreto es el que se obtiene del ensayo de compresión simple, debido a que se lleva hasta la falla al concreto. Se ha correlacionado esta propiedad con la resistencia de elementos estructurales de di  
versos tipos. En seguida se muestra la prueba de compresión en cilindros de concreto

### 11-3 MATERIAL Y EQUIPO,

- Azufre para uniformizar las caras expuestas de los cilindros.
- Jarra para fundir el azufre.
- Parrilla eléctrica.
- Dispositivo metálico para realizar el cabeceo.
- Máquina de prueba.
- Compás (como vernier) para medir diámetros exteriores.
- Especímenes.

### 11-4 DESARROLLO,

PASO 1. La prueba de compresión en cilindros de concreto debe ser hecha tan pronto como sea posible después de retirar los especímenes del cuarto de curado. La resistencia última se especifica a los 28 días, sin embargo, es práctica común calcular resistencias intermedias a los 7 y 14 días.

Antes de colocar el espécimen en la máquina Universal de prueba, se debe verificar que exista una transmisión uniforme de los esfuerzos aplicados, para ello, ninguno de los 2 extremos de los especímenes, se debe apartar de la perpendicular al eje en más de  $0.5^\circ$  (aproximadamente 3mm en los 30cm de altura del espécimen), también se debe verificar que la superficie de las bases esté tersa, sin que se encuentren montículos mayores de 0.25 mm.

Con las restricciones anteriormente citadas, se vuelve necesario cabecear con azufre de alta resistencia (también se puede usar cemento puro) los extremos de los especímenes, tal y como se indica en el Apéndice B, "cabeceo".

PASO 2. Se determina el diámetro del espécimen con una aproximación de 0.25mm, promediando la medida de 2 diámetros

perpendiculares entre sí, en la mitad del espécimen.

PASO 3. Se limpian las superficies de los bloques superior e inferior y las del espécimen de prueba; se coloca el espécimen sobre el bloque inferior alineando su eje cuidadosamente, mientras el bloque superior se baja hacia el espécimen, se gira lentamente su parte móvil a mano, para obtener un contacto uniforme.

PASO 4. La carga se aplica a una velocidad constante y continúa sin producir impactos, a una velocidad aproximada de  $140 \text{ kg/cm}^2$  por minuto, hasta que falle el espécimen. Se registra la carga máxima soportada durante la prueba, se describe el tipo de falla y la apariencia del concreto.

PASO 5. Se calcula la resistencia a compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal (con el diámetro obtenido en el paso 2). Se expresa el resultado de la prueba con una aproximación de  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

PASO 6. El informe debe incluir los datos siguientes:

- 6.1 Número de identificación del espécimen.
- 6.2 Edad del espécimen.
- 6.3 Diámetro en cm.
- 6.4 Longitud en cm.
- 6.5 Área de la sección transversal, en  $\text{cm}^2$ .
- 6.6 Peso del espécimen en kg.
- 6.7 Carga máxima en kg.
- 6.8 Resistencia a la compresión con aproximación de  $1 \text{ kg/cm}^2$ .
- 6.9 Descripción de la falla.
- 6.10 Defectos observados en el espécimen.

# 12

## PRUEBA DE TENSION BRASILEÑA EN CILINDROS DE CONCRETO

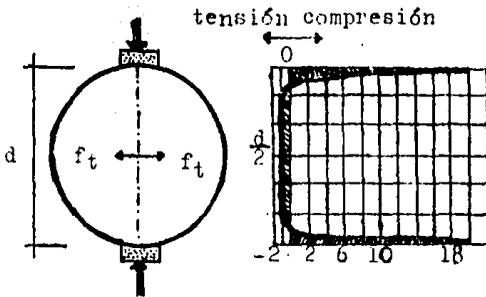
### 12-1 OBJETIVO.

Conocer el método de prueba para determinar la resistencia a la tensión, por compresión diametral de especímenes cilíndricos de concreto.

### 12-2 INTRODUCCION.

La determinación de la resistencia a tensión del concreto por compresión diametral, es un ensaye indirecto ideado en Brasil por Lobo Carneiro en 1948 y, casi simultáneamente en Japón por Akazawa. Este método es más fácil de realizar, comparado con el de tensión uniaxial, debido a las dificultades que éste último ofrece.

La prueba de Tensión Brasileña, consiste en aplicar la carga a través de un material relativamente suave, como triplay o corcho. Esto origina esfuerzos de tensión casi uniformemente distribuidos en el plano diametral, el cual se muestra en la figura con línea punteada. Sin embargo, no en todo ese plano existen esfuerzos de tensión, sino que en los casquetes del cilindro se generan esfuerzos de compresión.



En la figura anterior, se muestra al cilindro de concreto en posición horizontal y las fuerzas que interactúan en él. También se muestran los esfuerzos de tensión y los de compresión que se generan en los casquetes del cilindro.

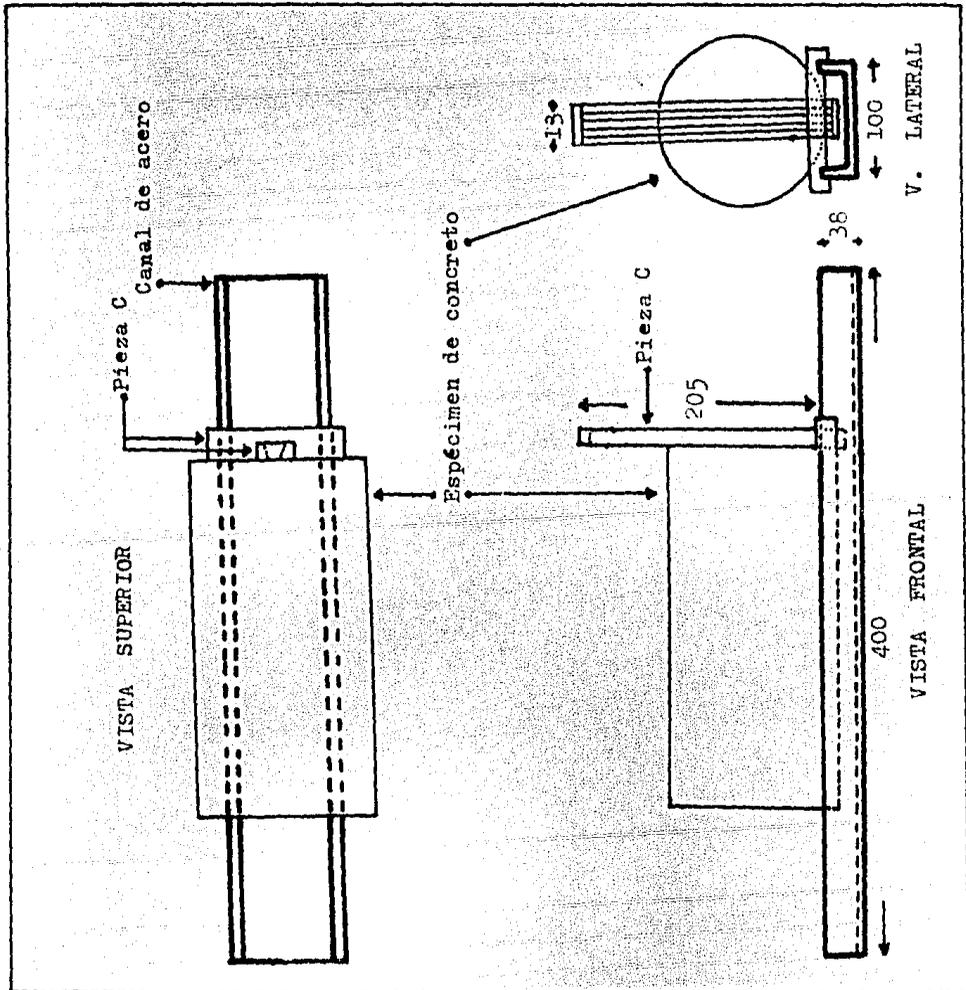
La resistencia en tensión que se obtiene de la prueba Brasileña no es la misma que se obtendría en un ensayo a tensión uniaxial. Sin embargo, se logra una aproximación satisfactoria y también una ejecución rápida y fácilmente reproducible.

### 12-3 MATERIAL Y EQUIPO.

- Máquina de prueba (Máquina Universal).
- Barra o placa de carga suplementaria. Se pueden usar si el diámetro o la dimensión mayor de los bloques de carga superior o inferior es menor que la longitud del cilindro de prueba. Las barras o placas deben ser de acero con caras planas y deben usarse en tal forma, que transmiten uniformemente la carga aplicada.
- Tiras de carga. Para cada prueba se necesitan 2 tiras de madera de triplay, neopreno o similar, libre de imperfecciones y con un espesor de 3 mm y ancho de 25 mm aproximadamente y una longitud igual o ligeramente mayor que el espécimen. Las tiras de carga se colocan entre el espécimen y ambas platinas de carga, superior e inferior de la máquina de prueba o entre el espécimen y las placas suplementarias cuando se utilicen. Después de cada prueba las tiras de triplay deben desecharse.
- Dispositivo para trazar líneas diametrales. Debe constar de una canal de acero de 100 mm de ancho y una longitud de 400 milímetros, con los patines maquinados para presentar sus orillas planas, como se muestra en la figura 12-3.1. El dispositivo también debe tener una pieza vertical "C" que tie

ne una ranura longitudinal, que sirve de guía al lápiz para marcar el espécimen y en su parte inferior se une a una placa que desliza sobre los patines de la canal (fig. 12-3.2).  
 -Vernier y longímetro. Para medir el diámetro y longitud del cilindro de prueba respectivamente.

FIG. 12-3.1 DISPOSITIVO PARA MARCAR LOS DIAMETROS DE LOS ESPECIMENES



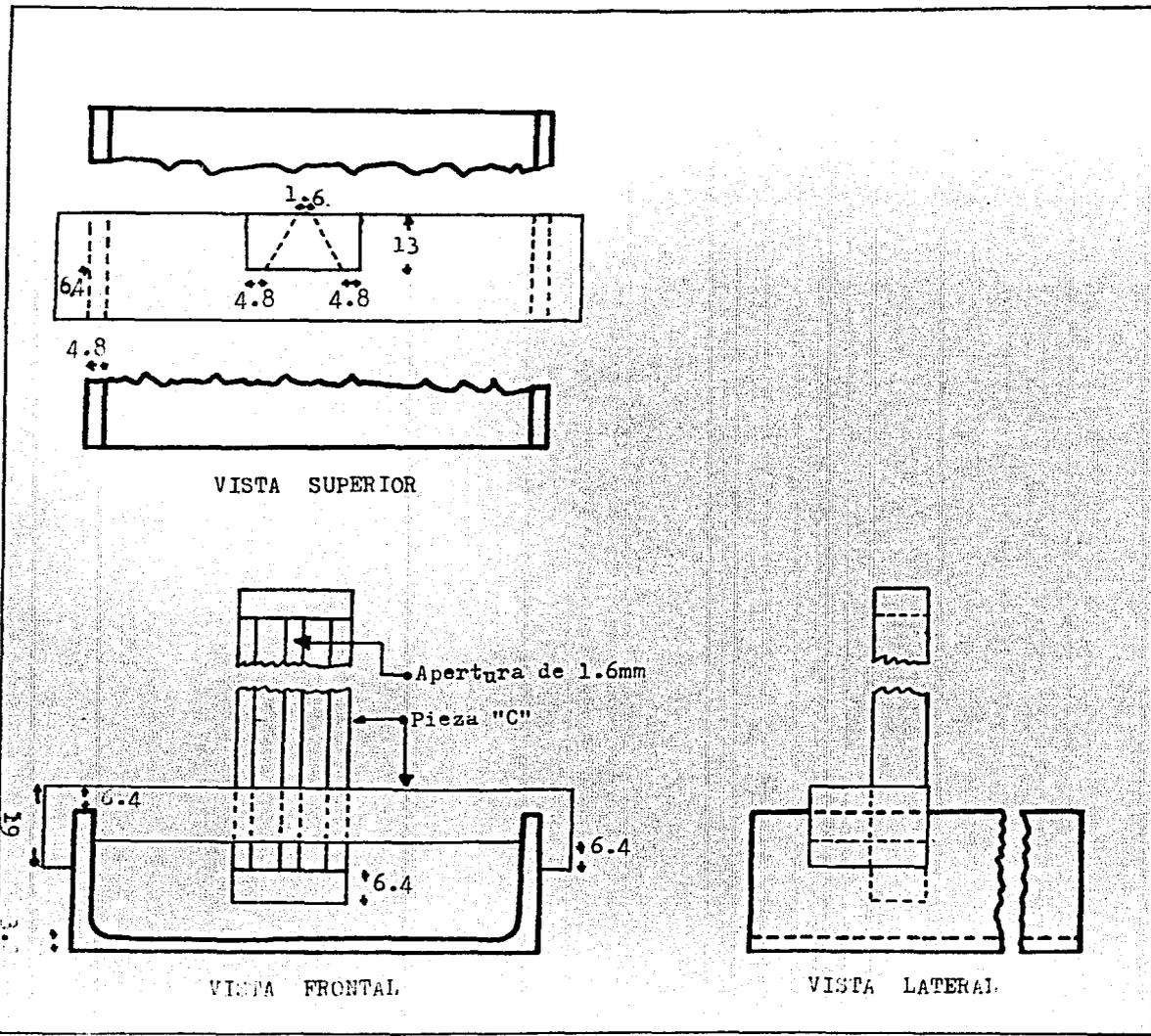


FIG. 12-3.2 DETALLE DE PIEZA C

## 12-4 DESARROLLO.

PASO 1. Se dibujan las líneas diametrales en cada extremo del espécimen, usando el dispositivo indicado en el inciso 12-3, asegurando que las líneas estén verticales, es decir, en el mismo plano diametral

PASO 2. Se determina el diámetro del espécimen de prueba con una aproximación de 1.0 mm, calculando el promedio de 3 diámetros; uno al centro y otro a cada extremo del cilindro, asegurándose que las 3 mediciones estén en línea vertical, es decir, contenidos dentro del plano que incluye las líneas marcadas en cada extremo. Posteriormente se determina la longitud del espécimen con aproximación de 1.0 mm, promediando por lo menos 2 medidas de longitud, tomadas en el plano que contienen las líneas marcadas en los extremos.

PASO 3. Se procede a centrar el espécimen en la máquina de prueba como se indica en la fig. 12-4.1, empleando las ll

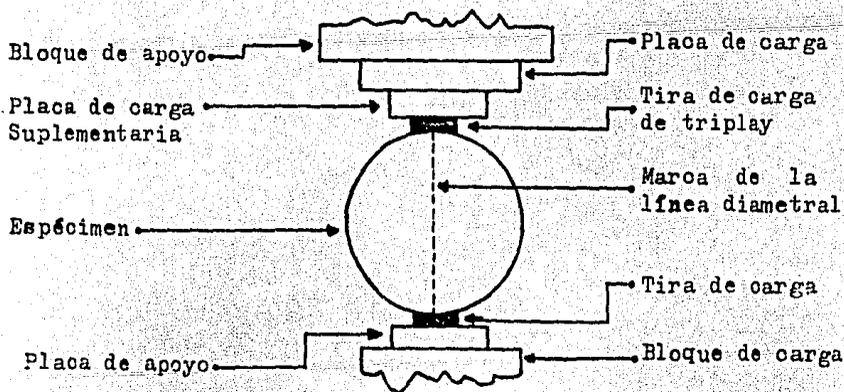


FIG. 12-4.1. ESPECIMEN EN LA MAQUINA DE PRUEBA

neas diametrales marcadas.

Se centra una de las tiras de carga sobre la platina inferior. Se coloca el espécimen sobre la tira y se alinea en forma tal, que las líneas marcadas en los extremos del cilindro estén verticales y centradas con relación a las tiras. Se coloca la 2° tira de carga, longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo con relación a las líneas marcadas en los extremos del cilindro y se acomoda el conjunto para asegurar que se cumplan las condiciones anteriores.

PASO 4. Se aplica la carga en forma continua sin impacto, a velocidad constante de tal manera, que se logren esfuerzos de tensión por compresión diametral de 5 a 15 kg/cm<sup>2</sup> por minuto hasta la falla del espécimen, para cilindros de 15 por 30 cm, el rango de esfuerzos de tensión corresponde a una carga aplicada aproximada de entre 3500 y 10600 kg. por minuto.

Se registra la carga máxima aplicada, indicada por la máquina de prueba en el momento de la falla. Se deben observar el tipo de falla y la apariencia del concreto.

PASO 5. Se calcula la resistencia a la tensión por compresión diametral del espécimen con aproximación de 0.5 kg / cm<sup>2</sup> con la fórmula siguiente:

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad \text{donde:}$$

T= Resistencia a la tensión por compresión diametral, en kg/cm<sup>2</sup>.

P= Carga máxima aplicada en kg.

l= longitud en cm.

d= diámetro en cm.

PASO 6. Para finalizar con la prueba, la NOM C 163 1986, incluye un reporte con la información siguiente:

- 6.1 Número de identificación.
- 6.2 Diámetro y longitud en cm.
- 6.3 Carga de ruptura en kg.
- 6.4 Resistencia a la tensión por compresión diametral, con aproximación de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ .
- 6.5 Porcentaje estimado de agregado grueso fracturado en la prueba.
- 6.6 Edad.
- 6.7 Historia del curado.
- 6.8 Defectos.
- 6.9 Tipo de falla.
- 6.10 Tipo de espécimen.

INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS  
DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO.

## 13-1 OBJETIVO.

*Interpretar la información obtenida en los ensayos a compresión de especímenes de concreto.*

## 13-2 INTRODUCCION.

*Es de relevante importancia el criterio usado para la designación de la resistencia del concreto. El resultado del ensayo de resistencia se podría expresar como la media entre los valores individuales determinados, ya que la probabilidad de que se presente un valor bajo es la misma de que se presente un valor alto. Este valor medio es el que se obtendría en un laboratorio, que busca la carga unitaria de rotura del material, empero, el punto de vista del proyectista no es éste, ya que no es posible una compensación de resistencias entre los diversos puntos de una estructura, de la misma manera que en una cadena no se compensan los eslabones resistentes con los débiles, existiendo una mayor probabilidad de falla en aquellos puntos donde exista una resistencia inferior a la media.*

*Tampoco se puede tomar el valor más bajo obtenido en los ensayos, debido a las imprecisiones en las múltiples variables que entran en ello y una ínfima probabilidad de ocurrencia, así como un incremento irracional en el costo del concreto.*

*A continuación se menciona la manera de designar la resistencia del concreto.*

### 13-3 EVALUACION DE DATOS.

En el capítulo 11 se mencionó la determinación de la resistencia a compresión del concreto, mediante el ensaye de cilindros de compresión simple. Generalmente se suelen tomar 2 ó 3 probetas de una misma muestra de concreto y de las resistencias obtenidas se halla el promedio. Sin embargo, una serie de resultados como tal, carece de significación, por lo cual se hace necesario procesarla estadísticamente para llegar a tener unos parámetros que permitan hacer una evaluación de los resultados obtenidos. Así, se puede cuantificar el grado de uniformidad del producto que se está probando.

Las medidas más comunes del grado de uniformidad del producto son la DESVIACION ESTANDAR y EL COEFICIENTE DE VARIACION, tal y como se demuestra más adelante con un ejemplo.

#### RESISTENCIA MEDIA.

El parámetro más sencillo que podemos obtener, nos da una información respecto a la tendencia central de las resistencias y se define como la resistencia media o promedio.

$$R_m = \frac{\sum R_i}{n} \quad \text{donde:}$$

$R_m$  = Resistencia media o promedio en  $\text{Kg/cm}^2$ .

$R_i$  = Suma de las resistencias individuales de los especímenes

$n$  = Número de especímenes.

La resistencia media proporciona una valiosa información sobre el concreto analizado, pero es insuficiente, porque no

nos indica como ha sido la homogeneidad del concreto, ya que se pueden obtener resistencias medias exactamente iguales con resistencias todas muy próximas a la resistencia media, o con resistencias muy alejadas por sobre y por debajo de la media. Por ejemplo: 190 y 210 da una media de 200, pero también se obtiene una media similar con 100 y 300, en donde es obvio pensar que una resistencia de 100 kg/cm<sup>2</sup> puede ser catastrófica en una obra.

### DESVIACION ESTANDAR

Sabemos entonces la necesidad de encontrar una medida que nos indique que tan dispersos están los datos obtenidos en los ensayos, una medida tosca de esta dispersión sería la diferencia entre el valor máximo y el mínimo. En el pequeño ejemplo citado en líneas arriba sería 30 y 200 respectivamente, lo cual rápidamente nos damos cuenta que una diferencia de 200 en una resistencia de 200 kg/cm<sup>2</sup>, estaría fuera de control.

Para medir la dispersión de datos se utiliza frecuentemente la Desviación Estándar, que se puede considerar como el radio de giro de los datos respecto al promedio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(R_i - R_m)^2}{n - 1}}$$

Donde:

- $\sigma$  = Desviación estándar en kg/cm<sup>2</sup>.
- $R_i$  = Resistencias individuales en kg/cm<sup>2</sup>.
- $R_m$  = Resistencia media en kg/cm<sup>2</sup>.
- $n$  = Número de muestras.

También se emplea otro parámetro, el cual mide relativa

mente la *Dispersión*. Este corresponde a la *desviación típica* referida a la *resistencia media*, en porcentaje.

#### COEFICIENTE DE VARIACION.

Para hacer comparaciones válidas entre las *dispersiones* de dos conjuntos de datos, se deben relacionar las *desviaciones estándar* con los valores promedio correspondientes. Así, por ejemplo, una *desviación estándar* de  $30 \text{ kg/cm}^2$  en un *concreto* de  $100 \text{ kg/cm}^2$  de *resistencia promedio* representa *evidentemente* una *Dispersión* mayor que la misma *desviación* en otro de  $500 \text{ kg/cm}^2$ . Se define por lo tanto el *coeficiente de variación* de la siguiente manera:

$$v = \frac{\sigma}{R_m}$$

El *coeficiente de variación* es *adimensional*, se expresa usualmente en *por ciento* y proporciona una *comparación válida* entre conjuntos de datos de *distintos órdenes* de magnitud.

Para comprender los *términos* anteriores, a *continuación* se *ilustrará* un ejemplo.

#### EJEMPLO.

En la *tabla 13-3.1* se muestra 2 *series* de datos de *diferentes concretos*, se trata de *determinar* cual de ambos *concretos* ofrece *resistencias* más *uniformes* que conllevan a un *grado* de *seguridad* aceptable para el *desarrollo* de una obra.

Para *determinar* tal *incógnita*, basta con *obtener* la *desviación estándar* y el *coeficiente de variación* para *realizar* un *análisis* de ambos *resultados*.

TABLA 13-3,1 RESISTENCIAS INDIVIDUALES  
DE ESPECIMENES DE CONCRETO

Grupo 1	Grupo 2
115	193
131	202
257	207
267	196
230	202

Resultados:

Grupo 1	Parámetros	Grupo 2
200	Promedio ( $R_m$ )	200
71.81	Desviación Estándar ( $\sigma$ )	5.52
35.91	Coefficiente de Variación ( $v$ )	2.76

De los resultados anteriores, resulta evidente que el grupo número 2 de especímenes tiene mejor uniformidad de resistencias que el grupo 1.

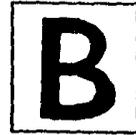
El método de dosificación de mezclas de concreto, se debe elegir según la importancia de la obra y de acuerdo a las condiciones económicas. En muchas ocasiones se utilizan métodos empíricos en obras que realmente es requerido un análisis de los componentes del concreto, con un consecuente despilfarro de cemento.

En obras especiales o muy grandes, puede ser necesario otro tipo de pruebas de las aquí descritas, o también cuando se desconocen por completo las características de los agregados en algún banco nuevo. Tales pruebas pueden incluir análisis de reacción química, exámenes petrográficos, sanidad, durabilidad, resistencia a la abrasión y otras.

Una vez que se conocen las propiedades de los agregados, es muy importante la elección del tipo de cemento requerido para las condiciones de la obra, para posteriormente realizar un adecuado mezclado de la mezcla, así como una cuidadosa ejecución en todas las etapas de la fabricación y colocación del concreto.

Se debe tener especial cuidado en el manejo de los porcentajes de absorción y humedad de los agregados, ya que es muy común cometer errores, principalmente en la colocación del punto decimal. También hay que atender a las definiciones que cada tratado ofrece, debido a que existen concepciones diferentes en algunos aspectos, como es el caso del contenido de humedad total.

DEFINICIONES



**ABERTURA DE LA MALLA.**- Es la separación libre entre los alambres que forman cada cuadro del tejido.

**ABRASIÓN.**- Es la propiedad que tiene la masa de concreto de resistir el desgaste ocasionado por la fricción.

**AGREGADO DE BOLEOS.**- Se consideran boleos, a las piedras grandes mayores de 10cm, pero que tengan un peso menor de 45kg.

**AGREGADO CICLOPEO.**- Piedras grandes usadas para concreto en masa, tienen un peso mayor de 45 kg.

**AGREGADO FINO.**- Lo conforma la arena o materiales que pasen la malla No. 4.

**AGREGADO GRUESO.**- Son los agregados ciclopeos, de boleos y las gravas.

**BURETA.**- Tubo de vidrio graduado con llave en un extremo y en el otro abierto.

**CABECEO.**- Consiste en aplanar o uniformizar las bases de los especímenes de concreto para la prueba a compresión simple, ya sea con cemento o con azufre, siendo éste último el más usado. Para el cabeceo con azufre se emplean platos metálicos, unidos al soporte del dispositivo cabeceador. Primeramente se prepara el mortero de azufre para su empleo, calentándolo a  $140 \pm 10$  °C (teniendo cuidado de no sobrepasar su punto de ignición de aprox. 225°C, ya que se puede incendiar éste).

La mezcla de azufre nuevo debe estar seca ya que la humedad puede producir espuma. El plato metálico debe ser calentado ligeramente antes de ser empleado para disminuir la veloci-

dad de endurecimiento y permitir la elaboración de capas delgadas. Antes de vaciar cada capa, se aceita ligeramente el plato de cabeceo y se agita el mortero de azufre fundido.

**COLAR.**- Es la acción de vaciar en un molde, el concreto con cierto grado de fluidez para que posteriormente endurezca.

**CÓNCRETO PESADO.**- Llega a alcanzar pesos volumétricos tan altos como  $5600 \text{ kg/m}^3$ , usando agregados pesados tales como mineral de hierro, barita o fragmentos y recortes de hierro. Aunque cada uno de estos materiales tiene sus propias características, pueden procesarse para que cumplan con los requerimientos estándar de granulometría, sanidad, limpieza, etc.

**CONSISTENCIA DE LA MEZCLA.**- Significa el grado de humedad de la mezcla de concreto. Se debe distinguir de la trabajabilidad, ya que mezclas de la misma humedad (consistencia), pueden variar en trabajabilidad.

**CRIBA.**- Constituye tanto el marco como la malla que lleva fijada. Sirve para clasificar materiales sólidos en sus diversos tamaños.

**CUARTEO.**- Se conoce al procedimiento mediante el cual se escoge una muestra representativa del material, se realiza de la siguiente manera: En una superficie plana, dura y limpia, en donde no exista pérdida de material ni contaminación, se mezcla el material traspaleando toda la muestra en una pila cónica, depositando cada palada sobre la anterior. Se aplanan la pila con la pala hasta espesor y diámetro uniformes. El diámetro debe ser aproximadamente de 4 a 8 veces el espesor; se divide la pila aplanada en 4 partes iguales, se eliminan 2 partes diagonales opuestas, se limpia el lugar dejado, se mezcla y cuarteo sucesivamente hasta obtener el peso deseado.

**GRANULOMETRÍA.**- También se le llama Análisis Granulométrico

co. Es la ordenación de tamaños decrecientes, expresada como distribución porcentual en peso.

MAJLA.- Es la tela de alambre entretrejido que forma cuadros de medidas iguales.

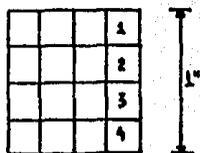
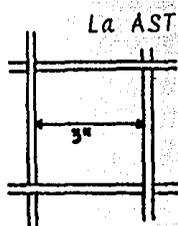
MARCO.- Es el anillo metálico que soporta la malla sin de formarla.

MODULO DE FINURA.- Es un valor empírico igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las cribas siguientes (clasificación Tyler Estándar): No. 4, 8, 14, 28, 48 y 100. El módulo de finura indica la proporción de finos en el agregado, sirve para clasificar la arena en:

Módulo de Finura	Clasificación
Menor de 2,0	Muy fina
2,0 a 2,3	Fina
2,3 a 2,6	Media Fina
2,6 a 2,9	Media
2,9 a 3,2	Medio gruesa
Mayor de 3,5	Muy gruesa

SANIDAD.- Es la propiedad que tiene la mezcla de concreto para resistir y permanecer inalterable bajo condiciones de servicio que generan acciones destructivas, como cambios de volumen o de humedad, variaciones extremosas de la temperatura y hasta en algunos casos por efecto de congelación y deshielo. La prueba con que se mide la sanidad de los agregados se denomina " Prueba del Intemperismo acelerado ".

DENOMINACION DE MALLAS



La ASTM denomina a las mallas de 2 formas: Por pulgadas y por número. En la figura se aprecia un ejemplo de tal denominación; La malla de 3" indica que esa es la distancia libre entre los alambres. Abajo se muestra la denominación por número, En donde la malla No. 4 es aquella que tiene 4 divisiones en una pulgada.

La Norma Oficial Mexicana clasifica en la NOM-B-231-1982 en tres series a todas las cribas en la forma siguiente: Siglas NOM, seguidas de la letra inicial de la serie correspondiente

[G para la serie gruesa; M para la serie mediana y F para la serie fina], y finalmente el numeral correspondiente a la abertura media de la malla en mm. En la tabla siguiente se muestra lo mencionado, en donde la serie fina, la mediana y la criba No. 4, corresponden a la denominación por número. En la grilla se indican las cribas de uso común en el laboratorio,

Designación		Abertura media de la malla (mm)
NOM	ASTM	
G 125	5	125
G 106	4.24	106
G 100	4	100
G 90	3 1/2	90
G 75	3	75
G 63	2 1/2	63
G 53	2.12	53

Designación		Abertura (mm)	Designación		Abertura (mm)
NOM	ASTM		NOM	ASTM	
G 50	2	50	M 4.00	5	4.00
G 45	3/4	45	M 3.85	6	3.85
G 38.1	1 1/2	38.1	M 2.80	7	2.80
G 31.5	1 1/4	31.5	M 2.36	8	2.36
G 26.5	1.06	26.5	M 2.00	10	2.00
G 25.0	1	25.0	M 1.70	12	1.70
G 22.4	7/8	22.4	M 1.40	14	1.40
G 19.0	3/4	19.0	M 1.18	16	1.18
G 16.0	5/8	16.0	M 1.00	18	1.00
G 13.2	0.530	13.2	M 0.850	20	0.850
G 12.5	1/2	12.5	M 0.710	25	0.710
G 11.2	7/16	11.2	M 0.600	30	0.600
G 9.5	3/8	9.5	M 0.500	35	0.500
G 8.0	5/16	8.0	M 0.425	40	0.425
G 6.7	0.265	6.7	M 0.355	45	0.355
G 6.3	1/4	6.3	M 0.300	50	0.300
G 4.75	4	4.75	M 0.250	60	0.250
			M 0.212	70	0.212
			M 0.180	80	0.180
			M 0.150	100	0.150
			F 0.125	120	0.125
			F 0.106	140	0.106
			F 0.090	170	0.090
			F 0.075	200	0.070
			F 0.063	230	0.063
			F 0.053	270	0.053
			F 0.045	325	0.045
			F 0.038	400	0.038

PROPORCIONAMIENTOS EMPIRICOS  
DE MEZCLAS DE CONCRETO\*

APENDICE

**D**

RESISTENCIA ULTIMA ( $\delta'$ c)	100**	150**	200**	250**	300**
BOTES DE GRAVA***	6 (8)	5 1/4 (7 1/2)	4 1/2 (6)	4 (5 1/2)	3 1/2 (4 3/4)
BOTES DE ARENA***	5 3/4 (6)	4 3/4 (5 1/2)	4 (4 1/4)	3 1/2 (3 3/4)	2 3/4 (3)
BOTES DE AGUA***	2	1 3/4	1 1/2	1 1/4	1
BULTOS DE CEMENTO	1	1	1	1	1
RENDIMIENTO POR BULTO DE CEM.	175 (189)	151 (167)	133 (145)	120 (130)	103 (112)
BULTOS POR m <sup>3</sup> DE CONCRETO	5.7 (5.3)	6.6 (6)	7.5 (6.9)	8.3 (7.7)	9.7 (8.9)

\* Los números entre paréntesis corresponden a dosificaciones en las cuales se ha usado agregado con TMN de 40 mm. Inmediatamente arriba y sin paréntesis se muestran las cantidades de materiales cuando se use agregado con TMN de 19mm. El rendimiento se da en litros.

\*\* Las resistencias se indican en  $\text{kg/cm}^2$  y están previstas, para un revenimiento de 10 cm aproximadamente.

\*\*\* Botes de 18 litros.

## BIBLIOGRAFIA

- Normas Oficiales Mexicanas,
- ACI Manual of Concrete Practice 1986 [Part 1],
- Manual del Hormigón (Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón).
- Reglamento de Construcciones para el D.F.,
- Normas Técnicas complementarias del R. de C. para el D.F.
- Lightweight Aggregate Concrete [CEB/FIP Manual of Design and Technology] Ed. The Construction Press,
- Aditivos para Concreto (Comité ACI 212) Ed. IMCYC.
- Aditivos para Concreto (Manual PROCONSA).
- Aditivos y tratamientos de los Hormigones, Michel Venuat. Editores Técnicos Asociados, 1972.
- Concrete Admixtures: Use and Applications, The Cement Admixtures Association, Ed. The Construction Press.
- Revista IMCYC No. 183
- Suplemento al No. 24 de la Revista IMCYC.
- Tecnología del Concreto, José Daniel Dámazo Juárez, Tesis Profesional
- Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, Oscar M. G. Ed. Limusa.
- Construcciones de Hormigón Armado, C. Kersten, Ed. G.G.
- Hormigón Armado, Martín de la Escalera,
- Concrete Mix Design. Applied Science Publishers.
- Fallas Técnicas en la Construcción, Jacob Feld, Ed. Limusa
- La Corrosión del Hormigón y su protección, I. Biczók, Ed Urmo
- Diseño Simplificado de Concreto Reforzado, Harry Parker Ed. Limusa
- Preparación y empleo del Hormigón, Mangel-Seeling Ed. G.G.