



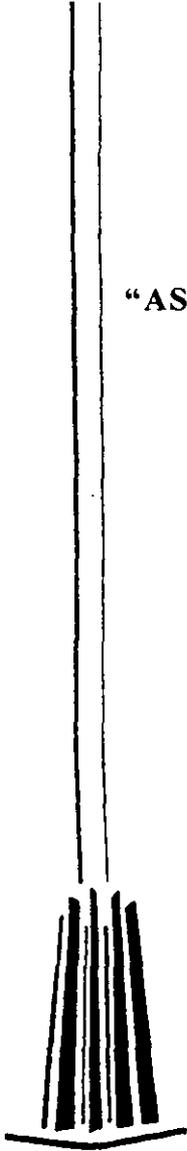
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

**“ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LABORATORIO
PARA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :
JAVIER [MARTINEZ RICARDO

ASESOR: ING. JOSE PAULO MEJORADA MOTA



MEXICO

293303

2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

JAVIER MARTINEZ RICARDO
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 28 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ PAULO MEJORADA MOTA pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LABORATORIO PARA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO", 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 distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 4 de febrero de 1997
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VAZQUEZ



c c p Secretaría Académica.
c c p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/MCA/lla.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por el Don de la vida, por la salvación tan grande que me has regalado, por haberme permitido concluir mis estudios Profesionales, por tu infinito **AMOR Y MISERICORDIA** que tienes para conmigo, y por todo lo que me das día con día, sólo puedo decirte **GRACIAS Y QUE ERES TODO PARA MI.**

A MIS PADRES

Por todo el **Amor** y el apoyo incondicional en todos los sentidos que me han dado durante y después de mi etapa de estudiante, por que en los momentos difíciles ahí estuvieron, para mostrarme su amor hacia mi, y por el ejemplo que son para mi vida, con el cuál me instan a luchar, a trabajar y a redoblar esfuerzos cada día, por ser tan buenos, sólo puedo decirles que los **AMO** y que están en mi corazón como un Tesoro especial.

A MIS HERMANOS

Adán, Federico (qepd), Edith, Miguel Ángel, Carmen y Miriam por el todo el amor y apoyo que me han dado, por ser buenos hermanos, los insto a ser buenos hijos, a esforzarse, a trabajar mucho más cada día, y a nunca olvidarse de Dios, Federico se que algún día te veré.

Honra a tu padre y a tu madre
para que te vaya bien, y seas de
larga vida, sobre la tierra que
Jehová tu Dios te da.
Éxodo 20:12

A MI ESPOSA

Por haberte encontrado, por amarme a pesar de todo, por el apoyo que me has dado en este tiempo, por ser una ayuda idónea, gracias por todo **TE AMO.**

¡Qué hermosa eres, y cuán
suave, Oh amor deleitoso!
Cantares 7:6

A MIS AMIGOS

Por el apoyo y cariño que siempre me han mostrado por ser como uno más de mis hermanos y por compartir su tiempo conmigo.

AL ING. JOSÉ PAOLO MEJORADA

Por disponer de su tiempo y sus conocimientos para asesorarme y dirigirme esta tesis, sin lo cuál se me habría hecho más difícil realizarla y concluirla.

A INGENIERIA ORCA

Por haberme dado la oportunidad de formar parte de ustedes, por todo el apoyo que me han brindado, y gracias por haber confiado en mí.

A LA UNAM

Por haberme albergado en sus aulas desde mis estudios de bachillerato, por cada uno de sus profesores, que impartieron sus conocimientos, los cuales son parte de mi formación profesional y por la oportunidad y el apoyo que aún me siguen brindando para seguir preparándome.

Pero tenemos este tesoro en vasos de barro, para que la excelencia del poder sea Dios, y no de nosotros.

2ª Corintios 4:7

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO II	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	
	II.1 Características de los agregados	7
	II.2 Muestreo de los agregados	7
	II.3 Preparación de la muestra	8
	II.4 Análisis Granulométrico	9
	II.5 Modulo de finura	14
	II.6 Absorción	17
	II.7 Peso específico	25
	II.8 Peso volumétrico	31
	II.9 Contenido de humedad	45
CAPITULO III	METODOS PARA DISEÑO DE MEZCLAS	
	III.1 Método del ACI	51
	III.2 Método de las curvas de Abrahms	53
CAPITULO IV	DOSIFICACIÓN Y FABRICACIÓN DE LA MEZCLA	
	IV.1 Elección de las características de la mezcla	57
	IV.2 Relación entre la resistencia y la relación agua-cemento	57
	IV.3 Proporcionamiento	59
	IV.4 Contenido de cemento y tipo de cemento	60
	IV.5 Contenido de agua	60
	IV.6 Ejemplo de Diseño y Proporcionamiento de mezclas	66
CAPITULO V	MUESTREO Y PRUEBAS DEL CONCRETO FRESCO	
	V.1 Muestreo	72
	V.2 Revenimiento	75
	V.3 Prueba para elaborar y curar especimenes de concreto	81
CAPITULO VI	CONCRETO CONTRA SULFATOS	
	VI.1 Ataque de sulfatos	90
	VI.2 Ataque del agua de mar	93
	VI.3 Pruebas de resistencia a los sulfatos	94
	VI.4 Ejemplo de fabricación de concreto contra sulfatos	96

CAPITULO VII CONCRETO LIGERO

VII.1 Propiedades de los agregados ligeros _____	99
VII.2 Propiedades del concreto ligero _____	102
VII.3 Fabricación del concreto ligero _____	104
VII.4 Ejemplo de proporcionamiento y fabricación de concreto ligero _____	108

CAPITULO VIII PRUEBA DE COMPRESIÓN

VIII.1 Introducción _____	110
VIII.2 Condición de los especímenes _____	113
VIII.3 Prueba para realizar el cabeceo en los cilindros de concreto _____	119

CAPITULO IX CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

IX.1 Introducción _____	127
IX.2 Propiedades _____	127
IX.3 Métodos generales de la elaboración de concretos de alta resistencia _____	129
IX.4 Aditivos superfluidificantes _____	131
IX.5 Proporcionamiento de mezclas de concreto _____	131
IX.6 La economía en relación con los concretos de alta resistencia _____	132
IX.7 Ventajas de los concretos de alta resistencia _____	132
IX.8 Aplicaciones de los concretos de alta resistencia _____	133
IX.9 Ejemplo de fabricación de concreto de alta resistencia _____	133

CAPITULO X CONCRETO CON ADITIVOS

X.1 Tipos de uso _____	135
X.2 Clasificación de los aditivos _____	136
X.3 Preparación y almacenamiento _____	139
X.4 Diferentes tipos de aditivos _____	139
X.5. Diferente tipos de aditivos _____	140

CAPITULO XI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____ 144**BIBLIOGRAFÍA _____ 146**

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

I INTRODUCCIÓN

El concreto, definido como una mezcla bien dosificada, de una parte de cemento y varias partes de agregados, que al mezclarse entre sí con agua hay una reacción química, y se forma una mezcla, la cuál al vaciarse en moldes adquiere la forma deseada y una cierta resistencia. El concreto ha sido empleado en la construcción desde tiempos muy remotos. Los romanos construyeron numerosas obras públicas empleando concreto: pavimentos de caminos, domos, templos, muelles de puertos, etc.

Sin embargo la expansión de la aplicación del concreto a la construcción de obras civiles se inicia a mediados del siglo pasado.

En el presente siglo las aplicaciones del concreto se han incrementado exponencialmente gracias al desarrollo de teorías, que explican su comportamiento estructural y gracias al desarrollo de la tecnología de materiales, que ha permitido que cada vez se elaboren concretos más confiables, más resistentes y más durables.

Mucho se ha avanzado en estos aspectos, pero la dinámica del mundo actual exige cada vez mayores avances. Actualmente se tiene necesidad de construir edificios más altos, puentes más largos, y una gran variedad de estructuras que requieren de concretos de mayor calidad y mayor resistencia.

Los agregados, se definen como materiales pétreos, producto de la trituración ya sea natural o artificial, que al ser mezclados con agua y cemento forman el concreto; dividiéndose en dos tipos generales: arena y grava.

Uno de los principales objetivos de esta tesis fue de recopilar la mayor información posible, enfocada a la dosificación y fabricación de diversos tipos de concreto (normal, ligero, contra sulfatos, de alta resistencia y con aditivos), utilizando los materiales y sus propiedades adecuados, así como las aplicaciones de cada uno de estos concretos. Para lograr lo descrito anteriormente esta tesis se ha dividido de la siguiente forma:

Capítulo II, se hace mención de las propiedades físicas de los agregados, como se definen cada una de estas; los métodos de prueba utilizados y los procedimientos a seguir para obtener cada una de las propiedades que habremos de utilizar en el diseño de la mezcla, y seleccionar las características de la misma, así como los resultados que debemos de obtener de cada una de las pruebas realizadas.

Capítulo III y IV, se hace referencia a dos métodos para proporcionamiento y diseño de mezclas, el método estadounidense (ACI), y el método de las curvas de Abrahms, el enfoque de este es puramente informativo y de conocimiento para el lector. Podemos ver el control de calidad, consideraciones básicas, propiedades, selección de las características de la mezcla, proporciones y pesos por lote.

El diseño de la mezcla, se define como el proceso para seleccionar los componentes adecuados del concreto y determinar sus cantidades relativas, con el fin de producir con el

mayor ahorro posible el concreto, con un mínimo de ciertas características, principalmente consistencia, resistencia y durabilidad. La dosificación del concreto implica el equilibrio entre una economía razonable y los requisitos especificados de colado, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia. Se da un ejemplo sencillo del diseño de mezclas por el método estadounidense para el diseño de mezclas (ACT).

Capítulo V, podemos ver las pruebas con sus respectivos procedimientos, que se elaboran y que son aplicables para obtener algunas de las propiedades del concreto fresco, de las cuales se mencionan: el muestreo, el revenimiento, peso volumétrico, la fabricación de cilindros de concreto y curado de estos, así como los resultados que debemos de obtener de cada uno de estos procedimientos de prueba.

Capítulo VI, concreto contra sulfatos, propiedades de los materiales que se utilizan, diversos tipos de cementantes o aditivos, proporcionamiento y diseño de la mezcla, procedimiento de prueba para fabricación del concreto, los efectos dañinos y los resultados que obtenemos del procedimiento de prueba.

Capítulo VII, concreto ligero, los diversos tipos de agregados que se utilizan, las propiedades de cada uno de estos, el proporcionamiento y diseño de la mezcla, procedimiento de prueba para fabricación del concreto ligero y vemos un ejemplo real del concreto ligero habiendo obtenido en laboratorio, todo lo mencionado anteriormente y se muestran al final de este capítulo los resultados obtenidos.

Capítulo VIII, aquí se describen a detalle, los procedimientos de prueba elaborados para el cabeceo de los cilindros de concreto y la prueba de compresión, los resultados que se tienen que obtener de la aplicación de estos procedimientos, y se muestran algunos ejemplos reales de diversos tipos de concreto sometidos a cada una de estas pruebas y los resultados obtenidos.

Capítulo IX, aquí se explican, los diversos tipos de agregados que se utilizan, las propiedades de cada uno de estos, el proporcionamiento y diseño de la mezcla, procedimiento de prueba para fabricación del concreto de alta resistencia, las diversas aplicaciones y vemos un ejemplo real del concreto de alta resistencia, habiendo obtenido en laboratorio todo lo mencionado anteriormente y se muestran al final de este capítulo los resultados obtenidos.

Capítulo X, en este capítulo solamente se hace mención del concreto con aditivos, los diversos tipos de aditivos y la aplicación de cada uno de estos, el enfoque de este capítulo es solamente didáctico e informativo.

CAPITULO II

PROPIEDADES DE LOS

AGREGADOS

II PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Se definen como agregados, a los materiales pétreos que mezclados con agua y cemento forman el concreto; dividiéndose en dos tipos generales: arena y grava.

Arena: es el material que pasa a través de la malla Núm. 4, que tiene 4.76 mm(3/16") de abertura entre hilos.

Grava: es el material que queda retenido en la malla Núm. 4 y pasa por la malla de 152.4 mm (6").

La importancia de utilizar el tipo y la calidad adecuados de agregados, es debido a que estos ocupan comúnmente de 60% a 75 % del volumen del concreto (70 % a 85 % en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural y piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm. Y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, consisten en grava y arena que pueden ser utilizados en el concreto luego de un tratamiento mínimo. La grava y arena naturales, usualmente se excavan o se dragan de alguna mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola gujarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado fino o grueso. Normalmente los agregados se lavan en la mina o planta. Se puede esperar cierta variación en el tipo, calidad, limpieza, granulometría, contenido de humedad así como en otras propiedades.

Los agregados para concreto que se encuentran en estado natural, son una mezcla de rocas y minerales (ver Tabla 2.1). Un mineral es una sustancia sólida natural que tiene una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites muy estrechos. Las rocas (que dependiendo de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios minerales.

Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquisto o de otras rocas esquistosas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

Los registros de servicio son de gran utilidad para evaluar los agregados. A falta de un registro de comportamiento, se deberán ensayar los agregados antes de ser utilizados en el concreto. Los agregados más comúnmente empleados, como arena, grava, piedra triturada y escoria de alto horno enfriada al aire, producen concreto fresco o recién mezclado de peso normal, pesando aproximadamente 2160 a 2560 kg/m³.

Minerales	Rocas ígneas	Rocas metamórficas
Sílice	Granito	Mármol
Cuarzo	Sienita	Meta cuarcita
Ópalo	Diorita	Pizarra
Calcedonia	Gabro	Filita
Tridimita	Peridotita	Esquisto
Cristobalita	Pegmatita	Anfibolita
Silicatos	Vidrio volcánico	Hornfelsa
Feldespatos	Obsidiana	Gneis
Ferromagnesianos	Piedra pómez	Serpentinita
Hornblenda	Tufa	
Piroxena	Cogafierro	
Arcilla	Perlita	
Ilitas	Vidrio volcánico	
Caolines	Petrosilex	
Cloritas	Basalto	
Mantmorillonitas		
Mica	Rocas	
Ceolita	Sedimentarias	
Carbonato		
Calcita	Conglomerado	
Dolomita	Arenisca	
Sulfato	Cuarcita	
Yeso	Grauvaca	
Anhidrita	Subgrauvaca	
Sulfuro de hierro	Arcosa	
Pirita	Piedra arcillosa, piedra	
Marcasita	de aluvión, arglita,	
Pirrotita	y arcilla esquistosa	
Oxido de hierro	Carbonatos	
Magnetita	Caliza	
Hematita	Dolomita	
Goetita	Marga	
Ilmenita	Greda	
Limonita	Horsteno	

Tabla 2.1 Componentes minerales y rocosos de los agregados

Los agregados de peso normal deben cubrir los requisitos de la norma ASTM C 33. Esta especificación limita las cantidades permisibles de sustancias deletéreas e informa de los requisitos para las características de los agregados. No obstante el hecho que los agregados satisfagan los requisitos de la norma ASTM C 33 no garantiza necesariamente un concreto libre de defectos.

Los agregados son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento. Los agregados son más baratos que el cemento y, por lo tanto, es más económico poner la mayor cantidad posible de aquellos y la menor de este. No obstante, la economía no es la única razón para utilizar agregados; además proporcionan al concreto una enorme ventaja técnica, dándole mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad que si se empleara solamente pasta de cemento.

II.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

Las características de importancia en los agregados para concreto se enlistan en la Tabla 2.2 y algunas de ellas se tratarán en este capítulo.

Propiedad	Importancia	Designación De la prueba	Requisito o características reportadas
Resistencia a la desintegración Por sulfatos	Sonidad contra la acción del intemperismo	ASTM C 88	Pérdida de peso, partículas exhibiendo fallas
Forma de la partícula y textura Superficial	Tabajabilidad del concreto en estado fresco	ASTM C 295 ASTM C 339B	Porcentaje máximo de partículas Planas y elongadas
Granulometría	Tabajabilidad del concreto en Estado fresco; economía	ASTM C 117 ASTM C 136	Porcentaje máximo y mínimo que Pasa los mallas especificadas
Peso volumétrico o densidad en Masa Peso específico	Cálculos para el diseño de mezclas; clasificación Cálculos para el diseño de Mezclas	ASTM C 29 ASTM C 127 para agregado fino ASTM C 128 para agregado grueso	Peso compacto y peso suelto ---
Absorción y humedad superficial	Control de calidad del Concreto	ASTM C 70 ASTM C 127 ASTM C 128 ASTM C 566	---
Resistencia a la compresión y a La flexión	Aceptación del agregado fino cuando otras pruebas fallan	ASTM C 39 ASTM C 78	Que la resistencia exceda el 95% de la resistencia lograda con arena purificada
Definiciones de los componentes	Aclarar el entendimiento y la Comunicación	ASTM C 125 ASTM C 294	---
Componentes de los agregados	Determinar la cantidad de Materiales orgánicos y deletéreos	ASTM C 40 ASTM C 87 ASTM C 117 ASTM C 123 ASTM C 142 ASTM C 295	Porcentaje máximo de los componentes individuales

Tabla 2.2 Propiedades y pruebas de los Agregados.

II.2 MUESTREO DE LOS AGREGADOS

Se han hecho pruebas de las diversas propiedades del agregado en muestras del material, y por lo tanto, los resultados de las mismas se aplican estrictamente al agregado contenido en la muestra. Sin embargo, los agregados a granel, tal como se suministran en la obra, o como surgen en el sitio de la construcción, es preciso asegurarse de que la muestra analizada sea representativa de las propiedades promedio del agregado. A esa muestra se le llama representativa y, para obtenerla, es necesario tomar ciertas precauciones.

Conociendo los bancos probables para la obtención de los agregados, se hace necesario conocer con detalle las características de los materiales que los forman, para la cuál se procederá a muestrearlos.

Los bancos de agregados que deban ser muestreados, el número de muestras, donde y cómo deben tomarse, serán decididos por el encargado del muestreo.

Hay dos maneras de realizar el muestreo, ambas la dividen en partes iguales: en cuartos o en mitades.

II.2.1 PROCEDIMIENTO PARA EL CUARTEO

1. Se mezcla y se amontona la muestra sobre una lona, lámina o tarima, formando un cono .
2. Se aplana el cono con la pala, extendiendo el material hasta formar un círculo de espesor uniforme. Se divide con la pala el círculo en cuatro partes iguales.
3. Con la pala se toma el material de dos cuartos opuestos y se apartan. Si los otros dos restantes son suficientes para dar más o menos 100 kg., se envasa el material y si no lo fuere, se repite la operación anterior tantas veces como sea necesario, para ir reduciendo la cantidad de la muestra al peso indicado.
4. Cada muestra será identificada de la siguiente manera:
 - Nombre de la obra.
 - Ubicación del banco.

II.3 PREPARACION DE LA MUESTRA

El material obtenido del muestreo, estará formado de arena y grava. Todas las pruebas que se describen a continuación se harán con los agregados separados en su primera clasificación, esto es, arena y grava. Por lo que se hace necesario separarlos entre sí para proceder a los ensayos.

MATERIAL Y EQUIPO:

1. Dos charolas de lamina galvanizada.
2. Malla Núm. 4
3. Báscula de 125 kg. De capacidad.
4. 1 Cucharón.

PROCEDIMIENTO

1. Se pesa la muestra, tal como se envasa después de haberla muestreado. Si el material está tan húmedo que no permita una separación aceptable de los diversos tamaños será necesario dejarlo al medio ambiente, para obtener un secado superficial que permita un cribado apropiado.
2. Se cierne con la malla Núm. 4 colocando el retenido separadamente.
3. Se pesa cada una de las porciones separadas y se registran los pesos.

De esta operación se obtienen las cantidades de arena y grava que contiene la muestra, y se expresan como porcentajes del total de la misma.

$$\% \text{ de arena} = \frac{B}{A} \times 100$$

$$\% \text{ de grava} = \frac{C}{A} \times 100$$

A: peso de la muestra después de haber hecho el cuarteo y haberla envasado, (Kg.).

B. peso de la porción de arena, (Kg.).

C. peso de la porción de grava, (Kg.).

II.4 ANALISIS GRANULOMETRICO

Se le da el nombre de análisis granulométrico a la operación de separar una muestra de agregado en fracciones, cada una de las cuales consta de partículas del mismo tamaño. En la práctica cada fracción contiene partículas que se encuentran dentro de los límites específicos, que son las aberturas de los tamices estándar de muestreo.

El tamaño de partícula se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas con aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla Núm. 100 (150 micras) hasta 9.52 mm. Los trece tamices estándar para agregado grueso enlistados en la tabla 2.3 tienen aberturas que varían desde 1.18 mm hasta 102 mm.

Número de Tamaño	Tamaño Nom (mallas con aberturas cuadradas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas), porcentaje en peso												
		(100 mm.) 4 pulg.	(90 mm.) 3.5 pulg.	(75 mm.) 3 pulg.	(63 mm.) 2.5 pulg.	(50 mm.) 2 pulg.	37.5 mm 1.5 pulg.	(25 mm.) 1 pulg.	(19 mm.) ¾ pulg.	12.5 mm ½ pulg.	(9.5 mm) 3/8 pulg.	4.75 mm. No. 4	2.36 mm. No. 8	1.18 mm. No 16
1	90.0-37.5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63.0-37.5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50.0-25.0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50.0-4.75 mm	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	-	-	-
4	37.5-19.0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	-	-	0-5	-	-	-
467	37.5-4.75 mm	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	0-5	-	-	-
5	25.0-12.5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	10-30	0-5	-	-	-
58	25.0-9.75 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	0-15	0-5	-	-	-
57	25.0-4.75 mm	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-5	-	-
6	19.0-9.5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	-	0-5	-	-
67	19.0-4.75 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	25-55	0-10	0-5	-	-
7	12.5-4.75 mm	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9.5-2.36 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	0-30	0-10	0-5

Tabla 2.3. Requisitos de granulometría para los agregados gruesos.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría, para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas.

La granulometría y los límites de granulometría se expresan usualmente como el porcentaje de material que pasa cada malla. La figura 2.1 muestra estos límites para agregados finos y para un tamaño de agregado grueso.

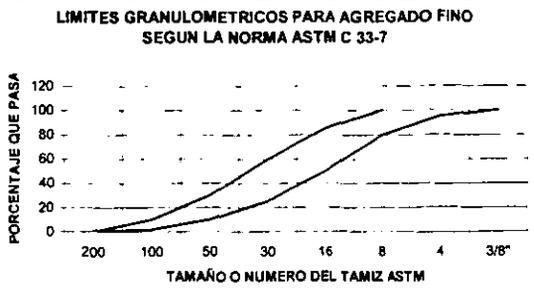


Figura 2.1. Las curvas indican los límites especificados en la norma ASTM C 33 para agregado fino y para un número de tamaño de agregado grueso.

Existen varias razones por las que se especifican los límites de la granulometría y el tamaño máximo del agregado. La granulometría y el tamaño máximo del agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una revoltura a otra. Las arenas muy finas a menudo resultan antieconómicas; las arenas muy gruesas y agregado grueso pueden producir mezclas rígidas no trabajables. En general, aquellos agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y tienen una curva granulométrica suave producirán los resultados más satisfactorios.

II.4.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS

La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación de agua-cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable a la resistencia.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C 33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma ASTM C 33 con respecto al tamaño de las cribas se indican a continuación:

TAMAÑO DE LA MALLA	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO		
9.52 mm (3/8")		100	
4.75 mm (No. 4)	95	a	100
2.36 mm (No. 8)	80	a	100
1.18 mm (No. 16)	50	a	85
0.60 mm (No. 30)	25	a	60
0.30 mm (No. 50)	10	a	30
0.15 mm (No. 100)	2	a	10

TABLA 2.4 TAMAÑO DE LAS CRIBAS DE ACUERDO A LA NORMA ASTM C 33

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 0.15 mm (No. 100) sean reducidos a 5 % y 0 %, respectivamente , siempre y cuando:

1. El agregado se emplee en un concreto con aire incluido que contenga más de 237 Kg. de cemento por metro cúbico y tenga un contenido de aire superior al 3 %.
2. El agregado se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg. de cemento por metro cúbico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.
3. Se use un aditivo mineral aprobado para compensar la deficiencia del material que pase estas dos mallas.

Otros requisitos de la norma ASTM son:

1. Que el agregado fino no tenga más del 45 % retenido entre dos mallas consecutivas.
2. Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente de abastecimiento del agregado. En el caso que se sobrepase este valor, el agregado fino se debería rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones del agregado fino y grueso.

II.4.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS

Los requisitos de la norma ASTM C 33 para granulometría de agregados gruesos (como se indica en la tabla 2.3) permiten un amplio rango de granulometría para un agregado grueso con un tamaño máximo puede variar dentro de un rango moderado, sin que se produzca un efecto apreciable en la demanda de cemento y agua si la proporción de agregado fino agregado total produce un concreto de buena trabajabilidad. Para producir un concreto trabajadle se deberán cambiar las proporciones de la mezcla si ocurren ciertas variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de anticipar, a menudo es más económico mantener uniformes el manejo y la manufactura del agregado grueso, de modo que se reduzcan las variaciones en la granulometría.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía.

La terminología empleada para especificar el tamaño del agregado grueso, se debe escoger adecuadamente. El tamaño de la partícula se determina por el tamaño de malla y se aplica al agregado que pasa esa malla y que no pasa la siguiente malla inferior.

II.4.3 DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico de un agregado, consiste en separar y conocer los porcentajes de cada tamaño.

MATERIAL Y EQUIPO

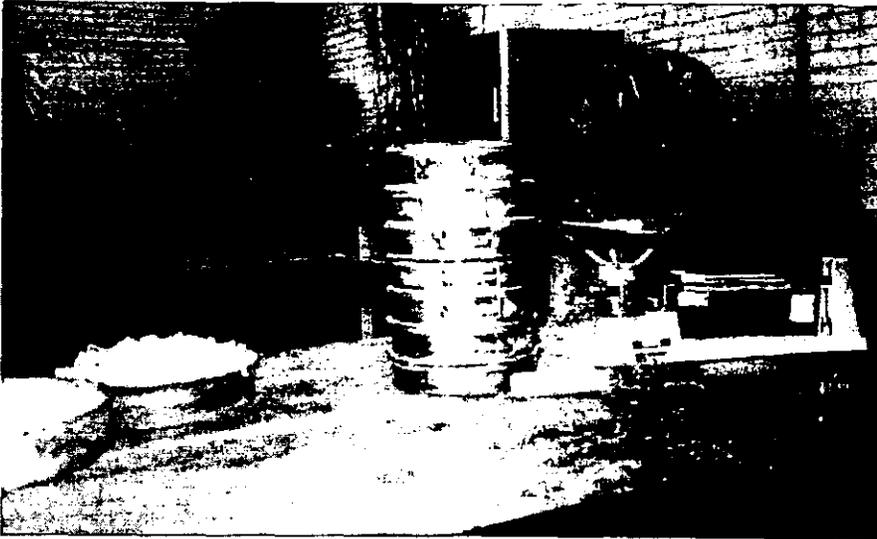


FIGURA 2.2 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.

1. Balanza o báscula, que deberá tener una sensibilidad de un décimo por ciento (0.1 %) del peso de la muestra.
2. Mallas, que deberán estar montadas sobre marcos firmes, construidos de manera que se eviten pérdidas de material durante el cribado. Deberán seleccionarse mallas de tamaños adecuados, que permitan obtener la información requerida por las especificaciones aplicables del material por ensayarse. Las mallas deberán ser de tipo estándar. Si se usan mallas de aberturas redondas, las aberturas se deberán ajustar a las dimensiones y tolerancias aplicables.
3. Charolas de lamina galvanizada
4. Brochuelo de cerda y cepillo de alambre.

PROCEDIMIENTO

Para determinar la composición granulométrica de agregados fino y grueso se seguirá el siguiente método, que se aplica tanto al uso de mallas de abertura cuadrada como al de mallas de abertura redonda.

II.4.4 ANALISIS GRANULOMETRICO DEL ARENA

1. Se cuartea la muestra total de la arena, previamente secada, hasta obtener 500 g. Con aproximación al 0,1 g.
2. La cantidad de muestra pesada se cernirá en las mallas superpuestas de mayor a menor.
3. Vertida la muestra sobre la malla superior (No. 8), la operación de cribado se hará colocando las mallas en el Ro-Tap, (ver figura 2.3).

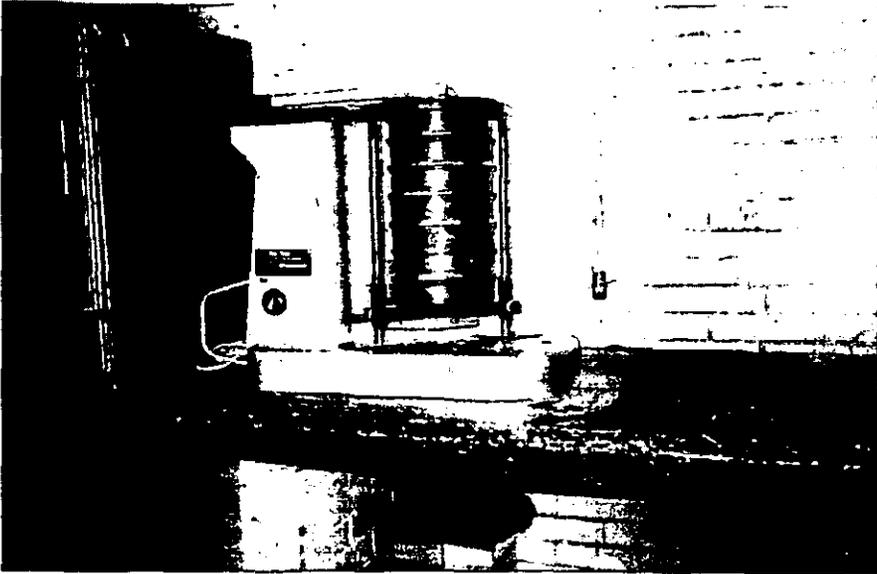


FIGURA 2.3 COLOCACION DE LAS MALLAS EN EL RO-TAP PARA EL CRIBADO DEL AGREGADO.

4. Una vez que se haya comprobado que cada malla ha dado paso a todo el material menor que su abertura, para lo cual se habrá observado que durante cinco minutos no pasa más que el 1 % del retenido las porciones se colocarán en recipientes por separado para después pesarlos, (como se indica en la figura 2.4).



FIGURA 2.4 SEPARACION DEL MATERIAL DESPUÉS DE HABER HECHO EL CRIBADO.

5. Las mallas deberán quedar siempre limpias después de vaciar su contenido y para esto se utilizara el cepillo de alambre o el brochuelo, según la abertura entre hilos.
6. Se pesa cada una de las porciones obtenidas en el cribado, con aproximación hasta de 0.1 g. En el orden de tamaños correspondiente, haciendo el registro en la forma No. 1 que se presenta al término del procedimiento. La suma de los pesos deberá coincidir con el total de la muestra empleada con aproximación menor de 1 g. Por esta razón se conservarán por separado las distintas porciones después de pesadas, para en caso necesario comprobar los pesos obtenidos.

II.4.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA GRAVA

1. Para el análisis granulométrico de la grava se requiere una muestra con un peso total no menor de 25 kg., obtenida por cuarteo. La muestra se cernirá en las mallas especificadas, separando en charolas los retenidos correspondientes. Se deberá tener cuidado de que no queden partículas aprisionadas entre los alambres que forman las mallas.
2. Una vez separado el material, se procederá a pesar cada porción en charolas taradas Los pesos obtenidos deberán registrarse en la forma No. 1 que se presenta al término del procedimiento.

Los resultados del análisis granulométrico deberán incluir uno de los siguientes datos: porcentajes totales que pasan cada malla, porcentajes retenidos en cada malla, o retenidos parciales entre mallas consecutivas, según estipule el proyecto. Los porcentajes se deberán redondear al número entero más próximo y se deberán calcular tomando como base el peso de la muestra de prueba, incluyendo cualquier material más fino que la malla No. 200.

II.5 MODULO DE FINURA

El módulo de finura (MF) de una arena es el valor numérico que nos indica si la arena es más gruesa o más fina. Se obtiene mediante la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las cinco mallas usadas, desde la número 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive, dividida entre 100

$$MF = \frac{\text{Suma de \% acumulados sin incluir charola}}{100}$$

MODULO DE FINURA (M.F.)	CALIFICACION
2.0 - 2.0	Muy fina
2.0 - 2.3	Fina
2.3 - 2.6	Medio Fina
2.6 - 2.9	Medio
2.9 - 3.2	Medio Gruesa
3.2 - 3.5	Gruesa
3.5	Muy Gruesa

TABLA 2.5 CLASIFICACION DE LA ARENA POR SU MODULO DE FINURA.

A continuación se muestra un ejemplo real del análisis granulométrico de arena y grava, con los resultados obtenidos de cada prueba así como el modulo de finura (M. F.) de la arena y sus gráficas correspondientes.

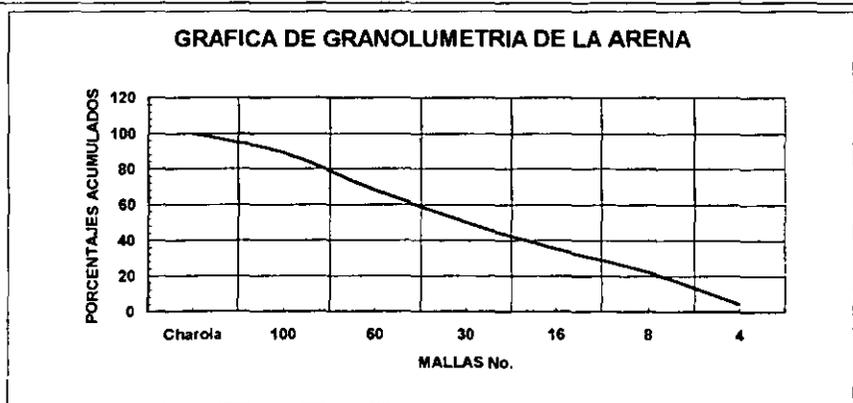
UNAM ENEP ARAGON	TESIS: "ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LABORATORIO PARA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO"
	JAVIER MARTINEZ RICARDO

ANALISIS GRANULOMETRICO - ARENA

ARENA = 1000 g.

Malla Num.	Abertura mm	Peso Gr.	% Retenido	% Enteros	% Acumulado
4	4.75	40.8	4.1%	4	4%
8	2.36	180	18%	18	22%
16	1.18	130.7	13.1%	13	35%
30	0.6	150.7	15.1%	15	50%
60	0.3	179.1	17.9%	18	68%
100	0.15	209.1	20.9%	21	89%
Charolas		109.6	11.0%	11	100%
Sumas		1000	100.0%	100	

Modulo de Finura (M.F.) 2.80



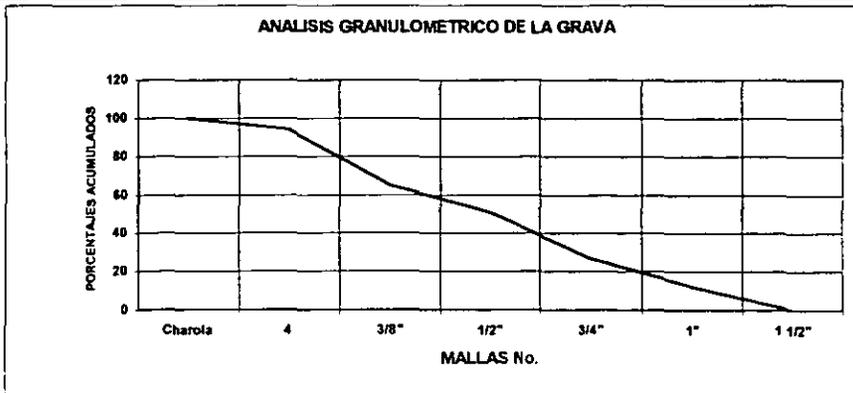
UNAM ENEP ARAGON	TESIS: "ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LABORATORIO PARA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO"
	JAVIER MARTINEZ RICARDO

ANALISIS GRANULOMETRICO - GRAVA

GRAVA = 1000 g.

Malla Num.	Abertura mm	Peso Gr.	% Retenido	% Enteros	% Acumulado
1 1/2"	38.1	0	—	—	—
1"	25.4	116.1	11.61	12	12%
3/4"	19.05	146.3	14.63	15	27%
1/2"	12.7	242.1	24.21	24	51%
3/8"	9.52	137.8	13.78	14	65%
4	4.75	291.5	29.15	29	94%
Charolas		66.2	6.62	6	100%
Sumas		1000	100.0%	100	

Modulo de Finura (M.F.) 2.50



II.6 ABSORCION

La absorción de agua en los agregados se determina midiendo el aumento de peso de una muestra secada en horno, y sumergida después en agua durante 24 horas (habiendo quitado el agua de la superficie).

La cantidad de agua retenida por un material (arena o grava), después de estar sumergido en ella durante 24 horas se expresa como porcentaje del peso seco del material.

$$\% \text{ DE ABSORCION} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

B: Peso de la muestra saturada (peso seco superficialmente).

A: Peso de la muestra seca.

La tabla 2.6 muestra algunos valores típicos de absorción de diferentes agregados. También se tabula el contenido de humedad en condiciones de secado por aire. Cabe señalar que la grava suele tener mayor absorción que la roca triturada de las mismas características petrológicas, ya que el intemperismo causa que la capa exterior de las partículas de grava sea más porosa y absorbente.

Aunque no existe una relación clara entre la resistencia del concreto y la absorción de agua del agregado utilizado, los poros de la superficie de la partícula afectan la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento y, por lo tanto, pueden ejercer cierta influencia en la resistencia del concreto.

Tipo y tamaño del agregado (con designaciones de malla ASTM)	FORMA	Contenido de humedad En agregado seco al aire. Expresado como Porcentaje del peso seco	Absorción (contenido de Humedad en agregado Saturado y Superficialmente seco, Como % del peso seco
Grava de río del Valle del Támesis de 19.0-9.5 mm (3/4" - 3/8")	Irregular	0.47	2.07
Grava de río del Valle del Támesis de 9.5-4.8 mm (3/8" - 3/16")	"	0.64	3.44
4.8-2.4 mm (3/16" - No. 8)	"	0.50	3.15
2.4-1.2 mm (No. 8-16)	"	0.30	2.90
1.2 mm 600 Mm (No. 16-30)	"	0.30	1.70
600-300 Mm (No. 30-50)	"	0.40	1.10
300-150 Mm (No. 50-100)	"	0.50	1.25
150-75 Mm (No. 100-200)	"	0.60	1.60
Arena de río de la zona 2 del Valle de Támesis de 4.8 mm-150 Mm (3/16" - No. 100)	"	0.80	1.80
Grava de río para prueba de 19.0-9.5 mm (3/4" - 3/8")	"	1.13	3.30
Grava de río para prueba de 9.5 - 4.8 mm (3/8" - 3/16")	"	0.53	4.53
Grava de Bradford de 19.0 - 9.5 mm (3/4" - 3/8")	Redonda	0.40	0.93
Grava de Bradford de 9.5 - 4.8 mm (3/8" - 3/16")	"	0.50	1.17
Grava de Mountsorrel de 19.0 - 9.5 mm (3/4" - 3/8")	Angulosa	0.30	0.57
Grava de Mountsorrel de 9.5 - 4.8 mm (3/8" - 3/16")	"	0.45	0.80
Caliza triturada de 19.0-9.5 mm (3/4" - 3/8")	"	0.15	0.50
Caliza triturada de 9.5 - 4.8 mm (3/8" - 3/16")	"	0.20	0.73
Arena estándar de Leighton Buzzard De 850 - 600 Mm (No. 20-30)	Redonda	0.05	0.20

TABLA 2.6 VALORES TÍPICOS DE ABSORCIÓN DE DIFERENTES AGREGADOS

II.6.2 DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN EN LA ARENA

MATERIAL Y EQUIPO:

1. Balanza de torsión de 1 Kg de capacidad y 0.1 g. de sensibilidad.
2. Charola de lámina galvanizada.
3. Molde en forma de cono truncado, de lamina galvanizada de 88.9 mm de diámetro inferior y 38.1 mm de diámetro superior por 73.0 mm de altura.
4. Pisón metálico con peso de 336 gr., de 25.4 mm de diámetro en su cara de apisonar.
5. Placa de vidrio o cualquier otro metal no absorbente.
6. Estufa, horno ó parrilla.
7. Cuchara de albañil, (Ver figura 2.5).

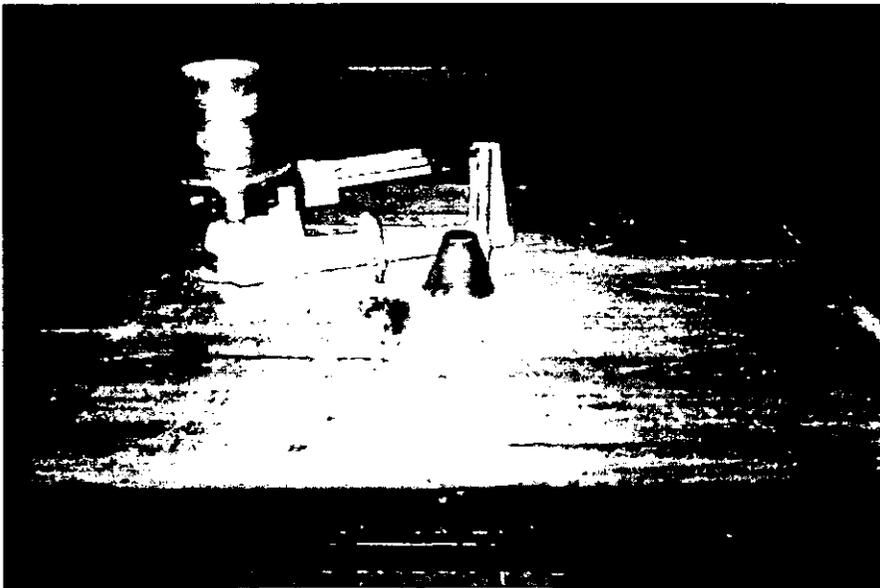


FIGURA 2.5 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN EN LA ARENA

PROCEDIMIENTO

1. Se toma la muestra que se dejó sumergida en agua por 24 horas, y se escurre el agua sobrante.

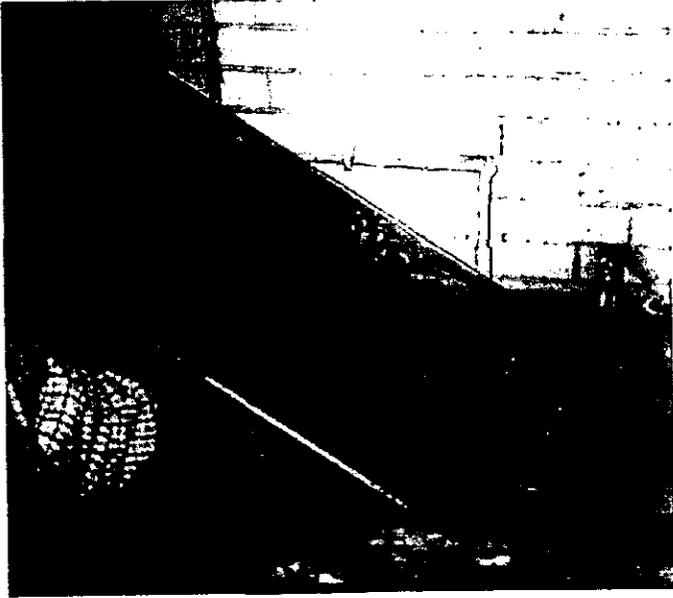


FIGURA 2.6 NOS MUESTRA COMO SE ESCURRE EL AGUA SOBRENTE DEL RECIPIENTE

2. Se extiende sobre la placa de vidrio



FIGURA 2.7 NOS MUESTRA COMO SE EXTIENDE LA ARENA SOBRE LA PLACA DE VIDRIO

3. Se remueve frecuentemente hasta considerar que sólo haya perdido el agua superficial.
4. Se llena el molde.
5. Se compacta suavemente con el pisón, dando 25 golpes.



FIGURA 2.8 COMPACTACION DE LA ARENA CON EL PISON.

6. La arena se deja al ras del borde del molde.
7. Se levanta el molde, y se observa el comportamiento de la arena moldeada, (ver Fig. 2.9).*



FIGURA 2.9 NOS MUESTRA EL COMPORTAMIENTO DE LA ARENA MOLDEADA*



FIGURA 2.10 NOS MUESTRA COMO LA ARENA FORMA UN CONO CUANDO SE ENCUENTRA EN ESTADO SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (SSS).

8. Se pesan 500 g. de la arena que formo el cono, y se anota este peso.
9. Se seca en la estufa o parrilla u horno, (según la fuente de calor que se haya elegido), el material, hasta peso constante. Las pesadas deben hacerse estando el material frío.
10. El peso del material seco se anota.

CÁLCULO:

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

- B: Peso del material saturado y superficialmente seco (gramos).
 A: Peso del material secado al horno (gramos).

*NOTA: Si al quitar el molde, la arena moldeada muestra una superficie plana en su base superior, se repite la prueba en las partes comprendidas en los números 2° al 7° hasta que al quitar el molde, forme la arena un cono, lo que indicara que se encuentra superficialmente seca.

EJEMPLO

Se realizó una prueba con el procedimiento descrito anteriormente en el cuál se obtuvieron los siguientes resultados:

$$B = 500 \text{ g.}$$

$$A = 465.5 \text{ g.}$$

Utilizando la formula:

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Sustituyendo valores:

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{500 \text{ g} - 465.5 \text{ g}}{465.5 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{ABSORCIÓN} = 7.40 \%$$

Donde:

B : peso del material saturado y superficialmente seco (gramos)

A: peso del material secado al horno (gramos).

II.6.2 ABSORCIÓN DE LA GRAVA

MATERIAL Y EQUIPO:

1. Balanza de torsión de 1 Kg. de capacidad y 0,1 g de sensibilidad.
2. Estufa, horno o parrilla.
3. Una charola de lamina galvanizada.
4. Franela o toallas de pape.

PROCEDIMIENTO:

1. Se toma la muestra que se dejó sumergida 24 horas en agua, y se seca superficialmente, con la franela o con unas toallas de papel.

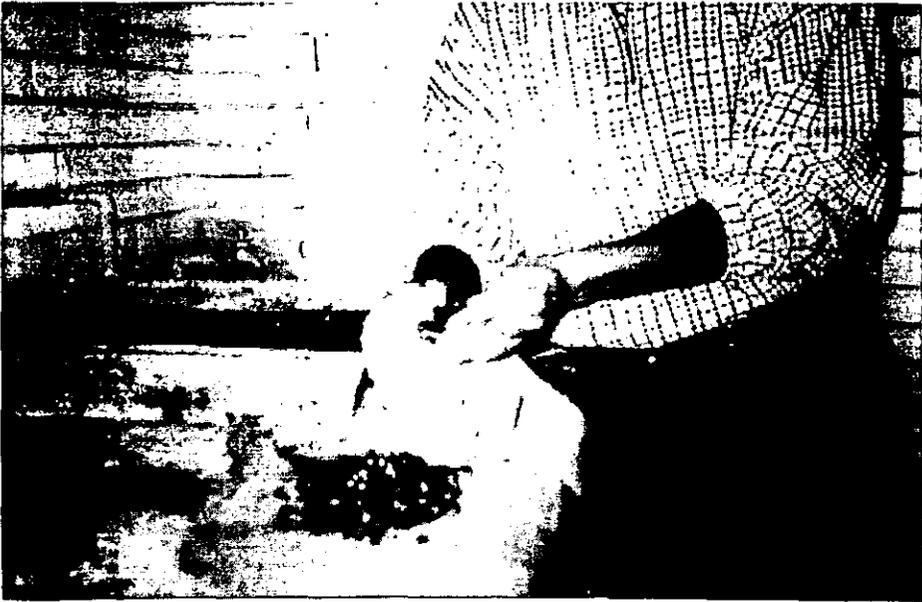


FIGURA 2.11 SE SECA SUPERFICIALMENTE LA GRAVA CON UNA TOALLA O FRANELA.

2. Se pesa exactamente 1 Kg. del material y se anota este peso.
3. Se seca en la estufa, horno o parrilla, tantas veces como sean necesarias hasta obtener un peso constante. Las pesadas deben hacerse estando el material frío.
4. Se pesa el material seco, y se anota el valor obtenido.

CÁLCULO

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

EJEMPLO

Se realizó una prueba de laboratorio con el procedimiento descrito anteriormente y se obtuvieron los siguientes resultados.

$$B = 1000 \text{ g.}$$

$$A = 960 \text{ g.}$$

Utilizando la fórmula:

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Sustituyendo valores:

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{1000 \text{ g} - 960 \text{ g}}{960} \times 1000$$

$$\text{ABSORCIÓN} = 4.20 \%$$

Donde:

B : peso de la muestra saturada y superficialmente seca (gramos).

A : peso de la muestra secada al horno (gramos).

II.7 PESO ESPECÍFICO

El peso específico (densidad) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control. Generalmente no se le emplea como índice de calidad de los agregados, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades que varían entre 2.4 y 2.9 (ver Tabla 2.7).

Grupo de la roca	Densidad promedio	Amplitud de densidades
Basalto	2.80	2.6 - 3.0
Pedernal	2.54	2.4 - 2.6
Granito	2.69	2.6 - 3.0
Arenisca	2.69	2.6 - 2.9
Hornfelse	2.82	2.7 - 3.0
Caliza	2.66	2.5 - 2.8
Pórfido	2.73	2.6 - 2.9
Cuarzita	2.62	2.6 - 2.7

Tabla 2.7 Tabla de densidades aparentes de diversos grupos de rocas

Los métodos de prueba para determinar los pesos específicos para los agregados finos se describen en las normas ASTM C 127 y 128 respectivamente. El peso específico de un agregado se puede determinar considerando que ha sido secado al horno totalmente o que se encuentra saturado y superficialmente seco (SSS). Ambos pesos específicos se pueden utilizar en los cálculos para el proporcionamiento de mezclas de concreto. Los agregados secados en el horno, no contienen ninguna cantidad de agua libre absorbida. Se les seca en un horno hasta obtener peso constante. Los agregados saturados y superficialmente secos son agregados en los cuales los poros en el interior de cada partícula de agregado han quedado llenos con agua y no contienen agua en exceso en la superficie de la partícula.

La densidad (peso específico) de un material se define como la relación entre el peso de un volumen dado de material saturado y superficialmente seco (sss) (arena o grava) y el peso del mismo volumen de agua destilada a 4 °C de temperatura.

II.7.1 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO DE LA ARENA

EQUIPO:

1. Balanza de torsión de 1 Kg. de capacidad y 0,1 g de sensibilidad.
2. Frasco de Chapman
3. Brocha
4. Recipiente para la muestra

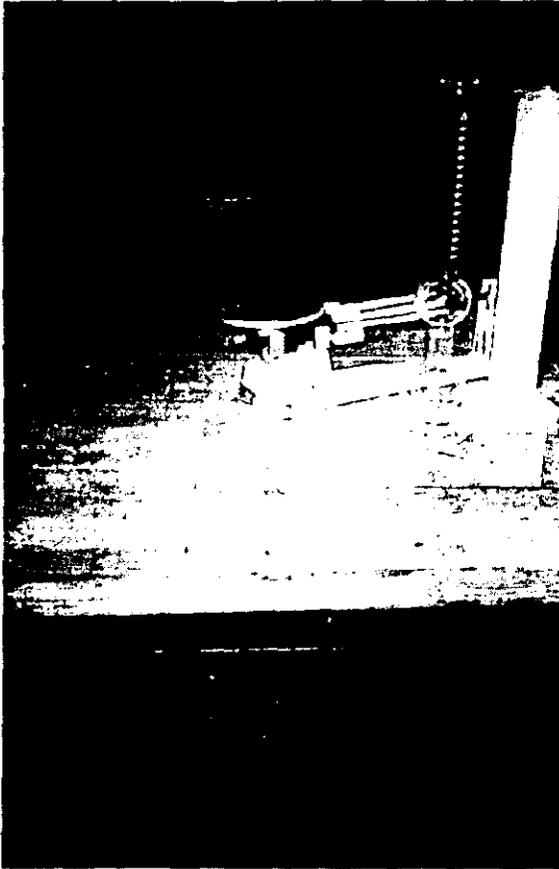


FIGURA 2.12 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO DE LA ARENA

PROCEDIMIENTO:

1. Se afora con agua el frasco de Chapman haciendo coincidir el menisco inferior con la marca 0.
2. Se seca el interior del cuello del frasco.
3. Se pesa en la balanza 300 g del material (sss).



FIGURA 2.13 SE PESAN 300 g DEL MATERIAL

4. Se vierte en el frasco de Chapman los 300 g de la muestra. Esta operación se debe hacer con la brocha.
5. Se toma el frasco de Chapman en la forma indicada en la figura 2.14 y se agita mediante giros hasta expulsar totalmente el aire arrastrado por el material.



FIGURA 2.14 SE AGITA EL FRASCO CHAPMAN MEDIANTE GIROS HASTA EXPULSAR EL AIRE.

6. Se llena el frasco con agua hasta la marca de 450
7. Se pesa el frasco con agua y arena y se anota.

CALCULO:

$$Pe = \frac{A}{F - (K - W_F - A)}$$

Donde:

- Pe : Peso específico
- A : peso de la muestra saturada y superficialmente seca (sss) (gr.).
- F : peso de el agua introducida al frasco Chapman (gr.).
- K : peso de (agua + arena + frasco Chapman) (gr.).
- W_F: peso de el frasco vacío (gr.)

EJEMPLO

Con el procedimiento descrito anteriormente se realizo una prueba y se obtuvieron los siguientes resultados:

- A = 300 g
- F = 450 g
- K = 957.5 g
- W_F = 332.1 g

Sustituyendo los valores en la formula anterior:

$$Pe = \frac{300}{450 - (957.5 - 332.1 - 300)}$$

$$Pe = 2.40$$

II.7.2 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO de LA GRAVA

EQUIPO:

1. Bascula de 125 Kg. de capacidad
2. Bote vertedor de 15 o 20 et de capacidad
3. Charola
4. Cucharón
5. Probeta graduada de 1000 ml y vasos

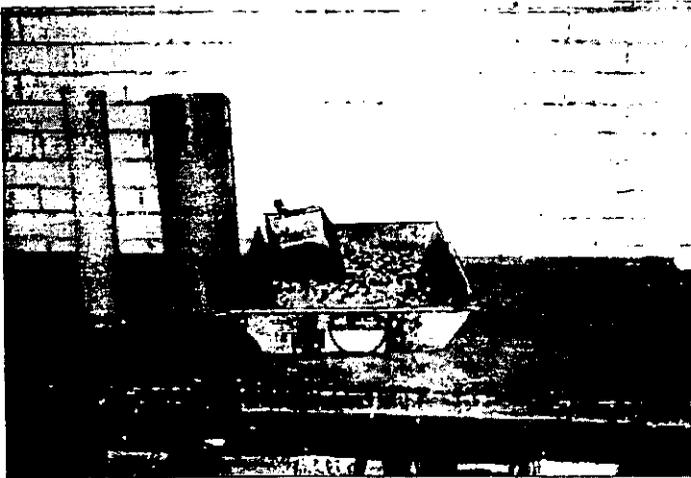


FIGURA 2.15 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA

PROCEDIMIENTO:

1. Se afora el bote vertedor con agua potable.
2. Se pesan 5 Kg. del material saturado (superficialmente seco).
3. Se vierte el material poco a poco evitando salpicaduras y procurando que no arrastre aire, (ver figura 2.16).

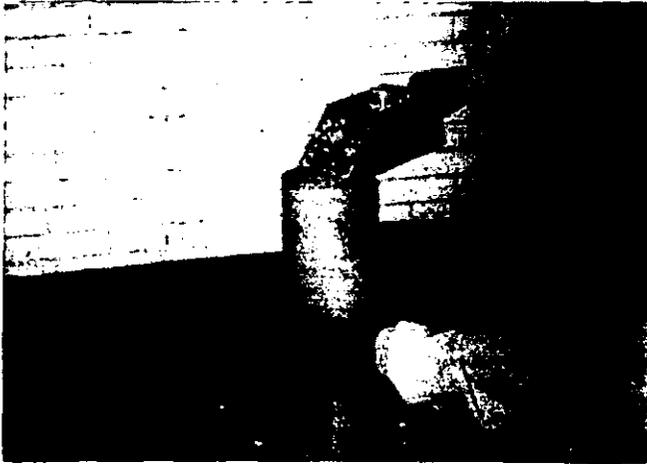


FIGURA 2.16 SE VIERTE EL MATERIAL EN EL BOTE VERTEDOR

4. El volumen desalojado deberá medirse cuando termine totalmente el escurrimiento.

CÁLCULO:

$$Pe = \frac{A}{B}$$

Donde:

Pe : Peso específico del material

A : peso del material introducido (saturado y superficialmente seco) (gr.)

B : volumen del agua desalojado (gr.)

EJEMPLO

Con el procedimiento descrito anteriormente se realizó una prueba y se obtuvieron los siguientes resultados:

A = 5000 gr.

B = 2100 gr.

Sustituyendo estos valores en la expresión anterior:

$$Pe = \frac{5000}{2100}$$

$$Pe = 2.38$$

I.8 PESO VOLUMÉTRICO

Cuando se necesita manejar el agregado por volumen, se requiere conocer el peso del agregado que llenaría un recipiente de volumen unitario. Esto se conoce como peso volumétrico del agregado. Este peso se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen.

Está claro que el peso volumétrico depende qué tan densamente se ha comprimido el agregado y se entiende que, para un material de cierta densidad, el peso volumétrico depende del tamaño, distribución y forma de las partículas: las partículas de un solo tamaño se pueden comprimir hasta cierto límite, pero las más pequeñas pueden tomar el lugar de los huecos entre las más grandes, aumentando así el peso volumétrico del material comprimido. La forma de las partículas afecta mucho el grado de confinamiento que pueda lograrse.

Para un agregado grueso de determinada densidad, un peso volumétrico más alto significa que quedan muy pocos huecos para llenar con arena y cemento y, en un tiempo, se ha usado la prueba de peso volumétrico para determinar el proporcionamiento de las mezclas.

El peso volumétrico real del agregado no sólo depende de las diversas características del material que determinan el grado potencial de confinamiento, sino también de la compactación real que se logre en un caso dado. Por ejemplo, si se usan partículas esféricas del mismo tamaño, el confinamiento más denso se logra cuando sus centros descansan en los vértices de un tetraedro imaginario. Para un empaque mínimo los centros de las esferas estarán en las esquinas de cubos imaginarios, y el peso volumétrico será de sólo 0.52 del peso específico del sólido.

Así pues, el peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kilogramos por metro cúbico. Hay dos valores para esta relación, dependiendo del sistema de acomodamiento que se le haya dado al material inmediatamente antes de la prueba; la denominación que se le dará a cada una de ellas será:

- **Peso volumétrico suelto.** Se usarán invariablemente para la conversión de peso a volumen; es decir, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto.
- **Peso volumétrico varillado.** Este valor se usará para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados y que están sujetos a acomodamiento o asentamiento provocados por el tránsito sobre ellos, o por la acción del tiempo.

El valor "peso volumétrico", en ambos casos se deberá obtener con agregados secados al horno.

II.8.1 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMETRICO SUELTO DE LA ARENA

MATERIAL Y EQUIPO

1. Cucharón
2. Medida de volumen con su peso propio conocido.
3. Varilla punta de bala
4. Bascula de 125 kg. de capacidad
5. Rasero
6. Charola

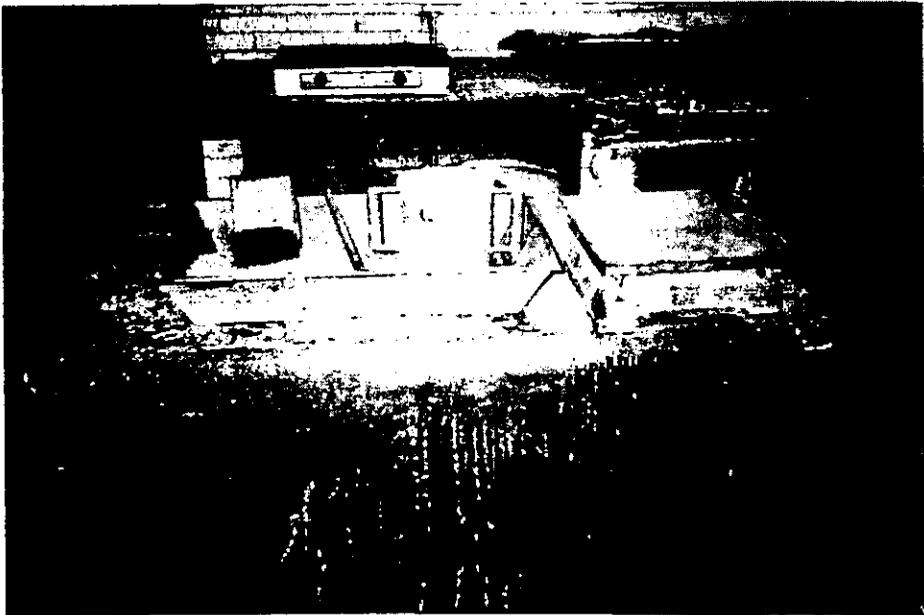


FIGURA 2.17 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA ARENA

PROCEDIMIENTO:

1. Determinación del peso volumétrico suelto de la arena. En la medida de 0.0028 m^3 se vierte la arena dejándola caer con un deslizamiento continuo desde una altura de más o menos 50 mm del borde de la medida, hasta que el material colocado forme un cono natural, cuyos taludes lleguen arriba de la junta entre hasta la medida misma. La medida no deberá moverse durante la operación.



FIGURA 2.18 SE VIERTE LA ARENA EN EL MOLDE DE 0.0028 m^3

2. A continuación se recorre el rasero sobre los bordes de la medida tantas veces sea necesario, para obtener una superficie precisamente plana, procurando no originar movimientos o vibraciones durante la operación.



FIGURA 2.19 SE RECORRE EL RASERO SOBRE EL MOLDE HASTA OBTENER UNA SUPERFICIE PLANA

3. Se pesa la medida con su contenido de arena y se anota el peso obtenido.

CALCULO

El peso volumétrico del material se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$P.V. = \frac{W_s - w}{V} \quad (\text{Kg./m}^3)$$

Donde:

P.V. Peso volumétrico del material empleado, en kg/m^3 .

W_s : peso propio de la medida más peso del material en kg.

w : peso propio de la medida en kg.

V : volumen del material en m^3 .

II.8.2 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMETRICO VARILLADO DE ARENA

MATERIAL Y EQUIPO

1. Bascuía de 125 kg. de capacidad
2. Cucharón
3. Medida de volumen con su peso propio conocido
4. Varilla punta de bala
5. Rasero



FIGURA 2.20 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO DE LA ARENA

PROCEDIMIENTO

1. En este caso, la única diferencia con el método anterior, consiste en substituir el paso (1°) por lo que se indica a continuación y que consisten en llenar la medida con tres capas, varillando cada una de ellas con 25 golpes consecutivos, teniendo cuidado de no hacer penetrar la varilla más del espesor de la capa que se trabaja.

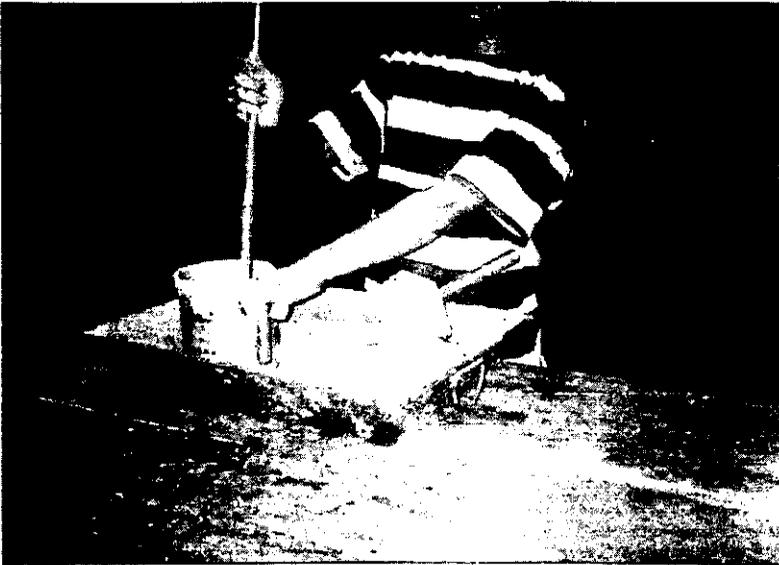


FIGURA 2.21 SE LLENA LA MEDIDA EN TRES CAPAS, VARILLANDO CADA UNA DE ELLAS CON 25 GOLPES

NOTA: Las operaciones de ensare y pesado para este caso, son iguales a las descritas en los números 2 y 3, para el peso volumétrico suelto de la arena.

CÁLCULO

El peso volumétrico varillado del material se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$P. V. = \frac{W_s - w}{V} \quad (\text{Kg./m}^3)$$

· Donde:

P. V. Peso Volumétrico de la arena kg/m^3

W_s : peso propio de la medida más el peso del material en kg.

w : peso propio de la medida en kg.

V : volumen medido del material en m^3

EJEMPLO

Realizando cada uno de los pasos del procedimiento anterior para obtener el peso volumétrico varillado de la arena se obtuvieron los siguientes resultados:

$$W_s = 6.06 \text{ kg.}$$

$$w = 1.655 \text{ kg.}$$

$$V = 0.0028 \text{ m}^3$$

$$P. V. = \frac{6.06 - 1.655}{0.0028}$$

$$P. V. = 1573 \text{ Kg./m}^3$$

II.8.3 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO - GRAVA

MATERIAL Y EQUIPO

1. Balanza de 125 kg. de capacidad
2. Cucharón
3. Medida de volumen con su peso propio conocido
4. Varilla punta de bala
5. Rasero
6. Charola

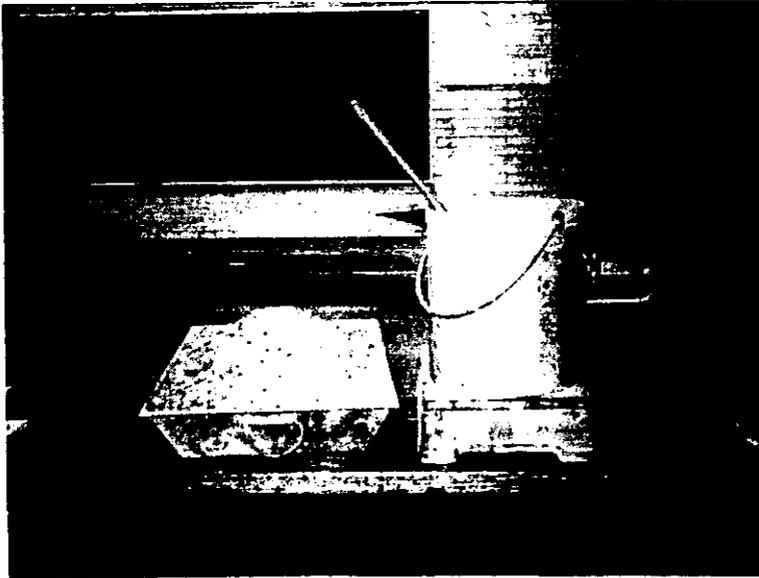


FIGURA 2.22 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA GRAVA

PROCEDIMIENTO:

1. Se vierte la grava en la medida (de un volumen de 0.014 m^3) dejándola caer de una manera uniforme hasta llenarla totalmente.

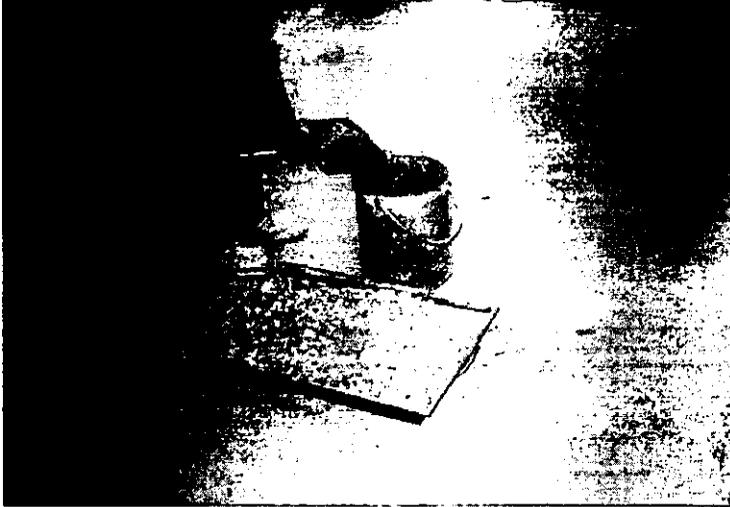


FIGURA 2.23 SE VIERTE LA GRAVA EN EL MOLDE

2. El enrase se hará con el rasero corriéndolo sobre los bordes de la medida, y sacando todo el material que se oponga a su libre movimiento en caso de ser grava de diámetro pequeño. Si la grava tiene mayor diámetro, el enrase se hará a mano, tratando de que el material no sobresalga de los bordes de la medida.



FIGURA 2.24 SE ENRASA EL MOLDE HASTA DEJAR UNA SUPERFICIE PLANA

3. Los espacios vacíos dejados en la operación de enrase, se llenarán acomodando grava en ellos, manualmente, pero sin ejercer ninguna presión.
4. Se pesa la medida con su contenido de grava, y se anota el peso obtenido.

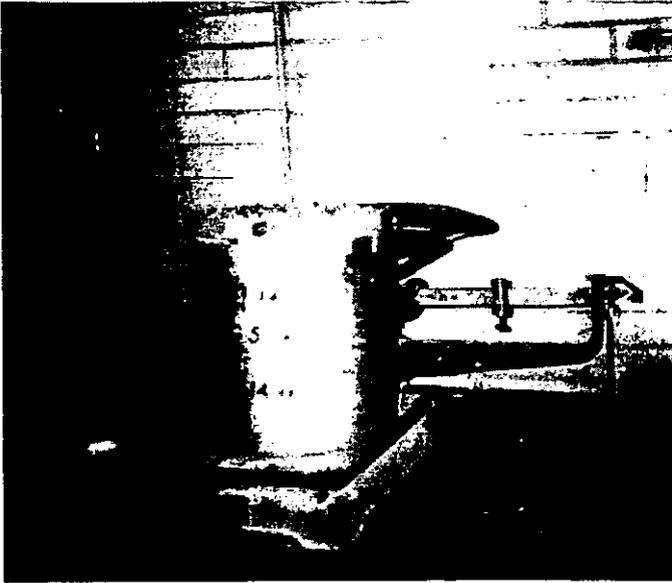


FIGURA 2.25 SE PESA EL MOLDE CON SU CONTENIDO DE GRAVA Y SE ANOTA EL PESO

NOTA: La medida se deberá calibrar determinando exactamente el peso del agua a una temperatura determinado en ($^{\circ}\text{C}$), que se necesita para llenarlo y su volumen se determinara dividiendo este peso entre el peso específico del agua a dicha temperatura (ver Tabla 2.7).

K	°C	D	K	°C	D	K	°C	D
173	0	0.99987						
174	1	0.99993	284	11	0.99963	294	21	0.99802
175	2	0.99997	285	12	0.99952	295	22	0.99780
176	3	0.99999	286	13	0.99940	296	23	0.99757
177	4	1.00000	287	14	0.99927	297	24	0.99733
178	5	0.99999	288	15	0.99913	298	25	0.99708
179	6	0.99997	289	16	0.99897	299	26	0.99682
180	7	0.99993	290	17	0.99880	300	27	0.99655
181	8	0.99988	291	18	0.99862	301	28	0.99627
182	9	0.99981	292	19	0.99843	302	29	0.99598
183	10	0.99973	293	20	0.99823	303	30	0.99568

TABLA 2.8 DENSIDAD DEL AGUA A VARIAS TEMPERATURAS

II.8.4 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMETRICO VARILLADO-GRAVA PROCEDIMIENTO

1. Se vierte la grava en la medida (de un volumen de 0.014 m³) dejándola caer de una manera uniforme hasta llenarla totalmente.



FIGURA 2.26 SE VIERTE LA GRAVA EN EL MOLDE EN 3 CAPAS HASTA LLENARLO

2. Consiste en llenar la medida con tres capas, golpeando con la varilla cada una de ellas 25 veces, teniendo cuidado de no hacer penetrar la varilla más del espesor de la capa que se trabaja, y de no fracturar la grava.



FIGURA 2.27 SE VARILLA CADA UNA DE LAS CAPAS CON 25 GOLPES

3. Los espacios vacíos dejados en la operación de enrase, se llenarán acomodando grava en ellos manualmente, pero sin ejercer en ellos ninguna presión.
4. Se pesa la medida con su contenido de grava, y se anota el peso obtenido.

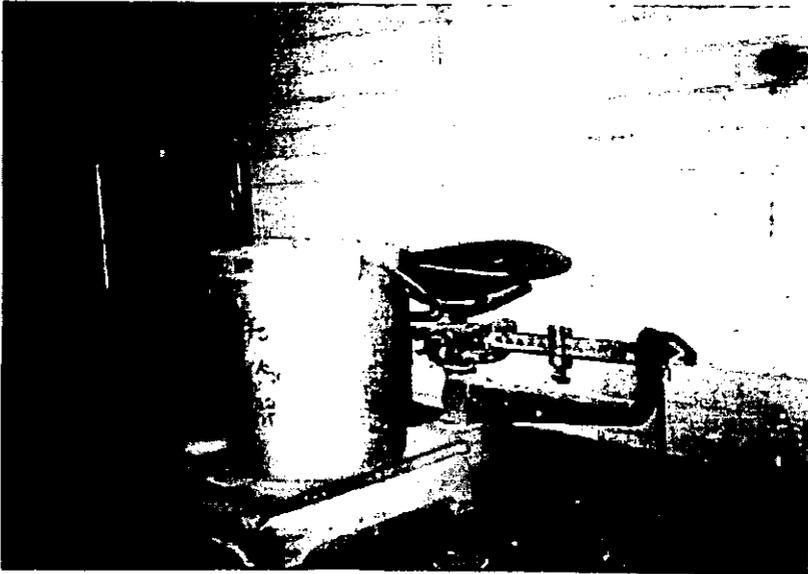


FIGURA 2.28 SE PESA LA MEDIDA CON SU CONTENIDO DE GRAVA Y SE ANOTA EL PESO

CÁLCULO

El peso volumétrico varillado de la grava se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$P. V. = \frac{W_s - w}{V} \quad (\text{Kg./m}^3)$$

Donde:

- P. V. : Peso Volumétrico de la grava kg/m^3
- W_s : Peso propio de la medida más peso del material en kg.
- w : peso propio de la medida en kg.
- V : Volumen medido del material en m^3

La medida que se use deberá estar de acuerdo con el tamaño máximo del agregado, según la tabla siguiente:

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO EN		CAPACIDAD de LA MEDIDA EN	
Mm.	pulgadas	et.	M^3
12.7	$\frac{1}{2}$	2.8	0.0028
38.1	$1\frac{1}{2}$	14	0.014
101.6	4	28.32	0.0283
152.4	6	85.53	0.0855

TABLA 1.9 CAPACIDAD DE LA MEDIDA DE ACUERDO AL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Las medidas serán aproximadamente cúbicas o cilíndricas, de altura igual al diámetro.

EJEMPLO

Realizando cada uno de los pasos del procedimiento anterior para obtener el peso volumétrico varillado de la grava se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} W_s &= 23.80 \text{ kg} \\ w &= 5.10 \text{ kg.} \\ V &= 0.014 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$P. V. = \frac{23.80 - 5.10}{0.0140}$$

$$P. V. = 1336 \text{ Kg./m}^3$$

II.9 CONTENIDO DE HUMEDAD

La humedad superficial de los agregados se debe determinar de acuerdo a las normas ASTM C 70, C 127, C 128, y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el cemento y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla. La estructura interna de una partícula de agregado esta constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no retener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se muestran en la figura 2.29. Se designa como:

- Secado al horno - completamente absorbentes.
- Secados al aire - secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
- Saturados y superficialmente secos (sss) - no absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
- Húmedos - contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).

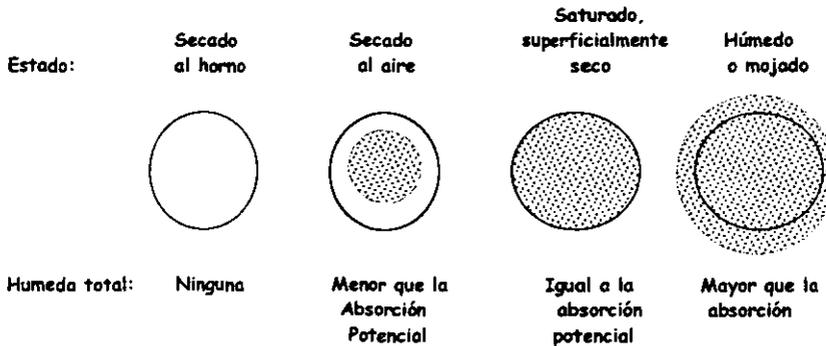


FIGURA 2.29 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA HUMEDAD DEL AGREGADO

La cantidad de agua utilizada en la mezcla de concreto, se debe ajustar a las condiciones de los agregados de manera que cubra los requerimientos de agua. Si el contenido de agua de la mezcla de concreto no se mantiene constante, la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y otras propiedades variaran de una revoltura a otra. El agregado grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenidos de humedad en estado sss) dentro de los rangos de 0.2 % a 4 % y 0.2 % a 2 % respectivamente. Los contenidos de agua libre, normalmente varían desde 0.5% hasta 2% para el agregado grueso y desde 2% hasta 6% para el agregado fino. El contenido máximo de agua de un agregado grueso drenado, usualmente es menor que el de un agregado fino. La mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido de humedad drenado máximo, aproximadamente 3% a 8%, mientras que los agregados gruesos sólo pueden mantener aproximadamente de 1% a 6%.

El abundamiento es el aumento del volumen total de agregado fino húmedo respecto al mismo peso seco. La tensión superficial en la humedad mantiene separadas las partículas, provocando un aumento de volumen. El abundamiento de los agregados finos, ocurre cuando se traspalean o se mueven de cualquier otra forma en condición húmeda.

II.9.1 PRUEBA PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD (ARENA Y GRAVA)

MATERIAL Y EQUIPO:

1. Arena y grava
2. Balanza de torsión de 1 Kg. de capacidad y 0.10 g de sensibilidad
3. Charola.
4. Cuchara de albañil
5. Estufa, parrilla u horno (debe ser capaz de mantener la temperatura de la muestra a 110 °C)
6. Brocha

Salvo en el caso de agregados ligeros, la cantidad de muestra debe ser aproximadamente igual a las masas anotadas en la tabla 2.9.

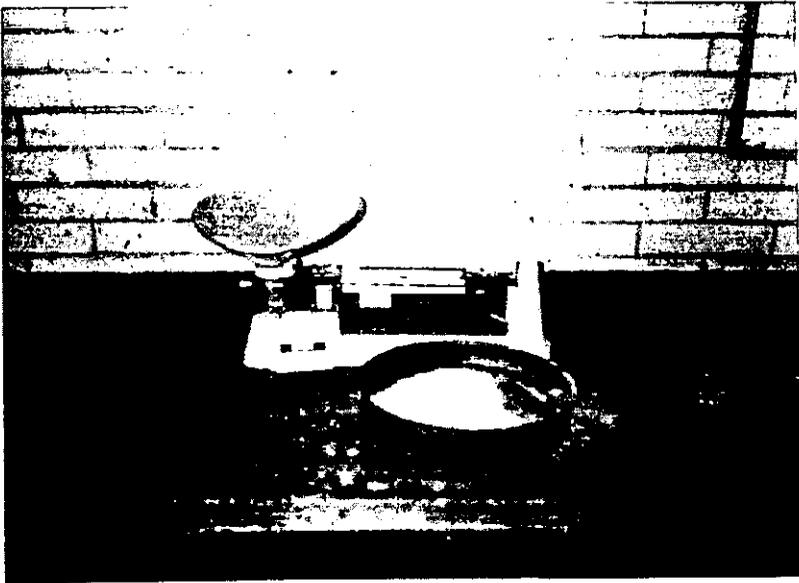


FIGURA 2.30 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD (ARENA Y GRAVA)

PROCEDIMIENTO

1. Se toma una muestra representativa del material mediante cuarteo.



FIGURA 2.31 SE TOMA UNA MUESTRA DEL MATERIAL

2. Se toma del material el peso necesario, de acuerdo con la tabla 2.10, se determina su masa con una aproximación del 0.1%, evitando la pérdida de humedad hasta donde sea posible.

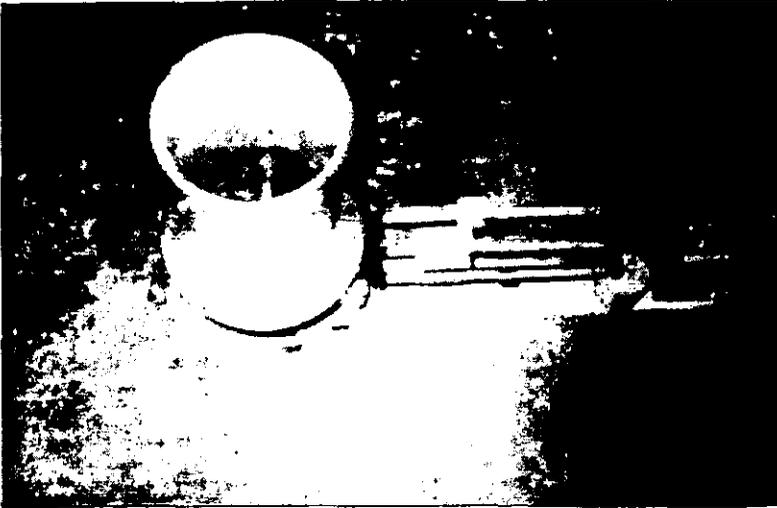


FIGURA 2.32 SE TOMA EL MATERIAL, SE PESA Y SE ANOTA EL PESO OBTENIDO

3. Se seca totalmente la muestra en el recipiente, por medio de la fuente de calor seleccionada, teniendo la precaución de evitar pérdidas de partículas durante el secado. Si se emplea 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. Se considera que la muestra está totalmente seca, cuando al colocar sobre ella un cristal a la temperatura ambiente, éste no se empaña.
4. Se deja enfriar la muestra hasta la temperatura ambiente, se pesa en la balanza y se registra el peso.

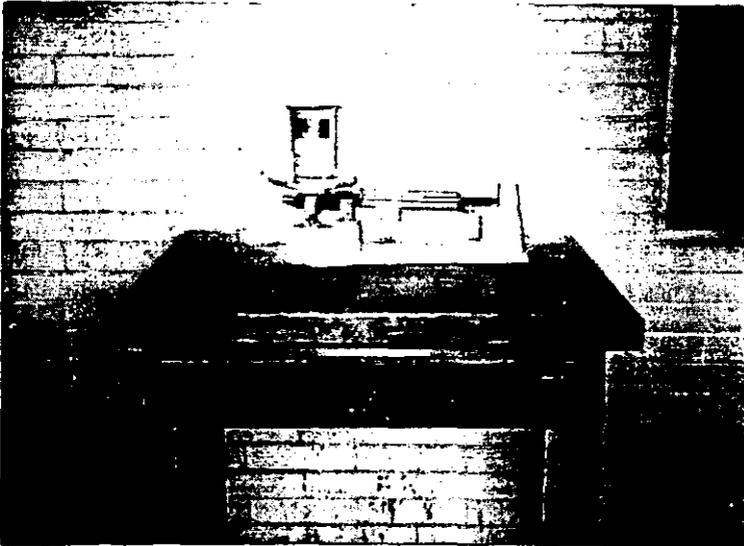


FIGURA 2.33 DESPUES DE HABER SECADO LA MUESTRA EN EL HORNO SE PESA EN LA BALANZA Y SE REGISTRA SU PESO

CÁLCULO:

$$\% \text{ de humedad total} = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

W_h : peso original de la muestra (tal y como se encuentra en el banco) en gr.

W_s : peso seco en gr.

Tamaño nominal	Masa de la muestra	Tamaño nominal	Masa de la Muestra
Mm	Kg.	mm	Kg.
150	30	40	6
102	25	25	4
90	16	20	3
75	13	13	2
64	10	10	1.5
50	8	Agregado fino	0.5

TABLA 2.10 PESO DE LA MUESTRA DE AGREGADO NORMAL DE ACUERDO A SU TAMAÑO NOMINAL

CAPITULO III

METODOS PARA DISEÑO DE MEZCLAS

III MÉTODOS PARA DISEÑO DE MEZCLAS

Puede decirse que las propiedades del concreto se estudian principalmente con el propósito de diseñar mezclas y es desde este punto de vista, que se estudiarán las diversas propiedades del concreto.

Las propiedades que se requieren en el concreto endurecido las especifica el diseñador de la estructura, y las propiedades del concreto fresco se rigen por el tipo de construcción y, por las técnicas de colado y transportación. Estos dos grupos de requisitos permiten al ingeniero determinar la composición de la mezcla, teniendo presente el grado de control que se ejercerá en la obra. Así pues, el diseño de mezclas puede definirse como el proceso para seleccionar los componentes adecuados del concreto y determinar sus cantidades relativas, con el fin de producir con el mayor ahorro posible, concreto con un mínimo de ciertas características, principalmente, consistencia, resistencia y durabilidad.

Los factores que deben considerarse al determinar las proporciones de la mezcla se presentan esquemáticamente en la figura 3.1. también se incluye la secuencia de decisiones hasta llegar a la cantidad de cada componente por lote. Existen, por supuesto, variaciones en cuanto al método exacto de seleccionar las proporciones de la mezcla. En este capítulo se mencionan algunos de los métodos más utilizados para el diseño de mezclas:

- método del ACI
- método de cálculo por volumen absoluto
- método de Abrahams.

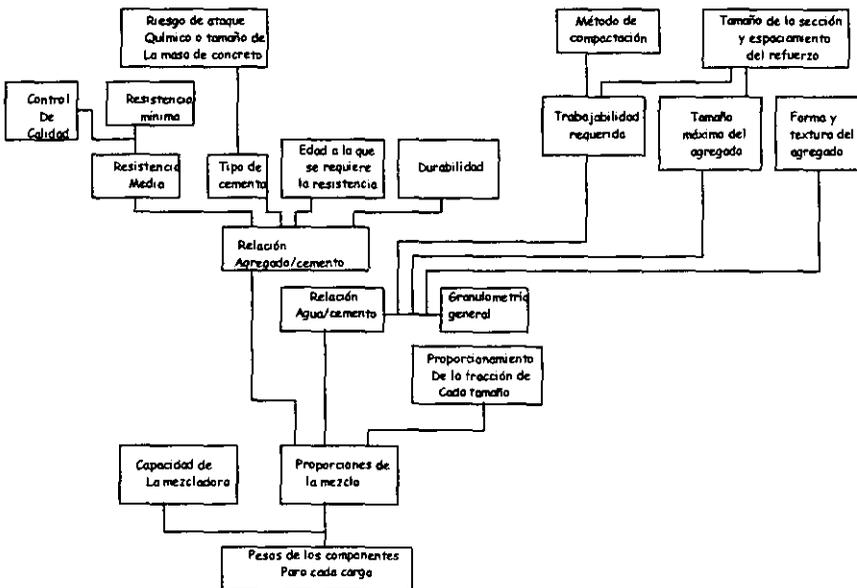


FIGURA 3.1 FACTORES BÁSICOS EN EL PROCESO DE DISEÑO DE UNA MEZCLA.

III.1 METODO DEL ACI

En la práctica, el método de diseño de mezclas empleado más ampliamente es el del American Concrete Institute, expuesto en las normas 211.1-77 y 211.3-75 del ACI. El método del ACI se funda en el hecho de que para un tamaño máximo de agregado, el contenido de agua en kilogramos por metro cúbico determina la trabajabilidad de la mezcla. El contenido de agua en kilogramos por metro cúbico determina la trabajabilidad de la mezcla, independientemente de las proporciones de la mezcla. El contenido de agua para diversas trabajabilidades se indica en la Tabla 3.1 y la Tabla 3.2 indica el contenido real para una consistencia (plástica) de referencia. De esta manera es posible iniciar el diseño de la mezcla, seleccionando el contenido de agua a partir de estas dos tablas. Los valores indicados son para agregados gruesos angulares bien formados y, en la práctica, hay algunas variaciones debidas a diferencias en la forma y textura del agregado. Se debe agregar también que en mezclas con un exceso en el contenido de cemento de 360 a 390 kg/m³ el requerimiento de agua es mayor.

Descripción	Consistencia		Vebe s	Factor de com- Pactación	Contenido relativo de agua, por- Centaje
	Revenimiento Mm	pulgadas			
Extremadamente seco	-	-	32-18	-	78
Muy rígido	-	-	18-10	0.70	83
rígido	0-30	0-1	10-5	0.75	88
rígido plástico	30-80	1-3	5-3	0.85	92
plástico (referencia)	80-130	3-5	3-0	0.91	100
Fluido	130-180	5-7	-	0.95	106

Tabla 3.1 Requerimientos relativos de agua de mezclado para lograr diferentes consistencias del concreto.

Tamaño máxima De agregado		Contenido de agua sin aire incluido	Contenido de aire atrapado	Contenido de agua con aire incluido
Mm	pulgadas	kg/m ³	porcentaje	kg/m ³
10	3/8	225	3	200
12.5	1/2	215	2.5	190
20	1/2	200	2	180
25	1	195	2.5	175
40	1 1/2	175	1	160
50	2	170	0.5	155
70	3	160	0.3	150
150	6	140	0.2	135

Tabla 3.2 Contenido aproximado de agua de mezclado para la mezcla (plástica) de referencia de la tabla 3.1 para diferentes tamaños máximos de agregados.

Se supone, además, que la relación óptima del volumen bruto del agregado grueso con el volumen total del concreto depende sólo del tamaño máximo del agregado y de la granulometría del agregado fino. La forma de las partículas de agregado grueso no entra directamente en la relación, puesto que por ejemplo, un agregado triturado tiene mayor volumen bruto, conservando el mismo peso (es decir, menor peso volumétrico) que un agregado redondeado. Por lo tanto, el factor de forma se toma en cuenta automáticamente en la determinación del peso volumétrico. La tabla 3.3 indica valores de volumen óptimo del agregado grueso cuando se emplea con agregados finos de diferentes módulos de finura para la consistencia de referencia. Para otras consistencias, los valores de la tabla 3.3 deben multiplicarse por uno de los factores indicados en la tabla 3.4.

Tamaño máximo		Volumen de agregado grueso compactado con varilla, por volumen unitario de agregado concreto para módulo de finura de la arena de:			
Mm	pulgadas	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	½	0.59	0.57	0.55	0.53
20	¾	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 ½	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3	0.82	0.80	0.78	0.76
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 3.3 volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto..

Consistencia	Factor para tamaño máximo de agregado de:				
	10 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	(1 ½")
Extremadamente seco	1.90	1.70	1.45	1.40	1.30
Muy rígido	1.60	1.45	1.30	1.25	1.25
rígido	1.35	1.30	1.15	1.15	1.20
rígido plástico	1.08	1.06	1.04	1.06	1.09
plástico	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fluido	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00

Tabla 3.4 Factores aplicables al volumen de agregado grueso, calculados con base en la tabla 2.3 para mezclas de consistencia que no sea plástica.

Así pues una vez elegido el tamaño máximo y el tipo de agregado, para poder obtener concreto de cierta trabajabilidad, consideramos el contenido de agua de las tablas 3.1 y 3.2 y el peso volumétrico del agregado grueso, se determina un volumen absoluto. Se elige ahora la relación agua/cemento de la manera habitual para satisfacer los requisitos tanto de resistencia como de durabilidad y se calcula el contenido de agua por la relación agua/cemento. Se tiene entonces, los volúmenes absolutos de agua agregado grueso y cemento y, restando la suma de éstos del volumen total de concreto, encontramos el volumen absoluto del agregado fino que hay que agregar a la mezcla. Si se multiplica este volumen por la densidad relativa del agregado fino y por el peso unitario del agua, se obtiene el peso de la arena. Opcionalmente, el peso del agregado fino puede obtenerse directamente, restando el peso total de otros componentes del peso de un volumen unitario de concreto, cuando éste puede estimarse por experiencia.

III.2 MÉTODO DE ABRAHMS

En el año de 1954, el ACI publicó un método de dosificación de mezclas de concreto y que hasta la fecha se ha empleado mucho. En 1969 se publicó su publicación y la ampliación de un nuevo criterio de dosificación y de corrección de las mezclas tentativas. Este es aplicable para los concretos normales colados en el lugar. Pretende servir como guía proporcionando mezclas tentativas que deberán verificarse en el laboratorio o en el campo, ajustándolas si es necesario, para producir las características deseadas en el concreto.

III.2.1 PROPORCIONAMIENTO

Puesto que el cemento es el ingrediente más costoso del concreto, y el contenido de agua es función inversa a las características positivas del concreto; estos materiales deben llevarse al mínimo.

Cuando las mezclas son pobres o bajas en contenido de cemento; los agregados intervienen con aproximadamente el 60% del volumen total del concreto contra 15% del cemento y 21% de agua.

Al efectuar un diseño conviene utilizar el tamaño más grande de grava que sea compatible con las dimensiones de la estructura y la separación de acero de refuerzo, dar a la mezcla la consistencia más seca posible que permita colocarla y acomodarla en las condiciones de la obra y considerar que el concreto una vez endurecido alcance las propiedades que permita a la estructura cumplir la función para la que fue construida.

III.2.2 DATOS PREVIOS

Hasta donde sea posible, la dosificación de la mezcla deberá basarse en datos de ensayo o en la experiencia con los datos que se van a emplear.

III.2.3 CÁLCULO DE LA RELACIÓN AGUA- CEMENTO

En el eje vertical de la gráfica correspondiente se localiza la resistencia de proyecto, con una horizontal se corta la curva en la intersección se traza una recta vertical hasta llegar al eje horizontal donde se encuentra la relación agua-cemento (A/C) necesaria para obtener la resistencia de proyecto.

III.2.4 RELACIÓN GRAVA-ARENA EN PESO (R)

Para determinar la relación grava-arena en peso se emplea la gráfica del módulo de finura de la arena (MF) se traza en el eje vertical el valor de éste y con una línea horizontal se inserta hacia la derecha hasta la curva que corresponde al tamaño máximo del agregado (TMA) proyectando hacia el eje el punto de intersección al eje horizontal se obtiene la relación grava-arena en peso. En caso necesario se puede hacer una interpolación de valores, pero se deberá tener cuidado para obtener resultados aceptables, (ver tabla 3.6 y 3.7).

III.2.5 CONTENIDO DE AGUA

Con el valor de la relación grava-arena (R) se refiere a la gráfica del contenido de agua (ver tabla 3.5), en el eje horizontal se encuentra la relación grava-arena proyectando una línea vertical hacia arriba hasta la curva del agregado máximo (TMA) que se tenga. El punto de intersección se proyecta horizontalmente sobre el eje vertical, obteniendo el contenido neto de agua en litros por metro cúbico de concreto fresco para revenimiento de 10 cms.

CURVAS DE ABRAHMS

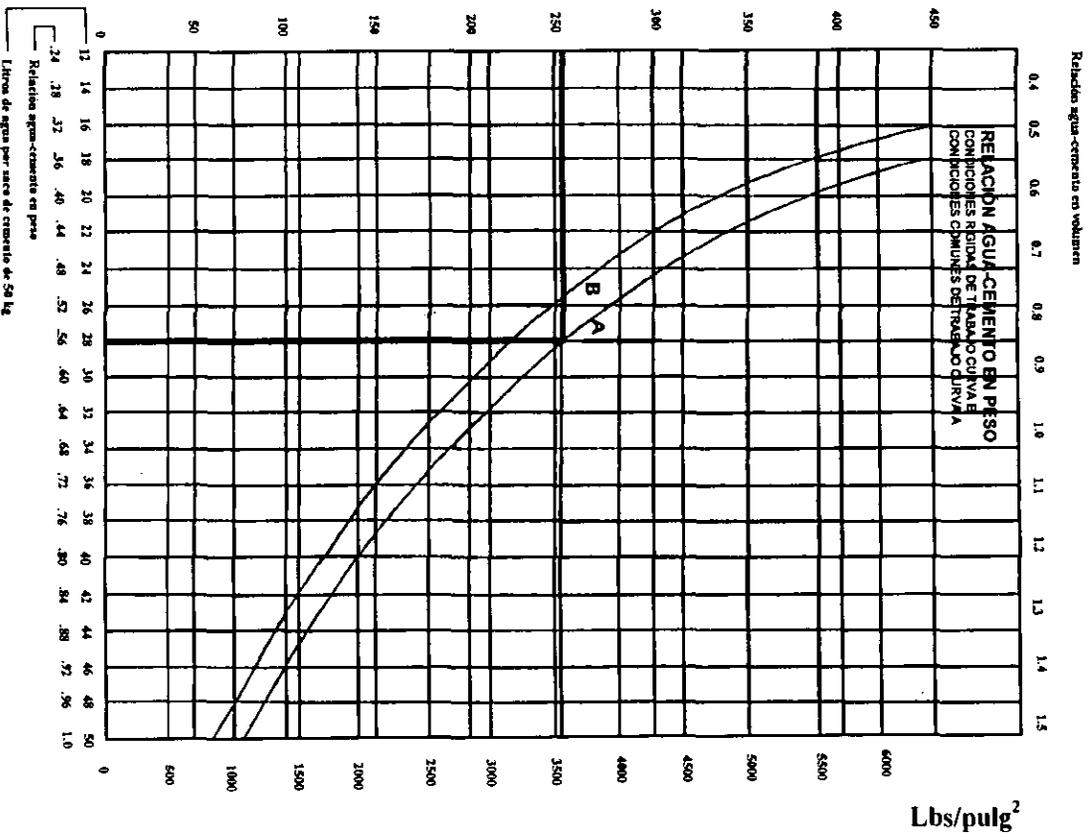


TABLA 3.5 CURVAS DE ABRAHMS

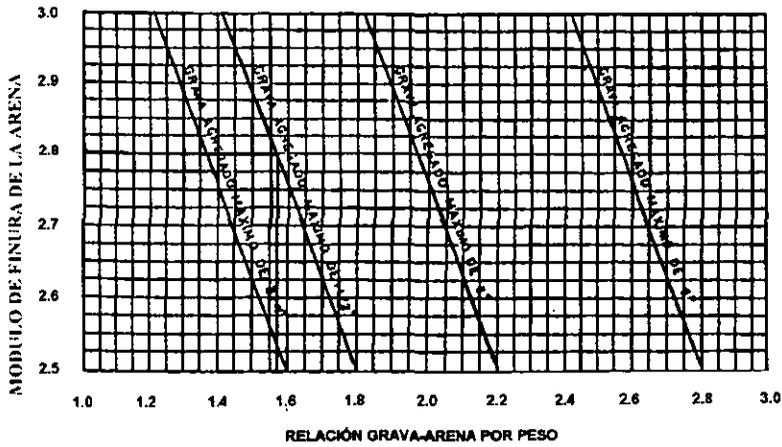


TABLA 3.6 RELACION GRAVA-ARENA POR PESO

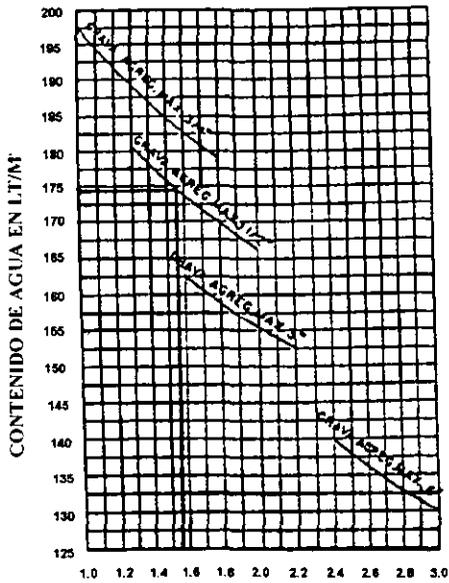


TABLA 3.7 RELACION GRAVA-ARENA POR PESO

CAPITULO IV

DOSIFICACIÓN Y FABRICACIÓN DE LA MEZCLA

IV DOSIFICACIÓN Y FABRICACIÓN DE LA MEZCLA

IV.1 ELECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

El objetivo de diseñar una mezcla de concreto, consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso. Para lograr una mezcla de concreto bien proporcionada debe tener las siguientes propiedades:

- a) El concreto fresco, trabajabilidad aceptable.
- b) En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
- c) Economía.

En la comprensión de los principios básicos de diseño de mezclas es importante la realización de los cálculos mismos. Solamente con una selección adecuada de los materiales y características de la mezcla así como al producir un concreto con un proporcionamiento adecuado, se pueden obtener las propiedades antes mencionadas. Antes de efectuar el proporcionamiento de una mezcla, se seleccionan sus características en base al uso que se dará al concreto, las condiciones de exposición, al tamaño, forma de los miembros y propiedades físicas del concreto, que se requieren para la estructura. Una vez que estas características se han elegido, la mezcla se puede proporcionar a partir de datos de campo o de laboratorio, como la mayor parte de las propiedades que se buscan obtener en el concreto endurecido, dependen fundamentalmente de la calidad de la pasta de cemento.

IV.2 RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA Y LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Por la facilidad con que se determina la resistencia a la compresión, es la medida de la calidad del concreto más empleada. A pesar de ser una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, permeabilidad y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia. Para un concreto perfectamente compactado fabricado con agregados limpios y sanos, la resistencia y otras propiedades están gobernadas por la cantidad de agua de mezclado que se utiliza por unidad de concreto.

La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la calidad, cantidad de los componentes reactivos y del grado de la reacción de hidratación. El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible, además de que se tenga una temperatura favorable. La diferencia en la resistencia para una relación agua-cemento dada, se debe al cambio en el tamaño del agregado, granulometría, textura superficial, forma resistencia y rigidez en los tipos y fuentes del cemento, contenido de aire incluido, de la presencia de aditivos y la duración del periodo de curado.

IV.2.1 RESISTENCIA

La resistencia a la compresión especificada a los 28 días para una clase individual de concreto, es la resistencia que se espera sea igualada o sobrepasada por el promedio de tres ensayos de resistencia consecutivos. La resistencia promedio debe igualar a la resistencia especificada más una tolerancia que corresponde a las variaciones en los materiales; en los métodos de mezclado, transporte, colocación del concreto; curado y ensaye de los especímenes cilíndricos de concreto.

IV.2.2 RELACIÓN AGUA-CEMENTO

La relación agua-cemento es el peso del agua, dividido entre el peso del cemento. La relación agua-cemento que se elija para el diseño de la mezcla, debe ser el menor valor requerido para ser cubiertas, las consideraciones de exposición de diseño sirven como guías para escoger la relación adecuada para diversas condiciones de exposición. Cuando la durabilidad no es el factor que rija en el diseño, deberá elegirse con base en la resistencia a compresión del concreto.

En dichos casos la relación agua-cemento y las proporciones de la mezcla para la resistencia requerida deberán basarse en datos de campo adecuados o en mezclas de pruebas hechas con los materiales con los que se va a trabajar para determinar la relación entre la relación agua-cemento y la resistencia.

IV.2.3 AIRE INCLUIDO

El aire incluido, debe ser utilizado en todo el concreto y que este expuesto a congelación, deshielo, productos químicos descongelantes y puede emplearse para mejorar la trabajabilidad donde no se requiera. El aire se incluye en la fracción de mortero del concreto; en las mezclas proporcionadas, el contenido de mortero disminuye conforme aumenta el tamaño máximo del agregado, haciendo descender en este caso el contenido de aire requerido en el concreto.

IV.2.4 REVENIMIENTO

El revenimiento es el indicador de la trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares, no se debe usar para comparar mezclas de proporción cuando se indica un cambio en la consistencia y en las características de los materiales, en la proporción de la mezcla, o en el contenido de agua. Se requieren distintos revenimientos para los diversos tipos de construcción de concreto.

Se indica el revenimiento en las especificaciones de la obra como un rango. Por ejemplo de 5 a 10 cm o como un valor máximo que no debe ser rebasado. Cuando no se le especifica, se puede seleccionar un valor aproximado, para aquellos concretos que se consolidan por vibración mecánica.

IV.3 PROPORCIONAMIENTO

Los métodos de proporcionamiento han evolucionado desde el arbitrario método volumétrico; cemento arena y grava. De principios de siglo, hasta los métodos actuales de peso y volumen absoluto descritos en la práctica estándar para el proporcionamiento de mezclas de concreto del instituto Americano del Concreto (ACI).

Los métodos de proporcionamiento por peso son simples y rápidos para estimar las proporciones de las mezclas, se utiliza un peso conocido del concreto por unidad de volumen. Una mezcla de concreto se puede proporcionar a partir de experiencias de campo o de mezclas de prueba de concreto.

En la tabla 4.1 se dan en resumen las aplicaciones de los tipos de concreto.

DOSIFICACIÓN	CONCRETO	KG. de CEMENTO	APLICACIÓN
1 : 1 $\frac{1}{2}$: 3	Cemento Portland	400	Trabajos impermeables y pavimentos de gran resistencia
1 : 2 : 3	Cemento Portland	350	Idem
1 : 2 : 4	Cemento Portland	300	Cimentación de muros máquinas y pilares.
1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5	Cemento Portland	250	Pavimento corriente y muros de contención.
1 : 3 : 6	Cemento Portland	200	Construcciones macizas, Cimientos.
1 : 4 : 8	Cemento Portland	150	Cimientos ordinarios, rellenos y trabajos de importancia.
1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5	Cemento Lento	250	Trabajos de poca importancia
1 : 3 : 6	Cemento Lento	250	Trabajos de importancia
1 : 1.25 : 4 : 8	Cemento Port-lento	200	Pavimentos y cimientos.
1 : 1.25 : 5 : 10	Cemento Port-Lento	250	Pavimentos y cimientos.
1 : 2 : 6 : 9	Cemento Port-Cal	200	Cimientos ordinarios

TABLA 4.1 APLICACIONES DE LOS DIVERSOS TIPOS DE CONCRETO.

NOTA: Los números de dosificación (1 : 2 : 3) como ejemplo, se refieren: el primer número al volumen del cemento, el segundo al de la arena y el tercero al de la grava.

IV.4 CONTENIDO de CEMENTO Y TIPO de CEMENTO

El contenido de cemento se determina a partir de la relación agua-cemento y del contenido de agua elegidos, aunque se incluyen en las especificaciones en contenido mínimo de cemento además una relación agua-cemento máxima.

Los requisitos mínimos de cemento sirven para asegurar una durabilidad y acabado satisfactorio, mayor resistencia al desgaste en las losas y apariencia apropiada de las superficies verticales. Esto es importante a pesar de los requisitos de resistencia que satisfacer con menores contenidos de cemento. Para las exposiciones severas a congelación-deshielo, sulfatos y productos descongelantes, es adecuado especificar un contenido mínimo de cemento.

Para lograr una mayor economía, el proporcionamiento debe ser tal que el consumo requerido de cemento sea mínimo sin que llegue a sacrificar la calidad del concreto. Como la calidad depende de la relación agua-cemento, se debe mantener un mínimo, el contenido de agua para reducir la demanda de cemento.

Entre las medidas para minimizar la demanda de agua y cemento se incluye el uso de:

- La mezcla más áspera que sea práctica para usar.
- El mayor tamaño del agregado que sea posible usar.
- La relación que se vaya a quedar a condiciones en que existan sulfatos.

IV.5 CONTENIDO de AGUA

El contenido de agua del concreto puede ser alterado por un gran número de factores: tamaño y forma del agregado, relación agua-cemento, revenimiento, contenido de aire, aditivos y condiciones ambientales.

La estimación de los pesos requeridos para las revolturas de concreto comprende una secuencia de pasos directos lógicos, en los que, en efecto, se involucran las características de los materiales disponibles en una mezcla apropiada para la obra. Las especificaciones de el diseño de la mezcla pueden incluir algunos o todos los conceptos siguientes:

1. Máxima relación agua/cemento
2. Mínimo contenido de cemento
3. Contenido de aire
4. Revenimiento
5. Tamaño máximo de agregado
6. Resistencia

Sin considerar si las características del cemento están prescritas en las especificaciones o se deben a la selección individual de proporciones, la determinación de los pesos de la revoltura, por metro cúbico de concreto, puede efectuarse mejor con la secuencia siguiente:

1. *Selección del revenimiento.* Si el revenimiento no está especificado, en la tabla 4.2 puede escogerse un valor apropiado para la obra. Los valores del revenimiento mostrado se aplican cuando la vibración se utiliza en la consolidación del concreto. Deben usarse las mezclas con la consistencia más rígida que se pueda colocar eficientemente.

Revenimiento, cm		
Tipo de construcción	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas, capones y muros sub-estructura No reforzados	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas y edificios	10	2
Losas y pavimentos	8	2
Concretos en masa	5	2

TABLA 4.2 REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN.

2. *Selección del tamaño de agregado.* Los agregados bien graduados con el tamaño máximo tienen menos vacíos que los de tamaño máximo menor. De ahí que los concretos con agregado de mayor tamaño requieran menos mortero por unidad de volumen de concreto. En general, el tamaño máximo del agregado debe ser el mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo deberá exceder de un quinto de la menor dimensión entre los lados de la cimbra, un tercio el peralte

de las losas, ni de las tres cuartas partes del espaciamiento mínimo libre entre varillas individuales de refuerzo, haces de varillas, o cables pretensados. Estas limitaciones en ocasiones se evitan si la trabajabilidad y los métodos de consolidación son tales que el concreto puede colocarse sin dejar zonas en forma de panal o vacíos. Cuando se desee un concreto de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados reduciendo al máximo el agregado, porque éste produce resistencias más altas con una relación agua/cemento adecuada.

3. Estimación del agua de la mezcla y del contenido de aire. La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir un revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de las partículas y graduación de los agregados, y de la cantidad de aire incluido. La cantidad de cemento no la afecta mucho. La tabla 4.3 proporciona estimaciones de la cantidad de agua en la mezcla requerida por el concreto, en función del tamaño máximo de agregado, con aire incluido y sin él. Según la textura y forma del agregado, los requisitos del agua en la mezcla pueden ser mayores o menores que los valores tabulados, pero éstos ofrecen suficiente aproximación para una primera estimación. Estas diferencias de demanda de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, puesto que pueden estar involucrados otros factores compensatorios.

		Agua en kilogramos por metro cúbico de concreto Para los tamaños máximos de agregado indicados					
Revenimiento (cm)	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
Concreto sin aire incluido							
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
Contenido de aire. Por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
Concreto con aire incluido							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
Contenido de aire. por ciento	8	7	6	5	4.5	4	3.5

TABLA 4.3 REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE LA MEZCLA Y CONTENIDOS DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS.

La tabla 4.3 indica la cantidad aproximada de contenido de aire atrapado que se espera encontrar en concretos sin aire incluido, y muestra los niveles recomendables de contenido promedio de aire para concreto, cuando el aire se incluye a propósito para alcanzar durabilidad. El concreto con aire incluido debe usarse siempre en estructuras que van a estar expuestas a congelación y deshielo y, generalmente, para estructuras expuestas al agua de mar o a sulfatos. Cuando se prevea que no habrá exposición severa, se pueden lograr efectos con la inclusión de aire en el concreto mejorando su manejabilidad y cohesión, con la mitad de los niveles de contenido de aire que se recomiendan para concretos con aire incluido. Cuando las revolturas de prueba se usan para establecer relaciones de resistencia o verificar la capacidad de una mezcla para producir resistencia, se deberá utilizar la combinación con menos cantidad de agua en la mezcla y mayor contenido de aire. Esto es, el contenido de aire debe ser el máximo permitido, o el que probablemente ocurra, y el concreto deberá calcularse con el revenimiento más alto posible. Esto evita hacer una estimación muy optimista de la resistencia, en la suposición de que las condiciones medias, más que las extremas, sean las que prevalezcan en el campo.

4. Selección de la relación agua/cemento. La relación agua/cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por factores como la durabilidad y propiedades para el acabado. Puesto que distintos agregados y cementos producen generalmente resistencias diferentes con la misma relación agua/cemento, es muy conveniente conocer o desarrollar la función entre la resistencia y la relación agua/cemento de los materiales que se usarán realmente. En ausencia de estos datos se pueden tomar los valores de la tabla 4.4 (a), que, aunque aproximados, son relativamente seguros para concretos que contengan cemento Pórtland Tipo I. Con materiales típicos, las relaciones agua/cemento tabuladas deben producir las resistencias mostradas, que están basadas en especímenes de ensaye a 28 días, y curados bajo condiciones estándar de laboratorio. La resistencia promedio debe exceder, naturalmente, a la resistencia especificada en un margen suficiente para mantener dentro de los límites determinados el número de ensayos que resultasen por debajo de lo previsto.

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

TABLA 4.4 (a) CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION AGUA/CEMENTO Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN.

*Las cifras indican resistencias promedio estimadas para concretos que contienen aire en porcentajes no mayores que los mostrados en la tabla 3.3. Para una relación agua/cemento constante la resistencia del concreto se reduce a medida que el contenido de aire se incrementa.

Para condiciones severas de exposición, la relación agua/cemento deberá mantenerse baja, aun cuando los requisitos de resistencia puedan cumplirse con un valor más alto. La tabla 4.4 (b) muestra los valores límites.

Tipo de estructura	Estructura continua O frecuentemente húmeda, Y expuesta a congelación Y deshielo	Estructura expuesta Al agua de mar o a sulfatos
Secciones delgadas (parapetos, guarniciones, Umbrales, escalones, Obras ornamentales) y Secciones con menos de 3 cm de recubrimiento	0.45	0.40"
Todas las otras Estructuras	0.50	0.45"

TABLA 4.4 (b) RELACIONES AGUA/CEMENTO PERMISIBLES PARA CONCRETO BAJO CONDICIONES SEVERAS

5. Cálculo del contenido de cemento. La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene de las determinaciones hechas en los pasos 3 y 4. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua en la mezcla (paso 3), dividido entre la relación agua cemento (paso 4). Sin embargo, si la especificación señala por separado un límite mínimo de cemento mayor que el requerido por resistencia y durabilidad, la mezcla deberá basarse en el criterio, cualquiera que sea, que conduzca al de mayor cantidad de cemento.

6. Estimación del contenido de agregado grueso. Los agregados que contengan esencialmente la misma granulometría y tamaño, deben producir un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen determinado de agregado grueso y seco, compactado con una varilla estándar, por volumen unitario de concreto. Los valores apropiados de este volumen de agregados se dan en la tabla 4.5. Se puede observar que para igual manejabilidad, el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto depende sólo del tamaño máximo y del grado de finura del agregado fino. Las diferencias en las cantidades necesarias de mortero para la trabajabilidad con agregados distintos, debidas tales diferencias a la forma y graduación de las partículas, se compensan automáticamente con el menor contenido de vacíos en el agregado seco y compactado con varilla.

Los volúmenes del agregado por metro cúbico de concreto, seco y compactado con varilla, se muestran en la tabla 4.5. Estos volúmenes se convierten en el peso seco de agregado grueso requerido por metro cúbico de concreto, al multiplicarlos por el peso volumétrico del agregado grueso seco y compactado con varilla.

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso *, seco y compactado con varilla, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
13	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	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

TABLA 4.5 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

7. Estimación del contenido de agregado fino. Al terminar el paso 6, todos los ingredientes del concreto estarán estimados, a excepción del agregado fino. Esta cantidad se determina por diferencias. Para su obtención se emplea el método por "volumen absoluto".

En este caso, el volumen total de los ingredientes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso), se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado en el concreto por cualquier ingrediente es igual a su peso, dividido entre el peso específico de ese material.

8. Ajuste por humedad de los agregados. Hay que tener en cuenta la humedad de los agregados para pesarlos correctamente. Generalmente los agregados están húmedos y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficial. El agua de la mezcla que va a agregarse a la revoltura debe reducirse en una cantidad igual a la humedad que contiene el agregado, esto es, humedad total menos absorción.

* Los volúmenes están basados en agregados en condición seca y compactado con varilla como se describe en la norma ASTM C 29.

IV.6 EJEMPLO de DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO de MEZCLAS (MÉTODO DEL ACTI)

Se desea fabricar un concreto con una resistencia especificada a la compresión, $f'c$, de 200 kg/cm^2 a los 28 días usando cemento Tipo I. Se da un revenimiento como dato de $10\text{-}2 \text{ cm}$. No se cuenta con datos estadísticos de mezclas previas. Los materiales y las propiedades de los mismos con que se dispone son los siguientes:

MATERIAL	PESO ESPECIFICO (kg./m^3)	PESO VOLUMETRICO (kg./m^3)	TMA (PULG)	MF	HUMEDAD (%)	ABSORCION (%)
AGUA	1,000	----	--	--	---	---
CEMENTO	3,150	----	--	--	---	---
GRAVA	2,380	1,385	1"	--	1	4.20
ARENA	2,400	1,573		2.8	1.4	7.40

1.- Como no se dispone de datos estadísticos, $f'cr$ (la resistencia a la compresión requerida para efectuar el proporcionamiento) para establecer una desviación estándar entonces se hace uso de la tabla 4.6.

Resistencia a la compresión Especificada $F'c \text{ kg./cm}^2$	Resistencia a la compresión Requerida promedio $F'cr \text{ kg./cm}^2$
Menos de 210	$F'c + 70$
210 a 350	$F'c + 85$
Mayor que 350	$F'c + 100$

TABLA 4.6 RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO CUANDO NO SE DISPONE DE DATOS DE CAMPO PARA ESTABLECER UNA DESVIACION ESTANDAR.

Por lo tanto:

$$F'cr = f'c + 70$$

$$F'cr = 270 \text{ kg./cm}^2$$

2.- CONTENIDO de AGUA.

La tabla 3.1 ó 4.3 recomienda que un concreto sin aire incluido, un revenimiento de 8 a 10 cm y un tamaño máximo de agregado de 25 mm (1") tenga un:

$$\text{CONTENIDO de AGUA} = 195 \text{ kg.}$$

3.- **RELACIÓN AGUA-CEMENTO.** Según la tabla 4.4 (a), de acuerdo a la resistencia a compresión de concreto a los 28 días e interpolando se tiene que:

$$\frac{a}{c} = 0.587$$

4.- **CONTENIDO de CEMENTO.** Conociendo el contenido de agua, sustituyendo y despejando c de la expresión anterior:

$$c = \frac{195}{0.587} = 332 \text{ kg.}$$

5.- **CONTENIDO de AGREGADO GRUESO.** La cantidad de agregado grueso de tamaño máximo de 25 mm (1") se puede estimar de la tabla 4.5 para un módulo de finura de 2.8 y multiplicando este valor por su peso volumétrico.

$$\underline{\text{CONTENIDO de AGREGADO GRUESO} = 928 \text{ kg.}}$$

6.- **CALCULO de CONTENIDO de AGREGADO FINO (POR VOLÚMENES ABSOLUTOS).** El volumen del agregado fino se determina sustrayendo el volumen absoluto de los ingredientes conocidos a un metro cúbico. El volumen absoluto del agua, cemento y agregado grueso se calcula dividiendo su peso conocido entre su peso específico. Los cálculos por volumen se realizan de la siguiente forma:

$$\begin{array}{l} \text{Agua} = \frac{195 \text{ kg.}}{1000 \text{ kg./m}^3} = 0.195 \text{ m}^3 \\ \text{Cemento} = \frac{332 \text{ kg.}}{3150 \text{ kg./m}^3} = 0.105 \text{ m}^3 \\ \text{1\% de Aire} = 1 \text{ m}^3 \times .01 = 0.010 \text{ m}^3 \\ \text{Agregado grueso} = \frac{928 \text{ kg.}}{2380 \text{ kg./m}^3} = 0.390 \text{ m}^3 \\ \hline \text{Volumen total de los} \\ \text{Ingredientes conocidos} = 0.700 \text{ m}^3 \end{array}$$

El volumen absoluto calculado para el agregado fino viene siendo:

$$1.00 \text{ m}^3 - 0.700 \text{ m}^3 = 0.300 \text{ m}^3$$

7.- PESO de AGREGADO FINO

$$0.300 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg./m}^3 = 720 \text{ kg.}$$

La mezcla tiene entonces las siguientes proporciones para un metro cúbico de concreto antes de realizar la mezcla de prueba:

Agua	195 kg.
Cemento	332 kg
Agregado grueso (seco)	928 kg.
Agregado fino (seco)	<u>720 kg.</u>
Peso total	2175 kg

8.- CORRECCIÓN DEL AGUA POR HUMEDAD O ABSORCIÓN. El agua absorbida no forma parte del agua de mezclado y deberá quedar excluida del ajuste por humedad.

$$\text{Agregado grueso} = 1.4 - 7.4 = -6.0$$

$$\text{Agregado fino} = 1.0 - 4.2 = -3.2$$

9.-CORRECCIÓN DEL AGUA. El requisito estimado para el agua que se va agregar será de:

$$195 - (928 \times (-0.032)) - (720 \times (-0.060)) = 268 \text{ kg.}$$

10.- Con los contenidos de humedad de los agregados previamente indicados, las proporciones de agregado para la mezcla de prueba cambian a:

$$\text{Agregado grueso (1.0\%de humedad)} = 928 \times 1.01 = 937 \text{ kg.}$$

$$\text{Agregado fino (1.4\% de humedad)} = 720 \times 1.014 = 730 \text{ kg.}$$

La mezcla tiene entonces las siguientes proporciones para un metro cúbico de concreto:

Agua	268 kg.
Cemento	332 kg.
Agregado grueso (húmedo 1%)	937 kg.
Agregado fino (húmedo 1.4 %)	<u>730 kg.</u>
Total	2267 kg.

11.- **MEZCLA de PRUEBA.** En esta etapa, se deben revisar los pesos estimados de las mezclas. Es necesario mezclar una cantidad suficiente de concreto para realizar adecuadamente las pruebas de revenimiento y peso volumétrico del concreto. Para la mezcla de prueba de laboratorio es conveniente en este caso, reducir los pesos para producir 0.015 m^3 de concreto.

MEZCLA de PRUEBA de LABORATORIO

Agua	$268 \times 0.015 = 4.02 \text{ kg.}$
Cemento	$332 \times 0.015 = 4.98 \text{ kg.}$
Agregado grueso (húmedo)	$937 \times 0.015 = 14.05 \text{ kg.}$
Agregado fino (húmedo)	$730 \times 0.015 = 10.95 \text{ kg.}$
Total	34.00 kg.

Al realizar la de prueba se tuvo un revenimiento de 9 cm (por lo tanto esta dentro de la tolerancia dada) y un peso volumétrico de 2250 kg./m^3 . Durante el mezclado una cierta cantidad del agua estimada puede quedarse sin emplear o se puede llegar a usar una cantidad adicional para lograr el revenimiento requerido. En este caso, aunque se cálculo que se agregarían 4.02 kg., en la mezcla de prueba se agrego más agua y se utilizaron 4.14 kg. Por lo tanto la mezcla queda:

Agua	4.14 kg.
Cemento	4.98 kg.
Agregado grueso (húmedo)	14.05 kg.
Agregado fino (húmedo)	10.95 kg.
Total	34.12 kg.

12.- El rendimiento de la mezcla de prueba es de:

$$\frac{34.12 \text{ kg.}}{2250 \text{ kg./m}^3} = 0.0151 \text{ m}^3$$

Ahora los pesos para la mezcla basados en los nuevos contenidos de agua, cemento y agregado grueso son los siguientes:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Agua} = & \frac{203 \text{ kg.}}{1000 \text{ kg./m}^3} & = 0.203 \text{ m}^3 \\
 \\
 \text{Cemento} = & \frac{346 \text{ kg.}}{3150 \text{ kg./m}^3} & = 0.110 \text{ m}^3 \\
 \\
 \text{Agregado grueso (seco)} = & \frac{920 \text{ kg.}}{2340 \text{ kg./m}^3} & = 0.386 \text{ m}^3 \\
 \\
 \text{Total} & \underline{\hspace{10em}} & 0.699 \text{ m}^3
 \end{array}$$

17.- **VOLUMEN de AGREGADO FINO.** El volumen del agregado fino será:

$$1.0 - 0.699 = 0.301 \text{ m}^3$$

18.- **CONTENIDO de AGREGADO FINO.** El peso requerido de agregado fino es:

$$0.301 \times 2400 = 720 \text{ kg.}$$

Los pesos de mezcla ajustados por metro cúbico de concreto son:

Agua	203 kg.
Cemento	346 kg.
Agregado grueso (seco)	920 kg.
Agregado fino (seco)	720 kg.

Luego de haber terminado la revisión de estas proporciones y realizar una mezcla de prueba, se encontró que las proporciones resultaron adecuadas, se tuvo un revenimiento de 9 cm, un peso volumétrico de 2244 kg./m³, con lo cual concluimos que la dosificación de nuestra mezcla estuvo bien realizada.

CAPITULO V

MUESTREO Y PRUEBAS DEL CONCRETO FRESCO

V MUESTREO Y PRUEBAS DEL CONCRETO FRESCO

En este capítulo trataremos acerca de él método para el muestreo y pruebas que se realizan al concreto fresco.

V.1 MUESTREO

La muestra deberá ser de por lo menos treinta (30) litros, cuando se vaya usar para pruebas de resistencia. Se podrán recabar muestras más pequeñas para pruebas rutinarias de contenido de aire y revenimiento. Las muestras se deberán transportar al lugar en donde se vayan a moldear los especímenes o en donde se vayan a realizar las pruebas y se deberá remezclar con una pala la cantidad mínima para asegurar la uniformidad. La muestra se deberá proteger contra los rayos del sol y el viento durante el período comprendido entre la toma de la muestra y la elaboración del espécimen, el cual no deberá exceder de quince (15) minutos. Los procedimientos que se usan en el muestreo deberán incluir todas las precauciones pertinentes para obtener muestras representativas de la naturaleza y condiciones reales del concreto muestreado, según se indica el el procedimiento de prueba.

APARATOS Y EQUIPO:

1. Recipiente (adecuado, con una capacidad mínima de 30 litros (cubeta, charola o carretilla), debe ser limpio, impermeable y no absorbente).
2. Charola (puede ser un recipiente, preferentemente de acero, limpio, impermeable y no absorbente, con la capacidad adecuado para el tamaño total de la muestra).
3. Cucharón

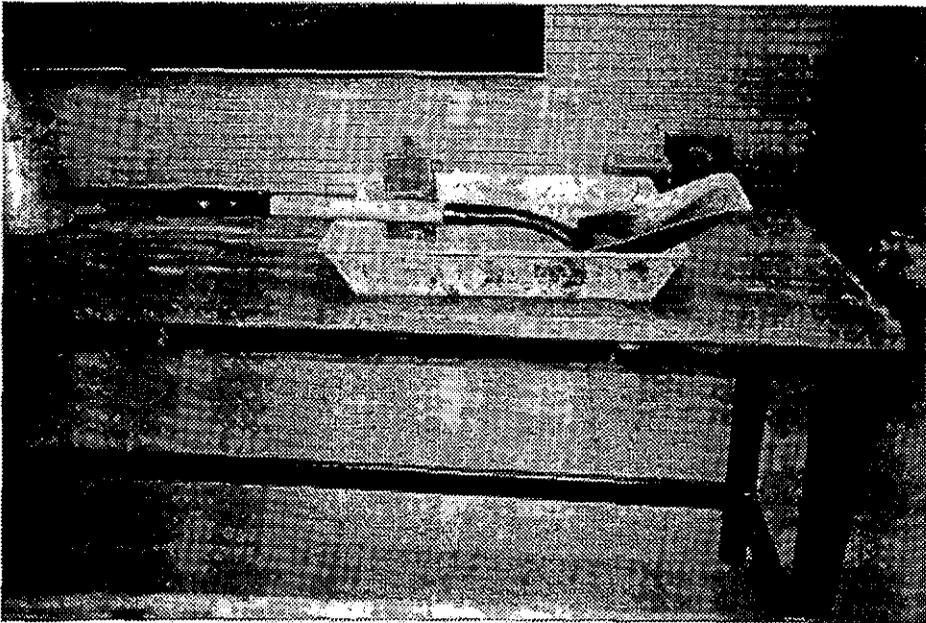


FIGURA 5.1 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA EL MUESTREO DEL CONCRETO FRESCO

PROCEDIMIENTO

Los procedimientos usados en el muestreo incluyen todas las operaciones que ayuden a obtener muestras representativas de la naturaleza y condiciones del concreto muestreado y no debe tomarse la muestra sino hasta que se haya agregado toda el agua de mezclado y la mezcla esté homogénea.

V.1.1 MUESTREO DE MEZCLADORAS ESTACIONARIAS (FIJAS Y BASCULANTES).

La muestra se obtiene interceptando el flujo completo de descarga de la mezcladora, con el recipiente aproximadamente a la mitad de la descarga del tambor de la mezcladora o desviando el flujo completamente, de tal modo que descargue en el recipiente. Debe tenerse cuidado de no restringir el flujo de la mezcladora con compuertas u otros medios que causen segregación del concreto.

V.1.2 MUESTREO DE PAVIMENTADORAS

El concreto de la pavimentación debe descargarse y la muestra debe tomarse con el cucharón (no debe utilizarse pala) de por lo menos 5 distintos puntos distribuidos razonablemente en toda el área del volumen descargado. Debe evitarse la contaminación con el material de sub-base o un contacto prolongado con una sub-base absorbente.

V.1.3 MUESTREO DE LA OLLA DE CAMIÓN MEZCLADOR O AGITADOR.

La muestra se toma en tres o más intervalos, interceptando todo el flujo de la descarga, teniendo la precaución de no tomarla antes del 15% ni después del 85% de la misma.

El muestreo se hace pasando repetidamente el recipiente en la descarga, interceptándola totalmente cada vez, o desviando el flujo completamente de tal modo que descargue en el recipiente. La velocidad de descarga debe controlarse con el número de revoluciones de la olla y no por la mayor o la menor abertura de la compuerta.

V.1.4 MUESTREO DE CAMIONES CAJA, CON O SIN AGITADORES DE VOLTEO U OTROS TIPOS.

Las muestras deben obtenerse por cualquiera de los procedimientos descritos en los párrafos V.1.1, V.1.2 y V.1.3 el que sea más aplicable bajo las condiciones dadas.

La muestra debe ser una cantidad suficiente para la realización de todas y cada una de las pruebas. Se recomienda que la muestra sea superior al volumen requerido y esté de acuerdo con el tamaño máximo del agregado.

La muestra debe transportarse sin pérdida de material al lugar donde se efectúan las pruebas y debe remezclarse para asegurar su uniformidad.

El intervalo entre la obtención de la primera y última porción de una muestra debe ser tan corto como sea posible, y nunca más de 15 min.

El periodo entre tomar la muestra y usarla no debe exceder de 15 min. Las pruebas de revenimiento o de aire incluido deben iniciarse dentro de los 5 minutos después de que el muestreo haya terminado.

Como se menciona anteriormente, la muestra debe protegerse en ese intervalo de los rayos solares, el viento y otros factores que causen rápida evaporación o contaminación de la muestra.



FIGURA 5.2 MUESTRA DE LA MEZCLA DE CONCRETO

V.2 REVENIMIENTO

Esta es una prueba que se usa en gran medida durante el trabajo en obra en todas partes del mundo. La prueba de revenimiento no mide la trabajabilidad del concreto, pero es muy útil para detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla, dentro de determinadas proporciones nominales.

Hay algunas diferencias ligeras entre los detalles del procedimiento en los diversos países en que se aplica, pero no son de importancia.

La tabla 5.1 indica el orden de magnitud del revenimiento para diversas trabajabilidades. Sin embargo, hay que recordar que con diferentes agregados se puede registrar el mismo revenimiento para una diversidad de trabajabilidades, puesto que en realidad el revenimiento no guarda una relación exclusiva con la trabajabilidad.

Grado de trabajabilidad	Revenimiento mm	Factor de compactación		
		Aparato pequeño	Aparato Grande *	Uso adecuado del concreto
Muy bajo	0 - 25	0.78	0.80	Caminos vibrados con compactadoras mecánicas. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse en ciertos casos con máquinas operadas manualmente.
Bajo	25 - 50	0.85	0.87	Caminos vibrados con máquina manuales. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse manualmente en caminos que empleen agregado de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto masivo sin vibrado o secciones ligeramente reforzadas con vibrado.
Mediano	50 - 100	0.92	0.935	En el extremo menos trabajable de este grupo, se encuentran losas planas compactadas manualmente, usando agregados triturados. Concreto con refuerzo normal, compactado manualmente y secciones muy reforzadas con vibrado.
Alto	100 - 175	0.95	0.96	Para secciones de altas concentraciones de refuerzo. No suele ser adecuado para vibrado.

TABLA 5.1 Trabajabilidad, revenimiento y factor de compactación de concretos con tamaño máximo de agregado de 19 ó 38 mm.

A pesar de las limitaciones, la prueba de revenimiento es de mucho provecho en la obra para verificar día a día y a cada momento la variación de los materiales que se introducen en la mezcladora. Por ejemplo, el aumento del revenimiento puede significar que el contenido de humedad de los agregados ha incrementado repentinamente; otra causa podría ser un cambio en la granulometría del agregado, como puede ser una deficiencia de arena. Un revenimiento demasiado alto o bajo es una advertencia inmediata que permite al operador de la mezcladora remediar la situación. Esta aplicación de la prueba de revenimiento, además de su sencillez, es la causa de que se utilice tanto.

En resumen se puede decir que el revenimiento es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de la altura.

V.2.1 PRUEBA PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DEL CONCRETO MEDIANTE LA OBTENCIÓN DEL REVENIMIENTO.

MATERIAL Y EQUIPO:

1. Molde metálico de material no absorbente, no susceptible de ser atacado por la pasta de cemento. El molde debe ser rígido y tener la forma de un tronco de cono de 20 cm de diámetro en la base inferior, 10 cm en la parte superior y 30 cm de altura, con una tolerancia de ± 3 mm en cada una de sus dimensiones. (ver figura 5.4).
2. Varilla punta de bala.
3. Pala, cucharón, guantes de hule y cinta métrica.

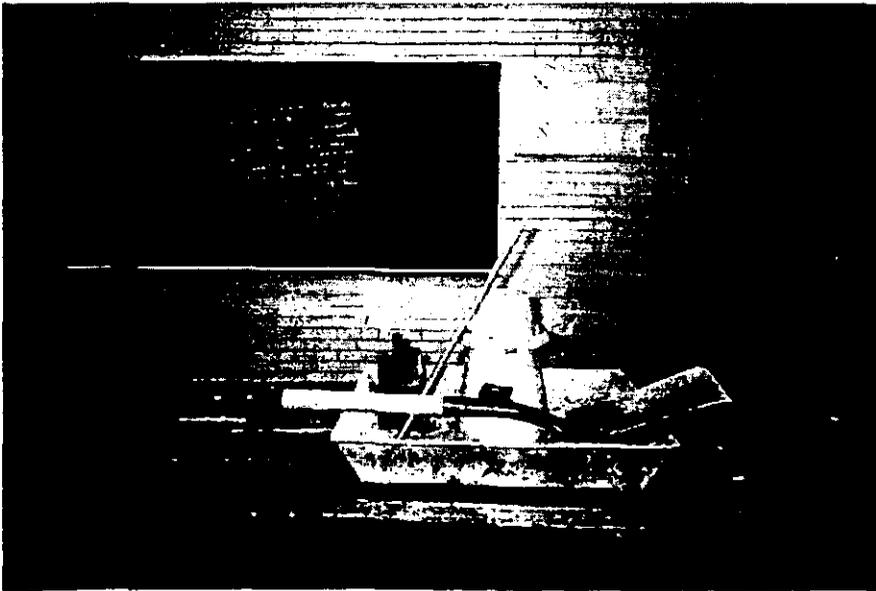
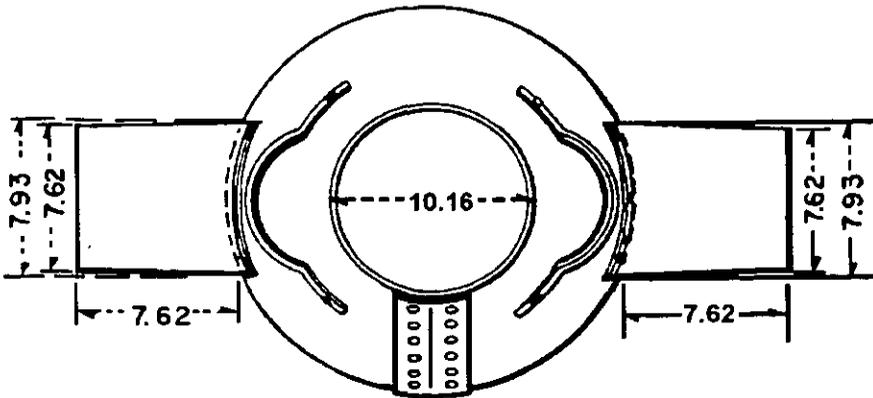
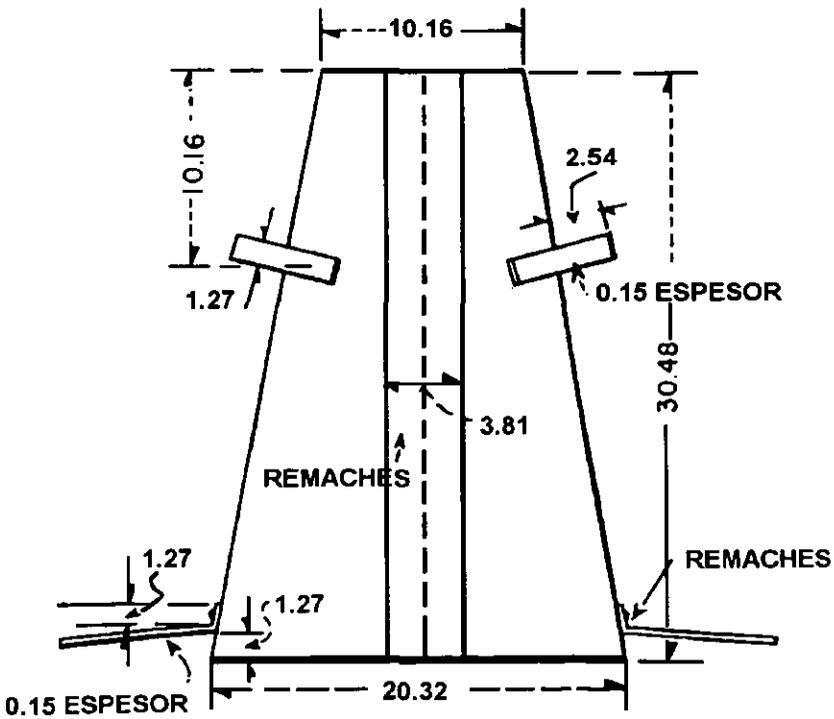


FIGURA 5.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL REVENIMIENTO



PLANTA



ELEVACIÓN

Figura 5.4 Molde para prueba de revenimiento

La muestra debe obtenerse de acuerdo a lo indicado en el procedimiento de muestreo.

PROCEDIMIENTO

Después de haber obtenido la muestra, se remezcla el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla y se procede a hacer la prueba inmediatamente.

Se humedece el molde, se coloca sobre una superficie horizontal, plana, rígida, húmeda y no absorbente. El operador lo debe mantener firme en su lugar durante la operación de llenado, apoyando los pies en los estribos que tiene para ello el molde (figura 5.5). A continuación se llena el molde con tres capas aproximadamente de igual volumen. La primera capa corresponde a una altura aproximadamente de 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura de aproximadamente 15 cm, y la tercera al extremo del molde. Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla ligeramente en la zona perimetral; aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro, después, con la varilla vertical se avanza hacia el centro.



FIGURA 5.5 COLOCACION DEL MOLDE ANTES DE SER LLENADO

Se compacta la segunda capa y la superior a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm; para el llenado de la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde, antes de empezar la compactación. Si a consecuencia de la compactación, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima y/o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde, todo el tiempo. Después de terminar la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla (figura 5.6). Se limpia la superficie exterior de la base del asiento, e inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical.

La operación para levantar completamente el molde los 30 cm de su altura en $5.5 \text{ seg} \pm 2 \text{ seg}$, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional. La operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levante el molde, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2.5 min. Se mide inmediatamente el revenimiento, determinado el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, midiendo está diferencia de alturas en el centro desplazado de la superficie superior del espécimen (figura 5.7). Si alguna porción del concreto se desliza o cae hacia un lado, se desecha la prueba y se efectúa otra con una nueva porción de la misma muestra.

Si dos pruebas consecutivas hechas de la misma muestra presentan fallas al caer parte del concreto a un lado, probablemente el concreto carece de la necesaria plasticidad y cohesividad; en este caso no es aplicable la prueba del revenimiento.

El revenimiento debe medirse con una aproximación de 1 cm. En esta prueba se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 cm a 20 cm.

RESULTADOS

Los resultados de la prueba deben ser los siguientes:

- a) Revenimiento obtenido en centímetros.
- b) Revenimiento de proyecto
- c) Tamaño máximo del agregado.
- d) Identificación del concreto.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



FIGURA 5.6 SE ENRASA EL CONCRETO MEDIANTE EL MOVIMIENTO DE RODAMIENTO DE LA VARILLA.

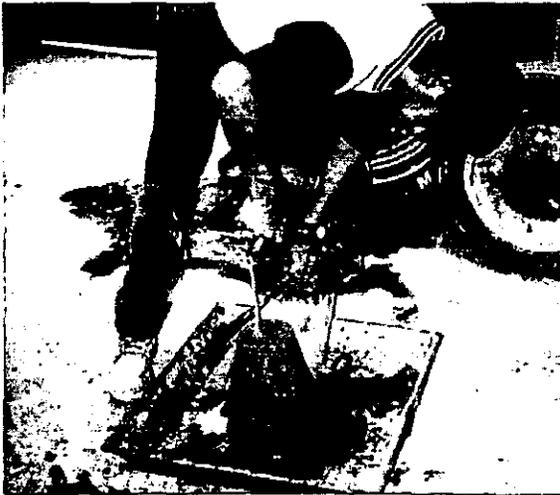


FIGURA 5.7 SE MIDE EL REVENIMIENTO DETERMINANDO EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO A PARTIR DEL NIVEL ORIGINAL DE LA BASE SUPERIOR DEL MOLDE, MIDIENDO ESTA DIFERENCIA DE ALTURAS EN EL CENTRO DESPLAZADO DE LA SUPERFICIE SUPERIOR DEL ESPÉCIMEN.

V.3 PRUEBA PARA ELABORAR Y CURAR ESPECÍMENES DE CONCRETO

En esta prueba se establecen los procedimientos para elaborar y curar en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión.

Se define al curado como el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado de humedad y temperatura, se favorece la hidratación del cemento o de los materiales cementantes de la mezcla.

APARATOS Y EQUIPO

1. Moldes en general

Los moldes y los accesorios para elaborar los especímenes de concreto deben ser de acero, fierro fundido, o cualquier otro material no absorbente y no reactivo con el concreto de cemento Portland u otros cementantes hidráulicos. Los moldes deben cumplir con las dimensiones y tolerancias que se especifican en esta norma y deben mantener estas dimensiones y sus formas bajo condiciones severas de trabajo. Deben ser impermeables durante su empleo y si es necesario se podrá usar un material de sello que evite la fuga de agua por las juntas, tal como grasa, plastilina o parafina. Deben estar provistos de los elementos necesarios para fijarlos firmemente en sus bases.

Para efectos de esta prueba se utilizarán especímenes de concreto de tipo cilíndrico. Se elaborarán para las pruebas de compresión con un diámetro mínimo de 5 cm y una longitud mínima de 10 cm. Los cilindros deben ser de 15 cm de diámetro y 30 cm de longitud.

El diámetro de los especímenes cilíndricos o la dimensión menor de una sección transversal rectangular debe ser cuando menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso empleado en el concreto. Durante la elaboración de los especímenes, se deben eliminar manualmente aquellas partículas mayores al interior que ocasionalmente se encuentren dentro de la granulometría normal.

2. Varillas para la compactación

Según el tipo de prueba se especifican dos tamaños de varillas; cada una debe consistir en una barra lisa cilíndrica de acero, cuando menos con un extremo semiesférico, de diámetro igual al de la barra.

Varilla larga, es una barra lisa de 16 mm de diámetro y aproximadamente 60 cm de largo. Varilla corta, consiste en una vara lisa de 10 mm de diámetro y aproximadamente 30 cm de largo.

3. Herramienta auxiliar

Se debe contar con herramientas auxiliares, tales como palas, recipientes, llanas enrasadores, cucharones, reglas, guantes de hule y charolas de lámina para mezclar.

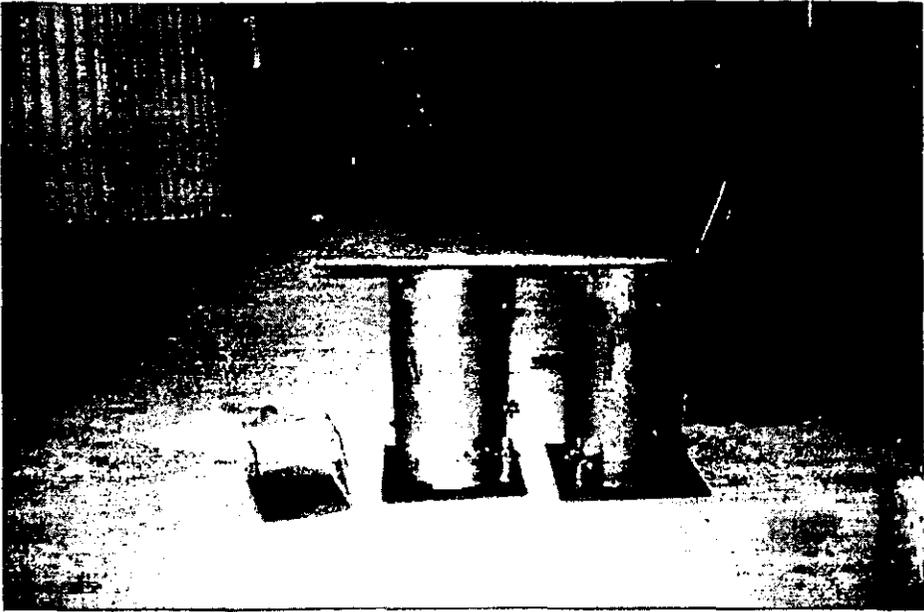


FIGURA 5.8 MATERIAL Y EQUIPO QUE SE UTILIZA PARA ELABORAR Y CURAR ESPECIMENES DE CONCRETO.

PROCEDIMIENTO

V.3.1 MEZCLADO DEL CONCRETO

Los procedimientos de mezclado se describen a continuación. Sin embargo, otros procedimientos pueden ser empleados cuando se pretenda reproducir condiciones o sistemas especiales, o cuando los métodos especificados no resulten prácticos. Se describe un procedimiento de mezclado mecánico, apropiado para revolvedoras tipo de olla.

Es importante que no se alteren las secuencias de mezclado ni el procedimiento de revoltura a revoltura, a menos que se pretenda estudiar el efecto de tales variaciones.

V.3.2 MEZCLADO MECANICO

Antes de iniciar la operación de la revolvedora se añade el agregado grueso, parte del agua de mezclado y la solución de aditivos, cuando ésta se requiera. Cuando sea factible, el aditivo puede ser disuelto en el agua de mezclado antes de agregarla. Se inicia la operación de la revolvedora y luego se añade el agregado fino, el cemento y el cemento mientras gira la olla. Si no resulta práctico para algún tipo de revolvedora o para alguna prueba especial, el agregar los componentes descritos mientras se encuentra en operación, podrán ser adicionados a la revolvedora parada, después de haber permitido que gire unas cuantas revoluciones conteniendo el agregado grueso y parte del agua.

Se mezcla el concreto durante 3 minutos, después de haber cargado todos los ingredientes, seguido de un descanso de 3 minutos; se termina con otro período de mezclado de 2 minutos. Se tapa la boca de la revolvedora con un paño húmedo durante el período de descanso para evitar la evaporación. Se hace la compensación necesaria del mortero que contenga la revolvedora, para que la revoltura descargada, al ser empleado tenga las proporciones correctas. Para eliminar la segregación, se deposita el concreto mezclado por la revolvedora en una charola limpia y húmeda y se remezcla con pala o cucharón hasta obtener una apariencia uniforme. Es difícil recuperar todo el mortero de la revolvedora.

V.3.3 MEZCLADO A MANO

Se mezcla la revoltura en una charola o recipiente metálico liso, limpio y húmedo con un cucharón empleando el método siguiente, cuando los agregados han sido preparados adecuadamente de acuerdo a la dosificación y diseño de la mezcla realizado.

Se mezcla el cemento, el aditivo insoluble en caso de requerirse, y el agregado fino, hasta lograr una combinación uniforme.

Se añade el agregado grueso y se mezcla toda la revoltura, hasta lograr su distribución uniforme.

Se agrega el agua y la solución del aditivo en caso de emplearse, y se mezcla hasta obtener un concreto homogéneo en apariencia y de la consistencia deseada. Si se requiere un mezclado prolongado para ajustar la consistencia a base de incrementos de agua, se desecha esta revoltura y se elabora una nueva, en la cual no se interrumpa el mezclado.

De la revoltura del concreto se obtiene la fracción representativa para las pruebas y para elaborar los especímenes. Cuando el concreto no este en proceso de mezclado o de muestreo, se cubre para evitar la evaporación del agua con un paño húmedo.



FIGURA 5.9 MEZCLADO A MANO DEL CONCRETO

V.3.4 ELABORACION DE LOS ESPECIMENES

Se elaboran los especímenes lo más cerca posible al lugar en donde deben ser almacenados durante las 24 horas. Si no es posible su elaboración en el mismo lugar de almacenaje, se deben transportar cuidadosamente los moldes con los especímenes a dicho lugar inmediatamente después de su enrasado. Se colocan en una superficie rígida y horizontal, que no éste sujeta a vibraciones u otras perturbaciones. Se deben evitar los movimientos bruscos, los golpes y las inclinaciones o rayados de la superficie de los especímenes.

Se coloca el concreto en los moldes usando un cucharón. Es necesario el remezclado del concreto en la charola, o con cucharón, para evitar la segregación durante el moldeo de los especímenes. Se toma el recipiente de mezclado en tal forma que sea representativo de la revoltura. Se mueve el cucharón alrededor del borde superior del molde al descargar el concreto, para asegurar una distribución uniforme y recibir la segregación del agregado grueso.

Se distribuye el concreto colocado, empleando la varilla, antes de iniciar la compactación. Al colocar la última capa el operador debe procurar que la cantidad de concreto llene el molde rebosándolo después de su compactación.

Se elaboran los especímenes llenando y compactando en capas, según lo indicado en la tabla 5.2.



FIGURA 5.10 SE ENRASA EL CONCRETO MEDIANTE EL MOVIMIENTO DE RODAMIENTO DE LA VARILLA.

La elaboración de los especímenes adecuados requiere el empleo de diferentes métodos de compactación. Los métodos de compactación son el varillado y el vibrado interno o externo. La selección del método de compactación debe basarse en el revenimiento, a menos que el método se establezca en las especificaciones estructurales. Se varillan los concretos con revenimiento mayor de 8 cm. Se varillan o se vibran los concretos con revenimiento entre 3 y 8 cm. Se compactan con vibración los concretos con revenimiento menor de 3 cm. No se debe emplear la vibración interna en cilindros de diámetro de 10 cm o menor, o en vigas o prismas de 10 cm de ancho o altura, o menos.

V.3.5 VARILLADO.

Se coloca el concreto dentro del molde, en el número de capas especificado, de aproximadamente igual espesor. Se varilla cada capa con el extremo redondeado empleando el número de penetraciones y tamaño de varilla especificado en la tabla 5.3. Se compacta la capa inferior en todo su espesor se distribuyen los golpes uniformemente en toda la sección transversal del molde y para cada capa superior, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 1 cm dentro de la capa inmediata inferior, cuando el espesor de esa capa sea menor de 10 cm, y aproximadamente 2 cm cuando su espesor sea de 10 cm o más. Si la varilla produce oquedades, se golpean ligeramente las paredes del molde para eliminar hasta donde sea posible. En el caso de los moldes prismáticos, después de que cada capa se ha varillado debe introducirse y sacarse repetidamente una cuchara de albañal u otra herramienta adecuada en la zona de contacto del concreto y el molde en todo su perímetro.



FIGURA 5.11 NOS MUESTRA EL VARILLADO DEL CONCRETO EN EL MOLDE

NÚMERO DE CAPAS REQUERIDAS PARA LOS ESPECÍMENES			
Tipo y tamaños Del espécimen en Cm	Método de Compactación	Número de Capas	Espesor aproximado De la capa en cm
CILINDROS:			
Hasta 30	Varillado	3 iguales	—
Más de 30	Varillado	según se requiera	10
Hasta 45	Varillado	2 iguales	—
Más de 45	Varillado	3 o más	15 o lo más cercano posible
PRISMAS Y CILINDROS HORIZONTALES PARA FLUJO PLÁSTICO			
Hasta 20	Varillado	2 iguales	—
Más de 20	Varillado	3 o más	10
Hasta 20	Vibrado	1	—
Más de 20	Vibrado	2 o más	20 o lo más cercano posible

Tabla 5.2 llenado y compactado de los especímenes de concreto

CILINDROS VERTICALES		
Diámetro del cilindro Cm	Diámetro de la varilla Mm	Número de penetraciones Por capa
Entre 5 y menos de 15	10	25
15	16	25
20	16	50
25	16	75
VIGAS Y PRISMAS		
Area superficial superior Del espécimen en cm	Diámetro de varilla Mm	Número de penetraciones Por capa
160 o menos	10	25
entre 165 y 310	10	Uno por cada 7 cm De superficie
320 o más	16	Uno por cada 10 cm De superficie

Tabla 5.3 Diámetro de la varilla y número de penetraciones empleados para moldear los especímenes de prueba.

V.3.6 VIBRADO

La duración requerida para la vibración depende de la trabajabilidad del concreto, la efectividad del vibrado y las dimensiones del molde. Se efectúa la vibración sólo el tiempo necesario para lograr una compactación apropiada del concreto, la cual se logra en el momento en que la superficie del concreto empieza a tener un aspecto relativamente liso. El exceso de vibración puede producir segregación. Se debe procurar que el tiempo de vibrado en moldes similares y en el mismo tipo de concreto sea siempre el mismo. Se coloca dentro del molde todo el concreto de una capa antes de iniciar la vibración de la misma. Se coloca la última capa de tal forma que se evite rebasar el molde en más de 5 mm, se enrasa la superficie, ya sea durante la vibración, cuando ésta se aplique externamente, o después cuando se aplique internamente.

Después de la compactación con cualquiera de los 2 (dos) métodos descritos anteriormente, se termina la superficie superior enrasándola con un enrasador de madera o metal. Si se desea, se puede cabecear la superficie del cilindro recién elaborado con una capa delgada de pasta de cemento, que se endurezca y se cure con el espécimen, de acuerdo al método de curado descrito a continuación.

V.3.7 CURADO

Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminados, de preferencia, con una placa no absorbente y no reactiva, o con una tela de plástico durable impermeable (ver figura 5.12)..



FIGURA 5.12 CUBIERTA DEL MOLDE CON UNA PLACA METALICA PARA EVITAR EVAPORACIÓN.

Se puede emplear yute húmedo, pero debe cuidarse de mantenerse con humedad y evitar el contacto con el concreto hasta que los especímenes sean extraídos de los moldes. El colocar una tela de plástico sobre el yute facilita mantenerlo húmedo.

Los especímenes deben ser descimbrados no antes de 20 ni después de 48 horas de su elaboración.

A menos que algún método lo especifique de otra manera, todos los especímenes deben ser curados en humedad a temperatura de 289 a 300°K (16 a 27°C) durante las primera 24 horas, después de ese tiempo deben mantenerse a una temperatura de $296 \pm 2^{\circ}\text{K}$ ($23 \pm 2^{\circ}\text{C}$) con una humedad relativa de 95% mínima, hasta el momento de la prueba.



FIGURA 5.13 CUARTO PARA CURAR ESPECÍMENES DE CONCRETO

El almacenaje durante las primeras 48 horas debe ser en un sitio libre de vibraciones. Con relación a los especímenes extraídos de los moldes, el curado húmedo significa que los especímenes de prueba pueden mantenerse con agua libre en su superficie en todo tiempo.



FIGURA 5.14 LUGAR PARA ALMACENAR Y CURAR ESPECIMENES DE CONCRETO DURANTE LAS PRIMERAS 48 HORAS.

CAPITULO VI

CONCRETO CONTRA

SULFATOS

VI CONCRETO CONTRA SULFATOS

Sólo una pequeña parte del concreto utilizado en la práctica se expone a graves ataques químicos. Esto es una ventaja, ya que la resistencia del concreto a los agentes químicos suele ser menor que cuando se trata de otras formas de ataque.

Las formas más frecuentes de ataque de los agentes químicos al concreto son la lixiviación del cemento y la acción de los sulfatos, el agua marina y las aguas ligeramente ácidas. La tabla 6.1 muestra el efecto de algunos productos químicos comunes. En términos generales, la resistencia del concreto varía de acuerdo con el cemento utilizado; se ha observado que la resistencia aumenta en el siguiente orden:

1. Cemento Pórtland de fraguado normal y rápido.
2. Cemento Pórtland de alto horno o cemento Pórtland de bajo calor.
3. Cemento Pórtland resistente a los sulfatos o cemento puzolánico.
4. Cemento supersulfatado
5. Cemento de alta alúmina.

Velocidad de ataque a la temperatura ambiente	Acidos Inorganicos	Acidos Orgánicos	Soluciones Alcalinas	Soluciones Salinas	Diversos
Rápido	Clorhídrico Fluorhídrico Nítrico sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	—	Cloruro de Aluminio	—
Moderado	Fosfórico	Tánico	Hidroxido de sodio mayor al 20% *	Nitrato de amonio Sulfato de amonio Sulfato de sodio Sulfato de magnesio Sulfato de calcio	Bromo (gas) Sulfito líquido
Lento	Carbónico	—	Hidróxido de sodio del 10 al 20% * Hipoclorito de sodio	Cloruro de amonio Cloruro de magnesio Cianuro de sodio	Cloro (gas) Agua de mar Agua suave
Mínimo	—	Oxálico tartárico	Hidroxido de sodio menor al 10% * Hipoclorito de sodio Hidroxido de amonio	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Nitrato de zinc Cromato de sodio	Amoniaco (líquido)

Tabla 6.1 efecto de algunos productos químicos de uso común en el concreto.

*Se deberá evitar el uso de agregados silíceos, porque son atacados por soluciones concentradas de hidróxido de sodio.

VI.1 ATAQUE DE SULFATOS

Las sales en estado sólido no atacan el concreto, pero cuando se encuentran en solución pueden reaccionar con la pasta de cemento endurecida. Por ejemplo algunas arcillas contienen álcalis, magnesio y sulfato de calcio y el agua subterránea de ese tipo de arcillas es, en realidad, una solución de sulfato; en consecuencia puede atacar el cemento, puesto que el cemento reacciona con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y con los hidratos de aluminato de calcio.

Los productos de la reacción, yeso sulfoaluminato de calcio tienen un volumen mucho mayor que los compuestos que reemplazan, de modo que su reacción con los sulfatos produce expansión y ruptura del concreto.

La velocidad del ataque de los sulfatos se incrementa con un aumento de resistencia de la solución, pero con una concentración mayor del 0.5% de $MgSO_4$ o el 1% de Na_2SO_4 la velocidad de aumento de la intensidad del ataque se hace mucho menor. Una solución saturada de $MgSO_4$ causa grave deterioro en el concreto, aunque con baja relación agua/cemento esto sucede a los 2 o 3 años. La concentración del sulfato se expresa como el número de partes por peso de SO_3 por millón (ppm); 1,000 ppm se considera moderadamente grave y 2,000 sumamente grave, especialmente si el $MgSO_4$ es el componente predominante. Los valores paralelos de sulfato soluble en la tierra son del 0.2 y 0.5 %.

Además de la concentración del sulfato, la velocidad con que es atacado el concreto depende también de la velocidad con que se puede reabastecer el sulfato que se pierde en la reacción con el cemento. Entonces para calcular el peligro de ataque por los sulfatos, es necesario conocer el movimiento de las aguas subterráneas. Cuando el concreto está sometido por un solo lado a la presión de aguas que contengan sulfatos, la velocidad de ataque es más alta que ninguna otra. Asimismo, el alternar saturación con secado causa un deterioro rápido. Además cuando el concreto esta completamente enterrado, sin un canal para el paso del agua subterránea, las condiciones son mucho menos severas.

El ataque de sulfatos contra el concreto tiene una apariencia blanquecina característica. El daño suele iniciarse en bordes y esquinas, y va seguido de agrietamiento y descascaramiento progresivo que reduce el concreto a un estado quebradizo y hasta suave.

La vulnerabilidad del concreto al ataque de sulfatos se puede reducir mediante el uso de cementos con bajo contenido de C_3A . En la práctica, se ha descubierto que un contenido de C_3A del 7% marca a grandes rasgos la diferencia entre los cementos de buen o mal desempeño en aguas sulfatadas.

También se obtiene mejor resistencia al ataque de sulfatos añadiendo o reemplazando parcialmente el cemento por puzolanas. Estas eliminan el $Ca(OH)_2$ libre e inactivan las fases que portan el aluminio, pero es necesario permitir que pase el tiempo suficiente para que las puzolanas entren en acción antes de exponer el concreto al ataque de los sulfatos. Se han descubierto muchas puzolanas eficaces, que hacen que el concreto se vuelva resistente al ataque de sulfatos especialmente si se usan junto con cemento resistente a los sulfatos.

La resistencia del concreto al ataque de sulfatos depende también de su impermeabilidad. Para ser denso, el concreto debe tener una relación agua-cemento baja, es decir debe ser bastante rico. Incluso un concreto hecho con cemento de alto contenido de alúmina deberá ser de una pobreza menor de 1:8 o 1:9 de otra manera se obtiene una estructura porosa y el concreto es atacado fácilmente.

Se emplearon dos depósitos de prueba: el número 1 con alto contenido de sulfato de sodio y el número 2 con cantidades tanto de sodio como de magnesio en proporciones variables.

Se puede observar que el concreto con un contenido de cemento del orden de 390 kg/m³ es atacado lentamente, aunque esté elaborado con cemento Pórtland normal. Cuando el contenido de cemento es menor, el ataque es más rápido y la composición del cemento ejerce gran influencia en la durabilidad del concreto, (ver tabla 6.2).

Mezcla	Contenido de cemento, Kg/m ³	Relación agua/cemento, promedio
A	390	0.4
B	307	0.5
C	223	0.75

Tabla 6.2 muestra la influencia de una exposición en el campo durante cinco años en la resistencia a la compresión de diversas mezclas de concreto.

La tabla 6.3 proporciona los requisitos típicos para concreto expuesto al ataque de los sulfatos. Tal vez utilizando un contenido suficientemente alto de cemento o una relación agua/cemento bastante baja para garantizar la durabilidad del concreto. Es posible que el desacuerdo respecto a cuál de los dos factores se debe utilizar para controlar la durabilidad esté relacionado con los intereses comerciales implicados: por una parte, los fabricantes de cemento y, por otra, los proveedores de concreto de determinada resistencia. Es claro que la durabilidad de estos concretos variará enormemente. Por otro lado se dice que es mejor controlar el contenido de cemento en condiciones prácticas de proporcionamiento que la relación agua/cemento.

El curado mediante vapor a alta presión mejora la resistencia del concreto al ataque de sulfatos. Esto se aplica a concretos hechos tanto con cemento resistente a los sulfatos como con cemento Pórtland normal, puesto que la mejoría se debe al cambio C_3AH_6 que se convierte en una fase menos activa, y también a que la reacción con el sílice elimina el $Ca(OH)_2$. Por otro lado, la adición de cloruro de calcio a la mezcla produce una reducción en la resistencia al ataque de sulfatos, independientemente del tipo de cemento que se emplee.

El abandono de los terrenos de labor puede también aumentar el contenido de sulfatos del subsuelo. Además de que los abonos naturales y artificiales, contienen sulfatos, el cultivo aumenta la ventilación del subsuelo y los surcos incrementan la oxidación del azufre, de tal

forma que, en un terreno cultivado, el contenido de sulfatos del subsuelo puede ser superior en un 100% al contenido de sulfatos en un terreno baldío.

Concentración de sulfatos expresados en SO ₂			En el agua subterránea	Tipo de cemento	Contenido mínimo de cemento en kg/m ³ para tamaño nominal máximo de agregado			Relación máxima agua libre/cemento
Clase	En el suelo				40 mm (1 1/2 pulgada)	20 mm (3/4 pulgada)	10 mm (3/8 pulgada)	
	Total De SO ₂ , porcentaje	SO ₂ en Extracto Agua: suelo 2:1, g/litro						
1	Menos de 0.2	—	Menos de 300	Pórtland normal o Pórtland de alto horno	240	280	330	0.55
2	0.2 a 0.5	—	De 300 a 1200	Pórtland normal o Pórtland de alto horno	290	330	380	0.50
				Pórtland resistente a los sulfatos	240	280	330	0.55
				Supersulfatado	270	310	360	0.50
3	0.5 a 1.0	1.9 a 3.1	De 1200 a 2500	Pórtland resistente a los sulfatos o supersulfatado	290	330	380	0.50
4	1.0 a 2.0	3.1 a 5.6	De 2500 a 5000	Pórtland resistente a los sulfatos o supersulfatado	330	370	420	0.45
5	Más de 2	Más de 5.6	Más de 5000	Igual que para la clase 4, pero añadiendo un revestimiento protector adecuado de material inerte, como el asfalto o una emulsión bituminosa reforzada con una membrana de fibra de vidrio.				

Tabla 6.3 Requisitos para concretos expuestos al ataque de sulfatos.

VI.2 ATAQUE DEL AGUA DE MAR

El agua del mar contiene sulfatos y ataca el concreto de manera similar a la descrita en el ataque a los sulfatos de este mismo capítulo. Además de la acción química, la cristalización de las sales dentro de los poros del concreto puede producir rupturas debidas a la presión siempre ejercida por los cristales de sal. Puesto que la cristalización ocurre en el punto de evaporación del agua, este tipo de ataque se produce en el concreto que se encuentra sobre el nivel del agua. Sin embargo, debido a que la sal en solución sube por capilaridad, el ataque se presenta únicamente cuando el agua puede penetrar en el concreto, de tal suerte que la permeabilidad de este material es, una vez más, un factor de gran importancia.

El concreto que se encuentra entre las marcas de las mareas y está sometido a humedecimiento y secado alternados sufre un grave ataque mientras que el concreto que queda permanentemente inmerso en el agua sufre un ataque menor. El verdadero progreso del daño causado por el agua de mar varía y se hace más lento cuando los poros del concreto quedan bloqueados por el depósito de hidróxido de magnesio. En climas tropicales el ataque es más rápido.

Hay ciertos casos en los que la acción del agua de mar sobre el concreto va acompañada de la acción destructiva del hielo, del impacto de las olas y de la abrasión, que tienden todos a agravar el daño. En las construcciones mar adentro estas consideraciones son muy importantes.

Aunque la acción de los sulfatos contenidos en el agua salada es similar a la de las aguas subterráneas sulfatadas, en el primero de los casos el ataque no va acompañado de expansión del concreto. Esta característica del agua de mar se debe primordialmente a la presencia en ella de grandes cantidades de cloruros que inhiben la expansión: los sulfoaluminatos de calcio y el yeso son más solubles en solución clorurada que en agua y, por tanto, son lixiviados por el agua de mar, mientras que en el laboratorio permanecen en su sitio y, en consecuencia causan expansión.

En el caso del concreto reforzado la absorción de las sales establece áreas anódicas; la acción electrolítica resultante conduce a una acumulación de producción de la corrosión sobre el acero, con la consecuente ruptura del concreto que lo rodea, de tal manera que los efectos del agua de mar son mucho peores en el concreto reforzado que en el simple. Por lo tanto, es esencial cubrir lo suficiente el acero de refuerzo, 50 mm, o de preferencia 75 mm, y utilizar concreto denso e impermeable.

Se recomienda un contenido de cemento de 350 kg/m^3 sobre la línea de bajamar, y de 300 kg/m^3 debajo de ésta, o bien una relación agua/cemento es un factor vital, y que el contenido de cemento es importante sólo porque cuando es elto permite la total compactación de las mezclas con baja relación agua/cemento.

Un concreto bien compactado y una buena mano de obra son de vital importancia, especialmente en la construcción de juntas. El tipo de cemento que se emplee ocupa el segundo lugar; los cementos de alta alúmina, los resistentes a los sulfatos, los Pórtland de alto horno y los Pórtland con puzolana dan buenos resultados.

VI.3 PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS SULFATOS

La resistencia del concreto al ataque de los sulfatos se puede comprobar en el laboratorio almacenando especímenes sumergidos en soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, o en una mezcla de ambos. El mojado y secado alternados acelera el daño causado por la cristalización de las sales dentro de los poros del concreto.

El efecto de la exposición se puede calcular por la pérdida de resistencia de los especímenes, por los cambios en el módulo dinámico de elasticidad, por expansión, por su pérdida de peso e incluso a simple vista.

VI.3.1 PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO AL ATAQUE DE SULFATOS

OBJETIVO

- Observar los efectos dañinos de los sulfatos en los concretos a través de un número de probetas cúbicas elaboradas para tal efecto.

MATERIAL Y EQUIPO

1. Cemento
2. Arena
3. Aceite quemado
4. Espátula
5. Molde o probeta cubica
6. Bote de 2 litros
7. Solución sulfatada



FIGURA 6.1 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL ATAQUE A LOS SULFATOS EN EL CONCRETO

PROCEDIMIENTO

1. **Preparación de las probetas.**- las caras interiores de los moldes cúbicos se deben cubrir con una capa delgada de aceite ajustando previamente los moldes a su base metálica. Se limpia cualquier exceso de grasa que haya en el interior procediendo a calafatear todas las juntas, con una mezcla de 3 partes de parafina por 5 partes de resina en peso, todo lo anterior en caso de ser necesario. Este sellado es para evitar las fugas de agua que contenga el mortero.
2. **Proporcionamiento.**- las proporciones de la mezcla de mortero serán de una parte de mortero por dos partes de arena en peso, la cantidad de arena será de tal forma que presente una fluidez el mortero. La cantidad de agua puede ser expresada en porcentaje del peso, del cemento. Como valor de orientación se consideró que el 50% del material puede servir para un primer ensayo. El mezclado se hará en forma manual de la siguiente forma:
 - Una vez pesados los materiales se deberá disponer de un recipiente en el cuál serán mezclados, el cemento, agua y arena.
 - Vertir la cantidad de agua.
 - Agregar el cemento al agua y mezclarse con la ayuda de una espátula durante un minuto.
 - Añadir aproximadamente la mitad de la arena mezclándose durante un minuto nuevamente.
 - Vaciar el resto de la arena y mezclar todo el material e iniciar el llenado de los moldes no deben pasar dos minutos del momento de mezclado inicial. Colocar una primera capa de mortero con una altura de 2.5 cm aproximadamente en todos los moldes con la ayuda de un pisón metálico o de una madera para asegurar un llenado uniforme. Deberán darse 8 golpes a cada cubo una vez terminada la primera capa se deberá llenar el cubo siguiente siguiendo el mismo procedimiento.
 - Desmontar los moldes para sumergir los cubos de concreto en una solución sulfatada después de 24 horas de realizada la mezcla.
 - Los cubos de concreto se sumergirán 24 horas se sacan, y nuevamente se sumergen de 10 a 15 días.

VI.4 EJEMPLO DE FABRICACIÓN DE CONCRETO CONTRA SULFATOS

Se realizó una prueba en la cuál se obtuvieron los siguientes resultados. (Se utilizó una arena con un peso específico de 2370kg/m^3):

CALCULOS

1. Se procede a determinar las cantidades de cada uno de los materiales a utilizar (arena, cemento y agua), en volumen y en peso.

- VOLUMEN DE LOS MOLDES

Volumen de 1 cubo = $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 125 \text{ cm}^3$

Volumen = $125 \text{ cm}^3 \times 3 \text{ cubos} \times 10\% \text{ desperdicio} = 412.5 \text{ cm}^3$

Una parte de cemento = $412.5 \text{ cm}^3 / 3 = 137.5 \text{ cm}^3 = 0.0001375 \text{ m}^3$

Dos partes de arena = $(412.5 \text{ cm}^3 / 3) \times 2 = 275 \text{ cm}^3 = 0.000275 \text{ m}^3$

El agua es igual a una parte de cemento: agua = $137.5 \text{ cm}^3 = 0.0001375 \text{ m}^3$

- CORRECCIÓN

Debido al gran contenido de humedad de la arena, lo que aumenta considerablemente su peso y hace errar los cálculos anteriores, se procederá a calcular por sus pesos específicos.

Cemento = $0.0001375 \text{ m}^3 \times 3150 \text{ kg/m}^3 = 0.433 \text{ Kg.}$

Arena = $0.000275 \text{ m}^3 \times 2370 \text{ kg/m}^3 = 0.652 \text{ kg.}$

El agua es igual a una parte de cemento = 0.433 Kg

CANTIDADES:

- CEMENTO = 0.433 Kg.
- ARENA = 0.6520 kg
- AGUA = 0.433 kg

Con las cantidades de materiales obtenidas y utilizando el procedimiento de prueba descrito en este capítulo, se fabricaron los cubos de concreto los cuales fueron sumergidos en una solución sulfatada en periodos de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente y se llegó a las conclusiones siguientes:

CONCLUSIONES

Debido a la alta capacidad humectante de los sulfatos, estos penetran rápida y profundamente en el interior del concreto. El medio agresivo sulfático que actúa sobre el concreto desde el exterior, empieza por atacar la superficie de los granos de clinker hidratados. La pasta endurecida de cemento es inestable en una solución de sulfatos, así como tampoco son inestables los minerales constituyentes del cemento, la pasta endurecida de cemento a consecuencia de un aumento de un aumento de volumen, se desmorona y expande, formándose grietas y el concreto se ablanda, por lo que nos damos cuenta que es muy peligroso construir en suelos con alto contenido de sulfatos, si durante el proceso constructivo no se utilizan los materiales adecuados.

CAPITULO VII
CONCRETO LIGERO

VII CONCRETO LIGERO

VII.1 PROPIEDADES de LOS AGREGADOS LIGEROS

La American Society for Testing and Materials (ASTM) en la norma ASTM - C - 330 cubre en una forma general dos tipos de agregados ligeros, estos son el *celular* y el *granular* que pueden ser obtenidos directamente de la naturaleza o bien mediante un proceso artificial.

Dentro de la variedad de agregados de tipo ligero que se encuentran en forma natural podemos citar los siguientes:

1. PIEDRA PÓMEZ
2. ESCORIA VOLCÁNICA (TEZONTLE)
3. DIATOMITA
4. LA TUPA

De estos cuatro tipos de agregados los más conocidos son la piedra pómez y la escoria volcánica, cuya descripción en forma general se da a continuación:

Piedra pómez. Es una piedra de origen volcánico de color tenue o casi blanco, con una textura uniforme compuesta por pequeñas celdas intercomunicadas, lo que permite que la absorción del agua sea alta y su peso volumétrico a granel oscile entre los 500 y 900 kg/m³.

Como una mención histórica, se puede decir que la piedra pómez es el agregado ligero de uso más antiguo que se conoce, ya que desde aproximadamente 100 años A. C., era frecuentemente utilizado en la construcción de muros y techos de los edificios romanos, baños y templos notables, de los cuales el mejor ejemplo que perdura es la cúpula de 44 m de diámetro del panteón de Roma, construida en el siglo II A. C., lo cual se compone en una gran parte de concreto colado in situ a base de agregado pómez.

Escoria volcánica. Es un material de color rojo u oscuro cuya estructura esta formada a base de celdas grandes de forma irregular que no están conectados entre sí además deque presenta una elevada absorción de agua y su peso volumétrico oscila entre los 1400 y 1800 kg/m³.

La ligereza de estos materiales se debe al hecho de ser lavas esponjosas, cuyas celdas se formaron por los gases que se escapaban cuando se encontraban aún en estado líquido, causa por la cuál se les ha llamado "espumas sólidas".

Dentro del intervalo de tamaños que pueden presentar los agregados ligeros, la norma ASTM - C - 125 clasifica a estos en dos partes y que se describen a continuación:

ARENA

Es el material granular que pasa por la malla No. 4 (4.76 mm de abertura) y que es retenido por la malla No. 200 (74 micras de abertura) y que es el producto de la desintegración y abrasión natural de las rocas o bien el procesado de una arenisca completamente desmenuzable.

GRAVA

Es el material retenido predominantemente por la malla No. 4 (4.76 mm de abertura) y que es el producto de la desintegración y abrasión natural de rocas o del conglomerados débilmente ligados.

Tanto los agregados de peso normal como los ligeros, para su ser utilizados en la fabricación de concreto deben cumplir con normas que especifiquen el estado límite de sus propiedades. Tales normas se enlistan en la tabla 7.1 y su objetivo es indicar el procedimiento a seguir para la obtención de las propiedades físicas de los materiales, a partir de las cuales se determina si el material es adecuado para la fabricación del concreto.

TITULO DE LA NORMA	CODIFICACIÓN	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS
Gravedad específica y absorción en arena	C - 128	1. Peso volumétrico suelto y compacto.
Gravedad específica y absorción en grava	C - 127	2. Densidad
Peso unitario de agregados	C - 29	3. Absorción
Agregados ligeros para concreto estructural	C - 330	4. Contenido de humedad
Agregados para Concreto	C - 33	5. Cont. De materia orgánica
		6. Análisis granulométrico
		7. Pérdida por lavado

Tabla 7.1 Normas ASTM para el control de calidad de los agregados

También existen agregados ligeros que se obtienen mediante un proceso artificial, ya sea aplicando calor al material o mediante un proceso de enfriamiento.

Tales materiales se indican en la siguiente relación:

1. Arcilla expandida (+)
2. Pizarra (+)
3. Esquisto (+)
4. Pizarra distomásea (+)
5. Perlita (+)
6. Obsidiana (+)
7. Vermiculita (+)
8. Escoria de alto horno (++)
9. Cenizas industriales (++)

(+) **Agregados producidos mediante la aplicación de calor.**

(++) **Agregados producidos mediante enfriamiento.**

La arcilla expandida, el esquisto y la pizarra se obtienen mediante el calentamiento de materias primas adecuadas en un horno rotatorio a una fusión incipiente (temperatura de 1000 a 1200 °C) durante el cual se produce una expansión del material debido a la generación de gases que quedan atrapados en la masa pirolástica y viscosa.

Esta estructura porosa se conserva en el enfriamiento de modo que el peso específico del material expandido es más bajo que antes del calentamiento. A menudo la materia prima se reduce al tamaño deseado antes del calentamiento, pero también se puede utilizar la trituración después de la expansión.

El peso volumétrico que alcanzan los agregados obtenidos en el horno rotatorio oscila entre los 300 y 650 kg/m³ ; cuando su obtención es mediante la vía húmeda, el peso volumétrico alcanzado oscila entre los 650 y 900 kg/m³ .

La perlita es una roca volcánica vidriosa que al calentarse rápidamente hasta el punto de fusión incipiente (temperatura de 900 a 100 °C) se expande por la generación de vapor y forma un material celular, con un peso volumétrico que oscila entre los 30 y 240 kg/m³ .

Vermiculita. Es un material con estructura laminar, similar a la estructura que presenta la mica. Este material al calentarse a temperaturas entre los 650 y 1000 °C, se expande hasta 30 veces su volumen original mediante un proceso de exfoliación. Y en consecuencia el peso volumétrico de este material varía entre los 60 y 130 kg/m³ .

Escoria de alto horno. Expandida se produce de dos maneras; una de ellas es poniendo en contacto una cantidad controlada de agua con la escoria fundida, aplicándola con un rociador mientras el material se descarga del horno (en la producción de lingotes de hierro), generando vapor que hincha la escoria que aún está en estado plástico, lo que hace que se endurezca en forma porosa, dando un aspecto parecido a la pumicita. El otro proceso consiste en agitar rápidamente la escoria fundida con una cantidad controlada de agua, cuya acción genera vapor quedando este atrapado y dando lugar a la formación de gases debido a la reacción química que se presenta entre algunos componentes de la escoria y el vapor de agua, dando como resultado

un material de estructura porosa que alcanza un peso volumétrico a granel entre los 300 y 1100 kg./m^3 .

Cenizas industriales. Son un producto del combustible pulverizado, llamado también ceniza volante y es un residuo obtenido de la combustión del carbón en polvo en plantas que emplean calderas, tales como las estaciones de generación de energía eléctrica.

Estas cenizas se humedecen y se forman partículas redondas que se calientan en hornos adecuados, donde la pequeña cantidad de combustible sin quemar que permanece en la ceniza suele mantener este proceso sin necesitar combustible adicional. Los módulos fundidos producen un agregado redondo de muy buenas características para la fabricación de concreto. El peso volumétrico que alcanza el material es de aproximadamente 1000 kg/m^3 .

VII.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO LIGERO

Las recomendaciones para el proporcionamiento de una mezcla de concreto normal, es difícil de aplicar al diseño de mezclas que contengan agregados de tipo ligero, ya que las características físicas del material, tales como: absorción, contenido de humedad y densidad, así como la relación agua-cemento influyen de tal modo, que requieren determinarse para cada caso específico para aplicarlas al proporcionamiento en cuestión.

Para el diseño de las mezclas de concreto ligero se siguen las recomendaciones dadas en el reporte 211 del ACI, "Práctica recomendada para la selección del proporcionamiento del concreto ligero estructural". En esta publicación se establece que la cantidad de arena, grava, cemento y agua se estiman con base en experiencias previas para cada tipo de agregado.

Previamente se obtiene el peso unitario seco y el contenido de humedad de los agregados basándose en las proporciones estimadas y con suficiente agua para obtener el revenimiento deseado, tomando como datos de la revoltura el peso volumétrico y el porcentaje del contenido de aire.

Mediante este procedimiento se harán los ajustes necesarios al proporcionamiento previo, hasta obtener el diseño de la mezcla que reúna las características requeridas.

Las tablas 7.2 y 7.3 proporcionan los resultados de las observaciones hechas en estudios experimentales sobre concretos con agregados ligero.

Debido a la importancia que tienen dichas observaciones, se citan a continuación algunas de ellas:

1. para un concreto fabricado con agregado ligero, se puede requerir entre 280 y 450 kg de cemento por metro cúbico de concreto.
2. En general para un mismo nivel de resistencia, el concreto con agregado ligero requerirá 2/3 más de cemento del que se necesita en un concreto normal.
3. Cuando el tamaño máximo de agregado es de 19 mm (3/4") se suele requerir que el volumen de agregado fino sea aproximadamente del 40 al 60 % del volumen total de agregados, medido en seco.

Tipo de concreto		Peso volumétrico o Del agregado, Kg./m ²	Proporciones de la mezcla por Volumen cemento: Agregado	Densidad Del concreto En seco, Kg./m ³	Resistencia a la compresión, Kg./cm ² MPa		Contracción Por secado, 10 ⁻⁴	Conductividad térmica, J/m ² s °C/m	
Aireado	Ccp	950	1:3	750	49	3	700	0.19	
	arena	1 600	1:3	900	56	6		0.22	
Aireado y procesado En autoclave		—	—	800	42	4	800	0.25	
Escoria espumosa	Fina	900	1:8	1 700	70	7	400	0.45	
	Gruesa	650	1:6 1:3.5	1 850 2 100	211 422	21 41	500 600	0.69 0.79	
Escoria espumosa	Fina	700	1:11	650-1000	28-42	3-4	—	0.17	
			1:6	1 100	141	14	550	0.31	
	Gruesa	400	1:5 1:4	1 200 1 300	176 197	17 19	600 700	0.38 0.40	
Arcilla expandida En horno rotatorio En arena natural		Gruesa	400	1:5	1350-1500	176	17	—	0.57
Arcilla expandida Expandida en cordón De sinterización	Fina	1 050	1:5	1 500	246	24	600	0.50	
	Gruesa	650	1:4	1 600	316	31	750	0.61	
Pizarra expandida En horno rotatorio	Fina	950	1:6	1 700	281	28	400	0.61	
	Gruesa	700	1:4.5	1 750	352	35	450	0.69	
Ceniza Volante Sinterizada y Pulverizada	Fina	1 050	1:5.9	1 490	204	20	300	—	
			1:5.3	1 500	253	25	300	—	
			1:4.5	1 540	309	30	350	—	
			1:3.1	1 570	408	40	400	—	
Ceniza volante Sinterizada y Pulverizada Con arena natural	Gruesa	800	1:6.1	1 670	204	20	300	—	
			1:5.5	1 700	253	25	300	—	
			1:5.0	1 750	309	30	350	—	
			1:3.6	1 790	408	40	400	—	
Piedra pómez		500-800	1:6	1 200	141	14	1 200	—	
			1:4	1 250	197	19	1 000	0.14	
			1:2	1 450	295	29	—	—	
Vermiculita exfoliada			65-130	1:6	300-500	21	2	3 000	0.10
Perlito			95-130	1:6	—	—	—	2 000	0.05

Tabla 7.2 Propiedades típicas de los concretos ligeros

Ccp = ceniza combustible pulverizada (ceniza volante).

Resistencia a compresión En cilindros estándar		Contenido de cemento
MN/m ²	kg./cm ²	Kg./m ³
14	140	230 a 390
21	210	280 a 450
28	280	330 a 510
34	350	390 a 560

Tabla 7.3 Relación aproximada entre la relación del concreto de agregado ligero y su contenido de cemento.

Para la elaboración de las mezclas de prueba se especifican los siguientes requisitos:

1. Mantener constante la cantidad de cemento.
2. Usar agregado grueso con un tamaño máximo de 19 mm (3/4").
3. Mantener los agregados fino y grueso en estado seco, hasta el momento de ser adicionados a la mezcla.
4. Emplear un tipo de revenimiento.

VII.3 FABRICACIÓN DEL CONCRETO

En la fabricación del concreto se requiere producir una mezcla que reúna ciertas propiedades, para que cumpla con los requisitos de diseño de la estructura y tener la seguridad de que tendrá el comportamiento esperado.

La fabricación propiamente dicha consiste primordialmente en las siguientes etapas:

VII.3.1 DOSIFICACIÓN

Tiene por objeto la reproducción fiel de las proporciones calculadas o ensayadas previamente en laboratorio. Del control de calidad que se tenga sobre los componentes dependerá la uniformidad que se logre de la mezcla de concreto.

Por control de calidad se debe entender el conjunto de precauciones que se deben tomar en la fabricación, transporte, colocación y curado del concreto para lograr la calidad deseada.

Entre las precauciones requeridas se mencionan las siguientes:

1. granulometría de los agregados deberá estar dentro de los límites que marcan las especificaciones de la ASTM, además que estén libres de contaminación orgánica, ya que esto repercutiría en la resistencia a compresión.

Por otra parte los agregados se podrán adicionar a la mezcla en condición seca o húmeda, según se tengan disponibles en el lugar de fabricación.

En el caso de que el material se encuentre húmedo, será necesario conocer previamente el porcentaje de humedad que este contenga para hacer la corrección del volumen de agua por

utilizar. Cuando el material se encuentre seco, se recomienda humedecerlo previamente hasta que se encuentre en la condición de saturado y superficialmente seco y posteriormente adicionarlo a la mezcla incorporando únicamente el agua de mezclado.

2- El cemento almacenado deberá estar aislado de humedades directas o indirectas. Esto se puede lograr mediante silos cuando el cemento se suministre a granel o bien en espacios cerrados que garanticen un ambiente seco cuando son suministrados en sacos de 50 kg colocados en pilas con una altura no mayor de dos metros y que estén separados del suelo mediante tarimas de madera.

Tomando esta precaución se evitará que el cemento se hidrate y pierda sus propiedades y características originales, además se debe conocer su peso específico, ya sea que se obtenga en laboratorio o bien sea proporcionado por el fabricante.

3.- el agua que se utilice para la mezcla deberá estar libre de contaminaciones y se tendrá mucho cuidado de medir la cantidad exacta que se requiera, ya que si se tiene alguna variación en su dosificación esta repercutirá en la manejabilidad y resistencia del concreto.

VII.3.2 MEZCLADO

Este consiste en incorporar a la revolvedora todos los materiales componentes del concreto para formar una masa homogénea. Para llevar a cabo esta operación existen equipos diversos y de varias capacidades, siendo los más comunes los siguientes:

- a) Revolvedora estacionaria de tambor giratorio con aspas pegadas a la pared interna que sirven para agitar los ingredientes dosificados en forma automática o mediante una operación manual.
- b) Los comúnmente llamados "trompos" o revolvedoras móviles de pequeñas capacidades, que generalmente son utilizadas a pie de la obra.

VII.3.3 TRANSPORTE

Cuando la planta productora de concreto se localiza lejos del sitio de colado, se recomienda transportar el concreto mediante ollas revolvedoras montadas sobre camión. Este equipo puede ir agitando la mezcla durante todo el trayecto, incluso en el momento de la descarga, evitando así que se presente la segregación de los agregados gruesos. Cuando la mezcla se conserva en reposo y se le aplica una agitación externa, tal como la simple vibración debida al transporte, los agregados gruesos tienden a flotar debido a la baja densidad de estos.

Cuando el concreto es fabricado en el sitio de la obra se recomienda transportar al lugar de colado en cajas montadas sobre camión, en cubos movidos mediante grúas viajeras, vagones de ferrocarril o bien mediante bandas transportadoras.

Para llevar a cabo esta operación se tendrá precaución de que los vehículos transiten por un camino que este libre de obstáculos, tales como baches o salientes y que la pendiente sea mínima, evitando con esto excesivos desperdicios por derrames.

Por otra parte, la localización del sitio donde se instale la planta de concreto dependerá de la distancia y del tiempo de recorrido que hagan los vehículos de transporte. Ya que los tiempos máximos de entrega que se especifiquen son de 1 a 1 ½ horas a partir del momento en que el cemento entra en el tambor mezclador y hasta que termine la descarga en el sitio de colado. Estos tiempos pueden tener variaciones debido principalmente a las condiciones climatológicas que prevalezcan en el lugar de la obra.

VII.3.4 COLOCACIÓN

Para la colocación del concreto dentro del molde que formara la estructura, o bien en el sitio de construcción, en muchos de los casos se puede aprovechar el medio de transporte para esta operación pero por lo general la colocación se efectúa por medio de recipientes de bajo volumen, tales como carritos motorizados o propulsados a mano, bandas transportadoras, cubos izados por medio de malacates, canaletas y tolvas movidas por medio de grúas estacionarias o grúas viajeras.

El método de colocación más utilizado en la construcción debido a su alto rendimiento en comparación con otros métodos, es el del concreto bombeado. El sistema y equipo de bombeo quedará definido de acuerdo a las condiciones de colado. Este sistema utiliza para la condición del concreto tubería metálica, plástica o de hule reforzado. Según el equipo de bombeo de que se trate, el volumen de concreto que se puede mover fluctuara entre los 8 y 70 m³ /hora. Y la distancia de bombeo podrá ser de 90 a 300 m en posición horizontal y de 30 a 90 m en posición vertical.

Un requisito básico que debe cumplir cualquier equipo que se utilice para colocar y transportar el concreto, es que afecte al mínimo la calidad del concreto en lo referente a la relación agua-cemento, revenimiento trabajabilidad, contenido de aire y homogeneidad.

La selección del equipo y método de colocación dependerá de la capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas, de tal modo que pueda ser fácilmente colocado y consolidado en el sitio destinado.

VII.3.5 COMPACTACIÓN

Después de colado el concreto deberá ser consolidado para asegurar que sus componentes estén correctamente distribuidos dentro de la masa que compone al elemento colado, con el mínimo de vacíos posibles.

El proceso de compactación del concreto consiste esencialmente en la eliminación del aire atrapado. Esta operación puede ser llevada a cabo mediante el uso de herramientas manuales, tales como el pisón, la varilla lisa con punta redonda y la espátula, u otros medios más eficientes como lo es el vibrado del concreto. Esta operación tiene como efecto la separación momentánea de las partículas, lo que permite su reacomodo en una masa más compacta.

Cada método de compactación requiere de mezclas de diferente trabajabilidad, ya que una mezcla muy seca no puede compactarse bien con herramientas manuales y, por el contrario una mezcla muy húmeda no puede vibrarse ya que puede presentarse segregación.

Este punto puede ser vigilado estrechamente, debido a que, por ejemplo, algunas mezclas adecuadas para el bombeo puede tener una consistencia demasiado fluida para la vibración. Más aún los diferentes vibradores requieren diferente consistencia del concreto para dar una compactación eficiente, por lo que la consistencia del concreto y las características del vibrador disponibles deben ser compatibles.

Cabe mencionar que la vibración se puede dar mediante varios tipo de vibradores, tales como los que se citan a continuación:

- a) vibrador interno
- b) vibrador externo
- c) mesa vibratoria

VII.3.6 ACABADO

A diferencia de los otros tipos de concreto, el acabado que se recomienda dar al concreto ligero es el de una superficie pulida mediante llana metálica o bien un pulido rústico dado mediante llana de madera, si éste va a ser recubierto por otro material.

Desde el punto de vista económico se recomienda dar un acabado aparente que se lograría mediante el cepillado de la cimbra de madera, o bien, mediante el uso de cimbras metálicas o de fibra de vidrio.

Por ningún motivo se recomienda dejar expuesto a la intemperie el agregado del concreto ligero, ya que es un excelente transmisor de la humedad debido a su alta absorción y porosidad. Si el agua absorbida contiene sulfatos y carbonatos estos atacarían al concreto, destruyéndolo más fácilmente que cuando el agregado éste recubierto por una capa de mortero.

VII.3.7 CURADO

Después de su colocación y compactación el concreto se debe "curar", para obtener de este las cualidades y características especificadas.

Se entiende por curado, el procedimiento que se sigue para asegurar el concreto en proceso de endurecimiento se mantiene en condiciones de temperatura y humedad tales, que permiten que prosigan eficientemente las reacciones químicas, incluyendo la hidrólisis, la formación del gel y la hidratación. Más específicamente, el objeto del curado es mantener el concreto saturado o tan húmedo como sea posible, hasta que el espacio de la pasta fresca de cemento que originalmente estaba lleno de agua, se llene al tamaño deseado con los productos de hidratación del cemento. Dado que la hidratación del cemento solamente puede tener lugar en capilares llenos de agua por evaporación mediante el curado.

El agua se pierde internamente por desecación propia debe ser reemplazada con el agua del exterior, es decir debe ser posible el ingreso del agua en el concreto.

Existen varias formas de lograr el reemplazo del agua al concreto, algunas de ellas se enuncian a continuación:

a) **CURADO AL AIRE**

Cuando el concreto es curado al aire, se almacena la mayoría de las veces en un patio sin ninguna cubierta donde las unidades de concreto deben ser regadas repetidamente con el objeto de mantener la humedad requerida para el curado. Algunas veces se cimbra el concreto con mantas enceradas u hojas de polietileno que ayudan a estabilizar las condiciones de curado, o bien con membranas impermeables compuestas a base de selladores. Uno de los métodos más comunes es el de inundar o cubrir el concreto con arena, tierra, aserrín o paja, todos húmedos.

b) **CURADO CON VAPOR**

Este método puede usarse con ventaja cuando es importante la adquisición rápida de resistencia, o cuando se requiere calor adicional de que pueda proporcionar el medio ambiente. El curado a vapor se puede lograr tanto a presión atmosférica como a alta presión en autoclave. El curado se puede aplicar directamente en el sitio de colado o bien, cuando se trate de piezas prefabricadas, en una cámara especial de curado.

En el caso del concreto ligero, frecuentemente es suficiente el curado del mismo mediante el curado al aire.

VII.4 EJEMPLO DE PROPORCIONAMIENTO Y FABRICACIÓN DE CONCRETO LIGERO:

Se fabrico en laboratorio un CONCRETO LIGERO, para la elaboración de la mezcla de prueba se especificarán los siguientes requisitos:

- Se usara cemento normal (Tipo II).
- Se usara agregado grueso con un Tamaño Máximo de Agregado (TMA) $\frac{1}{2}$ ".
- Mantener los agregados fino y grueso en estado seco, hasta el momento de ser adicionados a la mezcla.
- Se deberá obtener una resistencia a la compresión, mínima a la edad de 28 días de 300 Kg/cm².
- Se empleara un Revenimiento de 10 .° 1 cm.

Se realizaron las pruebas correspondientes a los agregados para obtener cada una de sus propiedades físicas, las cuáles se muestran en la tabla 7.4

MATERIAL	PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO Kg/m ³	PESO ESPECÍFICO Kg/m ³	T.M.A.	M.F.	% HUMEDAD	% ABSORCIÓN
AGUA	—	1000				
CEMENTO	—	3150				
GRAVA	661	1920	3/4"		3.00	8.95
ARENA	1530	2500		3.33	3.00	6.61

TABLA 7.4 Propiedades de agregados utilizados para fabricar un concreto ligero.

Con cada una de las propiedades mencionadas anteriormente, y utilizando el método del ACI, se realizó el diseño de la mezcla y se obtuvieron las siguientes cantidades de agua, cemento, arena y grava, en volumen y en peso, para 1 m³ de concreto:

CANTIDADES DE MATERIALES EN VOLUMEN Y EN PESO

	VOLUMEN	PESO
Agua	= 0.201 m ³	201 Kg
Cemento	= 0.133 m ³	419 Kg
Grava	= 0.344 m ³	661 Kg
Arena	= 0.313 m ³	738 Kg
1% Aire	= 0.01 m ³	
Total	= 1.00 m³	2019 Kg/m³

Con las cantidades de materiales obtenidas, se procedió a fabricar los cilindros de concreto, para posteriormente someterlos a la prueba de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días respectivamente.

Se realizó la prueba de compresión y se obtuvo una resistencia máxima igual a 318Kg/cm². Como la resistencia obtenida es mayor que la resistencia de proyecto podemos decir que nuestra dosificación está bien realizada, así como cada una de las pruebas realizadas y las propiedades de los materiales empleados en la práctica..

CAPITULO VIII

PRUEBA DE COMPRESIÓN

VIII PRUEBA DE COMPRESIÓN

VIII.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de esta prueba es, obtener el límite de resistencia y el módulo de elasticidad en un determinado número de cilindros de concreto. Comprobar el acortamiento relativo y trazar el correspondiente diagrama de esfuerzo deformación (a los 7, 14 y 28 días de edad) observando la influencia de la edad en la resistencia.

En la prueba de compresión la pieza de material se somete a una carga en los extremos que produce una acción aplastante que acorta dicho espécimen.

Los materiales a utilizar en esta prueba son quebradizos, tales como el mortero, el cemento el ladrillo y los productos de cerámica, aunque a veces se utilizan también materiales metálicos.

En esta prueba solamente nos enfocaremos a obtener la resistencia a la compresión directa en un concreto como un índice de su calidad tanto en los materiales que lo conforman, como en su correcta elaboración.

Existen 3 limitaciones para este tipo de prueba:

- a) La dificultad de aplicar una carga concéntrica o axial.
- b) Existe una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes, y:
- c) El área del espécimen es grande para poder obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza, por lo cual la máquina de prueba deberá ser de gran capacidad o el espécimen será de pequeñas dimensiones y por ende tan cortas que resulta difícil obtener en ellas mediciones de deformación de precisión adecuada.

APARATOS Y EQUIPO:

Máquina de prueba (Universal). La máquina de prueba puede ser de cualquier tipo, con capacidad suficiente y que al aplicar la carga funcione con una velocidad uniforme y continua, sin producir impacto, ni pérdida de carga.

La máquina de prueba debe estar equipada con dos bloques de acero con una cara endurecida para la aplicación de la carga. Uno de los bloques debe tener asiento esférico y apoyarse en la parte superior del espécimen y la otra placa debe ser un bloque rígido en donde descansa el espécimen. Las superficies de apoyo no deben diferir de un plano en más de 0.025 mm en una longitud de 150 mm; para placas menores de 150 mm la tolerancia en planicidad es de 0.025; es recomendable que las placas tengan la mitad de esas tolerancias.

Cuando el diámetro de la superficie de carga de la placa de asiento esférico excede el diámetro del espécimen en 13 mm o más, para facilitar el centrado adecuado se deben grabar círculos concéntricos que no tengan más de 0.8 mm de profundidad, ni más de 1.2 mm de ancho.

La placa superior de carga, con asiento esférico, debe cumplir con los requisitos siguientes:

Su diámetro máximo no debe exceder los valores dados en la tabla 8.1

Diámetro de los especímenes de prueba (mm)	Diámetro máximo de la placa (mm)
50	100
75	125
100	165
150	250
200	280

Tabla 8.1 Diámetros para placa superior de carga

Los bloques de apoyo con asiento esférico pueden tener caras cuadradas, siempre y cuando el diámetro del mayor círculo inscrito no exceda de los diámetros señalados en la tabla anterior; sin embargo, se aceptan máquinas con placa de carga superior de dimensiones mayores, siempre que garantice el acoplamiento a la base superior del espécimen por ensayar.

El centro de la esfera debe coincidir con el centro de la superficie de la cara de apoyo con una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera debe ser cuando menos 75 por ciento del diámetro del espécimen que va a probarse.

De preferencia, el área de contacto debe ser en forma de anillo, como se muestra en la figura 6.1. La esfera y el soporte deben ser de tal forma que el acero en las áreas de contacto no se deforme permanentemente cuando tenga usos repetidos con cargas superiores a 54 Mpa (550 kgf/cm²) sobre el espécimen de prueba.



FIGURA 8.1 NOS MUESTRA LA MAQUINA DE PRUEBA (UNIVERSAL)

La superficie curva del soporte y la porción esférica deben conservarse limpias y lubricar con aceite mineral delgado y no con grasas lubricantes. No es deseable ni debe intentarse que después de hacer contacto la placa de carga con el espécimen y al iniciar la aplicación de la carga se trate de reacomodar ésta.

Si el radio de la esfera es más pequeño que el radio del espécimen de mayor tamaño que va a probarse, la porción de la cara de apoyo del bloque de carga que se extiende más allá de la esfera debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La dimensión mínima de la cara de apoyo del bloque de carga debe ser por lo menos tan grande como el diámetro de la esfera (ver figura 8.1).

La porción móvil del bloque de carga debe ser sostenido cerca del asiento esférico, pero el diseño debe ser tal que la cara de apoyo puede girar libremente por lo menos 4° en cualquier dirección.

El error permitido en la máquina de ensaye para la realización de pruebas a compresión de concreto, debe ser como máximo de $\pm 3\%$ de la carga aplicada.

VIII.2 CONDICIÓN DE LOS ESPECÍMENES

El ensaye a compresión de los especímenes curados en húmedo debe efectuarse tan pronto como sea posible después de retirarlos de la pileta o del cuarto húmedo y una vez que el material de cabeceo haya adquirido la resistencia requerida; durante el tiempo transcurrido entre el retiro del almacenamiento húmedo y el ensaye, los especímenes deben conservarse húmedos por cualquier método.

En el caso de especímenes sometidos a diversas condiciones de curado especial, como puede ser curado a vapor o curado ambiente a las mismas condiciones que la estructura, los especímenes se ensayarán con la condición de humedad resultante del curado.

El diámetro y la altura del espécimen de prueba debe determinarse con una aproximación de 1 mm, promediando las medidas de 2 diámetros perpendiculares entre sí a una altura media del espécimen y 2 alturas opuestas. Cuando la altura promedio del espécimen es menor de 1.8 veces el diámetro, el resultado de la resistencia debe corregirse por esbeltez de acuerdo a la tabla 8.2. Cuando la relación de altura a diámetro es mayor de 2.1 el espécimen debe recortarse.

Relación de Altura/Diámetro Del espécimen	Factor de corrección a la Resistencia
2.00	1.00
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

Tabla 8.2 Factores de corrección por esbeltez.

Antes del ensaye, los extremos de los especímenes o caras de aplicación de carga no deben apartarse de la perpendicular al eje en más de 0.5° , aproximadamente 3mm en 300 mm, y no se permiten irregularidades respecto de un plano que exceda de 0.05 mm, en caso contrario deben ser cabeceados de acuerdo al método mencionado en este capítulo.

PROCEDIMIENTO:

Se limpian las superficies de las placas superior e inferior a las cabezas del espécimen de prueba; se coloca este último sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga con asiento esférico, mientras la placa superior se baja hacia el espécimen asegurándose que se tenga un contacto suave y uniforme (ver figura 8.2).

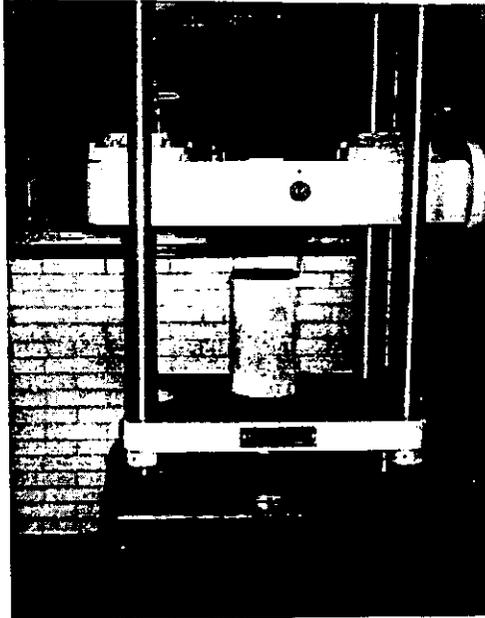


FIGURA 8.2 COLOCACIÓN DEL CILINDRO EN LA MAQUINA DE PRUEBA.

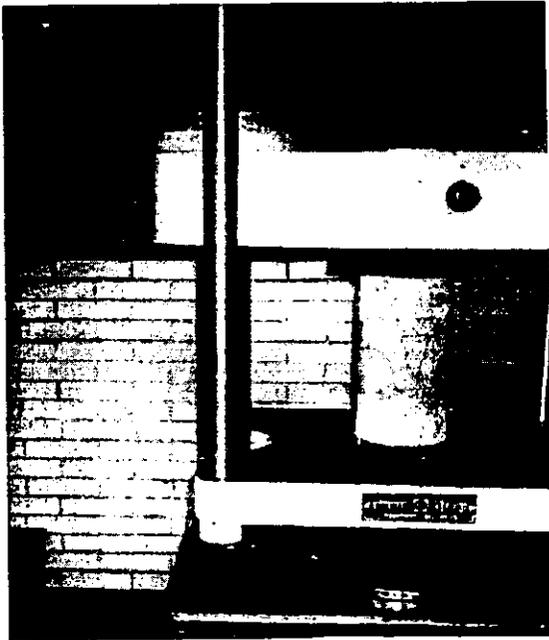


FIGURA 8.3 APLICACIÓN DE LA CARGA EN EL CILINDRO DE CONCRETO.

Se debe aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua, sin producir ni impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de 137 a 343 kpa/s (84 a 210 kgf/cm² /min). Se permite una velocidad mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima esperada, siempre y cuando durante la segunda mitad se mantenga la velocidad especificada; pueden utilizarse máquinas operadas manualmente o motorizadas que permitan cumplir con lo anterior, teniendo en cuenta que no deben hacerse ajustes en los controles de las máquinas de prueba operadas a motor, ni tratar de aumentar o disminuir la velocidad de aplicación de carga en los manuales, cerca de la zona de falla (ver figura 8.3).

Se aplica carga hasta alcanzar la máxima, registrándola. Cuando sea necesario podrá llevarse hasta la falla, anotando tipo de falla y apariencia del concreto (ver figura 8.4 y 8.5).

Es recomendable colocar en la máquina, dispositivos de seguridad para evitar daños a los operadores durante la falla del espécimen.

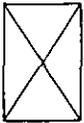
Los especímenes para aceptación o rechazo de concreto deben ensayarse a la edad de 14 días en el caso de concreto de resistencia rápida, 28 días en caso de resistencia normal, con las tolerancias que a continuación se indican.

Edad de prueba	Tolerancia permisible
14	± 12 h
28	± 24 h

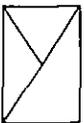
De preferencia se recomienda ensayar con la tolerancia de la mayor edad en cada caso.

Para aquellos especímenes en los cuales no se tenga una edad de prueba de las prescritas en la tabla anterior, se ensayarán con las tolerancias que se fijen de común acuerdo por los interesados.

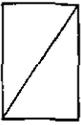
FIGURA 8.4 DIAGRAMA DE FALLAS DE CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN.



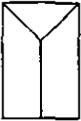
1. Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.



2. Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de tolerancia especificada excediendo ésta.



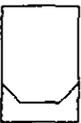
3. Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o por deficiencia del material de cabeceo; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.



4. Se observa en especímenes que presentan una carga cóncava y/o por deficiencias del material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.



5. Se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga por deficiencia del material de cabeceo o rugosidades en el plato de cabeceo de placas de carga.



6. Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo o del plato del cabeceador.



7. Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias del paralelismo establecido o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen para la aplicación de carga.

FIGURA B.4 DIAGRAMA DE FALLAS DE CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN.



FIGURA 8.5 TIPO DE FALLA EN UN CILINDRO SOMETIDO A COMPRESION.

CÁLCULOS:

Se calcula la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro medido como se describió anteriormente.

1° Se calcula el área del espécimen.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}; \text{ donde } \begin{array}{l} A = \text{área de la sección circular, en cm} \\ D = \text{diámetro del cilindro, en cm.} \end{array}$$

2° En base a la proporción de la mezcla determinar en forma aproximada la carga de ruptura. Considerar el área calculada. La ecuación a utilizar es:

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ ; donde: } f'c = \text{Indiceresistencia a la compresión en kg/cm}^2$$

$P = \text{Carga aplicada, en kg.}$
 $A = \text{Area de la sección circular, en cm}^2$

INFORME DE LA PRUEBA:

El registro de los resultados debe incluir los datos siguientes:

- a) Clave de identificación del espécimen.
- b) Edad nominal del espécimen.
- c) Diámetro y altura en centímetros, con aproximación a milímetros.
- d) Area de la sección transversal, en centímetros cuadrados con aproximación del décimo.
- e) Masa del espécimen en kilogramos.
- f) Carga máxima en toneladas o kilogramos.
- g) Resistencia a la compresión, calculada con aproximación de 1 kg/cm².
- h) Descripción de la falla.
- i) Defectos observados en el espécimen o en sus cabezas.

VIII.3 PRUEBA PARA REALIZAR EL CABECEO EN LOS ESPÉCIMENES DE CONCRETO

INTRODUCCIÓN

Durante la prueba de compresión la cara superior del cilindro de prueba queda en contacto con la platina de la máquina de pruebas y, puesto que no se obtiene por colado contra un plano maquinado, sino que se le aplica acabado mediante una llana, dicha superficie queda bastante áspera y no verdaderamente plana. En estas circunstancias, se introducen concentraciones de esfuerzo y se reduce notablemente la resistencia aparente del concreto. Irregularidades de la superficie plana hasta de 0.25 mm pueden reducir la resistencia en una tercera parte. Las superficies terminales convexas causan concentraciones elevadas de esfuerzo.

Además de no tener puntos altos, las superficies de contacto deben estar libres de granos de arena y otros residuos de pruebas anteriores que podrían provocar la falla prematura y, en casos extremos, posiblemente agrietamiento violento.

Existen tres medios para superar los efectos negativos de la superficie de un extremo irregular del espécimen: cabecear, pulir y empacar con un material de relleno. El medio del cabeceo es el que trataremos a continuación.

Cabecear con un material adecuado no afecta en forma negativa la resistencia del concreto y reduce su dispersión si se le compara con el de muestras no cabeceadas. El material ideal para el cabeceo debe tener resistencia y propiedades elásticas similares a las del concreto de la muestra; si esto se cumple, no habrá tendencia a la separación y se logrará una distribución bastante uniforme del esfuerzo sobre la sección transversal de la muestra.

La operación de cabeceo puede efectuarse ya sea inmediatamente antes de la prueba o bien poco después de haber colado la muestra. En cada caso se emplean materiales diferentes, pero. Cualquiera que sea el material para el cabeceado, es esencial que éste sea delgado, de preferencia entre 1.5 y 3 mm de espesor. El material de cabeceo no debe ser más débil que el concreto del espécimen, pero tampoco se considera conveniente una diferencia de resistencias demasiado grande, ya que un cabeceado muy resistente puede producir gran restricción lateral y, por lo tanto, provocar un incremento aparente en la resistencia. La influencia del material de cabeceo en la resistencia es mucho mayor en el caso de concreto de alta o mediana resistencia, que cuando se emplea concreto de baja resistencia; en este último caso el material de cabeceo no suele producir una reducción de la resistencia de más del 5 al 10 %. Pruebas más recientes confirman estos descubrimientos y demuestran que, en el caso del concreto de 210 kg/cm^2 , el cabeceo con material de elevada o baja resistencia da lugar a la misma resistencia en el cilindro. Tampoco influye la relación de Poisson del material de cabeceo. No obstante, el empleo de material de cabeceo de alta resistencia (373 kg/cm^2) o de baja resistencia (141 kg/cm^2) tiene importancia cuando se prueba concreto de alta o mediana resistencia. Con concreto de alta resistencia (492 kg/cm^2) el cabeceo conduce a resistencias de 7 a 11 % mayores que el cabeceo de baja resistencia. Para concreto de 703 kg/cm^2 , la diferencia

puede ser hasta del 17%. Estas diferencias son menores cuando el espesor del cabeceo es muy pequeño.

Cuando la operación de cabeceo tenga que efectuarse poco después del colado, generalmente se emplea cemento puro. Es preferible permitir una demora de dos o cuatro horas después del colado para que tengan lugar la contracción plástica del concreto y la resultante subsidencia de la cara superior de material en el molde. Es conveniente darle al concreto original un acabado de 1.5 a 3 mm bajo el borde del molde; durante el cabeceo este espacio se rellena con una pasta de cemento que, de preferencia, se haya dejado contraer parcialmente, obteniéndose una superficie plana al rasar con una placa de vidrio de acero maquinado.

Una alternativa es cabecear el cilindro poco antes de la prueba: el tiempo real depende las propiedades de endurecimiento del material de cabeceo. Entre los materiales adecuados se encuentran el cemento de alta alúmina, una mezcla de cementos Portland y de alta alúmina, cemento dental de alta resistencia, cemento de fraguado regulado, así como una mezcla de azufre fundido; pero también se han empleado otros materiales.

APARATOS Y EQUIPO:

Placas cabeceadoras. Cuando en el cabeceo se ha empleado cemento puro se debe usar una placa de vidrio o una placa metálica maquinada y pulida de por lo menos 100 mm de espesor, o placas de granito o diabasa pulidas, de por lo menos 75 mm de espesor (ver figura 8.6).

Para el cabeceo con mortero de azufre se emplean platos metálicos, cuyo diámetro debe ser por lo menos 5.0 mm mayor que el espécimen por cabecear y su superficie de asiento no debe apartarse de un plano en más de 0.05 mm en 150 mm.

La superficie de los platos debe estar libre de estrías, ranuras o depresiones mayores de 0.25 mm de profundidad en 32 mm de su área. El espesor mínimo de la placa debe ser de por lo menos 13 mm. En ningún caso la depresión debe reducir el espesor mínimo mencionado.

En dispositivos para cabeceo vertical se puede emplear un plato formado de 2 piezas metálicas que faciliten el refinado de la superficie de cabeceo. En tal dispositivo la sección inferior es una placa sólida y la sección superior es un anillo circular maquinado, que forma el borde del plato; estas piezas se fijan con tornillos.

Dispositivos de alineamiento. Deben emplearse dispositivos de alineamiento, tales como barras guía o niveles de "ojo de buey", en unión con las placas de cabeceo, para asegurar que ni una sola capa se aparte de la perpendicular al eje del espécimen cilíndrico en más de 0.5 grados (aproximadamente 3 mm en 300 mm).

Recipiente para fundir el azufre. Existen dos tipos de recipientes para el fundido del azufre.

Recipientes equipados con dispositivos que controlen automáticamente la temperatura.

Recipientes sometidos a calor externo.

En ambos casos los recipientes deben ser fabricados o forrados de algún material que no sea reactivo con el azufre fundido. Para realizar la operación de fundido se debe contar con una campana de extracción de gases.



FIGURA 8.6 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA EL CABECEO DE LOS CILINDROS.

VIII.3.1 PREPARACIÓN DE LOS ESPÉCIMENES

Especímenes recién moldeados. La superficie superior de los especímenes recién moldeados puede ser cubierta con una capa delgada de una pasta dura de cemento Portland.

Especímenes endurecidos curados en ambiente húmedo. Los especímenes endurecidos que han sido curados con humedad, deben ser cabeceados con mortero de azufre que reúna los siguientes requisitos:

Mortero de azufre. Los morteros de azufre comerciales o preparados en el laboratorio deben endurecerse en dos horas. El mortero de azufre debe verificarse y debe cumplir con los siguientes requisitos:

Resistencia mínima de la compresión a la edad de 2 horas de 350 kg/cm^2 .

Determinación de la resistencia a la compresión. Se preparan los especímenes de prueba empleando un molde con 3 compartimientos cúbicos de 5 cm por lado, con una placa

como base y una cubierta formada por una placa formada por una placa metálica. se calienta el molde a una temperatura de 30 a 30 °C. Se cubre la superficie de los moldes que está en contacto con el azufre con una capa delgada de aceite mineral y se lleva cerca del recipiente. Con el mortero de azufre fundido a una temperatura entre 130 y 150 °C, se agita continuamente y se procede a colar los cubos empleando una cuchara u otro utensilio apropiado para el colado, rápidamente se llena cada uno de los tres compartimientos hasta que el material fundido llegue a la parte alta del agujero de la placa. Se deja suficiente tiempo para el máximo de concentración debida al enfriado y solidificación que se presenta aproximadamente en 15 minutos, y se rellena cada agujero con material fundido. Después de que se ha completado la solidificación se retiran los cubos del molde sin romper la colada formada por el agujero de llenado en la placa de la cubierta. Se limpia el aceite, se raspan y retiran los sobrantes de las aristas y se verifican los planos de las superficies de contacto. Después de almacenarlos a la temperatura del laboratorio durante 2 horas, se prueban los cubos a la compresión aplicando la carga en dos de las caras laterales y se calcula su resistencia (kg/cm^2).

VIII.3.2 CABECEO DE LOS CILINDROS

Las superficies cabeceadas de los especímenes para compresión deben ser planas, dentro de una tolerancia de 0.05 mm, a través de cualquier diámetro. Durante los procedimientos de cabeceo, la planicidad de las capas debe verificarse tres veces por día: al principio, a la mitad y al final de la jornada. Los planos de las bases cabeceadas de cada 10 especímenes deben ser verificados por medio de una regla rígida de bordes rectos y calibradores de laminillas para espesores, tomando un mínimo de tres lecturas en diámetros diferentes para asegurar que las superficies de las capas no se aparten de un plano en más de 0.05 mm (ver figura 8.7).



FIGURA 8.7 NOS MUESTRA EL CABECEO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO.

Para cabecear cilindros recién moldeados se emplea pasta de cemento Portland puro. Se hacen las capas tan delgadas como sea posible y se aplica sobre el extremo expuesto después de 2 a 4 horas del moldeado; dicha pasta de cemento es de consistencia normal, aproximadamente entre 0.25 y 0.35 de a/c, con la que se cabecea el cilindro. Es conveniente aproximadamente 30 minutos después de su aplicación enrasarla con una plana cabeceadora. En este procedimiento es necesario retirar el agua de sangrado antes de aplicar la pasta de cemento. Otra alternativa para realizar el cabeceo consiste en espolvorear cemento puro sobre la superficie expuesta aún fresca y después de 1 a 2 horas proceder a enrasar.

Las capas de cemento puro Tipo I requieren generalmente un mínimo de 6 días para desarrollar una resistencia aceptable, y las capas con cemento puro Tipo III requieren por lo menos 2 días.

Las bases de los cilindros de concreto endurecido que no se encuentran dentro de las tolerancias de 0.05 mm con respecto a su plano deben ser cabeceadas, cortadas o pulidas para estar dentro de esa tolerancia. Las capas de cabeceo deben tener alrededor de 3 mm de espesor y ninguna parte de las mismas debe tener un espesor mayor de 5 mm. Se debe eliminar cualquier depósito de cera, material aceitoso o exceso de agua o polvo que se encuentren en cualesquiera de las bases del espécimen o cualquiera que interfiera con la adherencia de la capa de cabeceo.

Se prepara el mortero de azufre para su empleo, calentándolo a 140 ± 10 °C. Se recomienda colocar en los recipientes la cantidad de azufre necesaria para los especímenes por cabecear en esa etapa y antes de volverse a llenar se elimina el material sobrante.

La mezcla de azufre nuevo debe estar seca en el momento que se coloca en el recipiente, ya que la humedad puede producir espuma. Por la misma razón, la mezcla de azufre fundido debe mantenerse alejada de cualquier humedad. El plato o los dispositivos para el cabeceo deben ser calentados ligeramente antes de ser empleados para disminuir la velocidad del endurecimiento y permitir la formación de capas delgadas. Inmediatamente antes de vaciar cada capa, se aceita ligeramente el plato de cabeceo y se agita el mortero de azufre fundido. Las bases de los especímenes curados en forma húmeda deben estar suficientemente secas en el momento del cabeceo, para evitar que dentro de las capas se formen burbujas de vapor o bolsas de espuma de diámetro mayor de 6 mm.

Para asegurarse que la capa se ha adherido a la superficie del espécimen, la base de éste no debe ser aceiteada antes de la aplicación de la capa.

El emplear varias veces el mismo material debe ser restringido a un máximo de 10 veces para disminuir al mínimo la pérdida de la resistencia y de la fluidez ocasionada por la contaminación del mortero con aceite o con desperdicio de distintas clases y pérdida de azufre a través de la volatilización.

A continuación se muestran algunos ejemplos de pruebas que se realizaron, para diversos tipos de concreto y sus resultados correspondientes:

U.N.A.M.
ENEP ARAGON

TESIS: "ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LABORATORIO PARA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO"

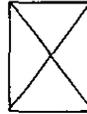
MARTINEZ RICARDO JAVIER

AGREGADOS: ARENA Y GRAVA ANDESITICA

RÉSISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO NORMAL

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD (dias)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm ²)	P (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	$\Delta f'c$	%f'c
7	15	30	176.72	36000	203.72	0.00	85%
14	15	30	176.72	37800	213.90	10.19	89%
21	15	30	176.72	41250	233.43	19.52	97%
28	15	30	176.72	42500	240.50	7.07	100%

TIPO DE FALLA: A 45o



NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DEL PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

REVENIMIENTO = 10 cm

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO

PESO VOLUMETRICO = 2200 Kg/m³

U.N.A.M.

ENEP ARAGON

TESTES: "ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LABORATORIO PARA TECNOLOGIA DEL CONCRETO"**MARTINEZ RICARDO JAVIER**

AGREGADOS: BASALTO Y ARENA PRODUCTO DE TRITURACION DE BASALTO

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD (dias)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm ²)	P (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	Δf'c	%f'c
7	15	30	176.72	55400	313.50	0.00	65%
14	15	30	176.72	61200	346.32	32.82	72%
21	15	30	176.72	76700	434.03	87.71	90%
28	15	30	176.72	85500	483.83	49.80	100%

TIPO DE FALLA: A 45o



NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DEL PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

REVENIMIENTO = 3 cm

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO

PESO VOLUMETRICO = 2300 Kg/m³

U.N.A.M.

ENEP ARAGON

TESIS: "ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LABORATORIO PARA TECNOLOGIA DEL
CONCRETO"

MARTINEZ RICARDO JAVIER

AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y TEZONTLE ROJO (GRAVA)

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO LIGERO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD (dias)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm ²)	P (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	$\Delta f'c$	%f'c
7	15	30	176.72	38000	215.04	0.00	68%
14	15	30	176.72	43500	246.16	31.12	77%
21	15	30	176.72	50100	283.51	37.35	89%
28	15	30	176.72	56200	318.03	34.52	100%

TIPO DE FALLA: A 45°



NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA
TABLA FUERON OBTENIDOS DEL PROMEDIO DE TRES
ENSAYES POR CADA EDAD

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

REVENIMIENTO = 9 cm

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO

PESO VOLUMETRICO = 1918 Kg/m³

CAPITULO IX

CONCRETO DE ALTA
RESISTENCIA

IX CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

IX.1 INTRODUCCIÓN

En el presente siglo las aplicaciones del concreto se han incrementado exponencialmente gracias al desarrollo de teorías que explican su comportamiento estructural y gracias al desarrollo de la tecnología de materiales que han permitido que cada vez se elaboren concretos más confiables, más resistentes y más durables.

Mucho se ha avanzado en estos aspectos, pero la dinámica del mundo actual exige cada vez mayores avances. Actualmente se tiene necesidad de construir edificios más altos, puentes más largos, plantas más potentes, etc.; todo lo cual requiere de concretos cada vez más resistentes. Para responder a esa demanda han operado los llamados "Concretos de Alta Resistencia" que para nuestro medio pueden definirse como aquellos cuya resistencia a 28 días supera los 400 kg/cm².

Los concretos de alta resistencia son un desarrollo reciente, a los cuales se esta encontrando utilidad práctica rápidamente, especialmente en la construcción de edificios de gran altura. Sin embargo, el alcance y extensión de sus aplicaciones son aún limitadas, en parte debido a que no se tiene conocimiento total de las distintas propiedades que gobiernan su comportamiento mecánico.

La década de los 80's fue portadora de desarrollos progresivos en el diseño de mezclas de concreto. Usando agregados seleccionados y cementos combinados, se produjeron mezclas comerciales que iban de 600 a 900 kg/cm². Simultáneamente, se desarrollaron técnicas de construcción y aditivos para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

El concreto de alta resistencia se produce incrementando el contenido de cemento y la resistencia de los agregados gruesos. La adición de escoria de altos hornos granulada molida y de humo de sílice, ayudan a ganar constantemente resistencia a edades mayores (es decir, a edades mayores a 28 días).

IX.2 PROPIEDADES

Se han investigado la mayoría de las propiedades de concreto de alta resistencia, y los siguientes comentarios que se indican a continuación, indican su comparación con el concreto de resistencia normal:

- La resistencia a la tensión sigue una relación similar a la resistencia a la compresión, al igual que para el concreto de resistencia normal.
- El módulo de elasticidad se incrementa con la resistencia pero llega a ser más dependiente del módulo de resistencia del agregado en las resistencias más altas.
- Típicamente la densidad del concreto es ligeramente más alta que la edad del concreto normal debido al uso de agregados gruesos más fuertes que inevitablemente son más densos.

La figura de esfuerzo deformación (ver figura 9.1) es más pronunciada que para el concreto de resistencia normal y la curva descendente cae abruptamente. La deformación en el esfuerzo último es típicamente de 0.003.

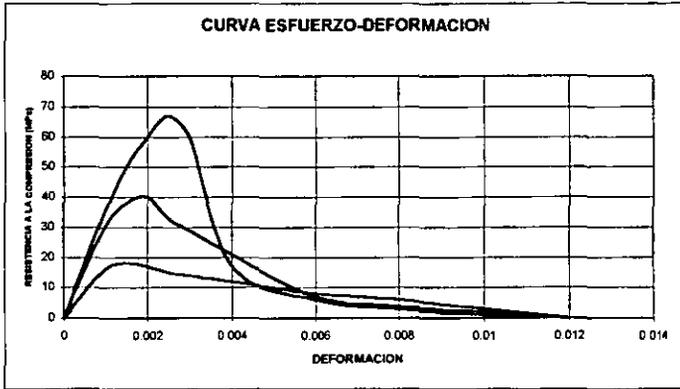


FIGURA 9.1 CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

La baja permeabilidad del concreto de alta resistencia proporciona una excelente protección al refuerzo. Los resultados de la investigación indican que hay poca diferencia en cuanto a su resistencia normal y el de alta resistencia en cuanto a su resistencia al fuego.

El factor más importante que influye en el diseño de los elementos de concreto de alta resistencia, es su naturaleza quebradiza inherente tal como se muestra en la figura 9.1.

En la gama de resistencia del concreto desde 250 a 400 kg/cm², el incremento en la resistencia es mayor que el incremento lineal en los costos. Con el concreto de alta resistencia, actualmente el incremento de la resistencia es menor que el incremento lineal en los costos, tal como se muestra en la figura 9.2.

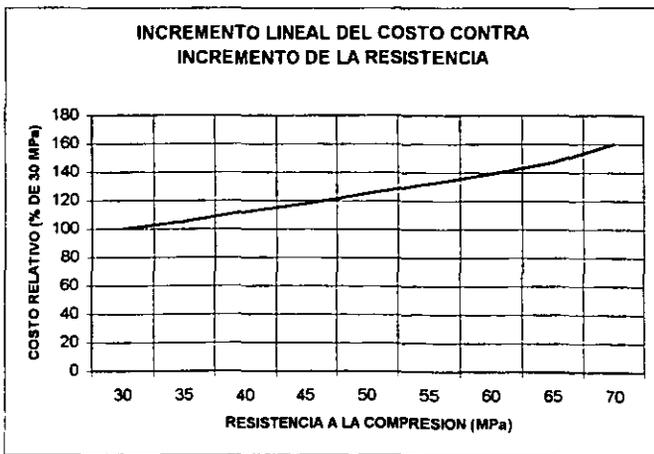


FIGURA 9.2

Los factores que influyen en esta tendencia son:

- La fuente del agregado grueso puede encontrarse más retirada que la de los agregados usados para resistencia normal.
- Una mayor cantidad de cemento y la adición de aditivos tales como superfluidificantes.
- Costos más altos del desarrollo de la mezcla y los riesgos de construcción asociados.

Mientras menor es la relación agua cemento (ver figura 9.3), por ejemplo cuando se agrega humo sílice al concreto de alta resistencia, se experimenta una reducción en la trabajabilidad de la mezcla; para asegurar la solución de este problema generalmente se adoptan la adición de aditivos y la limitación del tamaño máximo del agregado grueso a 20 mm. La limitación del tamaño y los aditivos reductores de agua o superfluidificantes, estos últimos típicamente agregados a la mezcla en el sitio de la obra antes del bombeo.

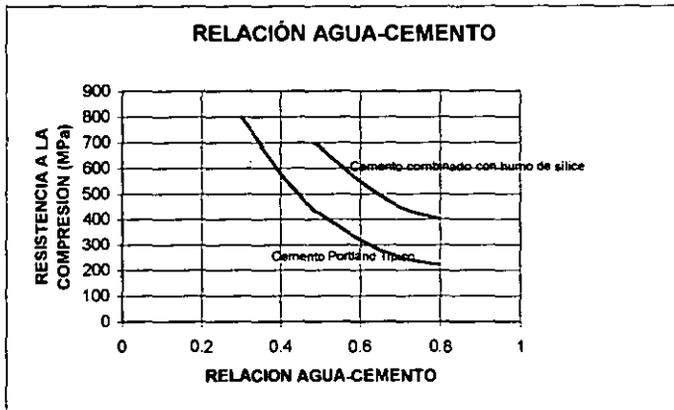


FIGURA 9.3 RELACIÓN AGUA-CEMENTO

El concreto de alta resistencia tiene un mayor riesgo de agrietamiento por contracción plástica que el concreto de resistencia normal durante el período de fraguado, ya que no produce agua de sangrado.

IX.3 MÉTODOS GENERALES DE LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.

Para producir concretos de resistencia a compresión superior a 400 kg/cm^2 con agregados de peso normal, se requiere de una selección adecuada de los materiales componentes, el empleo de aditivos reductores de agua de alta eficacia y un estricto control de calidad en todas las etapas de fabricación y uso.

En el caso específico de la ciudad de México y en el de los materiales, se requiere seleccionar la marca y el tipo de cemento que permita alcanzar una alta resistencia a

compresión a la edad de tres meses; trituración de los agregados calizos disponibles para alcanzar una granulometría y forma de partículas adecuadas, el lavado y clasificación por tamaños de la arena andesítica, comúnmente empleada en el valle de México para eliminar las partículas de agua, manteniendo niveles aceptables de trabajabilidad en las mezclas.

Los materiales para la elaboración de los concretos de alta resistencia, deben tener características específicas, que se resumen a continuación:

CEMENTO

Se han efectuado numerosos estudios para determinar la influencia de los diferentes tipos de cementos, así como de sus características físicas y químicas, en la efectividad de producir resistencia a la compresión a edades tempranas, combinados con aditivos superfluidificantes.

Se puede decir que el empleo de aditivos resulta más efectivo en la reducción de agua y en el desarrollo de la resistencia al combinarlos con cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (C_3A), molido a alta finura. Hay evidencias de que concretos hechos con cementos con contenido de aluminato tricálcico superior a 9 % presentan pérdidas de revenimiento rápidas. Un límite aceptable en el contenido de aluminato tricálcico puede ser 5 %.

Una buena opción, pueden ser los cementos portland puzolana para la fabricación de concretos de alta resistencia, por su adecuado efecto físico-químico asociado a las partículas finas de las puzolanas. El cemento más conveniente para utilizar es el tipo II-puzolánico.

AGREGADOS PÉTREOS

a) Agregado fino

Los concretos de alta resistencia usualmente tienen contenidos de materiales cementantes tan altos que la granulometría de los agregados finos a utilizar tiene poca importancia, en comparación con la que tiene para concretos comunes.

La granulometría óptima del agregado fino, para concretos de alta resistencia está determinada más por su efecto en el requerimiento de agua que por su arreglo físico. Una arena con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 puede conducir a una consistencia de concreto pegajoso, difícil de compactar. Una arena con MF cercano a 3.0 puede producir concretos con mayor trabajabilidad y resistencia a la compresión.

A menudo puede resultar conveniente aumentar el MF, al reducir los porcentajes de las partículas que pasan las mallas números 50 y 100, pero manteniéndolos dentro de los porcentajes que recomienda la norma respectiva (ASTM-C-33), y eliminando la posible contaminación de mica y arcilla.

b) Agregado grueso

La mayoría de los estudios han mostrado que la resistencia a la compresión óptima con altos contenidos de cemento y relaciones agua-cemento bajas, se alcanzan con tamaños máximos del agregado grueso de 12.7 mm o 9.5 mm. También se han usado satisfactoriamente tamaños máximos de 19 mm y 25.4 mm.

De acuerdo a las pruebas ya realizadas la piedra triturada produce resistencias más altas que la grava redondeada. Esto es debido a la gran adherencia mecánica que se puede desarrollar con partículas angulosas. Sin embargo, debe evitarse la angulosidad acentuada, debido al mayor requerimiento de agua y poca trabajabilidad que se tiene con este tipo de material. El material ideal debe ser limpio, cúbico, agregado triturado, con un mínimo de partículas planas y alargadas.

IX.4 ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES

Estos aditivos son usados en forma de solución acuosa a diferentes concentraciones, dependiendo del tipo y marca. La dosificación utilizada suele ser muy alta, lo que puede repercutir en el costo del concreto, pero por otro lado su empleo produce importantes ahorros en otros conceptos.

IX.5 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Se debe tener sumo cuidado en el proporcionamiento de concretos de alta resistencia, ya que requiere de un proceso más cuidadoso que el diseño de mezclas de resistencia normal. En general se emplean aditivos puzolánicos especialmente seleccionados y aditivos químicos, y se considera la utilización de una baja relación agua-cemento. Cuando se requieren resistencias superiores a 400 kg/cm^2 , las propiedades del agregado asumen gran importancia.

La resistencia propia del agregado, la textura para lograr una buena adherencia, la forma y la granulometría para lograr una trabajabilidad adecuada con un mínimo de agua, son de gran importancia.

En mezclas ricas de cemento, si se disminuye el tamaño del agregado grueso, aumenta la superficie específica, y la adherencia entre el mortero y el agregado mejora, por esta razón se incrementa en forma sustancial la resistencia mecánica del concreto.

Debido a que se trabaja con relaciones agua-cemento bajas, para alcanzar mayor resistencia a la compresión del concreto se debe compactar perfectamente, esto es posible por medio de la compactación mecánica o vibrado dependiendo de la consistencia de la mezcla.

Para lograr un buen concreto de alta resistencia, el consumo varía entre 400 y 550 kg/m^3 y la relación agua-cemento cercana a 0.27 es adecuada para la hidratación total del cemento. Un contenido adicional de agua en cualquiera de los agregados, sobre esta relación, reduce la resistencia a la compresión que se puede alcanzar. No obstante se deben respetar estos proporcionamientos, ya que al incrementar el contenido de cemento para alcanzar alta resistencia a edad temprana puede originar calor e hidratación excesivo, causando

agrietamientos y contracciones inadecuadas en el concreto. El incremento del consumo del cemento por sí solo no es tan conveniente como una reducción de la relación agua-cemento para lograr tal fin. Para concretos de alta resistencia es conveniente emplear revenimientos entre 2.5 y 5 cm.

IX.6 LA ECONOMÍA EN RELACIÓN CON LOS CONCRETOS de ALTA RESISTENCIA

En México, la construcción de edificios de mayor altura esta concentrada en el área metropolitana del D.F., y es natural pensar que la utilización de los concretos de alta resistencia para este tipo de edificaciones sea principalmente en esta zona geográfica; pero debido a la escasez de los agregados pétreos de buena calidad, provenientes de bancos de material cercanos, trae como consecuencia el acarreo de largas distancias de dichos agregados, motivando a un incremento substancial en sus costos de producción y disminuyendo la competitividad con los concretos de resistencias tradicionalmente usados.

Por fortuna las últimas tendencias económicas se perfilan hacia un mayor desarrollo de la infraestructura productiva en todos los estados de nuestro país, lo cuál provocará un repunte de la industria de la construcción; y es precisamente aquí donde los concretos de alta resistencia tienen mayor oportunidad, ya que las fuentes de la materia prima requerida para su producción haría menos crítico el binomio distancia de acarreo-calidad.

Pero no se debe perder de vista que el incremento de costo de los concretos de alta resistencia con respecto al concreto tradicional se compensa por:

- a) Mayor superficie utilizable en planta
- b) Menor carga muerta
- c) Menores cantidades de acero de refuerzo
- d) Menor cantidad de mano de obra.

Por lo anteriormente dicho la relación costo-beneficio se muestra a favor del concreto de alta resistencia, ya que simplemente con incrementar del 25 al 35 % los contenidos de cemento se pueden alcanzar aumentos de resistencia a la compresión del orden de 2 a 2.5 veces.

IX.7 VENTAJAS de LOS CONCRETOS de ALTA RESISTENCIA

- Se pueden obtener mayores resistencias de diseño.
- Se pueden introducir mayores niveles de preesfuerzo y se puede reducir el deterioro de la piezas durante su traslado y manipulación.
- Se puede propiciar la transmisión de preesfuerzo a edades tempranas.
- Con la alta resistencia, la sección transversal de la estructura puede reducirse, lo que conduce a la disminución de la carga muerta lo que resulta favorable para edificios altos, puentes de gran claro y para la estabilidad de las estructuras bajo la acción del sismo.
- La trabajabilidad que alcanzan estos concretos con bajas relaciones agua cemento permite mejorar la impermeabilidad de los mismos y aumentar su durabilidad.

IX.8 APLICACIONES de LOS CONCRETOS de ALTAS RESISTENCIA

Es necesario tener en cuenta la demanda general de la obra civil ya que esta no sólo abarca grandes edificios para oficinas o vivienda, sino que son necesarias obras de tipos y usos diversos.

De las aplicaciones de concreto de alta resistencia con mayor potencialidad se pueden mencionar:

- a) Puentes, cubiertas, tanques de almacenamiento y elementos de concreto prefabricados.
- b) Estructuras especiales, chimeneas, silos, plantas nucleares, túneles y pilotes.
- c) Obras relacionadas con vías de transporte, pavimentos rígidos con un alto módulo de ruptura, pistas de aeropuertos, estructuras de protección de alta resistencia al impacto en vías terrestres.
- d) Reparación y reforzamiento de: Estructuras diseñadas por sismo.
- e) Obras hidráulicas sometidas a altos índices de abrasión.
- f) Sistemas de entepiso de concreto ligero, y
- g) Aplicaciones especiales a la ingeniería militar.

X.9 EJEMPLO DE FABRICACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Se fabrico en laboratorio un concreto de alta resistencia, para la elaboración de la mezcla de prueba se especificarán los siguientes requisitos:

- Se usara cemento normal (Tipo II).
- Se usara agregado grueso con un Tamaño Máximo de Agregado (TMA) $\frac{3}{4}$ ".
- Mantener los agregados fino y grueso en estado seco, hasta el momento de ser adicionados a la mezcla.
- Se deberá obtener una resistencia a la compresión, mínima a la edad de 28 días de 450 Kg/cm².
- Se empleara un Revenimiento de 3 ± 1 cm.

Se realizaron las pruebas correspondientes a los agregados para obtener cada una de sus propiedades físicas, las cuáles se muestran en la tabla 9.1

MATERIAL	PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO Kg/m ³	PESO ESPECÍFICO Kg/m ³	T.M.A.	M.F.	% HUMEDAD	% ABSORCIÓN
AGUA	—	1000				
CEMENTO	—	3150				
GRAVA	1435	2500	3/4"		0.2	2.00
ARENA	1670	2500		3.7	0.3	2.00

TABLA 9.1 Propiedades de agregados utilizados para fabricar un concreto de alta resistencia.

Con cada una de las propiedades mencionadas anteriormente, y utilizando el método del ACI, se realizó el diseño de la mezcla y se obtuvieron las siguientes cantidades de agua, cemento, arena y grava, en volumen y en peso, para 1 m³ de concreto:

CANTIDADES DE MATERIALES EN VOLUMEN Y EN PESO

	VOLUMEN	PESO
Agua	= 0.224 m ³	224 Kg
Cemento	= 0.187 m ³	590 Kg
Grava	= 0.282 m ³	705 Kg
Arena	= 0.297 m ³	743 Kg
1% Aire	= 0.01 m ³	
Total	= 1.00 m³	2262 Kg/m³

Con las cantidades de materiales obtenidas, se procedió a fabricar los cilindros de concreto, para posteriormente someterlos a la prueba de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días respectivamente.

Se realizó la prueba de compresión y se obtuvo una resistencia máxima igual a 481 Kg/cm². Como la resistencia obtenida es mayor que la resistencia de proyecto podemos decir que nuestra dosificación está bien realizada, así como cada una de las pruebas realizadas y las propiedades de los materiales empleados en la práctica efectuada.

NOTA: Los resultados que se presentan en esta prueba fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad, y se pueden visualizar con mayor claridad en el Capítulo VIII PRUEBA A COMPRESIÓN.

CAPITULO X

CONCRETO CON ADITIVOS

X CONCRETO CON ADITIVOS

Un aditivo es: un producto químico " un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico que se usa como ingrediente en concretos y morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado ".

En ocasiones, se requiere cierto comportamiento del cemento en sus estados fresco y endurecido y no se puede conseguir con los materiales disponibles y si se logra es a un costo muy elevado. Esto es aún cuando las condiciones constructivas son demasiado exigentes o cuando las condiciones ambientales son muy severas.

La solución práctica es la adición al concreto de un material que demuestre ser conveniente para inducir el comportamiento requerido. Dicho material es conocido como aditivo.

Es requisito que los aditivos cumplan con las especificaciones aplicables de ASTM u otras apropiadas, además de cumplir con el uso, con las instrucciones que suministra el fabricante del producto.

X.1 TIPOS DE USO

Pueden usarse para los siguientes fines:

- Aumentar la resistencia del concreto.
- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
- Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Retardar o acelerar el fraguado inicial.
- Retardar o reducir el desarrollo de calor.
- Modificar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de explosión incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Reducir el flujo capilar del agua.
- Reducir la permeabilidad de los líquidos.
- Para reducir concreto celular.
- Mejorar la penetración y el bombeo.
- Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.
- Reducir o evitar el asentamiento para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usados para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas o trabes, o para rellenar ductos de cables de concreto postensionado o vacíos en agregado precolado.
- Aumentar la adherencia del concreto y el acero.
- Aumentar la adherencia entre el concreto viejo y nuevo.
- Producir concreto o mortero de color.

- Obtener concretos con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.
- Reducir el costo unitario del concreto.

Lo anterior da una gama de razones importantes por las cuales se usan los aditivos, y es, en efecto una clasificación funcional.

X.2 CLASIFICACIÓN

La clasificación más amplia de los aditivos para concreto y de sus fines de aplicación es la del comité ACI 212, "Aditivos para concreto". Aunque han ocurrido cambios en la tecnología de los aditivos desde que ese informe fue publicado en 1963, contiene información que todavía resulta útil de la cual se elaboro la siguiente relación de aditivos y de los fines que persiguen con su empleo:

1. Acelerantes.
2. Reductores de agua y controladores del fraguado.
3. Retardantes del fraguado con fines especiales para facilitar el colado prolongado.
4. Incluidores de aire.
5. Expulsores o reductores de aire.
6. Agentes formadores de gases.
7. Agentes expansores.
8. Minerales finamente divididos.
9. Agentes no humectantes, reductores de la permeabilidad.
10. Agentes para aumentar la adherencia entre concretos de diferente edad de colado.
11. Agentes reductores de la expansión entre los álcalis del cemento y los agregados pétreos por la reacción entre éstos, cuando sean químicamente reactivos.
12. Agentes reductores o protectores de la corrosión del refuerzo.
13. Agentes fungicidas, germicidas e insecticidas.
14. Agentes dispersantes.
15. Colorantes.

Los aditivos que actualmente existen en el mercado pueden contener sustancias que los hagan quedar comprendidos en 2 o más grupos de los citados en la lista anterior.

El concreto debe ser trabajable, capaz de dársele acabados, fuerte, durable, impermeable y resistente al desgaste. Estas cualidades frecuentemente se pueden obtener de una manera fácil y económica seleccionando los materiales adecuados sin que se tenga que recurrir a los aditivos (excepto los aditivos incluidores de aire cuando son necesarios).

Las principales razones del empleo de los aditivos son:

1. Para reducir el costo de la construcción de concreto.
2. Para obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios.
3. Para asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación, y curado en condiciones ambientales adversas.
4. Para superar ciertas eventualidades durante las operaciones de colado.

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Acelerantes (ASTM C 494, Tipo C)	Aceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edad temprana	Cloruro de calcio (ASTM D 98) Trietanolamina, tiocinato de sodio, formato de calcio, nitrato de calcio, nitrato de calcio
Exclusores de aire	Disminuyen el contenido de aire	Fosfato tributilo, ftalato dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles al agua de ácido carbónico y bórico, silicones
Aditivos inclusores de aire (ASTM C 260)	Mejoran la durabilidad en los ambientes en que existe congelación-deshielo, productos químicos descongelantes, sulfatos, y reactividad a los álcalis Mejoran la trabajabilidad	Sales de resinas de madera (resina Vinsol) Algunos detergentes sintéticos Sales de lignina sulfonatada Sales de ácidos de petróleo Sales de material proteíndeo Ácidos grasos y resinosos y sus sales Sulfonatos de alquilbenceno Sales de hidrocarburos sulfonatados
Reductores de reactividad con los álcalis	Reducen la expansión provocada por la reactividad con los álcalis	Puzolanas (ceniza volante, humo de sílice), escoria de alto horno, sales de litio y de bario, agentes inclusores de aire
Aditivos para unir	Mejoran la unión	Hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno
Agentes colorantes	Concreto con color	Negro de humo modificado, óxido de hierro, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio, azul cobalto (ASTM C 979)
Inhibidores de corrosión	Reducen el avance de la corrosión del acero en un ambiente con cloruros	Nitrito de calcio, nitrito de sodio, benzoato de sodio, algunos fosfatos o fluosilicatos, fluoaluminatos
Aditivos a prueba de humedad	Retardan la penetración de la humedad en el concreto seco	Jabones de calcio o estearato de amonio u oleato Estearato butilo Productos de petróleo
Aditivos minerales finamente divididos Cementantes	Propiedades hidráulicas Sustitución parcial del cemento	Escoria de alto horno granulada molida (ASTM C989) Cemento natural Cal hidráulica hidratada (ASTM C 141)
Puzolanas	Actividad puzolánica Mejoran la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos; reducen la reactividad con los álcalis, la permeabilidad y el calor de hidratación Sustitución parcial del cemento Relleno	Tierras diatomáceas, horstenos opalinos, arcillas, pizarras, tufas volcánicas, pumicitas (ASTM C 618, clase N); cenizas volantes, (ASTM C 618, Clases F y C), humo de sílice
Puzolónicos y cementantes	Los mismos que en las categorías de cementantes y puzolónicos	Cenizas volantes con contenidos altos de calcio (ASTM C 618, Clase C) Escoria de alto horno granulada molida (ASTM C 989)
Nominalmente inertes	Mejoran la trabajabilidad Relleno	Mármol, dolomita, cuarzo, granito
Fungicidas, germicidas e insecticidas	Inhiben o controlan el crecimiento de bacterias y hongos	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dieldrin Compuestos de cobre
Formadores de gas	Provocan expansión antes de que se presente el fraguado	Polvo de aluminio Jabón de resina y goma vegetal o animal Saponina Protelnas hidrolizadas
Agentes para morteros (lechadas)	Ajustan propiedades de los morteros (lechadas) para aplicaciones específicas	Vea los aditivos inclusores de aire, acelerantes, retardantes y agentes para la trabajabilidad
Impermeabilizantes	Disminuyen la permeabilidad	Humo de sílice Cenizas volantes (ASTM C 618) Escoria sólida (ASTM C 989) Puzolanas naturales Reductores de agua Látex

Tabla 10.1 Clasificación de los aditivos para concreto.

(Continuación)

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Ayudas de bombeo	Mejoran la capacidad de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos Bentonitas y sílices piragénicas Puzolanas naturales (ASTM C 618, Clase N) Cenizas volantes (ASTM C 619, Clases F y C) Cal hidratada (ASTM c 141)
Retardantes (ASTM C 494, Tipo B)	Retardan el tiempo de fraguado	Lignino Bórax Azúcares Acido tartárico y sales
Superplastificantes* (ASTM C 1017, Tipo 1)	Concreto de mayor fluidez Disminuye la relación agua-cemento	Condensados de formaldehído de melamina sulfonados Condensados de formaldehído de naftaleno sulfonados Lignosulfonatos
Superplastificantes* y retardantes (ASTM C 1017, Tipo 2)	Concreto con mayor fluidez y con retardo en el fraguado Disminuya la cantidad de agua	Vea a los aditivos superplastificantes y también los reductores de agua
Reductores de agua (ASTM C 494, Tipo A)	Reducen la demanda de agua al menos 5 %	Lignosulfonatos Ácidos carboxílicos hidroxilados Carbohidratos (También tienden a retardar el fraguado, por lo que a menudo se le agrega un acelerante)
Reductores de agua y acelerantes (ASTM C 494, Tipo E)	Reducen el agua (mínimo 5 %) y aceleran el fraguado	Vea los aditivos reductores de agua, Tipo A (Se agrega un acelerante)
Reductores de agua y retardantes (ASTM C 494, Tipo D)	Reducen el agua (mínimo 5 %) y aceleran el fraguado	Vea los aditivos reductores de agua, Tipo A
Reductores de agua - de alto rango (ASTM C 494, Tipo F)	Reducen la demanda de agua (mínimo 12 %)	Vea los aditivos superplastificantes
Reductores de agua - de alto rango- y retardantes (ASTM C 494, Tipo G)	Reducen la demanda de agua (mínimo 12 %) y retardan el fraguado	Vea los aditivos superplastificantes y también los reductores de agua
Agentes para la trabajabilidad	Mejoran la trabajabilidad	Aditivos inclusores de aire Aditivos minerales finamente divididos, excepto el humo de sílice Reductores de agua

Tabla 10.1 Clasificación de los aditivos para concreto.

* A los superplastificantes también se les conoce como reductores de agua de alto rango o plástificantes. Estos aditivos a menudo cubren simultáneamente las especificaciones ASTM C 494 y C 1017.

La efectividad del aditivo depende de factores tales como el tipo, marca y cantidad de cemento; el contenido de agua, la forma, granulometría y proporciones de los agregados; el tiempo de mezclado; el revenimiento y las temperaturas del concreto y del aire.

Los aditivos que hayan sido considerados para emplearse en el concreto, deberán cubrir las especificaciones pertinentes que se presentan en la tabla 9.1. Se deberán realizar mezclas de prueba con el aditivo y los materiales por utilizar a las temperaturas y humedades que se vayan a tener en la obra.

Aún cuando un aditivo puede producir un concreto con las propiedades deseadas, se pueden obtener frecuentemente los mismos resultados económicos, cambiando las

proporciones de la mezcla o eligiendo otros ingredientes para el concreto. Siempre que sea posible, se deberá comparar el costo de cambiar la mezcla básica de concreto, contra el costo adicional de emplear un aditivo.

El empleo exitoso de aditivos depende de la aplicación de un método apropiado de preparación y dosificación. El no tener cuidado en alguna de estas áreas puede afectar significativamente las propiedades y el comportamiento del concreto.

X.3 PREPARACIÓN Y ALMACENAMIENTO

La preparación de aditivos puede comprender la preparación de soluciones estándar o su disolución para facilitar su dosificación o suministro adecuados. La preparación no puede variar no sólo de acuerdo con el tipo de aditivo, sino también el lugar de procedencia. Como resultado de lo anterior, deben observarse las recomendaciones del fabricante si existe alguna duda respecto a los procedimientos que vayan a emplearse.

Algunos aditivos químicos se presentan como sólidos acuosolubles que se deben mezclar en el sitio en que van a emplearse. Este mezclado en la obra puede requerir la preparación de soluciones de baja concentración, debido a la dificultad de mezclado. En algunos casos es conveniente preparar soluciones estándar de concentración uniforme para facilitar su empleo.

Los aditivos que se suministran como líquidos "listos para usarse", pueden tener concentraciones mucho más elevadas que las soluciones hechas en la obra. Por esto, cualquier material insoluble finamente dividido si lo hay, tiende a conservarse en suspensión, eliminando por lo general la necesidad de agitarlos continuamente.

X.4 DOSIFICACIÓN

La adición de aditivos en una mezcla de concreto comprende no sólo la velocidad de descarga, sino también hacerlo a tiempo durante la secuencia de mezclado. Alterar el tiempo en el que se agrega el aditivo durante el ciclo de mezclado puede, en algunas ocasiones, variar el grado de efectividad del mismo. Para asegurar una distribución uniforme del aditivo en toda la mezcla de concreto, durante el ciclo de carga, debe ajustarse la velocidad de descarga del aditivo.

Es posible que dos o más aditivos no sean compatibles en la misma solución. Es importante por lo tanto, evitar que se mezclen los aditivos antes de agregarlos a la mezcla, a menos que las pruebas indiquen lo contrario o lo permitan las instrucciones del fabricante.

En términos de sistemas de dosificación, los aditivos pueden agruparse en dos categorías:

- a) Aditivos en polvo que normalmente se dosifican por peso.
- b) Aquellos materiales agregados a la mezcla en forma líquida que pueden ser dosificados por peso o por volumen.

Se emplean diversos métodos para la dosificación de aditivos líquidos. Estos incluyen desplazamiento volumétrico positivo, recipientes volumétricos visuales, sistemas de control de tiempo y dosificación por peso. Algunos se pueden aplicar fácilmente con sistemas manuales y semiautomáticos.

X.5 DIFERENTES TIPOS DE ADITIVOS Y SUS APLICACIONES

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los aditivos citados en la lista anterior. La cantidad en que deban emplearse generalmente viene especificada en relación con el cemento que pretende emplearse tanto en cantidad como en tipo.

X.5.1 ADITIVOS ACELERANTES

Se añaden al concreto para lograr cualquiera de los fines siguientes:

- a) Para aumentar la velocidad de adquisición de resistencia.
- b) Para acortar el tiempo de fraguado del cemento en el concreto.
- c) Para los dos propósitos mencionados anteriormente.

El beneficio que se tiene en la adquisición de altas resistencias a cortas edades, incluye el poder descimbrar a cortas edades; reducir el tiempo de curado y protección al concreto ; reducir el tiempo necesario para poner en servicio la obra o para hacer reparaciones y tener una compensación parcial por el efecto de retardo en el fraguado del concreto al colar en clima frío.

El acelerante de más empleo es el CaCl_2 (cloruro de calcio) que se usa en cantidades que varían entre el 0.5% y 2% del peso del cemento. Se aconseja dosificarlo disuelto en el agua de mezclado.

X.5.2 ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA

Los aditivos reductores de agua se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto con un cierto revenimiento, reducir la relación agua-cemento , o para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua en aproximadamente 5% a 10%. Los reductores de agua de alto rango reducen el contenido de agua de 12% a 30%. El hecho de agregar un aditivo reductor de agua a una mezcla sin haber disminuido el contenido de agua puede producir una mezcla con un revenimiento mucho mayor. No obstante, la velocidad en la pérdida de revenimiento no se reduce, sino que incluso aumenta en muchos casos. La pérdida rápida de revenimiento, tiene como resultado una reducción en la trabajabilidad así como un tiempo menor para colocar el concreto. Los materiales que son generalmente utilizados para reducir el agua y controlar el fraguado, quedan comprendidos en las cuatro clases siguientes:

- a) Ácidos lignosulfónicos y sus sales.
- b) Modificaciones de los ácidos lignosulfónicos y sus sales
- c) Ácidos hidroxilados carboxílicos y sus sales
- d) Modificaciones de los ácidos y sales citados en (c)

X.5.3 ADITIVOS RETARDANTES

Los aditivos retardantes se emplean para aminorar la velocidad de fraguado del concreto. Las temperaturas altas en el concreto fresco (30° a 32°C y mayores), son frecuentemente la causa de una gran velocidad en el endurecimiento lo que provoca que el colado y acabado del concreto sea difícil. Uno de los métodos más fáciles de contrarrestar este efecto consiste en hacer descender la temperatura del concreto enfriando el agua de mezclado o los agregados. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del concreto. Los retardantes se emplean en ocasiones para:

- Compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto.
- Demorar el fraguado inicial del concreto o lechada cuando se presentan condiciones de colado difíciles o poco usuales, como puede ocurrir al colar estribos o cimentaciones de gran tamaño, cementar pozos petroleros, o bombear lechada o concreto a distancias considerables.
- Retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabado especiales, como puede ser una superficie de agregado expuesto.

X.5.4 ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Los aditivos inclusores de aire se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto. La inclusión de aire mejora drásticamente la durabilidad de los concretos que estén expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo. El aire incluido mejora considerablemente la resistencia del concreto contra el descascaramiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes. También se ve mejorada de manera importante la trabajabilidad del concreto fresco, y la segregación y el sangrado se reducen o cemento inclusor de aire es un cemento portland con una adición inclusora de aire molida conjuntamente con el clinker durante su fabricación. Por otra parte, los aditivos inclusores de aire se agregan directamente a los componentes del concreto antes o durante su mezclado.

X.5.5 ADITIVOS REDUCTORES DE AIRE

Existen ciertos casos en que los materiales pétreos empleados en el concreto arrastran consigo gran cantidad de aire, por lo que es necesario cuando se comprueba éste fenómeno, el usar aditivos que reduzcan la presencia de aire en las mezclas. Los compuestos como el fosfato tributil son ampliamente usados para los fines antes mencionados.

X.5.6 ADITIVOS GENERADORES DE GASES

Al fraguar el concreto lentamente, se inicia un movimiento de acomodo de los diversos materiales que lo constituyen, estableciéndose puntos de contacto y apoyo entre el agregado pétreo hasta que se llega a un cierto equilibrio. Cuando el contenido de agua de mezcla es excesivo, se produce un ascenso de esta a la superficie, lo cuál se conoce por exudación sangrado. Tanto el obtener un aumento de volumen de la pasta

cementante. La cantidad en que normalmente se dosifica varía entre el 0.005 y 0.02% del peso del cemento.

X.5.7 ADITIVOS EXPANSORES

Los aditivos que originan expansión de volumen en el concreto, son aquellos que durante su período de hidratación experimentan un aumento de volumen propio o generado por la reacción con los elementos del cemento. La expansión se puede controlar para que resulte igual o mayor a la contracción que el concreto tenga al fraguar totalmente el cemento. Lo anterior es de gran aceptación en el empaque y relleno de zonas de cimientos que van a recibir maquinaria pesada que requiere alta precisión en su colocación.

Entre los materiales más empleados se cuenta el polvo de hierro, algunos cementos sulfoaluminosos obtenidos por calentamiento de una mezcla de yeso, bauxita, caliza y otros materiales.

X.5.8 MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS

Se pueden dividir en tres tipos diferentes: los que son químicamente inertes en forma relativa, los que son puzolánicos y los que son cementantes. La mayor parte de éstos aditivos tienen una finura igual o mayor que la del cemento, por lo cual ayudan a mejorar la plasticidad de mezclas ásperas. Los materiales finamente molidos que tienen propiedades puzolánicas o cementantes, ayudan al desarrollo de la resistencia del concreto.

Respecto a los materiales puzolánicos se puede afirmar que se encuentran constituidos por sílice y alúmina activas, que sin poseer propiedades cementantes propias, al combinarse con la cal libre del cemento hidratado adquieren valor cementante. Su empleo principal es por lo tanto como un sustituto parcial del cemento, poseyendo además la propiedad de reducir el calor de fraguado de éste, evitando así las contracciones que suelen presentarse en concretos con alto contenido de cemento. Los materiales puzolánicos se encuentran incluidos en concretos colados en obras de grandes dimensiones como en las cortinas de presas tipo gravedad y en obras expuestas a la acción desintegrante del agua de mar y aguas negras. Cuando se emplean en condiciones normales sustituyen del 10% al 25% del peso del cemento, además de que el poder cementante se incrementa a edades avanzadas.

Entre los materiales puzolánicos más usados se pueden citar el polvo de ciertas arcillas calcinadas, ciertos vidrios volcánicos calcinados, piedra pómez finamente molida y las tierras diatomáceas.

X.5.9 ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES

Estos aditivos incluyen jabones neutros, estearato de butilo y ciertos derivados del petróleo.

Los jabones incluyen sales de ácidos grasos, como el estearato u oleato. Con excepción del estearato de butilo, los restantes originan la inclusión de aire durante el mezclado.

Los aditivos de este grupo impiden la penetración del agua en los poros del concreto cuando éste tiene un contenido razonable de cemento. Cuando el concreto está elaborado con poco cemento se ha demostrado que la efectividad de éste tipo de aditivo es muy reducida.

X.5.10 ADITIVOS AGENTES PARA INCREMENTAR LA ADHERENCIA

Este tipo de aditivos se utilizan con el fin de aumentar la adherencia entre el concreto viejo y el que se va a colar. Consisten esencialmente de emulsiones de varios materiales orgánicos que se mezclan con el cemento, hule sintético, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, ciertos acrílicos, etc.

Estos materiales debido a sus propiedades adherentes se emplean con gran éxito en la elaboración de pinturas.

X.5.11 ADITIVOS REDUCTORES DE LA REACCIÓN ALCALIS-AGREGADOS PÉTREOS

Estos aditivos son empleados en mezclas de concreto elaboradas con agregados pétreos químicamente reactivos con los álcalis del cemento. Las investigaciones de laboratorio han comprobado cierta reducción en la expansión de especímenes en los que se han incluido 1% del peso del cemento de sales de litio y del 2% al 7% de sales de bario.

X.5.12 ADITIVOS PARA PROTEGER EL ACERO CONTRA LA CORROSIÓN

Este tipo de aditivo del concreto se utilizan con el fin de evitar la corrosión del acero cuando se filtra agua por grietas capilares, de acuerdo a ciertas investigaciones se ha encontrado que:

- Los mejores protectores del acero son ciertos cromatos ligeramente solubles
- El benzoato de sodio resulta un material aceptable para reducir la corrosión del acero; dosifican el 2% de éste material en el agua de mezclado (con respecto al peso del cemento) y también recomiendan emplear el 10% de dicho material con respecto al peso del cemento empleado en una lechada usada como pintura del refuerzo.

X.5.13 ADITIVOS AGENTES FUNGICIDAS, GERMICIDAS E INSECTICIDAS

Algunos materiales se pueden moler con el cemento o agregar posteriormente al concreto, tienen propiedades germicidas. Estos materiales incluyen fenoles polihalogenados y ciertos compuestos de cobre.

X.5.14 ADITIVOS DISPERSANTES

Estos aditivos se emplean para reducir la floculación de las partículas hidratadas, con el fin de aprovechar al máximo su poder cementante y favorecer la cohesividad del concreto.

CAPITULO XI

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

XI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La utilización del concreto abarca un amplio campo de estructuras de diversos tipos y tamaños, diseñados para usos distintos y expuestos a muy variables acciones, por lo que es necesario que se cumplan algunos requisitos que garanticen seguridad y larga vida de las estructuras, para lograr esto podemos dar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. Los agregados deben estar limpios y libres de sustancias orgánicas o de otras que sean perjudiciales y deben ser de estructura y composición mineral tales que aseguren su durabilidad por sí mismos. Deben estar libres de constituyentes que reaccionen desfavorablemente con los componentes del cemento, a no ser que se emplee cemento de bajo contenido de álcalis y una puzolana conveniente.
2. Los procedimientos de prueba de laboratorio, utilizados para determinar cada una de las propiedades físicas de los agregados, deberán de ser los indicados para obtener cada una de estas, y los resultados que se obtengan sean los correctos y satisfactorios para realizar un diseño de mezclas adecuado.
3. Los métodos de almacenamiento, manejo de los agregados y la medición de los ingredientes, deberán permitir que la mezcla diseñada pueda obtenerse correctamente en cada momento.
4. En esta tesis se describieron dos métodos para el diseño de mezclas de concreto:
 - Método ACI
 - Curvas de Abrahms
5. Ambos se basan en tablas y gráficas principalmente, en base a las pruebas realizadas, se recomiendan en el diseño de concretos de poca relevancia estructural y en volúmenes pequeños. En esta tesis se puede comprobar que el método que resulta más económico es el del ACI, ya que las cantidades de materiales obtenidas son menores a las que se obtienen mediante las curvas de Abrahms.
6. La fabricación de los cilindros de concreto debe ser elaborada correctamente de acuerdo al procedimiento de prueba del laboratorio, para que al momento que los cilindros sean descimbrados y sometidos a la prueba de compresión, no se lleguen a presentar problemas o irregularidades, y los resultados sean satisfactorios.
7. No se debe descuidar el curado del concreto este incluye la protección contra temperaturas extremas, así como suministro de humedad dentro de los periodos críticos iniciales. Ningún detalle de la construcción del concreto ofrece tal posibilidad de incrementar la resistencia y durabilidad a tan bajo costo como el que proporciona un buen curado.

8. Para determinar el proporcionamiento de una mezcla de concreto ligero, es necesario realizar previamente una serie de mezclas de prueba, en las que se varíen las cantidades de los materiales que componen cada una de estas mezclas, hasta encontrar la proporción que satisfaga los requisitos deseados.
9. Nos damos cuenta que es muy peligrosos construir en suelos con alto contenido de sulfato, debido a la alta capacidad humectante de los sulfatos, estos penetran rápida y profundamente en el interior del concreto. El medio agresivo sulfático que actúa que actúa sobre el concreto desde el exterior, empieza por atacar la superficie de los granos de clinker hidratados, por lo que es necesario que durante el proceso constructivo, se utilicen los materiales adecuados.
10. Para obtener resistencias altas en los concretos ligeros fabricados con agregados naturales, se requiere de consumos altos de cemento, por lo que recomendamos no utilizar este concreto, en elementos estructurales, ni en concretos de alta resistencia, ya que esto nos incrementaría el costo de la obra.
11. La utilización de los concretos de alta resistencia, es muy extensa y muy recomendable para elementos de estructuras muy altas, o con claros muy largos, ya que al utilizar este tipo de concreto, reducimos la sección transversal de la estructura, lo que conduce a la disminución de la carga muerta, lo que resulta favorable para la estabilidad de la estructura bajo la acción del sismo.
12. Al utilizar los concretos de alta resistencia en nuestras estructuras, el consumo de cemento es más elevado, en comparación con el empleo de concreto normal, lo cual haría más cara nuestra obra, pero esto se compensa, ya que haciendo uso del concreto de alta resistencia, se disminuye la sección transversal de la estructura y esto economizaría la obra.
13. El empleo de aditivos, se utiliza para mejorar o modificar las características del concreto, esto es muy utilizado y recomendado en el área de la construcción, y por necesidades de la obra.

El objetivo de esta tesis es el de presentar al estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, lo más fundamental que debe de saber acerca del concreto, para así poder enfrentarse a la actividad profesional, con el mínimo de conocimientos necesarios: si su enfoque es la investigación, tener los elementos básicos para ello, o bien en el libre ejercicio de la profesión para tener la convicción de que pueda fabricar concreto de calidad.

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

1. García Rodríguez de Jesús Felipe
Fabricación y Diseño de Mezclas de Concreto Normal
Tesis Profesional, ENEP Aragón, UNAM
México, 1994
2. Instituto de Ingeniería
Estudio de Concreto Ligero
México, D. F. 1967
3. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
Aditivos Para Concreto
Editorial Limusa
México, D. F. 1993
4. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
Diseño y Control de Mezclas de Concreto
Editorial Limusa
México, D. F. 1992
5. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
Proporcionamiento de Mezclas
Editorial Limusa
México, D. F. 1990
6. Mendoza, Carlos et al
Concretos De Alta Resistencia para el Distrito Federal
"Ponencia presentada en Mérida Yucatán"
México, 1994
7. Neville, M. Adam
Tecnología del concreto, Tomo I, II y III
Editorial Limusa
México, D. F. 1989
8. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección de Proyectos
Departamento de Ingeniería Experimental
Instructivo Para Concreto
México, D. F. 1987

9. Short Andrew y kinninburg William
Concreto Ligero
Editorial Limusa
Wiley, 1967
10. Vorobieff, George
Concreto de Alta Resistencia
Artículo Publicado en la Revista "Construcción y Tecnología " del IMCYC
México, 1994
11. Waddell Joseph J.
Manual de Inspección del Concreto, Tomo II y III
Secretaría de comunicaciones y Transportes, Subdirección de Infraestructura
Dirección General de Servicios Técnicos
México, D. F. 1984
12. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS
NORMAS OFICIALES MEXICANAS
 - C - 30 - 1986 Muestreo de los Agregados
 - C - 77 - 1987 Análisis Granulométrico
 - C - 73 - 1983 Peso volumétrico
 - C - 164 - 1986 Determinación del Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso
 - C - 165 - 1984 Determinación del Peso Específico y Absorción del Agregado Fino
 - C - 166 - 1990 Contenido de Humedad