

872715



UNIVERSIDAD
DON VASCO, A.C.

UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.

INCORPORADA A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CLAVE No. 8727-15

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRAULICO
CONVENCIONAL POR EL MÉTODO ACI-211-1

TESIS PROFESIONAL

PRESENTA
OMAR ALVAREZ CENDEJAS

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

ASESOR
ING. ANASTACIO BLANCO SIMIANO

URUAPAN, MICHOACÁN, OCTUBRE DEL 2002



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**TESIS
CON
FALLA DE
ORIGEN**

PAGINACION DISCONTINUA

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO...

A MIS PADRES

JOSÉ LUIS Y MARÍA EUGENIA
MIS MEJORES EJEMPLOS
DE ENTREGA, SACRIFICIO Y AMOR.

A MIS HERMANOS

JOSÉ LUIS, DIANA EUGENIA,
BERENICE Y KARLA IVONNE
POR SU CARÍÑO Y APOYO.

A MIS SOBRINOS

JUAN LUIS Y JOSÉ LUIS
POR SU ALEGRÍA.

A MIS TÍOS

YOLANDA Y LAEL
POR SU APOYO INCONDICIONAL.

A MI TÍA JOSEFINA

POR SU IMPULSO.

A MI ASESOR

ING. ANASTACIO BLANCO SIMIANO
POR SU APOYO Y EMPEÑO.

A MIS AMIGOS

POR ESOS GRANDES MOMENTOS.

A LOS INGENIEROS

SAMUEL VÁZQUEZ GASCA Y
JUAN JOSÉ ARTEAGA BERNAL
POR LA CONFIANZA DEPOSITA EN MI.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

1. ANTECEDENTES	1
1.1. GENERALIDADES	2
1.2. NOTA HISTORICA	2
2. AGREGADOS	4
2.1. GEOLOGÍA	5
2.2. ESTUDIO DE BANCOS	7
2.2.1. PRUEBAS MECÁNICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES	9
2.2.1.1. DESGASTE LOS ANGELES	9
2.2.1.2. REACTIVIDAD ALCALI-AGREGADO	10
2.2.1.3. DENSIDAD	12
2.2.1.4. PESO VOLUMÉTRICO	13
2.2.1.5. POROSIDAD	14
2.2.1.6. ABSORCIÓN	15
2.2.1.7. CONTENIDO DE HUMEDAD	16
2.2.1.8. MATERIALES PERJUDICIALES	18
2.2.1.9. GRANULOMETRÍA	20
2.2.1.10. GRANULOMETRIAS PRACTICAS	25
2.2.1.10.1. GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS FINOS	26
2.2.1.10.2. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO	29
2.2.1.10.3. FORMA Y TEXTURA DEL AGREGADO GRUESO	31

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.1.10.4. FORMA Y TEXTURA DEL AGREGADO FINO	32
2.3. EXPLOTACIÓN DEL BANCO DE PRESTAMO	32
2.3.1. TRATAMIENTOS	34
3. CEMENTOS PÓRTLAND	37
3.1. GENERALIDADES	38
3.2. FABRICACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND	39
3.2.1. PROCESO HÚMEDO	40
3.2.2. PROCESO SECO	41
3.3. COMPUESTOS QUÍMICOS EN EL CEMENTO PÓRTLAND	41
3.4. ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO	43
3.4.1. FINURA	43
3.4.2. SANIDAD	44
3.4.3. CONSISTENCIA	44
3.4.4. TIEMPO DE FRAGUADO	44
3.5. DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO	45
3.5.1. CEMENTO PÓRTLAND NORMAL	45
3.5.2. CEMENTO PÓRTLAND DE FRAGUADO RAPIDO	45
3.5.3. CEMENTOS PÓRTLAND ESPECIALES DE FRAGUADO RAPIDO	46
3.5.4. CEMENTO PÓRTLAND DE BAJO CALOR	47
3.5.5. CEMENTO RESISTENTE A LOS SULFATOS	48

3.5.6.	CEMENTO PÓRTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO	49
3.5.7.	CEMENTO PÓRTLAND PUZOLANA	49
3.6.	CLASIFICACION DE ACUERDO A LA NORMA NMX-C-414	51
3.6.1.	TIPOS DE CEMENTO	51
3.6.2.	CEMENTOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES	51
3.6.3.	COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS	52
3.6.4.	ESPECIFICACIONES MECÁNICAS Y FÍSICAS	53
3.6.5.	TABLAS COMPARATIVAS TIPOS DE CEMENTOS CON OTRAS NORMAS	53
4.	AGUA DE MEZCLADO	55
4.1.	CARBONATOS Y BICARBONATOS ALCALINOS	56
4.2.	CLORUROS	57
4.3.	SULFATOS	57
4.4.	OTRAS SALES COMUNES	58
4.5.	SALES DE HIERRO	58
4.6.	AGUA DE MAR	58
4.7.	AGUAS ÁCIDAS	59
4.8.	AGUAS ALCALINAS	59
4.9.	AGUAS DE ENJUAGUE	59
4.10.	AGUAS NEGRAS	60
4.11.	AZUCAR	60
4.12.	SEDIMENTOS O PARTÍCULAS	---

EN SUSPENSIÓN	60
4.13. ACEITES	61
5. CONCRETO EN ESTADO FRESCO	62
5.1. TRABAJABILIDAD	63
5.1.1. MEDICIÓN DE LA TRABAJABILIDAD	64
5.1.2. PRUEBA DE REVENIMIENTO	64
5.2. SEGREGACIÓN	66
5.3. SANGRADO	68
5.4. VIBRADO DEL CONCRETO	69
6. PRUEBAS DEL CONCRETO ENDURECIDO	71
6.1. PRUEBAS DE CILINDROS A COMPRESIÓN	72
6.1.1. RELACION ALTURA/DIÁMETRO	74
6.2. CONTENIDO DE CEMENTO	74
6.3. CONTENIDO DE ADITIVOS	75
6.4. CONTENIDO DE CLORUROS	75
6.5. ANÁLISIS PETROGRÁFICO	75
6.6. CAMBIO DE VOLUMEN Y LONGITUD	76
6.7. CARBONATACIÓN	76
6.8. MÉTODOS DE PRUEBA NO DESTRUCTIVOS	77
6.8.1. MÉTODO DE ESCLERÓMETRO	77
6.8.2. MÉTODO DE PENETRACIÓN	77
6.8.3. PRUEBA DE ARRANQUE	78
7. ADITIVOS PARA EL CONCRETO	79
7.1. GENERALIDADES	80

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.2. ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE	82
7.3. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA	83
7.4. ADITIVOS RETARDANTES	85
7.5. ADITIVOS ACELERANTES	85
7.6. ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES	87
7.7. ADITIVOS MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS	88
7.8. MATERIALES CEMENTANTES	88
7.8.1. MATERIALES PUZOLÁNICOS	89
7.8.2. MATERIALES PUZOLÁNICOS Y CEMENTANTES	89
7.8.3. MATERIALES NOMINALMENTE INERTES	90
7.9. INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN	90
7.10. AGENTES A PRUEBA DE HUMEDAD	91
7.11. ADITIVOS COLORANTES	91
7.12. AYUDAS DE BOMBEO	92
7.13. ADITIVOS QUÍMICOS PARA REDUCIR LA REACTIVIDAD CON LOS ÁLCALIS	92
7.14. ADITIVOS Y AGENTES PARA UNIR	93
7.15. EXCLUSORES DE AIRE	93
7.16. ADITIVOS FUNGUICIDAS, GERMICIDAS E INSECTICIDAS	93
8. CURADO DEL CONCRETO	94
8.1. MÉTODOS Y MATERIALES DE CURADO	96
8.1.1. ESTANCAMIENTO O INMERSIÓN	97
8.1.2. ROCIADO O ASPERSIÓN	97
8.1.3. CUBIERTAS HÚMEDAS	98

8.1.4.	LAMINAS DE PLASTICO	99
8.1.5.	COMPUESTOS PARA CURADO FORMADORES DE MEMBRANAS	99
8.1.6.	CURADO AL VAPOR	99
8.2.	PERIODO DE CURADO Y TEMPERATURA	101
9.	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO	105
9.1.	PROPIEDADES	107
9.2.	RESISTENCIA	109
9.3.	TRABAJABILIDAD	110
9.4.	MATERIALES INCLUSORES DE AIRE	111
9.5.	FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO DE AIRE	112
9.5.1.	CEMENTO	112
9.5.2.	AGREGADO GRUESO	112
9.5.3.	AGREGADO FINO	113
9.5.4.	AGUA DE MEZCLADO	113
9.5.5.	REVENIMIENTO Y VIBRACIÓN	114
9.5.6.	TEMPERATURA DEL CONCRETO	114
9.5.7.	EFFECTO DE MEZCLADO	114
9.5.8.	TRANSPORTE Y MANEJO	115
9.6.	PRUEBAS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AIRE	116
9.7.	CONTENIDOS DE AIRE DETERMINADOS	117
10.	DISEÑO DE MEZCLAS	120
10.1.	COSTO	121
10.2.	ESPECIFICACIONES	121

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

10.2.1. RESISTENCIA MEDIA	122
10.2.2. RESISTENCIA MINIMA	123
10.2.3. CONTROL DE CALIDAD	123
10.2.4. DURABILIDAD	124
10.2.5. TRABAJABILIDAD	125
10.2.6. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO	125
10.2.7. GRANULOMETRÍA Y TIPO DE AGREGADO	126
10.3. PROPORCIONAMIENTO	126
10.3.1. PROPORCIONAMIENTO A PARTIR DE DATOS DE CAMPO	127
10.3.2. PROPORCIONAMIENTO POR MEZCLAS DE PRUEBA	130
10.3.3. MEDICIONES Y CÁLCULOS	132
10.3.3.1. PESO VOLUMÉTRICO Y RENDIMIENTO	132
10.3.3.2. VOLUMEN ABSOLUTO	132
10.3.4. COMBINACIÓN DE AGREGADOS PARA OBTENER UNA GRANULOMETRIA TIPO	133
10.3.5. EJEMPLOS DE PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO ACI-211	135
11. DOSIFICACIÓN, MEZCLADO Y TRANSPORTE DEL CONCRETO	151
11.1. DOSIFICACIÓN	152
11.2. MEZCLADO DEL CONCRETO	152
11.2.1. CONCRETO PREMEZCLADO	153
11.3. TRANSPORTE Y MANEJO DEL CONCRETO	154

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

INTRODUCCIÓN

Los dos materiales estructurales más usados son el concreto y el acero. Pueden desempeñar papeles complementarios uno del otro o competir entre si. Sin embargo, es muy común que el ingeniero sabe menos sobre el concreto con que se hace una estructura que sobre el acero.

El acero se elabora más cuidadosamente, se determinan sus propiedades en el laboratorio, además, el fabricante tiene sobre el producto, normas que respaldan su control de calidad. El proyectista necesita tan solo especificar el acero respecto a una norma y el constructor se limita a supervisar la calidad de las conexiones de los diferentes miembros.

En una construcción de concreto es totalmente diferente. Es cierto que tenemos el certificado de calidad del cemento, solicitado de acuerdo con las especificaciones del proyecto, pero este será muy contadas veces la causa de fallas en estructuras de concreto.

Los miembros suelen fabricarse en el lugar de la obra y su calidad depende en forma exclusiva de la calidad de la mano de obra en los procesos de elaboración y colocación del concreto. Aunado a esto el obrero es la mayoría de las veces carente de preparación y del conocimiento de otras áreas de la construcción.

Por lo tanto, es necesaria la importancia en el control de calidad de las mezclas de concreto.

Aunque parezca extraño, la diferencia entre un concreto malo y uno bueno, radica tan solo en tener conocimientos prácticos, que a no representan mayor costo para la obra.

Lo esencial es tener un concreto en estado endurecido que cumpla con las especificaciones del proyectista y que satisfaga las necesidades de colocación en estado fresco.

El requisito primario de un buen concreto en estado endurecido es la resistencia a la compresión. Esto no solo garantiza la capacidad para soportar un esfuerzo compresivo prescrito, sino la presencia de muchas otras propiedades convenientes en el concreto, relacionadas con una alta resistencia.

El conocimiento de las propiedades del concreto hace posible la selección de una mezcla más adecuada y económica.

Así pues este trabajo intenta conformar estos conocimientos básicos, que sirvan como base para el mejor aprovechamiento del concreto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1.1- GENERALIDADES

El concreto hecho con cemento Pórtland es un material simple en apariencia con una naturaleza interna muy compleja. En contraste con su complejidad interna, la versatilidad, durabilidad y economía del concreto lo han convertido en el material más usado en el mundo. Esto se puede ver en la variedad de estructuras en que se emplea, desde carreteras, puentes, edificios y presas, hasta un simple piso, banquetas y obras de arte.

El uso del concreto es ilimitado, y no se restringe a nuestro planeta, como lo muestra el interés reciente de la National Aeronautics and Space Administration en estructuras lunares de concreto.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes agregados y pasta. La pasta compuesta de cemento Pórtland y agua, une a los agregados para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

1.2- NOTA HISTÓRICA

El empleo de materiales cementantes es muy antiguo. Los antiguos egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro. Los griegos y romanos utilizaban caliza calcinada y aprendieron a mezclar con agua, arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas.

Para construcciones sujetas a la acción del agua, los romanos mezclaban cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla quemada finamente trituradas. La sílice activa y la alúmina que se encuentran en las cenizas y en las tejas se combinaban con la cal para producir lo que se conoce como cemento puzolánico, proveniente del pueblo

de Pozzuoli, cerca del Vesubio, donde se encontró por primera vez ceniza volcánica. Algunas de las estructuras romanas en las cuales la mampostería se unía con morteros, tales como el Coliseo de Roma han sobrevivido hasta esta época con su material tan duro y firme. En 1756 John Smeaton fue comisionado para reconstruir el faro de Eddystone, en Inglaterra, y descubrió que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba puzolana con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso. Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica. Después se desarrolló el cemento romano que obtuvo James Parker por la calcinación de módulos de caliza arcillosa.

La invención del cemento Pórtland se atribuye generalmente a Joseph Apsdin, un albañil inglés. En 1824 obtuvo una patente por su producto, al cual denominó cemento Pórtland debido a que producía un concreto que en el color semejaba a una caliza natural que se explotaba en el islote de Pórtland, península en el canal de la mancha. El nombre ha permanecido y se emplea en todo el mundo, con muchos fabricantes que le agregan su propio nombre de marca. A pesar que Apsdin fue el primero en prescribir una fórmula para el cemento Pórtland y el primero en patentar su producto, los cementos calcáreos ya habían sido empleados desde hace muchos siglos. A mediados del siglo pasado se manufacturaban cementos naturales en Rosendale, Nueva York. El primer embarque de cemento Pórtland a los Estados Unidos del que se tenga registro fue en 1868 y el primer cemento Pórtland fabricado en los Estados Unidos se produjo en una planta en Coplay, Pensylvania en 1871.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 2

AGREGADOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1- GEOLOGÍA

Las rocas se dividen en tres grupos: IGNEAS, SEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS. Las propiedades inherentes de resistencia y debilidad de los miembros de estos grupos pueden compararse con las de los tres principales materiales de construcción: Acero, Concreto hidráulico y Mampostería.

Las rocas ígneas como el granito se formaron por sobrecalentamiento bajo grandes presiones, a partir de estos elementos básicos, con el enfriamiento lento natural de esa materia fundida, después de haberse introducido en o entre otras rocas. El enfriamiento lento permitió la formación de cristales grandes o fenocristales.

Ciertas rocas ígneas, como el basalto, difieren del granito del cual han salido por extrusión; proceden de los volcanes o por fisuras existentes en la corteza terrestre, formando corrientes o lagos de lava en sus alrededores. Cuando el enfriamiento es relativamente rápido, la roca resulta aftánica.

Las rocas sedimentarias comprenden tipos comunes tales como los conglomerados, las areniscas, las pizarras blandas y las calizas.

Los materiales con los que se formaron las rocas sedimentarias pueden haber sido tierra, roca o materia orgánica, como por ejemplo las partes duras de los moluscos. La materia se erosiona en las partes altas de las montañas por la acción de los agentes naturales y es transportada después a los valles por las corrientes de agua, los vientos y las tempestades.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los materiales así reunidos, gruesos o finos, cementan entre sí mediante por el depósito de aglutinantes en los intersticios existentes entre cada grano.

La arena y la grava se transforman gradualmente en areniscas y conglomerados. Los ingredientes principales de las calizas, las conchas y los corales, provienen del océano, en donde se solidifican por acción del depósito de carbonato de calcio o de conchas que existen disueltas en el agua.

Las rocas formadas por la consolidación de sedimentos de grano fino, como limo o arcilla se reconocen con el nombre de pizarras blandas o lutitas.

La transformación tiene lugar, no por cementación como en los sedimentos de grano grueso, sino por entrecrecimiento local de las partículas adyacentes.

Tal entrecrecimiento va asociado con cambios mineralógicos ligeros y no se produce sino hasta que el sedimento queda sujeto a temperaturas y presiones relativamente altas, de acción prolongada a través de largos periodos de tiempo.

La transición de limo y arcilla a pizarra blanda es de carácter gradual. Por consiguiente, los materiales que se encuentran en una excavación y que estén en etapa de transición, pueden tener cualidades que no respondan a la descripción de la roca ni a la de la arcilla.

Las rocas metamórficas son el resultado de un proceso de recristalización que tuvo lugar a temperatura alta, presión elevada, y por el hecho de que ha aumentado la densidad y la resistencia mecánica del material. Las características de las rocas que se

encuentran, dependen de la naturaleza del material que ha experimentado dicho cambio.

Las calizas se transforman en mármoles, las areniscas en cuarsita, y las pizarras blandas en pizarras duras y esquistos. Estas se conocen como rocas metamórficas de grado inferior. Al aumentar la temperatura, la roca sufre una metamorfosis que origina un gneis muy duro y denso, o sea una roca metamórfica de grado superior.

2.2- ESTUDIO DE BANCOS

Para la clasificación preliminar de un suelo, o para determinar sus propiedades en el laboratorio es necesario contar con muestras del mismo. Respecto al propósito con el que se tomen las muestras, estas se dividen en muestras de inspección y muestras para laboratorio.

Las muestras de inspección solo deben ser representativas. En cambio, las muestras destinadas a estudios de laboratorio deben cumplir con una serie de requisitos con respecto a su tamaño, método de obtención, embarque, etc. Tanto las muestras de inspección como las de laboratorio pueden ser inalteradas cuando se toman todas las precauciones para cuidar que la muestra este en las mismas condiciones en que se encuentra el terreno del cual procede y alteradas en caso contrario.

Para el muestreo de un banco de préstamo se abren una serie de pozos, zanjas o sondeos, en número y disposición tales que las muestras que se obtengan representen en lo posible al material que constituye el banco.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es conveniente trazar una cuadrícula de 100 m que cubra el banco de préstamo y localizar en las intersecciones los sondeos. Siempre que sea posible deberán orientarse a los levantamientos topográficos, en esta forma todas las cuadrículas guardan una misma orientación.

Para un muestreo preliminar, generalmente es suficiente abrir sondeos a cada 200 o 300 m, según sea la extensión del banco. Posteriormente cuando se requiere un estudio más completo, se abren pozos en número conveniente para limitar y determinar las áreas de distintos materiales, así como la profundidad media de los mantos para estimar los volúmenes del material utilizable.

Todo sondeo de prueba o cualquier excavación debe de ser registrado y referido de modo de permitir su pronta localización; anotando su profundidad, clase de material y todas las observaciones que se consideren pertinentes.

Para cada sondeo excavado y muestreado, debe dibujarse su perfil correspondiente, especificando el número de distintas capas que puso al descubierto el corte. Los materiales de las diferentes capas deben clasificarse de acuerdo con las especificaciones internacionales del sistema unificado de clasificación de suelos, (SUCS). Durante la exploración del terreno debe observarse el material que constituye el préstamo, su composición homogénea o heterogénea y su composición en una o varias capas.

De acuerdo con estos datos, se debe efectuar el muestreo e indicar la forma en la que se deberá ser explotado el banco de préstamo durante la construcción, así como el equipo adecuado para ello, con

TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

experiencias anteriores o con las especificaciones de los equipos propuestos.

2.2.1- PRUEBAS MECÁNICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES

2.2.1.1-DESGASTE LOS ANGELES

La resistencia al desgaste de un agregado a menudo se emplea como un índice general de su calidad. La resistencia al desgaste es esencial cuando el agregado se emplea para producir concretos sujetos a abrasión, como ocurre en los pisos para servicio pesado o en los pavimentos. Una resistencia baja al desgaste en el agregado puede incrementar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado y consecuentemente elevar la demanda de agua.

La prueba más común para determinar la resistencia al desgaste es la prueba de los Ángeles (método del tambor giratorio).

Para una mejor comprensión de esta prueba se explica de una manera el procedimiento de la misma:

En un tambor se colocan 5.0 Kg de material limpio y seco, procurando que la granulometría sea semejante o igual a la que se pretende utilizar en los procedimientos constructivos.

Adicionalmente al material, se incorpora el peso normalizado de esferas de acero, las cuales actúan como carga abrasiva. El tambor se hace girar a una velocidad de 30 a 33 RPM.

El material así obtenido se lava y se seca, haciendo pasar por la malla No. 12

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

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

Donde:

A = Peso de la muestra inicial

B = Peso del material retenido en la malla 12

Como se puede observar directamente en la formula entre más bajo sea el coeficiente, más dura será la roca analizada.

2.2.1.2- REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO

Los agregados químicamente estables en el concreto, no reaccionan con el cemento de manera nociva. Sin embargo los agregados con ciertos constituyentes minerales (tales como algunas formas de sílice o carbonatos), reaccionan con los álcalis (óxido de sodio y óxido de potasio) en el cemento, en particular cuando el concreto esta expuesto a un ambiente cálido y húmedo.

La reacción comienza con el ataque de los hidróxidos alcalinos derivados de los álcalis del cemento contra los sílices del agregado. Como resultado se forma un gel de álcali-silicato y los bordes del agregado se alteran. El gel es de los llamados de expansión ilimitada: absorbe el agua con la consecuente tendencia a aumentar de volumen. Puesto que el gel esta confinado por la pasta de cemento circundante, se presentan presiones internas que causaran expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta del cemento. El gel es arrastrado por el agua que lo deposita en las grietas que ya se han formado por la expansión del agregado. El tamaño de las partículas silíceas controla la velocidad con la que se presenta la reacción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Aunque sea posible predecir que con cuales materiales se producirá una reacción álcali-agregado, por lo general no se pueden los efectos nocivos conociendo únicamente las cantidades de los materiales reactivos. Dentro de ciertos límites la expansión de un concreto hecho con determinado agregado reactivo es mayor mientras más grande es el contenido de álcali en el cemento y su finura.

Otros factores que influyen en el progreso de la reacción álcali-agregado incluyen la existencia de agua no evaporable en la pasta y la permeabilidad de la misma. De esta manera se puede apreciar que diversos factores físicos y químicos hacen que la reacción álcali-agregado sea verdaderamente compleja. Por lo tanto aunque se sepa que hay ciertos tipos de agregados que tienden a ser reactivos, no existen medios para saber si determinado agregado causara o no expansión excesiva debida a la reacción con los álcalis del cemento. Solo es posible determinar la reactividad potencial de los agregados mas no probar que se va a llevar la reacción. La norma ASTM C 289-71 prescribe una rápida prueba química: se determina la alcalinidad de una solución normal de NaOH puesta en contacto con agregado pulverizado a 80° C, y se mide la cantidad de sílice disuelto.

A pesar de que muchas rocas con carbonatos reaccionan con los productos resultantes de la hidratación del cemento, muy rara vez producen reacciones expansivas. La reacción álcali-carbonato solamente se sospecha cuando se emplean calizas dolomíticas de grano extremadamente fino que tengan grandes cantidades de calcita, arcilla o limo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.1.3- DENSIDAD

Volumen de material sólido, excluyendo todos los poros y se puede definir como la relación de la masa del volumen sólido, con referencia al vacío, con la de un volumen de agua destilada y libre de gases, tomados ambos a una determinada temperatura. Para poder eliminar el efecto de los poros totalmente cerrados e impermeables, debe pulverizarse el material y la prueba resulta laboriosa y sensible. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. La densidad del agregado se usa para el cálculo de cantidades, pero el valor real de la densidad del agregado no mide la calidad de este. La densidad de los suelos varía comúnmente entre los siguientes valores:

Cenizas volcánicas	2.20 a 2.50
Suelos orgánicos	2.50 a 2.65
Arenas y gravas	2.65 a 2.67
Limos inorgánicos	2.67 a 2.72
Arcillas poco plásticas	2.72 a 2.78
Arcillas plásticas	2.78 a 2.84
Arcillas expansivas	2.84 a 2.88

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.1.4- PESO VOLUMÉTRICO

El peso volumétrico de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado.

Esta claro que el peso volumétrico depende de que 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 del peso volumétrico para determinar el proporcionamiento de las mezclas.

El peso volumétrico real no solo depende de las diversas características del material que determinan el grado potencial del confinamiento, sino también de la compactación real que se logre en un caso dado.

Así pues para propósitos de prueba, se tiene que especificar el grado de compactación: flojo (o no compactado) y compactado. La prueba se efectúa en un cilindro de metal de profundidad y diámetros prescritos, lo que depende del tamaño máximo del agregado y de si se está determinando el peso volumétrico compactado o sin

TECIS CON
FALLA DE ORIGEN

compactar. Para determinar el peso volumétrico suelto se coloca suavemente el agregado seco dentro de un recipiente hasta llenarlo, y después se empareja pasando una varilla por la superficie. Para poder encontrar el peso volumétrico compactado, el recipiente se llena en tres etapas, apisonando cada tercera parte de un número prescrito de veces con una varilla de punta redonda de 16 mm (5/8 ") de diámetro. Se vuelve a quitar el sobrante. Entonces el peso neto del agregado que quede en el recipiente representa el peso volumétrico a un grado determinado de compactación.

2.2.1.5- POROSIDAD

La porosidad de los agregados, su impermeabilidad y absorción influyen en las propiedades como la adherencia entre el agregado y el cemento, la resistencia del concreto a la congelación y al deshielo, así como la estabilidad química y la resistencia a la abrasión. La densidad aparente de los agregados depende también de la porosidad y como consecuencia se ve afectado el rendimiento del concreto para determinado peso del agregado. Los poros del agregado presentan una amplia variación de tamaño, pero hasta los poros más pequeños suelen ser mayores que los poros del gel de la pasta del cemento y afectan considerablemente la durabilidad de los agregados sujetos a frecuentes ciclos congelación-deshielo.

Debido a que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto, esta claro que la porosidad del agregado contribuye materialmente a la porosidad del concreto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.1.6- ABSORCIÓN

La absorción de agua en los agregados se determina midiendo el aumento de peso de una muestra secada al horno y sumergida después en agua durante 24 horas. La relación que existe entre el aumento de peso y el peso de la muestra seca, expresado en porcentaje, se llama absorción.

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. Los poros de la superficie de la partícula afectan la adherencia entre el agregado y la pasta del cemento y pueden ejercer cierta influencia en la resistencia del concreto.

Por lo general se supone que en el momento del fraguado del concreto, los agregados se encuentran saturados y superficialmente secos. Si la dosificación del agregado se ha hecho cuando este se encuentra seco, se supone que absorberá de la mezcla el agua suficiente para que el agregado se sature, y esta agua absorbida no esté incluida en el agua neta o efectiva del mezclado. Sin embargo, es posible que cuando se utilice agregado seco en las partículas se recubran rápidamente con pasta de cemento, lo que impide el paso del agua necesaria para lograr la saturación. Esto es especialmente cierto cuando se trata de agregado grueso, en el que el agua tiene que viajar un trecho mayor para penetrarlos. Como resultado de esto, la relación agua/cemento es mayor de lo que sería en caso de que los agregados hubieran absorbido el agua por completo desde el principio. Este efecto es muy importante en las mezclas ricas en las

que el recubrimiento de pasta ocurre con rapidez. En las mezclas pobres y húmedas los agregados se saturan sin mayor dificultad. En situaciones prácticas el verdadero comportamiento de la mezcla se verá afectado solamente por el orden en que se vayan introduciendo los ingredientes a la mezcladora.

Con el tiempo, la absorción del agua por parte de los agregados da como resultado también cierta pérdida de trabajabilidad. Debido a que la absorción de agua por los agregados secos se va haciendo más lenta o se interrumpe debido al recubrimiento de las partículas con pasta de cemento, con frecuencia es muy útil determinar la cantidad de agua absorbida en un periodo de 10 a 30 minutos, en lugar de calcular la absorción total de agua, que probablemente nunca se logre en la práctica.

2.2.1.7- CONTENIDO DE HUMEDAD

Puesto que la absorción representa el contenido de agua del agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco y el contenido de humedad es el agua que sobra en dicho estado, el contenido total de agua de un agregado húmedo es igual a la suma de absorción y el contenido de humedad.

Cuando el agregado está expuesto a la lluvia, se acumula una cantidad considerable de humedad en la superficie de las partículas y, a excepción de la parte superior de la pila, esa humedad se conserva durante mucho tiempo. Esto ocurre especialmente cuando se trata de agregado fino, y la humedad superficial o libre (la que sobra de la que ha mantenido el agregado en su condición de saturado y superficialmente seco), se expresa como un porcentaje

del peso del agregado saturado y superficialmente seco y se le conoce como el contenido de humedad.

Así mismo, como el contenido de humedad del agregado cambia con el clima, y varía también de una pila a otra, es necesario determinar con frecuencia el valor del contenido de humedad; para ello se han ideado varios métodos. El más antiguo de ellos consiste, simple y sencillamente en encontrar la pérdida de peso de una muestra de agregado sometida a secado en una charola colocada sobre una fuente de calor. Se requiere cuidado para evitar el sobre secado: la arena debe de estar en condición de flujo libre sin calentarse más. Este secado puede determinarse al tacto, o formando montones de arena mediante un molde cónico; al quitar el molde, el material se debe desplazar libremente. Cuando la arena adquiere un tono café, es indicio inequívoco de sobresecado. Este método para determinar el contenido de humedad de los agregados, que se conoce por lo general como "método del sartén", es fácil, confiable y se puede utilizar en el campo.

Hay dispositivos eléctricos que permiten obtener lecturas instantáneas o continuas del contenido de humedad de un agregado en una tolva, con base en la variación de resistencia o capacitancia que han ocurrido por el cambio en el contenido de humedad del material. En algunas plantas de premezclado se usan medidores de ese tipo en dispositivos automáticos que regulan la cantidad de agua que debe añadirse a la mezcladora pero, en la práctica, no se puede lograr una exactitud mayor del uno por ciento.

Existe una gran variedad de pruebas, pero por más exacta que sea una prueba, sus resultados serán importantes solo si se ha usado

una muestra representativa. Además, si varía el contenido de humedad del agregado en lugares adyacentes a la pila del material, el ajuste de las proporciones de la mezcla se vuelve laborioso. Puesto que la variación en el contenido de humedad ocurre en dirección vertical a partir del fondo empapado de la pila hacia la superficie casi seca, es necesario tener cuidado en el orden en que se colocan las capas de material: almacenar en capas horizontales, tener por lo menos dos pilas y permitir el drenado de cada una antes de usarla y no utilizar los 30 cm del fondo, todo ello ayuda a reducir al mínimo las variaciones en el contenido de humedad. El agregado grueso retiene mucho menos agua que la arena, tiene un contenido de humedad mucho menos variable y, generalmente causa menos dificultades.

2.2.1.8- MATERIALES PERJUDICIALES

Dentro de las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados, se incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, esquistos, óxido de hierro, carbón mineral, lignito y algunas partículas suaves y ligeras.

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento del concreto, pueden reducir el aumento de resistencia y en casos poco usuales pueden causar deterioros. Impurezas orgánicas tales como las turbas, los humus, y las margas orgánicas tal vez no sean tan nocivas, sin embargo es preferible evitarlas.

Los materiales más finos que la malla No. 200, en especial los limos y las arcillas, pueden estar presentes como polvo suelto y formar una

capa alrededor de las partículas de agregado. Aun las capas delgadas de limo o arcilla en las partículas de grava pueden ser perjudiciales porque pueden debilitar la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado. Si ciertos tipos de limo o arcilla están presentes en cantidades excesivas, la cantidad necesaria de agua se tiene que incrementar de manera muy importante.

Algunos agregados, como ciertos esquistos, producirán erupciones al expandirse simplemente por haber absorbido agua o por el congelamiento del agua presente.

El carbón mineral o el lignito, u otros materiales de densidad baja como la madera o los materiales fibrosos, afectarán la durabilidad del concreto si están presentes en cantidades excesivas. Si estas impurezas se encuentran en la superficie o cerca de ella, se podrían desintegrar, producir erupciones o causar manchas.

No se admiten partículas blandas en el agregado grueso porque pueden afectar la durabilidad y la resistencia a la abrasión del concreto y producir erupciones. Si son desmesurables, se podrían romper durante el mezclado y de ese modo aumentar la cantidad de agua requerida.

Donde la resistencia a la abrasión es crítica, como en los pisos para trabajo pesado. Los terrones de arcilla presentes en el concreto pueden absorber una cierta cantidad de agua de mezclado, ser causa de erupciones en el concreto endurecido y afectar la durabilidad y la resistencia a la abrasión. También se pueden quebrar durante el mezclado y con eso aumentar la demanda de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los agregados pueden contener ocasionalmente partículas de óxido de hierro y sulfuro de hierro que produzcan manchas antiestéticas en las superficies de concreto expuesto.

2.2.1.9- GRANULOMETRÍA

Ese nombre tan complicado se le da a la sencilla operación de separar una muestra de agregado en fracciones de partículas del mismo tamaño. Cada fracción cuenta con partículas que se encuentran dentro de los límites específicos, que son las aberturas de las mallas estándar de muestreo. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla No. 100 hasta 9.52 mm y para agregado grueso tienen aberturas desde la malla No. 16 (1.18 mm) hasta la malla de 4 ".

Todos los tamices están montados en marcos que se pueden apilar uno encima del otro, en orden de tamaño, con el tamiz más grande en la parte superior hasta llegar a la charola.

El material retenido en cada tamiz después de haberlos sacudido representa la fracción del agregado más grueso que el tamiz donde se encuentra, pero más fino que el tamiz inmediatamente superior. La operación misma de cribado se puede llevar a cabo, sacudiendo los tamices uno a uno hasta que no pase ni la más mínima cantidad. En la mayoría de los laboratorios modernos existe un aparato sacudidor que suele tener un interruptor cronométrico para garantizar que el cribado sea uniforme.

Los resultados de un análisis granulométrico se representan mejor en una forma tabular, como aparece en la tabla 2.1:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tamaño de la malla ASTM (1)	Peso retenido, g (2)	Porcentaje retenido (3)	Porcentaje acumulado que pasa (4)	Porcentaje acumulado retenido (5)
3/8 "	0	0	100	0
4	6	2.0	98	2
8	31	10.1	88	12
16	30	9.8	78	22
30	59	19.2	59	41
50	107	34.9	24	76
100	53	17.3	7	93
< 100	21	6.8		
Total =	307		Total =	246
			Módulo de finura	2.46

Tabla 2.1 Ejemplo de análisis granulométrico

La columna 2 indica el peso retenido de cada tamiz. Este valor se expresa como porcentaje del peso total de la muestra y se incluye en la columna 3. Ahora bien si se trabaja a partir del tamaño más fino en orden ascendente, el porcentaje acumulativo que pasa por cada malla se puede calcular (4) y este es el porcentaje que se utiliza para trazar las curvas granulométricas.

Los resultados de un análisis granulométrico se pueden entender mejor si se representan gráficamente. En la gráfica de granulometría empleada generalmente las ordenadas representan el porcentaje acumulativo que pasa por la malla, y las abscisas el tamaño de la malla graficado en escala logarítmica.

TRABAJE CON
FALLA DE ORIGEN

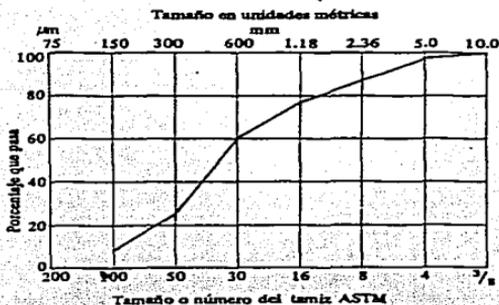


Figura 2.1. Ejemplo de una curva granulométrica (ver tabla 2.1)

El problema principal consiste en combinar agregados finos y gruesos con el objeto de lograr la granulometría que se requiere. Puesto que la resistencia del concreto totalmente compactado hecho con determinada relación agua / cemento es independiente de la granulometría del agregado, esta es, en primera instancia, importante solo en tanto afecte la trabajabilidad. Sin embargo, el desarrollo de la resistencia correspondiente a una relación agua / cemento dada requiere de una compactación total, es necesario producir una mezcla que se pueda compactar a una máxima densidad, con una cantidad moderada de trabajo.

Además de los requisitos físicos, no debemos olvidarnos del aspecto económico: el concreto se debe fabricar con materiales que se puedan producir a bajo costo, de manera que no se pongan límites a los agregados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los factores principales que rigen la granulometría deseada de los agregados son: el área superficial del agregado, que determina la cantidad de agua necesaria para mojar todos los cuerpos sólidos; el volumen ocupado por el agregado; la trabajabilidad de la mezcla, y su tendencia a la segregación.

Se debe observar que los requisitos de trabajabilidad y ausencia de segregación tienden a oponerse parcialmente entre sí: mientras más fácil sea para las partículas de diferentes tamaños formar una masa compacta, las partículas pequeñas pasan a través de los huecos que dejan las más grandes, será más probable que las pequeñas partículas sean expulsadas de los huecos cuando la masa es sacudida; es decir, se provoca una segregación en estado seco. De hecho, lo que no debe salir libremente de los huecos del agregado grueso es el mortero (mezcla de arena, cemento y agua). También es necesario que los huecos que quedan entre el agregado combinado no sean suficientemente pequeños para evitar que la pasta penetre a través de ellos y los separe. Para obtener un concreto satisfactorio es esencial que se produzca la segregación.

Existe aun otro requisito para que la mezcla sea trabajable: debe contener suficiente cantidad de materiales cuyo tamaño sea menor de la malla No. 50 ASTM. Puesto que las partículas de cemento van incluidas en ese material, una mezcla más rica requiere menor contenido de arena fina que una pobre. Si la granulometría de la arena es deficiente en partículas finas, el aumentar la relación de agregado fino / grueso puede no ser una solución satisfactoria, ya que puede conducir a un exceso de tamaños intermedios. Esta necesidad de una cantidad adecuada de finos explica por que se

indican contenidos mínimos de partículas que pasan por la malla No. 50:

Tamaño máximo del agregado, mm	Volumen absoluto de finos como fracción del volumen de Concreto
8	0.165
16	0.140
32	0.125
63	0.110

El hecho de que se requiera que el agregado ocupe el mayor volumen relativo posible, se debe a que el agregado es mas barato que la pasta de cemento aunque también hay razones técnicas por las que no se recomienda una mezcla muy rica. También es indicado que mientras mayor sea la cantidad de partículas sólidas que forman una masa compacta en determinado volumen de concreto, mayor será su resistencia. Se ha observado, sin embargo, que la granulometría del agregado que da máxima densidad produce una mezcla bastante áspera y poco trabajable. La trabajabilidad mejora cuando hay exceso de pasta, mas de la que se requiere para llenar los huecos de la arena, y también un exceso de mortero sobre el requerido para llenar los huecos en el agregado grueso.

Consideremos ahora el área superficial de las partículas del agregado. La relación agua / cemento se suele fijar tomando en cuenta la resistencia, al mismo tiempo la cantidad de pasta de cemento debe ser suficiente para cubrir la superficie de todas las

partículas, de forma tal que mientras menor sea el área superficial del agregado se necesitara menos pasta y menos agua.

Tendremos una relación de área superficial a volumen de $6/D$. Esta relación entre la superficie de las partículas y su volumen se llama superficie específica. En el caso del agregado graduado, la granulometría y la superficie específica total se relacionan entre sí aunque hay muchas curvas granulométricas que corresponden a la misma superficie específica.

Podemos ver lo importante que es utilizar un agregado cuya granulometría permita obtener una trabajabilidad aceptable y la menor segregación posible.

Hay que recordar que en la practica tenemos que usar los agregados disponibles en la localidad, a una distancia económica y que, si lo enfocamos de manera inteligente y tenemos suficiente cuidado, podremos producir con ellos un buen concreto.

2.2.1.10-GRANULOMETRIAS PRACTICAS

La Road Research Note No. 4 nos recomienda utilizar algunas buenas curvas granulométricas. Estas han sido preparadas para tamaños máximo de agregados de $\frac{3}{4}$ " y $1 \frac{1}{2}$ ", figura 2.2. Para cada tamaño máximo de agregado se muestran cuatro curvas, pero debido a la presencia de agregado con tamaños mayores y menores a los estipulados y porque existen variaciones entre cualquier tamaño fraccionario, es posible que las granulometrías caigan cerca de las curvas en lugar de seguirlas exactamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

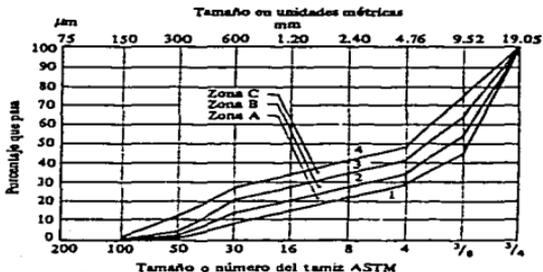


Figura 2.2 Curvas granulométricas de la Road Note No. 4 para agregado de 19.05 mm (3/4")

La curva No. 1 representa la granulometría mas gruesa en cada una de las figuras. Esa granulometría es comparativamente trabajable y puede utilizarse en mezclas con baja relacion agua/cemento. En el extremo contrario, la curva No. 4 representa una granulometría fina, será cohesiva pero no muy trabajable.

2.2.1.11-GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS

Los requisitos de la norma ASTM C 33, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes. La granulometría del agregado fino, depende del 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. Si la relación agua

/ cemento se mantiene constante y la relación del agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia del concreto. En ocasiones se obtendrá una economía máxima ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

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 50
0.30 mm (No. 50)	10 a 30
0.15 mm (No. 100)	2 a 10

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos 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:

- El agregado se emplee en un concreto con aire incluido que contenga mas de 237 kg de cemento por metro cúbico y tenga un contenido de aire superior al 3 %.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- El agregado se emplee en un agregado que contenga mas de 296 kg de cemento por metro cúbico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.
- Se use un aditivo mineral aprobado para compensar la diferencia del material que pase por estas dos mallas.

Otros requisitos de la norma ASTM son:

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

Las cantidades de agregado fino que pasan las malla No. 50 y No. 100, afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla No. 50. El limite inferior puede bastar en condiciones de colado fáciles o cuando el concreto tiene un acabado mecánico, como ocurre en el caso de los pavimentos. Sin embargo, en los pisos de concreto acabados a mano donde se requiera una textura superficial tersa, se deberá utilizar un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase por la malla No. 50 y al menos un 3% que pase por la malla No. 100.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El modulo de finura del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para obtener el modulo de finura son la No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y 6". El modulo de finura es el índice de finura del agregado, mientras más grande sea el modulo de finura más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías pueden llegar a tener el mismo modulo de finura. El modulo de finura del agregado fino es útil para determinar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. En la columna (5) de la tabla 2.1 se presenta un ejemplo de la determinación del modulo de finura para un agregado fino con una análisis de mallas supuesto.

2.2.1.12-GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.

Los requisitos de la norma ASTM C 33 para granulometría de agregados grueso permiten un amplio rango de granulometrías y una diversidad de tamaños de granulometría. La 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 a agregado total produce un concreto de buena trabajabilidad.

Para producir un concreto trabajable se deberán cambiar las proporciones de la mezcla si ocurren fuertes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Con estas variaciones son difíciles de anticipar, a menudo es más económico mantener el

manejo y la manufactura del agregado grueso, de modo que se reduzcan las variaciones en la granulometría.

El tamaño máximo del agregado que se utiliza en la fabricación del concreto tiene sus fundamentos en la economía. Comúnmente se necesita mas agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores.

Para una relación agua cemento dada, la cantidad de cemento disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo del agregado grueso.

El tamaño máximo del agregado que puede ser empleado depende generalmente del tamaño y forma del elemento del concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo.

Por lo común el tamaño máximo de las partículas no debe sobrepasar:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- Tres cuartas partes del espaciamiento entre barra y barra de refuerzo.
- Un tercio del peralte de las losas.

Estos requisitos se pueden sobrepasar si a criterio del ingeniero la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que queden vacíos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los límites de la norma ASTM C 33 con respecto al tamaño de las cribas para agregado grueso se indican a continuación:

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso	
	De 1 ½" a 3/16"	De ¾" a 3/16"
50.0 (2")	100	0
38.1 mm (1 ½")	95 a 100	100
19.0 mm (¾")	35 a 70	90 a 100
9.5 mm (3/8")	10 a 30	20 a 55
4.75 mm (3/16")	0 a 5	0 a 10
2.36 mm (No. 8)	0	0 a 5

Los requisitos reales granulométricos dependen de las características de la forma y superficie de las partículas.

2.2.1.13-FORMA Y TEXTURA DEL AGREGADO GRUESO.

Las partículas esféricas y redondeadas tendrán menor área superficial entre todas las formas de partículas, requiriendo menos agua de mezclado. Partículas lisas requieren menos agua de mezclado que las partículas ásperas o rugosas para producir concreto con una trabajabilidad dada. En trabajos de pavimentación

con cimbra deslizante las partículas alargadas o planas (15% del total) tienden a producir concreto que es muy difícil de trabajar.

2.2.1.14-FORMA Y TEXTURA DEL AGREGADO FINO.

Afectan al concreto en una forma importante que es mediante la trabajabilidad del concreto fresco. Arenas rugosas y angulares requieren más agua de mezclado en el concreto que agregados finos lisos y redondeados usados para la misma mezcla.

2.3- EXPLOTACIÓN DEL BANCO DE PRÉSTAMO

Los bancos de préstamo se dividen, en términos generales, en tres grupos básicos.

- **Cantera.** Roca sana o intemperizada a cielo abierto formada esencialmente por mantos rocosos de basalto y granito, con o sin material cementante intersticial, en la que los granos gruesos suelen ser rocas de gran tamaño.
- **Material de Aluvión.** Gravas que se encuentran en depósitos naturales, más o menos intermezclada con material fino como arena o arcilla, variando las proporciones de los materiales constituyentes, de acuerdo con la naturaleza y origen del banco.
- **Conglomerados.** Roca esencialmente compuesta por fragmentos pétreos granulares redondeados cuyos diámetros varían desde el correspondiente a guijarros hasta boleó, encontrándose aglutinados por algún cementante, como la arcilla.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En todos los casos, antes de la explotación propia del banco es necesario el conocimiento de las características geológicas, físicas y químicas que nos permitan si el material que se va a extraer es apto para los fines que se propone.

Paralelamente a estos estudios debemos investigar su potencialidad y tenencia jurídica de la tierra. Si se requiere tramitar ante las autoridades Municipales, Estatales y Federales, el permiso de uso y almacenamiento de explosivos.

De resultar satisfactorias estas 5 condiciones principales, procederemos a los trabajos previos de la Explotación: Construcción de los caminos de acceso con el ancho y pendientes necesarios para el tránsito seguro y velocidad aceptable de los equipos de transporte y mantenimiento; Despalme del material indeseable hasta dejar al descubierto un material sano y en lo posible un piso uniforme que facilite las operaciones del equipo de explotación - carga - transporte.

Así mismo la construcción de los patios de almacenamiento de material triturado en los sitios seguros y de fácil acceso previamente determinados en la planeación de la obra.

En el primer grupo es común el uso de explosivos para fragmentar la roca a un tamaño tal que pueda ser manejada por los equipos de carga - transporte y especialmente que pueda ser aceptada y reducida por los equipos de trituración. Es necesario contar con el apoyo del distribuidor de los materiales explosivos, quien deberá realizar los estudios técnicos de consumos unitarios al menor costo con respecto a la barrenación y voladura, para obtener el tamaño máximo necesario durante el proceso de la trituración. El control de

la barrenación adecuada, diámetro, longitud y ángulo, así como el factor de carga, es de suma importancia ya que es el origen del proceso de trituración total. De acuerdo con las características físicas, geológicas y propiedades físicas del material a extraer es recomendable se cuente con una existencia de acero de barrenación y explosivos para asegurar un trabajo continuo.

En el segundo y tercer grupo de bancos de préstamo, resulta de gran importancia la selección mecánica de los tamaños máximos que van a ser extraídos.

2.3.1- TRATAMIENTOS

Con los resultados obtenidos del control de calidad, en cuanto a dureza, abrasión y granulometría media del material en greña y programa de obra se procede a la selección del equipo del tratamiento adecuado para obtener las calidades de cada uno de los materiales.

Es usual someter los materiales a diversos tratamientos que los adecuan a sus funciones, los tratamientos más usuales son:

- **Eliminación De Desperdicios**

Se trata de eliminar en los bancos de materiales un porcentaje de partículas cuyo tamaño sobrepasa el considerado en el proyecto. Esta actividad se realiza con "cribones" o por "papeo".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- **Disgregación**

Esta operación se hace en bancos de suelo duro, de roca alterada o en conglomerados poco cementados. La disgregación se hace con arados o con rodillos "pata de cabra".

- **Cribado**

Generalmente se utiliza en bancos de aluvión con el fin de lograr una granulometría adecuada o eliminar altos porcentajes de partículas mayores que el tamaño máximo requerido. Porcentajes arriba del 10 al 15% de desperdicio conviene procesarlos por trituración.

- **Trituración**

Es el tratamiento que se emplea para llegar a la granulometría adecuada a partir de materiales muy gruesos o de fragmentos de roca. En esta selección se determinan las etapas de trituración que nos permitan obtener las granulometrías especificadas para cada material necesario en el proyecto

- **Lavado**

Se aplica a materiales contaminados por arcilla, materia orgánica y es frecuente usarlo con conexión de operaciones a cribado.

En el caso de arenas para el concreto hidráulico es recomendable el empleo de los tanques clasificadores, que a su vez proporcionan una curva de granulometría específica.

TFCIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el caso específico de trituración una vez determinado las etapas se seleccionan los equipos adecuados, en función directa del tamaño, dureza y abrasión del material en greña.

En este punto se estudian las condiciones de operación de las trituradoras, en especial las aberturas de descarga y tipo de tazón adecuado a las condiciones de la roca, así como los claros de las mallas en todas las etapas de cribado.

Con las granulometrías y tonelajes intermedios de producción se seleccionan las áreas de cribado y ancho, velocidad y tipo de los transportadores de banda necesarios para evitar interrupciones del proceso.

Concluido el estudio de selección y arreglo del equipo, se obtienen las producciones finales de cada uno de los materiales, debiendo estar en todo lo posible balanceadas con las necesidades de la obra.



Producción de agregados para concreto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 3

CEMENTOS PÓRTLAND

**TFESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.1-GENERALIDADES

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

Los cementos hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse en cementos naturales, cementos Pórtland y cementos de alta alúmina.

Los cementos hidráulicos fraguan y se endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua formando una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta se agrega a los agregados actúa como adhesivo y une a todas las partículas del agregado para formar así el concreto, el material de construcción más versátil y de mayor uso en el mundo.

La hidratación comienza cuando el cemento hace contacto con el agua. Cada partícula de cemento forma un aumento sobre su superficie mismo que gradualmente se extiende hasta enlazarse con el aumento de otras partículas de cemento o hasta que se adhiere a las sustancias adyacentes. Esta reconstitución tiene como resultado la progresiva rigidización, endurecimiento y desarrollo de resistencia. La rigidización del concreto se puede reconocer por una pérdida de trabajabilidad que normalmente ocurre dentro de las tres primeras horas pero depende de la composición y finura del cemento, de las proporciones de la mezcla y de las condiciones de temperatura. Posteriormente el concreto fragua y comienza a endurecer.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La hidratación prosigue mientras se disponga de espacio para los productos de la hidratación y se tengan condiciones favorables de humedad y temperatura (curado). A medida que la hidratación continua, el concreto se vuelve mas duro y más resistente. La mayor parte de la hidratación y del desarrollo de la resistencia tiene lugar durante el primer mes del ciclo de vida del concreto, pero continua aunque más lentamente, durante un largo periodo; se ha registrado en investigaciones de laboratorio incrementos de resistencia durante un periodo de 50 años.

3.2-FABRICACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND

Por la definición del cemento Pórtland dada anteriormente, se puede observar que esta compuesto principalmente de productos calcáreos, tales como caliza, y por alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla y pizarra. También se utiliza la marga, que es una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos.

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura de 1400 °C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clínker. El clínker se enfría y tritura hasta obtener un polvo fino, después se adiciona un poco de yeso y el producto comercial es el cemento Pórtland.

La mezcla y trituración de las materias primas pueden efectuarse tanto en condiciones húmedas como secas.

TECIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.1- PROCESO HÚMEDO

Cuando se emplea margas se tritura finamente y se dispersa en agua en un molino de lavado, el cual es un pozo circular con brazos radiales revolventes con rastrillos, los cuales se encargan de romper los aglomerados de materias sólidas. La arcilla también se tritura y se mezcla con agua en un molino de lavado semejante al anterior. Enseguida se bombean las dos mezclas de forma tal que se mezclan en proporciones determinadas y pasan a través de una serie de Cribas. La lechada que resulta de este proceso pasa a un estanque de almacenamiento.

Si se emplea caliza, debe barrenarse y triturarse para después depositarse en un molino de bolas, con la arcilla dispersa en agua. Allí continua el molido de la caliza y la lechada resultante se bombea a estanques de almacenamiento. De aquí en adelante el proceso es el mismo.

El contenido de cal de la lechada lo determina la proporción de los materiales calcáreos y arcillosos originales. Se puede tener un ajuste final para obtener la composición química requerida mezclando lechadas de varios tanques de almacenamiento.

Finalmente la lechada con el contenido de cal deseada pasa a un horno giratorio. Se trata de un cilindro de acero de gran tamaño el cual gira lentamente alrededor de su eje levemente inclinado hacia la horizontal. La lechada se deposita en el extremo superior del horno, mientras que se añade carbón pulverizado mediante la inyección de aire en el extremo inferior donde la temperatura alcanza de 1400 a 1500 °C. Cuando la lechada desciende dentro del horno, encuentra progresivamente mayores temperaturas. Primero se elimina el agua

y se libera el CO₂: posteriormente el material seco sufre una serie de reacciones químicas, hasta que en la parte más caliente del horno, del 20 al 30% del material se vuelve líquido y la cal, la sílice y la alumina vuelven a mezclarse. Después la masa se funde en bolas de diámetros que varían entre 3 y 25 mm, conocidas como clinker. El clinker cae dentro de enfriadores de diferentes tipos. El clinker frío se mezcla con yeso para evitar un fraguado relámpago del cemento. La mezcla se efectúa en un molino de bolas graduadas.

Una vez que el cemento se ha mezclado satisfactoriamente, cuando alcanza a tener hasta 1.1×10^{12} partículas por kilogramo.

3.3.2- PROCESO SECO

Las materias primas se adicionan en las proporciones correctas en un molino de mezclado, en donde se secan y se reduce su tamaño a polvo fino. El polvo seco se bombea al silo de mezclado y se hace un ajuste final en las proporciones de los materiales requeridos para la fabricación del cemento.

El grano crudo se hace pasar a través de un precalentador, aquí se calienta a cerca de 800 °C antes de introducirlo al horno. La mayor parte del grano crudo puede pasarse a través de un calcinador fluidizado introducido entre el precalentador y el horno. Esto incrementa la descarbonatación del grano crudo antes de meterlo al horno y aumenta su rendimiento.

3.3- COMPUESTOS QUÍMICOS EN EL CEMENTO PÓRTLAND.

Durante la calcinación del clinker, el óxido de calcio se combina con los componentes ácidos de la materia prima para formar cuatro

compuestos fundamentales que constituyen el 90 % del peso del cemento. También se encuentran presentes el yeso y otros materiales. A continuación se presentan los compuestos fundamentales, sus formula químicas y sus abreviaturas:

Silicato tricálcico	3CaOSiO_2	= C_3S
Silicato dicálcico	2CaOSiO_2	= C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	= C_3A
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	= C_4AF

En presencia del agua las cuatro reaccionan para formar nuevos compuestos que constituyen la infraestructura de la pasta de cemento endurecido en el concreto. Los silicatos de Calcio que constituyen cerca del 75 % del peso del cemento se hidratan para formar los compuestos de hidróxido de calcio e hidrato de silicato de calcio (gel de tobermorita). El cemento hidratado contiene aproximadamente un 25% de hidróxido de calcio y 50% de tobermorita en peso. La resistencia y otras propiedades del cemento hidratado se deben al gel de tobermorita. El aluminato tricálcico reacciona con el agua y el hidróxido de calcio para formar el hidrato de aluminato tetracalcico. El aluminoferrito tetracalcico reacciona con el agua para formar hidrato de aluminoferrito de calcio. El aluminato tricálcico, el yeso y el agua se pueden combinar para formar el hidrato sulfoaluminato de calcio. A partir del análisis químico del cemento es posible calcular el porcentaje aproximado de cada compuesto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El conocimiento actual de la química del cemento nos indica que estos compuestos tienen las siguientes propiedades:

Silicato dicalcico C_2S

Se hidrata y endurece lentamente contribuyendo al incremento de resistencia a edades mayores de una semana

Aluminato tricalcico C_3A

Libera una gran cantidad de calor en los primeros días de hidratación y contribuye levemente al desarrollo de la resistencia a edades tempranas. Sin el yeso que se añade a la molienda final, cualquier cemento que contuviera C_3A fraguaría muy rápidamente

Aluminoferrito tetracalcico C_4AF

Reduce la temperatura de formación del clínker, ayudando a la manufactura del cemento. Se hidrata rápidamente, contribuye en lo mínimo a la resistencia. Se le debe la mayoría de los efectos del color

3.4. ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO

3.4.1- FINURA

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de la resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente en los primeros siete días. Aproximadamente del 85% al 95% de las partículas del cemento son menores a 45 micras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.4.2- SANIDAD

La sanidad se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia. Casi todas las especificaciones para el cemento Pórtland limitan los contenidos de magnesia.

3.4.3- CONSISTENCIA

La consistencia se refiere a la movilidad de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir.

3.4.4- TIEMPO DE FRAGUADO

El fraguado inicial de la pasta de cemento debe ocurrir demasiado pronto, el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta de cemento esta desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influyen sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua / cemento y los aditivos usados. Los tiempos de fraguado de los concretos no están directamente relacionados con los tiempos de fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire o en los lechos y debido a las diferencias de temperatura en la obra y el laboratorio.

Para medirlo podemos utilizar el aparato de Vicat con distintos aparatos de penetración.

Para determinar el fraguado inicial se utiliza una aguja de 1.13 mm. Esta aguja penetra en la pasta de consistencia normal, colocada en un molde especial, bajo un peso escrito. Cuando la pasta ha endurecido loo suficiente para que la aguja penetre solo hasta un punto distante alrededor de 5 mm de la base, se dice que se ha producido el fraguado inicial y se expresa por medio del tiempo que ha transcurrido desde el momento en que se le agrega el agua de mezclado al cemento.

3.5. DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO

3.5.1- CEMENTO PÓRTLAND NORMAL

Es el cemento de uso más común; cerca del 90% del cemento utilizado es de tipo normal. EL cemento Pórtland normal (Tipo I) es excelente para construcciones de concreto en general, las cuales no están expuestas a sulfatos del suelo o del agua freática.

3.5.2- CEMENTO PÓRTLAND DE FRAGUADO RAPIDO

El cemento Pórtland de fraguado rápido (Tipo III) desarrolla su resistencia mas rápidamente, por lo tanto, debería describirse como un cemento de resistencia alta a edad temprana. La rapidez de endurecimiento no debe confundirse con la rapidez de fraguado, de hecho los dos cementos tienen tiempos de fraguado parecidos.

La resistencia desarrollada por el cemento de fraguado rápido a los tres días es del mismo orden que la resistencia del cemento Pórtland normal a los siete días con la misma relación agua / cemento.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Los requisitos de consistencia y de la composición química son los mismos para el cemento Pórtland normal que para el de fraguado rápido.

El uso del cemento de fraguado rápido se indica cuando se desea un desarrollo rápido en la resistencia del concreto como, por ejemplo, cuando la cimbra debe retirarse pronto para volverla a usar o cuando se requiere tener la resistencia para continuar la obra con la máxima rapidez.

Ya que el rápido incremento de la resistencia libera una mayor cantidad de calor de hidratación, el cemento Pórtland de fraguado rápido no debe usarse en construcciones masivas ni en secciones estructurales grandes. Por otro lado, un cemento que libera mayor cantidad de calor puede resguardarse de los daños de la congelación prematura.

3.5.3- CEMENTOS PÓRTLAND ESPECIALES DE FRAGUADO RÁPIDO

Hay varios cementos de fabricación especial con propiedades de endurecimiento parcialmente rápido. Uno de ellos que se conoce como cemento Pórtland de fraguado extra-rápido, se obtiene al integrar cloruro de calcio durante el molido del cemento Pórtland de fraguado rápido.

El cemento de fraguado extra-rápido es conveniente para construcciones de concreto en clima frío o cuando se requiere una resistencia muy alta a edades tempranas, pero su uso estructural con acero no está permitido debido a su efecto corrosivo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La resistencia del cemento de fraguado extra-rápido es de alrededor de un 25% mas alta que la del cemento de fraguado rápido a 1 o 2 días y de 10 a 20% mas alta a los siete días. El tiempo de fraguado es corto, dependiendo de la temperatura, puede ser de 5 a 30 minutos, de modo que la colocación rápida resulta esencial. La contracción es un poco mayor que cuando se usa cemento de fraguado rápido.

3.5.4- CEMENTO PÓRTLAND DE BAJO CALOR

La elevación de la temperatura en una masa grande de concreto, debida al calor desarrollado por la hidratación del cemento, puede provocar agrietamientos serios.

Por esta razón, es necesario limitar la evolución del calor del cemento usado en este tipo de estructura.

El cemento con bajo desarrollo de calor fue producido por primera vez para grandes presas en los Estados Unidos y se conoce como cemento Pórtland de bajo calor (Tipo IV).

El contenido mas bajo de los componentes de hidratación más rápida da como resultado un menor desarrollo de resistencia en el cemento de bajo calor, comparado con el cemento Pórtland normal pero la resistencia ultima no se ve afectada.

Para algunas aplicaciones de baja resistencia puede significar una desventaja y por eso se fabrica un cemento llamado modificado (Tipo II).. Este cemento modificado combina adecuadamente una proporción mayor de desarrollo de calor que aquella del cemento de bajo calor con un aumento de resistencia similar a la del cemento Pórtland normal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5.5- CEMENTO RESISTENTE A LOS SULFATOS

Al hablar de las reacciones de la hidratación del cemento y en particular del proceso de fraguado, se hizo mención a la reacción entre C3A y el yeso y de la consecuente formación de sulfoaluminato de calcio. En el cemento endurecido, el hidrato de aluminato de calcio puede reaccionar de manera parecida con alguna sal de sulfato que provenga de fuera del concreto: el producto de la reacción es un sulfoaluminato de calcio, que se forma dentro de la masa de la pasta del cemento hidratado. Ya que el incremento de volumen de la fase sólida es del 227%, sobreviene una desintegración gradual del concreto. Un segundo tipo de reacción se produce al intercambiar bases entre el hidróxido de calcio y los sulfatos, que da como resultado la formación de yeso con un incremento de volumen en la fase sólida del 124%.

Estas reacciones se conocen como ataque de sulfatos. Las sales particularmente activas son el sulfato de sodio y del magnesio. El ataque de los sulfatos se acelera si se ve acompañado por una sucesión de estados recíprocos mojados y secos, como es el caso de una estructura marina situada en la zona de mareas.

El remedio consiste en usar cemento de bajo contenido de C3A, este cemento se conoce como cemento Pórtland resistente a los sulfatos. El calor desarrollado por el cemento resistente a los sulfatos no es mucho mayor que el cemento de bajo calor. Pareciera que el cemento resistente a los sulfatos debería ser el cemento ideal, pero debido a los requisitos especiales para la composición de la materia prima necesaria para su elaboración, el cemento resistente a los sulfatos no puede fabricarse de manera económica.

3.5.6- CEMENTO PÓRTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO

Este tipo de cemento se elabora al moler juntos el clinker de cemento Pórtland y la escoria granulada de alto horno, sin que la proporción de esta última exceda de un 65% del peso de la mezcla.

La escoria de alto horno es un producto de desecho de la fabricación de hierro en lingotes, donde se obtienen cantidades de hierro y escoria del mismo orden. La escoria de alto horno es una mezcla de cal, sílice y alumina, o sea, los mismos óxidos que componen el cemento Pórtland pero en distintas proporciones.

El cemento Pórtland de escoria de alto horno es bastante parecido al cemento Pórtland normal y los requisitos de finura, tiempo de fraguado y consistencia son los mismos para ambos cementos.

El calor de hidratación del cemento Pórtland de escoria de alto horno es mas bajo que el del cemento Pórtland normal, por lo que se puede usar en estructuras de concreto masivo. Sin embargo en climas fríos el bajo calor de hidratación del cemento Pórtland de escoria de alto horno junto con un índice de desarrollo bajo de resistencia puede ocasionar daños por congelación.

El consumo relativamente bajo de energía en la fabricación del cemento Pórtland de escoria de alto horno puede ser de interés en estos años en que se desea ahorrar energía.

3.5.7- CEMENTO PÓRTLAND PUZOLANA

La puzolana es un material natural o artificial que contiene sílice en una forma reactiva. Una definición más formal describe la puzolana como un material silíceo o silicoaluminoso, el cual tiene poco o nulo valor cementante, pero en forma muy dividida y en presencia de

humedad reaccionara químicamente con hidróxidos de calcio a temperaturas normales para formar un compuesto con propiedades cementantes.

No es posible hacer una declaración general sobre los cementos Pórtland puzolana, ya que el desarrollo de la resistencia depende de la actividad de las puzolanas y de la proporción del cemento Pórtland en la mezcla. Por lo general los cementos Pórtland adquieren resistencia con mucha lentitud y necesitan de un periodo de curado mayor, pero su resistencia ultima es aproximadamente la misma que la del cemento Pórtland normal solo.

Las puzolanas son a menudo más baratas que el cemento Pórtland que remplazan, pero su ventaja principal es la hidratación lenta y bajo calor de hidratación.

Los cementos Pórtland puzolana muestran también una buena resistencia al ataque de sulfatos y de algunos otros agentes destructivos. Esto se debe a que la reacción puzolánica permite una liberación menor de cal y también reduce la permeabilidad del concreto. La resistencia a la congelación y al deshielo no puede desarrollarse sino hasta edades tardías, cuando una reacción puzolánica importante ha reducido la porosidad de la pasta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.6 - CLASIFICACION DE ACUERDO A LA NOM C 414

De acuerdo a la NOM C 414 se tiene la siguiente clasificación de los cementos:

3.6.1- TIPOS DE CEMENTO (CLASIFICACIÓN)

TIPO	DENOMINACIÓN
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

3.6.2- CEMENTOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS
RS BRA BCH B	Resistente a los sulfatos Baja Reactividad Alkali agregado Bajo Calor de Hidratación Blanco

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.6.3- COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS

TIPO	Clínker + Yeso	Componentes Principales				
		Escoria Granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos (3)	Humo de Sílice	Caliza	Minoritarios (2)
CPO	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPEG	40-94	6-50	-	-	-	0-5
CPC	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	20-39	61-80	-	-	-	0-5

Notas:

- (1) Los valores de la tabla representan el % en masa.
- (2) Los componentes minoritarios deben ser uno o mas de los componentes principales.
- (3) Los materiales puzolánicos incluyen: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes.
- (4) El cemento Portland compuesto debe llevar como mínimo dos componentes principales, excepto cuando se adicione caliza, ya que esta puede ser de manera individual en conjunto con clínker + yeso.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.6.4- ESPECIFICACIONES MECÁNICAS Y FÍSICAS

Clase Resistente	Resistencia a compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)	
	3 días	28 días		Inicial	Final
	mínimo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
20	- (*)	20	40	45	600
30	- (*)	30	50	45	600
30 R	20	30	50	45	600
40	- (*)	40	-	45	600
40 R	30	40	-	45	600

3.6.5- TABLA COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE CEMENTOS CON OTRAS NORMAS

NOM-C-001 (Cancelada) Norma ASTM C-150	NOM-C-414 (Vigente)
TIPO I TIPO II TIPO III TIPO IV TIPO V Blanco Especial bajo álcali todos los tipos	CPO 30 R ó CPO 40 CPO 30 RS CPO 40 R CPO 30 BCH CPO 30 RS CPO 30 RB ó CPO 40 B BRA

3.6.5.1- TABLA COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE CEMENTOS CON OTRAS NORMAS

NOM-C-002 (Cancelada) CEMENTO PUZOLANICO ASTM C 595	NOM-C-414 (Vigente)
TIPO PUZ 1	CPP 30 R ó CPC 30 R
TIPO PUZ 2	<p>CPP 20 CPP30 CPC 20 CPC 30</p> <p>Todos los cementos pueden tener las características especiales RS, BRA y BCH.</p>

3.6.5.2- TABLA COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE CEMENTOS CON OTRAS NORMAS

NOM-C-175 (Cancelada) ESCORIA ALTO HORNO ASTM C 595 – 584	NOM-C-414 (Vigente)
CEMENTOS CON ESCORIA	<p>CPEG 30 CPEG 30 R CEG 20 CEG 30</p>
	<p>Todos los cementos pueden tener las características especiales RS, BRA y BCH.</p>

CAPÍTULO 4

AGUA DE MEZCLADO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Casi cualquier agua que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

Las impurezas excesivas del agua no solo pueden afectar la resistencia y el tiempo de fraguado del concreto, sino también pueden ser una causa de eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

Por consiguiente se pueden fijar límites de contenidos de cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua o se pueden desarrollar ensayos adecuados para determinar el efecto que la impureza provoque sobre ciertas propiedades.

El agua que contiene mas de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para la elaboración del concreto. El agua que contenga mas de 2000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para determinar su efecto en la determinación de la resistencia y el tiempo de fraguado.

Un método fácilmente de aprobar determinado tipo de agua es de elaborar cubos de mortero en el laboratorio y verificar su resistencia a los siete días iguales a al menos el 90 % de especímenes fabricados con agua potable o destilada.

A continuación se presenta un resumen de los efectos que ciertas impurezas del agua tienen sobre la calidad de un concreto normal.

4.1-CARBONATOS Y BICARBONATOS ALCALINOS

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos en los tiempos de fraguado de cementos distintos. El

carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones especiales estas sustancias pueden reducir la resistencia del concreto. Cuando la suma de estas sea de 100 ppm se deberán realizar pruebas para determinar su efecto sobre el concreto.

4.2-CLORUROS

La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo o de los torones del preesfuerzo. Los iones de cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino presente en el concreto.

El reglamento de construcción del American Concrete Institute ACI 318, limita el contenido de ion cloruro soluble en el agua de mezclado a los siguientes porcentajes en peso del cemento.

Concreto presforzado	0.06 %
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio	0.15 % 0.20 %
Concreto premezclado protegido contra la humedad durante su servicio	0.30 %

4.3-SULFATOS

El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque

de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos. Aunque se han empleado satisfactoriamente aguas que contenían 10,000 ppm de sulfato de sodio debe tomarse precauciones especiales.

4.4-OTRAS SALES COMUNES

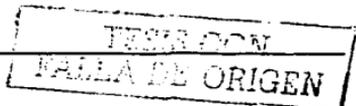
Los carbonatos de calcio y de magnesio no son muy solubles en el agua y rara vez se les encuentra en concentraciones suficientes para afectar la resistencia del concreto. Se pueden encontrar en algunas aguas municipales bicarbonatos de calcio y de magnesio, pero no son dañinas las concentraciones iguales o inferiores a 400 ppm.

4.5-SALES DE HIERRO

Las aguas freáticas rara vez contienen arriba de 20 o 30 ppm de hierro, sin embargo las aguas de mina ácidas pueden tener concentraciones hasta de 40,000 ppm, pero no afectan de manera adversa la resistencia.

4.6-AGUA DE MAR

El agua de mar que contenga hasta 35,000 ppm de sales generalmente es adecuada para producir concreto simple. Aproximadamente el 78% de la sal es cloruro de sodio y el 15% es sulfato de magnesio. Aun cuando un concreto producido con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores pueden ser menores.



Esta reducción de resistencia puede ser compensada reduciendo la relación agua / cemento.

El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concretos presforzados debido a la corrosión del refuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos. El agua de mar no deberá usarse para producir concretos que tengan agregados reactivos con los álcalis.

4.7-AGUAS ÁCIDAS

La aceptación de agua ácida como agua de mezclado se deberá basar en la concentración de ácidos en el agua. El agua que contiene ácidos clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones menores a 10,000 ppm no tiene un efecto adverso en la resistencia del concreto.

4.8-AGUAS ALCALINAS

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5% y el hidróxido de potasio el 1.2 % el peso del cemento no afectan en gran medida la resistencia del concreto toda vez que no ocasionen un fraguado rápido.

4.9-AGUAS DE ENJUAGUE.

Esta totalmente prohibido descargar en las vías fluviales, aguas de enjuague que han sido utilizadas para tratar la arena y la grava de concretos regresados o para lavar las mezcladoras.

4.10-AGUAS NEGRAS

TESE CON
FALLA DE ORIGEN

Las aguas negras típicas pueden contener aproximadamente 400 ppm de materia orgánica. El efecto que las impurezas orgánicas puedan llegar a tener en el fraguado del cemento o en la resistencia última del concreto es muy complejo. Las aguas con un color u olor considerable deberán ser vistas con desconfianza y ensayadas.

4.11-AZÚCAR

Una pequeña cantidad de sacarosa, de 0.03% al 0.15% del peso del cemento, normalmente retarda el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía respecto de los distintos cementos. La resistencia a siete días puede verse reducida, en tanto que la resistencia a los 28 días podría aumentar. El azúcar en cantidades de 0.25% o más del peso del cemento puede provocar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días. Cada tipo de azúcar afecta al tiempo de fraguado, a la resistencia de manera distinta.

Menos de 500 ppm de azúcar en el agua de mezclado, generalmente no producen un efecto adverso en el desarrollo de la resistencia, pero si la concentración sobrepasa esta cantidad, se deberán realizar ensayos para analizar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia.

4.12-SEDIMENTO O PARTICULAS EN SUSPENSIÓN

Se puede tolerar en el agua aproximadamente 2000 ppm de arcilla en suspensión o de partículas finas de roca. Cantidades mayores podrían no afectar la resistencia pero bien podrían influir sobre otras propiedades de algunas mezclas de concreto. Antes de ser

empleada, cualquier agua lodosa deben pasar a través de estanques de sedimentación o deberá ser clarificada por cualquier otro medio para reducir la cantidad de sedimentos y de arcilla agregada a la mezcla. Cuando regresan finos de cemento al concreto en aguas de enjuague recicladas, se pueden tolerar 50,000 ppm.

4.13-ACEITES

Ocasionalmente se encuentran presentes varios tipos de aceite en el agua. El aceite mineral (petróleo) no mezclado con aceites animales o vegetales tiene probablemente menor efecto en el desarrollo de la resistencia que otros aceites. Sin embargo, concentraciones de aceite mineral mayores de 2.5% del peso del cemento pueden reducir la resistencia en mas del 20%.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO 5
CONCRETO EN ESTADO
FRESCO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El grado de compactación afecta seriamente la resistencia del concreto fabricado con determinadas proporciones de mezcla, por lo tanto, es de vital importancia que el concreto pueda transportarse, colocarse y acabarse con relativa facilidad y sin segregación.

5.1-TRABAJABILIDAD.

Cuando un concreto cumple con lo anterior se dice que es trabajable, pero decir que la trabajabilidad, por si misma, determina la facilidad de colocación y evita la segregación, seria confundir las descripciones de dichas propiedades vitales para el concreto. La trabajabilidad deseada en un caso especifico dependerá de los medios de compactación disponibles.

El proceso de compactación consiste primordialmente en eliminar del concreto el aire atrapado hasta que ha logrado la mejor consistencia posible según la mezcla de que se trate. La trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total.

Otro termino que se describe en el estado del concreto fresco es la consistencia, que se toma como el grado de humedad, dentro de ciertos limites, los concretos húmedos son mas fáciles de trabajar que los concretos secos, pero los concretos de la misma consistencia pueden tener diferente trabajabilidad.

El concreto debe contar con una trabajabilidad tal que permita la compactación con densidad máxima mediante una cantidad razonable de trabajo, o con la cantidad que estemos dispuestos a darle en ciertas circunstancias. La necesidad de compactación se vuelve obvia cuando estudiamos la relación entre la compactación y

la resistencia resultante. La presencia de cavidades en el concreto suele reducir su resistencia en forma considerable. Las burbujas de aire están gobernadas por la granulometría de las partículas más finas de la mezcla y se extraen con mayor facilidad de una mezcla húmeda que de una mezcla seca. Para determinado método de compactación debe existir un contenido óptimo de agua para la mezcla en el que sea mínima la suma en los volúmenes de burbujas de aire y espacios de agua, con el que se pueda tener la densidad mas alta en el concreto, sin embargo el contenido óptimo de agua puede variar de acuerdo con los diferentes métodos de compactación.

5.1.1- MEDICION DE LA TRABAJABILIDAD

No existen pruebas aceptables para medir directamente la trabajabilidad. Sin embargo se han hecho numerosos intentos por correlacionar la trabajabilidad con algunas medidas físicas fáciles de determinar, las cuales pueden proporcionar información útil dentro de cierto rango de variaciones de la trabajabilidad.

5.1.2- PRUEBA DE REVENIMIENTO

La prueba de revenimiento no mide la trabajabilidad, pero es muy útil para detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla dentro de determinadas proporciones nominales.

El molde de la prueba es de forma troncónica, y de 305 mm de altura. Se coloca sobre una superficie lisa, con la abertura más pequeña hacia arriba, y se llena el concreto en tres capas. Cada una de las capas se apisona 25 veces con una varilla de acero estándar de 16 mm de diámetro, redondeada por la punta y la superficie se va

nivelando por medio de movimientos laterales y en redondo de la varilla de apisonamiento. Durante toda la operación se debe mantener firme el molde sobre su base.

Inmediatamente después de llenarlo, el cono se levanta despacio y el concreto, que ya no tiene apoyo, se reviene. La disminución de altura del centro del concreto revenido se llama revenimiento. Para reducir la influencia de las variaciones de fricción superficial en el revenimiento, al iniciar la prueba se debe humedecer la parte interna del cono y la superficie de su base, antes de levantar el molde se debe limpiar el área que lo rodea de cualquier escurrimiento de concreto que haya podido caer durante la operación.

Si en lugar de revenirse uniforme y en forma redonda, la mitad del cono se desliza en un plano inclinado se dice que el revenimiento es de cortante y se debe repetir la prueba. Si persiste el revenimiento de cortante, es un indicio de falta de cohesión.

Las mezclas de consistencia rígida tienen un revenimiento nulo, por lo que, en un rango bastante seco no pueden detectarse variaciones entre mezclas de diferente trabajabilidad. Las mezclas ricas se comportan de manera satisfactoria, ya que su revenimiento es sensible a las variaciones de trabajabilidad. Sin embargo en mezclas pobres, con tendencia a la aspereza, un revenimiento verdadero se puede convertir fácilmente en uno de cortante, y aun llegar al colapso; en varias muestras de la misma mezcla se pueden obtener valores muy distintos de revenimiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

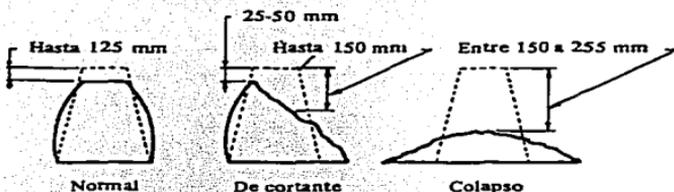


Figura 5.1 Revenimiento normal de cortante y colapso

A pesar de esas limitaciones, la prueba de revenimiento es de mucho provecho en la obra para verificar día a día y hora a hora la variación de los materiales que se introducen en la mezcladora. Por ejemplo, el aumento de 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 en la arena. Un revenimiento demasiado alto o bajo es una advertencia inmediata que permite al operador de la mezcladora remediar la situación.

5.2-SEGREGACION

Al hablar del concreto trabajable en general, se supone que este tipo de material no debe segregarse con facilidad, es decir, debe ser cohesivo. Sin embargo la ausencia de la tendencia a la segregación no se incluye en la definición de una mezcla trabajable. Es imposible compactar por completo una mezcla segregada.

La segregación se puede definir como la separación de los diferentes elementos que constituyen una mezcla heterogénea, de

tal modo que su distribución ya no sea uniforme. En el concreto lo que causa la segregación es la diferencia de tamaño en el tamaño de las partículas y en la densidad de los componentes que lo forman. Existen dos tipos de segregación: el primero de ellos las partículas gruesas tienden a desplazarse hacia fuera, puesto que están más propensas que las partículas finas a deslizarse por las pendientes o a asentarse. El segundo tipo de segregación es el que ocurre casi siempre en las mezclas húmedas, se manifiesta por la separación de la lechada (cemento y agua) de la mezcla. Con algunas granulometrías, cuando se usa una mezcla pobre, se puede presentar la primera clase de segregación cuando la mezcla esta demasiado seca; el aumento de agua mejoraría la cohesión, pero, cuando esta se hace demasiado húmeda, se puede presentar la segunda clase de segregación.

Si el concreto se deja caer de una altura considerable, si tiene que pasar por un tobogán, en especial con cambios de dirección, y si debe descargarse contra un obstáculo, -todos estos factores favorecen la segregación-, es necesario utilizar una mezcla más cohesiva. Si se aplica un método cuidadoso de manejo, transporte y colocación, la probabilidad de segregación puede reducir mucho. Es necesario poner énfasis en colocar el concreto en la posición que ha de permanecer, y que nunca se debe permitir que fluya o se trabaje a lo largo de la cimbra. El vibrado es medio excelente para compactar el concreto, pero debido a la gran cantidad de trabajo que se le aplica, aumenta el riesgo de segregación por el uso inadecuado del vibrador. En muchas mezclas lo que puede ocurrir es que los agregados gruesos se separen y se asienten en el fondo, y la pasta

de cemento suba a la superficie de la cimbra. El concreto resultante será débil y la lechada de la superficie será demasiado rica y húmeda, entonces puede presentarse una tendencia a la cuarteadoras y al levantamiento de polvo.

5.3-SANGRADO

El sangrado se conoce también como ganancia de agua, es un tipo de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colado. Esto se debe a que los componentes de la mezcla no pueden retener toda el agua de mezclado cuando se asientan en el fondo. Por causa del sangrado la superficie de cada colado puede quedar demasiado húmeda y, si el agua queda atrapada entre elementos superpuestos de concreto, el resultado puede ser un concreto poroso débil y poco durable. Si el agua del sangrado vuelve a mezclarse durante el acabado de la superficie superior, se puede formar una capa de desgaste débil. Esto se puede evitar retardando la etapa de acabado hasta que el agua de sangrado se evapore y evitando sobre trabajar la superficie. Si la evaporación del agua de la superficie es más rápida que la magnitud del sangrado, puede observarse agrietamientos por contracción plástica. Una parte del agua que asciende queda atrapada en las partes bajas laterales de las partículas de agregado grueso de las varillas de acero de refuerzo, creando zonas de adherencia deficiente. Esta agua deja detrás capilares y puede aumentar la permeabilidad del concreto en un plano horizontal. Es necesario evitar que haya un sangrado apreciable, ya que con el puede aumentar el peligro de daños por congelación.

Si el agua que sube lleva partículas finas de cemento formara una capa de lechada. Si esto sucede en la parte superior de una losa, se formara una superficie porosa y una apariencia especialmente polvos.

El sangrado depende mucho de las propiedades del cemento. Se puede disminuir aumentando la finura del cemento. Una temperatura más alta aumenta el sangrado. Las mezclas ricas son menos propensas al sangrado que las pobres. Se logra reducir el sangrado añadiendo al concreto polvo de aluminio o puzolanas. El aire incluido lo reduce con eficacia, de tal forma que el acabado se puede realizar inmediatamente después del colado.

5.4-VIBRADO DEL CONCRETO.

El proceso de compactación del concreto consiste ante todo en eliminar el aire atrapado en el. El medio más antiguo es el de apisonar o picar la superficie del concreto para desalojar el aire y forzar a las partículas a acomodarse mas cerca unas de otras. El sistema más moderno es el vibrado, por el cual se separan momentáneamente las partículas y se reúnen después para formar una masa compacta. La vibración, ya sea externa o interna, es el método más común para consolidar concreto. Los vibradores se caracterizan por la frecuencia de vibración, expresada como el numero de vibraciones por minuto, y la amplitud de vibración que es la desviación en cm del punto de apoyo.

El uso del vibrado permite utilizar mezclas más secas que las que se pueden compactar a mano. Se pueden vibrar mezclas muy secas y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

rígidas por lo que con menor contenido de cemento se pueden lograr concretos de la resistencia requerida.

Aunque habrá que compararlo con el tiempo de vibrado necesario y la cantidad de cimbra mas fuerte y resistente necesaria.

Vibración interna: los vibradores internos o de inmersión se utilizan normalmente para consolidar concretos en muros, columnas, vigas y losas. Siempre que sea posible el vibrador se deberá introducir al concreto en forma vertical a intervalos regulares y se le permitirá descender por gravedad y no deberá utilizarse para desplazar el concreto. El vibrador deberá mantenerse hasta obtener una consolidación adecuada y luego se deberá retirar lentamente. Un tiempo de inserción de 5 a 15 segundos proveerá normalmente de una consolidación adecuada.

La adecuación de la vibración interna se juzga por la experiencia y por los cambios ocurridos en la superficie del concreto. Los cambios a cuidar son la inserción de partículas grandes de agregados, la velación de la superficie del concreto, la aparición de una película delgada de pasta brillante alrededor de la cabeza del vibrador, y que cese el escape de burbujas grandes de aire atrapado en la superficie. El periodo en que se deberá de dejar el vibrador dentro del concreto dependerá del revenimiento, de la potencia del vibrador y de la naturaleza del elemento por compactar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 6
PRUEBAS DEL CONCRETO
ENDURECIDO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Las propiedades del concreto están en función del tiempo y de la humedad ambiental, por lo que las pruebas del concreto deben efectuarse en condiciones específicas o conocidas. La más común de todas las pruebas del concreto endurecido es la de la resistencia a la compresión, en parte porque es fácil llevarla a cabo y en parte porque muchas de las características del concreto están relacionadas con la resistencia.

Las pruebas de resistencia pueden clasificarse únicamente en destructivas y no destructivas.

Las pruebas pueden llevarse a cabo para diferentes fines, aunque los dos objetivos principales son el control de la calidad y el cumplimiento de las especificaciones.

Pruebas de compresión: se utilizan tres tipos de especímenes para pruebas de compresión: cubos, cilindros y prismas. La tendencia actual es de utilizar más cilindros que cubos.

6.1-PRUEBA DE CILINDROS A COMPRESION

El cilindro estándar es de 150 x 300 mm y generalmente se cuela en un molde acero o hierro colado, de preferencia con una base dotada de abrazaderas. Los especímenes cilíndricos se compactan en tres capas utilizando una varilla de punta de bala de 16 mm de diámetro. Los detalles de este procedimiento se describen en la norma ASTM C 192-76. La cara superior de un cilindro acabada con llana no es suficientemente lisa para la prueba, en estas circunstancias se introducen concentraciones de esfuerzo y se reduce notablemente la resistencia aparente del concreto (irregularidades de la superficie plana de hasta 0.25 mm pueden reducir la resistencia en una tercera

parte), y por lo tanto, se requiere una preparación adicional (cabeceo). Además la superficie debe estar libre de granos de arena y otros residuos de pruebas anteriores que podrían provocar la falla prematura y un posible agrietamiento violento. El material adecuado para el cabeceo debe tener resistencia y propiedades elásticas similares a las del concreto de la muestra para lograr una distribución uniforme del esfuerzo sobre la sección transversal de la muestra. Una buena alternativa es cabecear el cilindro poco antes de la prueba, dependiendo del tiempo de endurecimiento del material de cabeceo. Entre los materiales adecuados se encuentran cemento dental de alta resistencia, cemento de fraguado regulado y una mezcla de azufre fundido. La mezcla de azufre fundido es el mejor material para cabeceo y es adecuada para concretos de hasta 1125 kg/cm², consiste en azufre y algún material granular como la arcilla refractaria molida. La mezcla se aplica fundida y se deja endurecer con la muestra en un dispositivo que asegura una superficie plana. La mezcla de azufre de cilindros ya probados puede volver a utilizarse.

Además de ser planas, las superficies terminales del cilindro deben ser normales a su eje. Se permite una tolerancia de una inclinación del eje de la muestra respecto al eje de la máquina de pruebas de aproximadamente 6 mm. El libre alineamiento se logra mediante un asiento esférico, para el cual se tiene que utilizar un lubricante muy polar a fin de reducir el coeficiente de fricción.

El diseño de la máquina de prueba afecta la falla del espécimen, especialmente por la cantidad de energía almacenada en ella. Con una máquina muy rígida, el movimiento de la cabeza de la máquina

no sigue a la alta deformación del espécimen bajo cargas cercanas a la carga final, de manera que la velocidad a la que se aplica la carga disminuye y se registra una resistencia mas elevada. El comportamiento exacto depende de las características de la maquina.

6.1.1- RELACION ALTURA / DIÁMETRO

Los cilindros estándar tienen una altura h igual a dos veces su diámetro d , pero en ocasiones se encuentran especímenes con otras proporciones, como es el caso de los corazones de concreto cortados directamente de la estructura: el diámetro depende del tamaño de la herramienta con que se corta el corazón, en tanto que su altura depende según el espesor de la losa o el elemento. Cuando el corazón es demasiado largo puede recortarse a la relación h/d de 2 antes de la prueba, pero cuando es demasiado corto es necesario calcular la resistencia del mismo concreto como si hubiera sido determinada en una muestra con relación $h/d = 2$.

6.2-CONTENIDO DE CEMENTO

El contenido de cemento de concreto endurecido puede determinarse por medio de los métodos de las normas ASTM C 85 C 1084 ó por la prueba de ácido maleico u otros procedimientos no estandarizados. Aunque no se lleven a cabo con frecuencia, las pruebas de contenido de cemento son de valor para determinar la causa de la falta de desarrollo de resistencia o de baja durabilidad del concreto. El contenido de agregado puede determinarse con estas pruebas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.3-CONTENIDO DE ADITIVOS.

La presencia y cantidad de ciertos aditivos minerales, como la ceniza volante, se puede determinar con técnicas petrográficas. La presencia y posiblemente la cantidad de aditivos orgánicos (tales como los reductores de agua), se pueden determinar por espectrofotometría infrarroja.

6.4-CONTENIDO DE CLORUROS

El contenido total de cloruros se puede determinar mediante las normas ASTM C 114 ó AASHTO T 260. Actualmente se encuentran en desarrollo procedimientos de pruebas por parte de la ASTM para la determinación del contenido de ion de cloruro soluble en el agua.

6.5-ANÁLISIS PETROGRAFICO

El análisis petrográfica hace uso de las técnicas de microscopia descritas en la norma ASTM C 856 para determinar los componentes del concreto, la calidad del concreto, y la causa de comportamiento deficiente, falla o deterioro. Se puede facilitar la estimación del comportamiento futura y la seguridad de los elementos de concreto. Algunos de los puntos que se pueden revisar por medio de un exámen petrográfico son la pasta, el agregado, el aditivo mineral y el contenido de aire; el ataque de la congelación y de los sulfatos; la reactividad álcali-agregado; el grado de hidratación y de carbonatación; la relación agua-cemento; las características del sangrado; el daño por fuego; el descascaramiento; las erupciones; el efecto del aditivo; y varios aspectos distintos.

6.6-CAMBIO DE VOLUMEN Y LONGITUD

En ocasiones, cuando se le dan ciertos usos al concreto, se especifican límites para los cambios de volumen o de longitud. El cambio de volumen resulta de interés al agregar un ingrediente nuevo al concreto para asegurarse que no origine efectos adversos de importancia. El cambio de longitud debido a la contracción por secado, a la reactividad química, a fuerzas distintas de las intencionalmente aplicadas y a los cambios de temperatura se pueden determinar por medio de la norma ASTM C 157 (método de almacenamiento en agua y en aire).

6.7-CARBONATACION

La profundidad o grado de carbonatación se puede determinar por medio de técnicas petrográficas (ASTM C 856) a través de la observación del carbonato de calcio –producto químico primario que resulta de la carbonatación. Además se puede usar una prueba de color con fenolftaleína para estimar la profundidad de carbonatación probando el PH del concreto (la carbonatación reduce el PH). Después de la aplicación de la solución de fenolftaleína a la superficie de concreto recién fracturada, las zonas que no están carbonatadas adquieren un color rojo o púrpura, en tanto que las zonas carbonatadas permanecen sin color. Cuando se observa el indicador de fenolftaleína contra la pasta endurecida, cambia de color a un PH de 9.0 a 9.5. El PH de un concreto de buena calidad no carbonatada sin aditivos normalmente es mayor de 12.5

TRABAJA CON
FALLA DE ORIGEN

6.8-METODOS DE PRUEBA NO DESTRUCTIVOS

Varias pruebas no destructivas se pueden usar para evaluar la resistencia relativa del concreto endurecido. Las pruebas mas comúnmente usadas son las de esclerómetro, penetración, arranque, (pullout) y dinámicas o de vibración. Entre las técnicas relativamente nuevas se encuentran en desarrollo para probar la resistencia y otras propiedades del concreto endurecido se incluyen los rayos X. La radiografía gama, los medidores de humedad de neutrones, los medidores magnéticos de recubrimiento, la electricidad, la absorción de microondas y las emisiones acústicas.

6.8.1- MÉTODO DE ESCLERÓMETRO

El esclerómetro o martillo de Schmidt, es en esencia, un medidor de la dureza de la superficie que constituye un medio rápido y simple para medir la uniformidad del concreto. Mide el rebote de un embolo cargado con resorte después de haber golpeado la superficie plana del concreto; el tipo de agregado grueso; y la carbonatación de la superficie de concreto.

6.8.2- MÉTODO DE PENETRACIÓN

El sondeo Windsor (- ASTM C 803), como el esclerómetro, es básicamente un probador de dureza que brinda un medio rápido para determinar la resistencia relativa del concreto. El equipo consiste de una pistola accionada con pólvora que clava una sonda de aleación acerada (aguja) dentro del concreto. Se mide la longitud expuesta de la sonda y se relaciona con la resistencia a compresión del concreto por medio de una tabla de calibración.

Tanto el esclerómetro como el sondeo de penetración dañan la superficie del concreto en cierto grado. El esclerómetro produce una pequeña muestra sobre la superficie; el sondeo de penetración deja un agujero pequeño y puede causar agrietamientos leves y cráteres minúsculos parecidos a las erupciones.

6.8.3- PRUEBA DE ARRANQUE (PULLOUT)

La prueba de arranque (norma ASTM C 900) implica colar el extremo alargado de una varilla de acero dentro del concreto por ensayar para luego medir la fuerza necesaria para arrancarla. La prueba mide la resistencia del concreto —siendo la resistencia medida; la resistencia directa al cortante en el concreto. Esta a su vez se relaciona con la resistencia a la compresión y de esta manera se efectúa una medida de la resistencia en el lugar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 7

ADITIVOS PARA EL CONCRETO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

7.1-GENERALIDADES

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto además del cemento Pórtland, del agua y de los agregados que se agregan a la mezcla inmediatamente antes del mezclado o durante el mismo.

Los aditivos químicos que se ajustan a ASTM C 494 de los tipos A a la G, son de diversas formulaciones y la utilidad o finalidad de su empleo es como sigue:

- A. Aditivos reductores de agua
- B. Aditivos retardantes
- C. Aditivos acelerantes
- D. Aditivos retardantes y reductores de agua
- E. Aditivos acelerantes y reductores de agua
- F. Aditivos reductor de agua de alto rango
- G. Aditivos reductor de agua de alto rango y retardante

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 inclusores de aire cuando son necesarios).

Las principales razones del empleo de los aditivos son :

- Para reducir el costo de la construcción de concreto.
- Para obtener algunas propiedades en el concreto de manera mas efectiva que por otros medios.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Para asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación, y curado en condiciones ambientales adversas.
- Para superar ciertas eventualidades durante las operaciones de colado.

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.

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. De esta manera se pueden observar tanto la compatibilidad del aditivo con otros aditivos y con los materiales a emplear, con los efectos del aditivo sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido. Se deberá usar la cantidad de aditivo recomendada por el fabricante o la cantidad óptima de aditivo determinada por medio de ensayos de laboratorio.

Aún cuando un aditivo puede producir un concreto con las propiedades deseadas, se puede frecuentemente obtener 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.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

Este último deberá incluir, además del costo del aditivo, cualquier efecto que el uso del aditivo tenga sobre los costos de transporte, colocación, acabado, curado y protección del concreto.

7.2-ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Los aditivos inclusores de aire se utilizan para tener 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 descascamiento 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 se llegan a eliminar.

La eficacia de los aditivos usados en la inclusión de aire puede ser afectada por diversos factores, los siguientes son los más importantes:

- Concentración del aditivo inductor de aire.
- Tiempo y velocidad del mezclado del concreto. Si la velocidad de la mezcladora es muy baja o el tiempo de mezclado no es suficientemente largo, no será posible la suficiente inclusión de aire.
- Presencia de otros aditivos. Si otros aditivos están presentes estos pueden afectar la eficiencia del aditivo inductor de aire.
- El contenido de agua de la mezcla de concreto. Una mayor cantidad de agua en la mezcla ayudará al aditivo inductor a

**TEMAS CON
FALLA DE ORIGEN**

atrapar más aire y por el contrario una mayor cantidad de agua inhibirá este proceso.

- **Agregados.** La inclusión de aire puede ser afectada por la granulometría y forma de las partículas del agregado. También cambios en la forma del agregado de redondeado a angular tiende a disminuir la efectividad del agente inclusor de aire.
- **Temperatura.** La temperatura tibia o caliente inhibe la inclusión de aire, por el contrario la temperatura fresca la incrementa.
- **Contenido de cemento y finos.** Materiales muy finos, ya sea cemento o partículas pequeñas de arena reducen la eficiencia de los aditivos inclusores de aire.

Los requisitos aplicables a los cementos inclusores de aire se presentan en la norma ASTM 260.

7.3-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 aumenta en muchos casos. La pérdida rápida de revenimiento, tiene como resultado una reducción en la trabajabilidad así como un menor tiempo para colocar el concreto.

Los aditivos reductores de agua son compuestos químicos que minimizan las cargas eléctricas en las partículas del centro, disgregándolas y dispersándolas. Este efecto de dispersión de las partículas de cemento las distribuye más uniformemente en la mezcla del concreto, reduciendo la cantidad de agua requerida en la mezcla. La dispersión de las partículas de cemento mejora la eficiencia de este. Las partículas reaccionan con el agua libremente y unen las partículas de los agregados.

Los aditivos reductores de agua pueden ser usados en las maneras siguientes:

- Para un contenido fijo de agua y cemento mejora la trabajabilidad de la mezcla.
- Reduce el contenido de agua sin afectar adversamente la trabajabilidad, debido a este efecto, la resistencia del concreto aumenta.
- Incrementa la resistencia del concreto hidráulico debido al incremento de la eficiencia del cemento.

Dependiendo de su composición química, los aditivos reductores de agua pueden disminuir, aumentar o no tener ningún efecto en el sangrado. Muchos aditivos reductores de agua también pueden retardar el tiempo de fraguado del concreto.

IMPRESION
FALLA DE ORIGEN

7.4- 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 mas prácticos de contrarrestar este efecto consiste en hacer descender la temperatura del concreto enfriando el agua de mezclado a los agregados. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del concreto.

Los retardantes se emplean en ocasiones para: (1) compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto, (2) demora el fraguado inicial del concreto o lechada cuando se presentan condiciones de colados difíciles o poco usuales, como puede ocurrir al colar estribos o cimentaciones de gran tamaño, cementar pozos petroleros, o bombera lechada o concreto a distancias considerables, o (3) retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabados especiales, como puede ser una superficie de agregado expuesto.

7.5- ADITIVOS ACELERANTES

Estos aditivos se emplean para acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto a edades tempranas. Tal desarrollo de resistencia también se puede acelerar: (1) con el empleo de cemento Pórtland de alta resistencia a edad temprana Tipo 1 , (2) reduciendo la relación agua-cemento con el aumento de 60 a 120 kg.

de cemento adicional por metro cúbico de concreto, ó (3) curando a mayores temperaturas.

El cloruro de calcio ($CaCl_2$) es el material comúnmente usado en los aditivos acelerantes. deberá cubrir los requisitos de la norma ASTM D 98 y también deberá ser muestreado y ensayado de acuerdo a la norma ASTM D 345.

Aparte del incremento en la aceleración de la resistencia, el cloruro de calcio produce aumento en la contracción por secado, una posible corrosión del refuerzo, descoloramiento (oscurece el concreto), y posibles descascaramiento.

No se recomienda el empleo de cloruro de calcio ni de aditivos que contengan que contengan cloruros solubles, bajo las siguientes condiciones:

- En los concretos presforzados debido a los posibles riesgos de corrosión.
- En los concretos que contengan aluminio ahogado (por ejemplo tubo-conductos), puesto que puede producirse una severa corrosión de aluminio, especialmente si el aluminio esta en contacto con el acero ahogado y el concreto se encuentra en un medio húmedo.
- En concretos sujetos a reacciones álcali-agregados, o expuestos a suelos o aguas que contengan sulfatos .
- En losas de pisos en que se trate de dar acabados metálicos en seco con llama.
- En climas cálidos en general.
- En colados de concreto masivo.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

En las cimentaciones en donde no se recomienda el uso de cloruros, se puede disponer de acelerantes no corrosivos que no contienen cloruros. Sin embargo muchos de estos acelerantes no son tan efectivos como el cloruro de calcio y son mas costosos.

7.6-ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES (REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO)

Los aditivos superplastificantes son aditivos reductores de agua de alto rango que cubren las especificaciones ASTM C 1017 y C 494 Tipos F y G, que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua-cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento. Los concretos producidos son concretos muy fluidos pero trabajables los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesivos. El concreto fluido se emplea (1) en colados de secciones delgadas, (2) en áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciado o muy congestionado, (3) en colados con tubo-embudo (bajo el agua), (4) como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello un aumento en la distancia de bombeo horizontal y vertical, (5) en las áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos, y (6) para aminorar los costos de manejo. Con la adición de un superplastificante a un concreto con revenimiento de 7.5 cm se pueden producir fácilmente un concreto con 22.5 cm de revenimiento.

Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30 %. Esta reducción en el contenido de agua y en la

relación agua-cemento permite producir concretos con: (1) resistencias ultimas a compresión arriba de 700 kg/cm², (2) mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana, y (3) una menor penetración del ión cloruro así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relaciones agua-cemento bajas.

La efectividad del superplastificante se eleva con el aumento en la cantidad de cemento y finos del concreto. También se modifica con el revenimiento inicial del concreto.

7.7-ADITIVOS MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS

Los aditivos minerales finamente divididos son materiales pulverizados que se agregan al concreto antes del mezclado o durante este para mejorar o transformar algunas de las propiedades del concreto de cemento Portland en estado plástico o endurecido. Estos aditivos son generalmente materiales naturales o subproductos. De acuerdo con sus propiedades químicas o físicas, se clasifican como (1) materiales cementantes, (2) puzolanas, (3) materiales puzolánicos y cementantes, (4) materiales nominalmente inertes.

7.8-MATERIALES CEMENTANTES

Los materiales cementantes son sustancias que por si solas tienen propiedades hidráulicas cementantes (fraguan y endurecen en presencia del agua). Los materiales cementantes incluyen a la

escoria granulada de alto horno molida al cemento natural, a la cal hidráulica hidratada y a las combinaciones de estos y otros materiales.

7.8-1. MATERIALES PUZÓLANICOS

Una puzolana es un material silíceo o aluminosilíceo que por si mismo posee poco o ningún valor cementante, pero que, en forma finamente molida y en presencia del agua reacciona químicamente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento Portland para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

7.8-2. MATERIALES PUZOLANICOS Y CEMENTANTES

Algunas escorias granuladas de alto horno molidas y también algunas cenizas volantes, exhiben propiedades tanto puzolanicas como cementantes. Las cenizas volantes ASTM C 168 Clase C con un contenido de óxido de calcio de aproximadamente 15 a 30 % en peso son las predominantes dentro de esta clasificación. Al exponerse al agua, muchas de estas cenizas se hidratan y endurecen en menos de 45 minutos.

La practica de utilizar cenizas volantes y escoria granulada de alto horno molida en las mezclas de concreto de cemento Portland, ha ido aumentando en los últimos años en los Estados Unidos. Una de las principales razones del incremento es el interés de la conservación de la energía así como en la reducción del costo del concreto que se obtiene al emplazar cenizas o escorias para remplazar parcialmente al cemento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.8-3. MATERIALES NOMINALMENTE INERTES

Los materiales nominalmente inertes tienen pocas o nulas propiedades cementantes. Algunos de los materiales nominalmente inertes son el cuarzo en bruto finamente divididos, las dolomitas, muchas calizas, el mármol, el granito, y otros materiales. Los materiales inertes frecuentemente se emplean como adición al cemento y como una sustitución parcial de la arena en el concreto para mejorar las trabajabilidades pobres causadas frecuentemente por la falta de finos en la arena. A veces se agrega a los concretos caliza pulverizada para reducir la reactividad álcali-sílice.

7.9-INHIBIDORES DE LA CORROSION

El acero ahogado en el concreto queda protegido contra la corrosión gracias a la naturaleza altamente alcalina del concreto. El ambiente de elevado PH (normalmente mayor de 12.5) ocasiona que se forme una película protectora no corrosiva y pasiva en el acero. Sin embargo la carbonatación o la presencia de iones cloruro provenientes de los productos descongelantes o del agua de mar pueden penetrar la película. Una vez que esto ha ocurrido, se forma una celda eléctrica a lo largo del acero o entre las barras de acero y comienza el proceso electroquímico de la corrosión.

Los aditivos inhibidores de la corrosión detienen químicamente la reacción de la corrosión. El inhibidor de la corrosión líquido más comúnmente empleado, el nitrito de calcio, bloquea la reacción de corrosión de los iones cloruro reforzando químicamente y estabilizando la película pasiva. El ion nitrito provoca que los óxidos

de hierro se vuelvan insolubles. En efecto, se evita que los iones cloruro penetren la película pasiva y que entren en contacto con el acero. Una cierta cantidad de nitrito de calcio puede parar la corrosión hasta un cierto nivel de penetración del ion cloruro. En consecuencia, mayores niveles de penetración de cloruros requieren de mayores niveles de nitrito de calcio para detener la corrosión.

7.10- AGENTES A PRUEBA DE HUMEDAD (IMPERMEABILIZANTES)

Los agentes impermeabilizantes reducen la velocidad a la cual se transmite agua a presión a través del concreto. Uno de los mejores métodos para disminuir la penetrabilidad en el concreto, consiste en aumentar el contenido de cemento y el periodo de curado húmedo y reducir la relación agua-cemento a menos de 0.5. la mayoría de aditivos que reduce la relación agua-cemento disminuyen consecuentemente la permeabilidad. Algunos aditivos minerales, especialmente el humo de sílice, reducen la permeabilidad por medio del proceso de hidratación y de reacción puzolánica.

7.11- ADITIVOS COLORANTES

Se da color al concreto haciendo uso de materiales naturales y sintéticos por razones de estética y seguridad. El concreto de color rojo se utiliza a menudo alrededor de las líneas subterráneas eléctricas o de gas como advertencia de su presencia.

**TFIS CON
FALLA DE ORIGEN**

7.12- AYUDAS DE BOMBEO

Las ayudas de bombeo se agregan a las mezclas de concreto para mejorar su bombeabilidad. Las ayudas de bombeo no pueden corregir todas las mezclas de concreto no bombeables, su empleo se efectúa para convertir mas bombeable a algún concreto marginalmente bombeable. Estos aditivos espesan el fluido en el concreto (aumentan la viscosidad) para reducir la deshidratación de la pasta mientras se encuentran bajo la presión de la bomba.

Ciertas ayudas de bombeo pueden incrementar la demanda de agua, reducir la resistencia a compresión, provocar inclusión de aire, o retardar el tiempo de fraguado, estos efectos colaterales pueden corregirse con el ajuste de las proporciones de mezcla, o con la adición de algún otro aditivo que compense el efecto colateral.

7.13- ADITIVOS QUÍMICOS PARA REDUCIR LA REACTIVIDAD CON LOS ÁLCALIS

Algunos productos químicos han tenido éxito para reducir la expansión álcali-agregado. De estos las sales de litio y de bario han demostrado reducciones sobresalientes.

Sin embargo, los métodos mas prácticos para reducir la expansión álcali-agregado consisten en el uso de puzolanas de las cuales se conozca su capacidad para reducir la expansión álcali-agregado, en el uso de agregado no reactivos, o en el empleo de cementos con bajo contenido de álcalis.

7.14- ADITIVOS Y AGENTES PARA UNIR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se les agregan a las mezclas de cemento Pórtland para incrementar la adherencia entre un concreto nuevo y uno viejo.

Estos aditivos se agregan en proporciones equivalentes de 5 a 20 % en peso del cemento. La cantidad real dependerá de las condiciones de trabajo y del tipo de aditivo empleado.

No se debe confundir a los agentes para unir con los aditivos para unir. Los aditivos son ingredientes en el concreto; los agentes para unir se aplican a las superficies de concreto existentes inmediatamente antes de que se coloque el concreto nuevo.

7.15- EXCLUSORES DE AIRE

Los aditivos exclusores de aire reducen el contenido de aire en el concreto. Se emplean cuando no es posible reducir el contenido de aire con el ajuste de las proporciones de la mezcla ni con el cambio en la dosificación del agente inductor de aire u otros aditivos.

7.16- ADITIVOS FUNGICIDAS, GERMICIDAS E INSECTICIDAS

Se puede controlar parcialmente al crecimiento de bacterias y hongos en el interior o en la superficie de los concretos endurecidos haciendo uso de aditivos fungicidas, germicidas e insecticidas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 8

CURADO DEL CONCRETO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El curado consiste en el mantenimiento de contenidos de humedad y de temperaturas satisfactorias en el concreto durante un periodo definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.

El curado tiene una gran influencia sobre las propiedades del concreto endurecido como lo son durabilidad, resistencia, hermeticidad, resistencia a la abrasión, estabilidad volumétrica y resistencia a la congelación y deshielo y a las sales para descongelar. Las superficies sujetas a la exposición son especialmente sensibles al curado, pues el desarrollo de la resistencia en la superficie puede llegar a reducirse de manera importante cuando el curado es defectuoso.

Al mezclar cemento Pórtland con agua, se lleva a cabo la reacción química denominada hidratación. El grado hasta el cual esta reacción se llega a completar, influye en la resistencia, la durabilidad y la densidad del concreto. La mayoría de los concretos frescos contienen una cantidad de agua considerablemente mayor a la requerida para que tenga lugar la hidratación completa del cemento; sin embargo, cualquier pérdida de agua apreciable por evaporación o por otra manera retrasa o evita la completa hidratación. Si la temperatura es favorable, la hidratación es relativamente rápida los primeros días después de haber colado el concreto; es importante que el agua sea retenida durante este periodo, es decir, que se impida o que al menos se reduzca la evaporación.

El método de mayor efectividad para curar concreto depende de las circunstancias. Para la mayoría de los trabajos, el curado normal resulta adecuado, pero en algunos casos, como ocurre en los climas cálidos y en los climas fríos, se requiere de cuidados especiales.

Lo mejor es curar continuamente al concreto en que es colado hasta que haya adquirido la suficiente resistencia mecánica, impermeabilidad y resistencia a la abrasión, a la congelación y al deshielo, y al ataque químico.

La pérdida de agua también va a provocar que el concreto se contraiga, creando así esfuerzos de tensión en el concreto. Si estos esfuerzos se presentan antes que el concreto haya adquirido la resistencia a la tensión adecuada, se podrá tener como resultado agrietamientos superficiales.

8.1-METODOS Y MATERIALES DE CURADO

El concreto puede mantenerse húmedo (y en ciertos casos a temperatura favorable) con el uso de tres métodos de curado:

- Métodos que mantengan la presencia de agua de mezclado en el concreto durante el periodo inicial de endurecimiento. Entre estos se incluye al estancamiento o inmersión, al rociado y a las cubiertas húmedas saturadas. Estos métodos proporcionan un cierto enfriamiento a través de la evaporación, lo cual es benéfico en los climas cálidos.
- Métodos que evitan la pérdida del agua de mezclado del concreto sellando la superficie. Esto se puede lograr

cubriendo al concreto con papel impermeable o con hijas de plástico, o aplicando compuestos de curado que formen membranas.

- Métodos que aceleren la ganancia de resistencia: suministrando calor y humedad adicional al concreto. Esto se logra normalmente con vapor directo, serpentines de calentamiento, o cimbras o almohadillas calentadas eléctricamente.

8.1.1- ESTANCAMIENTO O INMERSIÓN

En las superficies planas tales como pavimentos y pisos, el concreto se puede curar por estancamiento. Se puede retener un tirante de agua por medio de bordos de arena o de tierra en el perímetro de la superficie de concreto. El estancamiento es un método ideal para evitar la pérdida de humedad y también es efectivo para conservar la temperatura uniforme en el concreto. El agua de curado debe estar en 11°C mas fría que el concreto, para evitar esfuerzos por temperatura que pudiera ser causa de agrietamiento. Como el estancamiento requiere de trabajo y supervisión considerables, el método es solamente empleado en los trabajos pequeños.

8.1.2- ROCIADO O ASPERSIÓN.

La aspersión o rociado continuo con agua es un método excelente de curado cuando la temperatura ambiente queda suficientemente por encima de la congelación y cuando la humedad es muy baja. Se debe aplicar una llovizna muy fina de manera continua a través de un sistema de boquillas con rociadores. Los rociadores ordinarios para el césped resultan ser efectivos si se logra una buena cobertura

y el volumen de la descarga de agua no tiene demasiada importancia. Las mangueras para regar el suelo son útiles para superficies que son verticales o casi verticales.

8.1.3- CUBIERTAS HÚMEDAS.

Las cubiertas de tela saturadas con agua, como la arpillera las esteras de algodón, las esterillas u otras telas que retengan la humedad, se utilizan comúnmente par el curado.

Las cubiertas de tela saturadas, capaces de retener la humedad, deberán colocarse tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente para evitarle daños en su superficie. Las cubiertas deberán mantenerse húmedas de manera continua de tal suerte que una película de agua permanezca sobre la superficie del concreto durante el periodo de curado.

Las cubiertas húmedas de tierra, arena o aserrín resultan más efectivas para curar y regularmente son útiles en los trabajos pequeños. Se debe de distribuir de manera uniforme una capa de aproximadamente de 5 cm sobre la superficie del concreto previamente humedecida, la cual deberá mantenerse húmeda continuamente.

Para curar las superficies planas, se puede usar paja o forraje. Si se utilizan, se les deberá colocar en una capa de al menos 15 cm de espesor, y deberán quedar fijas con malla de alambre, arpillera o lonas impermeables para impedir que el viento las levante. La

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

principal desventaja de las cubiertas de forraje, paja, aserrín, arena o tierra húmedos es que existe la posibilidad de decolorar el concreto.

8.1.4- LAMINAS DE PLÁSTICO.

Las laminas de materiales plásticos, tales como los rollos de polietileno, pueden ser empleadas para curar al concreto. Los rollos de polietileno constituyen una barrera efectiva de peso ligero contra la humedad y se pueden aplicar fácilmente en los elementos de formas simples o complejas.

8.1.5- COMPUESTOS PARA CURADO FORMADORES DE MEMBRANAS

Los compuestos líquidos formadores de membranas a base de parafinas, resinas, hules clorados y solventes de alta volatilidad se pueden usar para retardar o reducir la evaporación de la humedad del concreto. Son adecuados solamente para curar concreto recién colado, sino también para prolongar el curado luego de la remoción de las cimbras o después del curado húmedo inicial.

Los compuestos del curado deberán ser aplicados con equipos rociadores operados manualmente o de propulsión mecánica inmediatamente después de haberle dado acabado final al concreto. La superficie del concreto normalmente deberá estar mojada al aplicarse el recubrimiento.

8.1.6- CURADO AL VAPOR

El curado al vapor resulta ventajoso en los casos en que sea importante contar con una mejora a edad temprana, en la resistencia del concreto o en los casos que se requiera de una

cantidad adicional de calor para completar la hidratación, como ocurre en los climas fríos.

Se usan métodos de curado al vapor: a) vapor vivo (o directo) a presión atmosférica (para estructuras encerradas, coladas en obra y para unidades grandes de concreto.

El curado al vapor a presión atmosférica generalmente se efectúa en un sitio cerrado para minimizar las pérdidas de humedad y calor. Frecuentemente se utilizan lonas para formar el sitio cerrado. La aplicación del vapor en tal sitio se debe retardar en dos horas por lo menos, después del colado final del concreto para permitir un endurecimiento del concreto.

La temperatura del vapor en el sitio cerrado se deberá mantener en aproximadamente 65°C hasta que se haya desarrollado la resistencia deseada del concreto. La resistencia no aumentara de manera significativa si se eleva la temperatura máxima del vapor de 65°C a 80°C . Se deben evitar temperaturas de curado al vapor superiores a 82°C; son antieconómicas y pueden dar como resultado una reducción indebida en la resistencia última. Aparte del incremento de la resistencia a edad temprana otras, ventajas de curar el concreto a temperaturas de alrededor de 65°C consiste en la reducción de la contracción por secado y de la fluencia en comparación con los concretos curados a 21°C durante 28 días.

Se deben evitar velocidades excesivas de calentamiento y de enfriamiento para evitar dañar los elementos debido a cambios

volumétricos. La temperatura en el sitio cerrado que rodea al concreto no deberá ser elevada o disminuida en mas de 22°C a 33°C por hora dependiendo del tamaño y de la forma de elemento de concreto.

La temperatura máxima de un curado en el sitio cerrado deberá mantenerse constante hasta que el concreto haya alcanzado la resistencia deseada. El tiempo que se requiera dependerá de la temperatura del vapor y de la mezcla de concreto en el sitio cerrado.

8.2- PERIODO DE CURADO Y TEMPERATURA.

El periodo durante el cual se debe proteger al concreto con la perdida de humedad depende del tipo del cemento, de proporciones de la mezcla, de la resistencia requerida tamaño y forma del miembro de concreto, de las condiciones ambientales y de las condiciones futuras de exposición. El periodo puede ser de tres semanas o mayor para mezclas pobres de concreto empleadas en las estructuras masivas como lo son las presas; contrariamente, puede ser solo unos días para las mezclas ricas, especialmente si se ha empleado cemento tipo III. Los periodos de curado al vapor son mucho menores, variando desde 3 horas hasta 3 días; aunque generalmente se emplean ciclos de 24 horas.

Como el curado mejora las propiedades deseadas en el concreto, el periodo de curado debe ser tan largo como lo permitan las condiciones prácticas. Para las losas de concreto sobre piso (pisos, pavimentos, revestimiento de canales, lotes de estacionamientos,

calzadas, banquetas), y para concreto estructural (columnas, losas, trabes, zapatas pequeñas, estribos, muros de contención, cubiertas de puentes, y muros colados en el lugar), la longitud del periodo de curado para temperaturas ambientales superiores a 4° C deberá ser como mínimo de 7 días o el tiempo necesario para llegar al 70 % de la resistencia específica a la compresión o a la flexión. Una mayor temperatura de curado proporciona un aumento de resistencia del concreto a edad más temprana que una temperatura baja, pero puede ser causa de que disminuya la resistencia a los 28 días. Si se desea llevar a cabo ensayos de resistencia para establecer el tiempo en el cual pueda detenerse el curado o en el que se pueda descimbrar, se deberá elaborar en campos cilindros o vigas de concreto representativos, manteniéndolos adyacentes a la estructura o pavimento que representen, y utilizando los mismos métodos de curado. también se puede hacer uso de corazones, de cilindros removibles colados en el lugar y de pruebas no destructivas para determinar la resistencia de los miembros del concreto. El curado natural con temperaturas por encima de 10° C (lluvia, neblina, humedad alta, relleno húmedo, etc.) puede ser suficiente si equivale a mantener un concreto con cemento Tipo I húmedo durante 7 días, un concreto con cemento Tipo II húmedo durante 14 días y un Tipo III húmedo durante 3 días.

Como la velocidad de hidratación se ve afectada por la composición y la finura del cemento, se deberá prolongar el periodo de curado en los concretos hechos con cemento que posean características referentes a desarrollos lentos de resistencia. En el caso de los

concretos masivos (esclusas, estribos, cimentaciones densas, columnas masivas, través de transferencia, y espigones de gran volumen) que no contengan puzolana como parte del material cementante, el curado de los miembros sin refuerzo deberá continuar durante 2 semanas por lo menos. Si el concreto masivo llega a contener alguna puzolana, el tiempo mínimo de curado para las secciones sin esfuerzo deberá extenderse a 3 semanas. Las secciones de concreto masivo fuertemente reforzadas deberán curarse 7 días como mínimo.

Durante el clima frío a menudo se requiere una gran cantidad adicional de calor para mantener favorables las temperaturas de curado de 10° a 21° C. Esto se puede lograr por medio de calentadores de combustión de gas o petróleo, o de serpentines calentadores o de vapor directo. En todos los casos se debe tener precaución para evitar la pérdida de humedad del concreto. Se deberá evitar la exposición del concreto fresco a los gases de salida de calentadores o de motores, porque se pueden producir daños en la superficie y levantamientos de polvos en los pisos de concreto (carbonataciones rápidas).

En los climas fríos se puede usar concreto de alta resistencia a edad temprana a edad temprana para acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia. Con ello es posible reducir el periodo de curado de 3 a 7 días, aunque se tiene que mantener en el concreto a una temperatura mínima de 10° C durante 3 días.

Para obtener una resistencia adecuada contra los descascaramientos provocados por los productos químicos

descongelantes en el concreto, el periodo de curado mínimo deberá corresponder generalmente al tiempo requerido para desarrollar la resistencia al diseño del concreto. Antes de la aplicación de las sales descongelantes deberá transcurrir un periodo de secado al aire. Dicho periodo de secado deberá ser de un mes por lo menos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**CAPÍTULO 9
CONCRETO CON
AIRE INCLUIDO**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El concreto con aire incluido se produce utilizando un cemento inclusor de aire o agregando un agente inclusor de aire que estabiliza las burbujas formadas durante el proceso de mezclado. El agente inclusor de aire mejora la incorporación de burbujas de diversos tamaños disminuyendo la tensión superficial del agua de mezclado.

Los agentes inclusores de aire aniónicos son hidrófobos (repelen el agua) y están cargados eléctricamente. La carga eléctrica negativa es atraída hacia los granos de cemento cargados positivamente, lo que ayuda a estabilizar las burbujas. El agente inclusor de aire forma una fuerte película repelente al agua – similar a una película de jabón – con la resistencia y elasticidad suficiente para encerrar y estabilizar las burbujas de aire y evitar que se fusionen. La película hidrófoba también impide que el agua penetre en las burbujas. La acción revolvedora y amasadora de mezclado mecánico dispersa las burbujas de aire. Las partículas de agregado fino también actúan como una rejilla tridimensional para ayudar a mantener las burbujas en la mezcla.

Las burbujas de aire intencionalmente incluidas son extremadamente pequeñas y tienen un diámetro entre 10 y 1,000 micras., las burbujas están bien distribuidas y no se encuentran interconectadas. El concreto sin inclusión de aire con un tamaño máximo de agregado de 25mm tiene un contenido de aire de aproximadamente 1.5 %. Esta misma mezcla con aire incluido para soportar una exposición

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

severa al congelamiento requeriría un contenido de aire de aproximadamente 6 %.

9.1-PROPIEDADES

Las características de mayor importancia en el concreto donde influye la inclusión de aire, se presentan en las siguientes secciones: La resistencia a la congelación y deshielo del concreto endurecido en condiciones de humedad se ve mejorada significativamente con el empleo de aire incluido intencionalmente aun cuando se encuentren involucrados varios agentes descongelantes.

A medida que se va congelando el agua en el concreto húmedo, produce presiones osmóticas e hidráulicas en los capilares y poros de la pasta de cemento y del agregado. Si la presión sobrepasa la resistencia a tensión de la pasta o agregado, la cavidad se dilata y llegara a romperse. El efecto acumulativo de ciclos sucesivos de congelación- deshielo junto con la fractura de la pasta y del agregado causa eventualmente una expansión y deterioro del concreto considerables. El deterioro es visible en forma de agrietamiento, descascaramiento y desmoronamiento.

Las presiones hidráulicas son causadas por la expansión del 9 % del agua al congelarse, en la cual los cristales de hielo que se van formando, desplazan el agua que no se ha congelado. Si un capilar se encuentra por encima de la saturación crítica (91.7 % lleno de agua), las presiones hidráulicas irán produciendo a medida que progresa la congelación. Con menores contenidos de agua no debe existir presión hidráulica alguna. A saturación crítica, todo espacio

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

vacío del capilar quedara lleno de hielo al congelarse, teóricamente sin desarrollo de presión.

Las presiones osmóticas se desarrollan a partir de concentraciones diferenciales de soluciones de álcalis en la pasta. A medida que se forma el hielo, se crea una solución adyacente de alta concentración de álcalis. La solución de alta concentración de álcalis a través del mecanismo de osmosis, extrae el agua de las soluciones menores de álcali en los poros. Esta transferencia osmótica de agua prosigue hasta que se alcanza el equilibrio de la concentración de álcalis en los fluidos. La presión osmótica se considera un factor de menor importancia, si acaso se encuentra presente, en la acción de congelación del agregado mientras que se considere un factor principal en el "descascaramiento por sal".

Los vacíos de aire incluido actúan como cámaras huecas en la pasta para que penetre el agua que se congela liberando así las presiones anteriormente descritas y evitando que el concreto sufra daños. Con el deshielo, la mayor parte del agua regresa a los capilares debido a la acción capilar y a la presión de aire comprimido en las burbujas. De esta manera, las burbujas quedan listas para proteger el concreto del siguiente ciclo de congelación.

La presión ejercida por el agua a medida que se expande durante la congelación, depende en gran medida de la distancia que el agua debe viajar hacia el vacío más cercano para desahogarse. En consecuencia los vacíos deben quedar espaciados lo suficientemente cerca para que la presión quede por debajo de la que excede la resistencia a tensión del concreto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El espaciamiento y tamaño de los vacíos de aire son factores de importancia que contribuyen a la efectividad de la inclusión de aire en el concreto.

Casi todas las autoridades consideran las siguientes características de los vacíos, como representativas de un sistema con una adecuada resistencia a la congelación-deshielo:

- Factor calculado de espaciamiento, L , (distancia máxima promedio a partir de cualquier punto en la pasta de cemento hasta el borde del vacío más cercano) – menor que 0.20 mm.
- Superficie especificada, a , (superficie de los vacíos) – 24 cm² por cm³ de volumen de vacío de aire, o mayor.
- Numero de vacíos por cada 2.5 cm. Lineales de dimensión transversal, n , - al menos una y media a dos veces mayor que el valor numérico del porcentaje de aire en el concreto.

La resistencia a la congelación-deshielo también aumenta de manera significativa con el uso de un agregado de buena calidad, una relación agua-cemento baja (0.50 o menos), un contenido mínimo de cemento de 335 kg. Por metro cúbico, y con el empleo de técnicas apropiadas de acabado y de curado.

9.2-RESISTENCIA

Cuando el contenido de aire se mantiene constante, la resistencia varía de manera inversa con la relación agua-cemento. A medida que aumenta el contenido de aire, generalmente se puede mantener la resistencia si se conserva constantemente la relación vacío-

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cemento; no obstante, puede ser necesario algún aumento en el contenido de cemento en las mezclas más ricas.

Tanto el concreto con aire incluido como el concreto sin aire incluido pueden ser proporcionados de manera adecuada para suministrar resistencias moderadas similares. Ambos contienen generalmente la misma cantidad de agregado grueso. Cuando el contenido de cemento y el revenimiento se mantiene constante, la inclusión de aire reduce los requisitos de arena y de agua, los concretos con aire incluido pueden tener relaciones agua-cemento que los concretos sin aire lo que a su vez minimiza las reducciones en resistencia acompañan generalmente a la inclusión de aire. Si tiene constante la relación agua-cemento, los aumentos contenido de aire reducirá la resistencia en forma proporcional. Ciertas reducciones en las resistencias pueden ser tolerables en vista de los demás beneficios como la mejora en la trabajabilidad. Las reducciones a la resistencia se vuelven de mayor importancia únicamente las mezclas de alta resistencias. En las mezclas de menor contenido de cemento, generalmente aumenta la resistencia gracias a la inclusión de aire en cantidades adecuadas debido a la disminución en la relación agua-cemento y a la mejora en la trabajabilidad.

9.3-TRABAJABILIDAD

El aire incluido mejora la trabajabilidad del concreto. Es efectivo particularmente en las mezclas pobres (de bajo contenido de cemento) que de otra manera serian ásperas y difíciles de trabajar. Se mejora la trabajabilidad de las mezclas agregando granulares y pobremente graduados. Gracias a la mejora en la trabajabilidad, el

contenido de agua y de cemento se puede reducir de manera muy notoria. El volumen de concreto con aire incluido necesita menos agua que el mismo volumen de concreto sin aire incluido de consistencia y tamaño máximo agregado. El concreto fresco que contiene aire incluido es cohesivo, se ve y se siente trabajable o grasoso, y se le puede manejar y dar acabado.

9.4-MATERIALES INCLUSORES DE AIRE

La inclusión de aire en el concreto se puede lograr agregando un aditivo inclusor de aire en la mezcladora, empleando un cemento inclusor de aire, o mediante la combinación de estos métodos. Sin importar el método empleado, es preciso contar siempre con un control y seguimiento adecuado para asegurar el contenido de aire.

En los trabajos donde no es práctico un control cuidadoso, los cementos inclusores son especialmente útiles para asegurarse que siempre se obtenga una porción importante del contenido de aire requerido. Eliminan la posibilidad de algún error humano o mecánico al agregar el aditivo durante la dosificación. Con los aditivos inclusores de aire el volumen de aire incluido puede ajustarse fácilmente para satisfacer las condiciones del trabajo cambiando la cantidad de aditivo al agregarlo en la mezcladora.

Se pueden esperar variaciones en el contenido de aire de acuerdo con las variaciones en las proporciones de los agregados y la granulometría, tiempo de mezclado, temperatura, y revenimiento. Cuando se usa un aditivo inclusor de aire, el orden al dosificar y mezclar los ingredientes del concreto tienen una influencia muy

importante en cuanto a la cantidad de aire incluido; por lo tanto, para mantener un control adecuado se necesita tener una cierta estabilidad al dosificar.

9.5- FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO DE AIRE

9.5.1- CEMENTO

Dentro del rango normal de los contenidos de cemento, a medida que aumenta el contenido de cemento, el contenido de aire disminuye si se cuenta con una dosificación fija de aditivo inductor de aire por unidad de cemento.

Un aumento en la finura del cemento dará como resultado una disminución en la cantidad de aire incluido.

Los cementos con elevado contenido de álcalis tal vez incluyan más aire que los cementos de bajo contenido de álcalis en la misma cantidad de material inductor de aire.

9.5.2- AGREGADO GRUESO

El tamaño del agregado grueso tiene un efecto pronunciado en el contenido de aire en el concreto, ya sea que este tenga o no aire incluido. Cuando el tamaño del agregado por encima de aproximadamente 38mm (1.5 pulg.), ocurre poca variación en el contenido de aire. Para tamaños de agregados menores, si se tiene una porción constante de dosificación de aditivo, el contenido de aire aumenta severamente a medida que el tamaño del disminuye de 38 mm (1.5 pulg.) debido al mayor aumento en el volumen de mortero.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

9.5.3- AGREGADO FINO

El contenido de agregado fino de una mezcla afecta el porcentaje de aire incluido, el aumento de la cantidad de agregado fino provoca la inclusión de mas aire para una cantidad dada de cemento incluso de aire o aditivo (también se atrapa mas aire en un concreto sin aire incluido).

Los agregados finos procedentes de distintas fuentes pueden incluir diferentes cantidades de aire aun cuando tengan granulometrías idénticas. Esto se puede deber a las diferencias en cuanto a su forma y textura superficial o a la contaminación en pequeñas cantidades de materiales orgánicos.

9.5.4- AGUA DE MEZCLADO

Con el aumento en el agua de mezclado se aprovecha mas agua para la generación de burbujas de aire, de este modo se incrementa el contenido de aire, y además los revenimientos aumentan.

El contenido de aire aumenta con el revenimiento aun cuando se mantenga constante la relación agua-cemento.

El agua de mezclado empleada también puede afectar el contenido de aire. Las aguas contaminadas con algas aumentan el contenido de aire. Las aguas de enjuague fuertemente alcalinas provenientes de los camiones mezcladores también pueden ser causa de problemas. El efecto de la dureza del agua en la mayoría de suministros municipales generalmente es insignificante sin embargo, las aguas muy duras pueden disminuir el contenido de aire en el concreto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

9.5.5- REVENIMIENTO Y VIBRACIÓN

Para una cantidad constante de aditivo inductor de aire, el contenido de aire aumenta a medida que el revenimiento aumenta hasta cerca de 15 a 18 cm y luego comienza a descender con los subsecuentes incrementos en el revenimiento, aun 15 segundos de vibración causaran una considerable reducción en el contenido de aire. Se debe evitar una vibración prolongada en el concreto.

El aire perdido durante el manejo del concreto y su vibración moderada consiste principalmente en burbujas de gran tamaño que son indeseables desde el punto de vista de resistencia y durabilidad. El tamaño promedio de los vacíos de aire se reduce y el factor de espaciamiento de los de los vacíos permanece relativamente constante.

9.5.6- TEMPERATURA DE CONCRETO

La temperatura del concreto influye en el contenido de aire. Si la temperatura del concreto aumenta, se incluye menos aire, particularmente a medida que aumenta el revenimiento. Este efecto es especialmente importante durante los colados en clima cálido que es cuando el concreto puede tener una temperatura elevada. Cuando sea necesario, la disminución en el contenido de aire puede compensarse aumentando la cantidad de aditivo inductor de aire.

9.5.7- EFECTO DE MEZCLADO

El mezclado es uno de los factores más importantes en la producción de aire incluido en el concreto. Una distribución uniforme de los vacíos de aire incluido es esencial para producir un concreto

resistente al descascaramiento, su falta de uniformidad podría ser resultado de una dispersión inadecuada del aire incluido durante el mezclado. En la producción de concreto premezclado, es especialmente importante que se mantenga siempre una mezcla consistente y adecuado.

La cantidad de aire incluido en una mezcla disminuirá apreciablemente si las aspas de la mezcladora se han desgastado o si se permite que el concreto endurecido se acumule en el tambor o en las aspas.

En una mezcladora de gran capacidad, se incluirá poco aire en las revolturas muy pequeñas, sin embargo, el contenido de aire aumentara a medida que se alcance la capacidad de la mezcladora. Para concretos con revenimientos elevados, el contenido de aire aumenta con la agitación continua conforme disminuye el revenimiento hasta cerca de 15 ó 18 cm. La agitación prolongada hará descender aun más el revenimiento y también el contenido de aire. Para revenimientos iniciales menores que 15 cm. tanto el contenido de aire como el revenimiento disminuyen con la agitación continua.

El mezclado o la agitación del concreto prolongados van acompañados por una progresiva reducción en el revenimiento.

9.5.8- TRANSPORTE Y MANEJO

Generalmente se pierde una cierta cantidad de aire, de aproximadamente 1 a 2 puntos porcentuales, durante el transporte del concreto de la mezcladora a la obra. El contenido de aire durante el transporte se ve afectado por diversas variables, incluyendo el tiempo

de transporte, la cantidad de agitación o de vibración durante el transporte, la temperatura, revenimiento, retemplado y los ingredientes del concreto.

9.6 - PRUEBAS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AIRE

A continuación se presentan los métodos para determinar el contenido de aire del concreto fresco:

- Modo de presión (ASTM C 231, Método estándar de prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método de presión) aplicable para el ensaye en el campo de todos los concretos exceptuando a los hechos con agregados ligeros y sumamente porosos.
- Método volumétrico (ASTM C 173, Método estándar de prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método volumétrico) – aplicable para el ensaye en el campo de los concretos y especialmente útil para los concretos hechos con agregados ligeros, y poros Cuando se emplean agregados menores de 5 cm, se deberán remover manualmente y se deberá calcular el efecto de su remoción al llegar al contenido total de aire.
- Método gravimétrico (ASTM C 138, Método estándar de prueba para determinar peso volumétrico, el rendimiento, y el contenido de aire (gravimétrico) del concreto) –requiere del conocimiento exacto de la densidad relativa y de los volúmenes absolutos de los ingredientes del concreto. No es practico para campo pero en el laboratorio se puede emplear satisfactoriamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Indicador de aire Cace (AASHOT T 199, Método estándar de prueba para determinar el contenido del aire del concreto fresco por medio del indicador Cace) es una manera muy simple y económica para verificar el contenido aproximado de aire en un concreto fresco. Se efectúa por medio de un aparato de bolsillo que prueba una muestra de mortero del concreto. Sin embargo, esta prueba no sustituye a los métodos de mayor grado de exactitud como lo son el de presión, volumétrico, y gravimétrico.

9.7-CONTENIDOS DE AIRE RECOMENDADOS

La cantidad de aire que se llega a emplear en el concreto con aire incluido depende de: (1) tipo de estructura, (2) condiciones climáticas, (3) número de ciclos de congelación y deshielo, (4) grado de exposición a los productos descongelantes, y (5) grado de exposición a los sulfatos u otros productos químicos agresivos existentes en el suelo.

En la tabla 9.1 se presentan las cantidades recomendables de aire incluido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tamaño nominal máximo de agregado, mm	Contenido de aire en por ciento		
	Exposición severa	Exposición moderada	Exposición ligera
10	7 1/2	6	4 1/2
12	7	5 1/2	4
19	6	5	3 1/2
25	6	4 1/2	3
38	5 1/2	4 1/2	2 1/2
50t	5	4	2
76t	4 1/2	3 1/2	1 1/2

Tabla 9.1 Contenidos totales de aire recomendados para el concreto.

Las especificaciones de proyecto frecuentemente permiten que el contenido de aire del concreto entregado se encuentre dentro de -1 a $+2$ puntos porcentuales de los valores recomendados en la tabla.

Se considera exposición severa al medio en el cual el concreto queda expuesto a condiciones húmedas de congelación-deshielo, a productos descongelantes o a otros agentes agresivos. La exposición moderada es el medio en el cual el concreto queda expuesto al congelamiento pero sin encontrarse siempre húmedo, ni expuesto al agua durante periodos prolongados antes de que ocurra el congelamiento, y no estará en contacto con productos químicos agresivos ni con descongelantes. La exposición ligera es el medio en el cual el concreto no está expuesto a condiciones de congelación, productos descongelantes o agentes agresivos. Adaptado de las referencias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estos contenidos de aire son aplicables para toda la mezcla, así como para los tamaños de agregados procedentes. Sin embargo, al ensayar estos concretos los agregados mayores de 38mm. (La tolerancia en el contenido de aire al entregarse se refiere a este valor.) El contenido de aire de toda la mezcla se calcula a partir del valor determinado en la fracción inferior a 38mm.

Las mezclas de concreto con relaciones agua-cemento bajas, probablemente no necesitan la misma cantidad de aire incluidos para tener la misma durabilidad como lo requieren los concretos de menor calidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 10

DISEÑO DE MEZCLAS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

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 de transportación. El concreto debe tener ciertas propiedades mínimas especificadas y debe producirse lo mas económicamente posible.

10.1- COSTO

El costo de la fabricación y el colado del concreto esta constituido por el costo de los materiales, el de la planta y el de la mano de obra. El cemento es mas costoso que el agregado, por lo cual se debe de tratar de obtener un diseño de mezcla lo mas pobre posible. Además ciertas ventajas técnicas no solo en el caso del concreto masivo en el que un elevado contenido de cemento produce un calor excesivo, sino también en el concreto estructural en el que una mezcla rica puede causar contracción y agrietamiento.

10.2- ESPECIFICACIONES

Los valores limite pueden cubrir una amplia gama de propiedades; los mas usuales son las siguientes:

Resistencia "mínima" a la compresión necesaria por consideraciones estructurales.

Relación máxima agua / cemento y de contenido máximo de cemento y, en ciertas condiciones de exposición, un contenido mínimo de aire incluido para proporcionar la durabilidad adecuada.

Contenido máximo de cemento para evitar el agrietamiento debido a ciclos de temperatura en concreto masivo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Contenido máximo de cemento para evitar el agrietamiento por contracción en condiciones de exposición de muy poca humedad. Densidad mínima para presas de gravedad y estructuras similares. Los requisitos deben satisfacerse en los cálculos de mezcla y forman la base para la selección y dosificación de los componentes de la mezcla.

Debe explicarse que no es posible realizar un diseño en el sentido estricto de la palabra: los materiales son variables y muchas de sus propiedades no pueden evaluarse de manera cuantitativa, por lo tanto, para poder obtener una mezcla satisfactoria no solo tenemos que calcular las proporciones de los materiales disponibles, sino que también tengamos que hacer mezclas de prueba. Además una mezcla hecha en laboratorio no proporciona la respuesta final, solo una mezcla hecha en obra puede garantizar que todas las propiedades del concreto son satisfactorias en cada detalle relacionado con la obra particular de que se trate. Otros factores como el manejo, transporte, demoras en el colado y las condiciones del clima también pueden influir en las propiedades del concreto en la obra pero estas no necesitan mas que ajustes menores en las proporciones de la mezcla durante el progreso de la obra.

Debemos tratar de determinar el proporcionamiento de la mezcla de concreto más económica, que sea satisfactoria tanto en estado fresco como endurecida.

10.2.1- RESISTENCIA MEDIA

Básicamente, la resistencia media a la compresión requerida a una edad especificada, normalmente a los 28 días, determina la relación

nominal agua/cemento de la mezcla. Cuando se emplea un solo lote de cemento en toda la obra es posible aprovechar la resistencia real del cemento dado, es decir, emplear una relación experimental entre la resistencia y la relación agua / cemento.

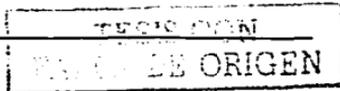
10.2.2- RESISTENCIA MÍNIMA

El diseño estructural se basa en la suposición de cierta resistencia mínima del concreto, pero la resistencia real del concreto producido, ya sea en la obra o en el laboratorio es de magnitud variable. Al diseñar una mezcla de concreto debemos procurar una resistencia media mas elevada que la mínima.

A partir del conocimiento de la probabilidad de que un espécimen tenga una resistencia que difiera de la media de una cantidad dada, podemos definir la resistencia mínima de determinada mezcla. No puede especificarse un mínimo absoluto, pues desde el punto de vista estadístico siempre existe cierta probabilidad de que el resultado de una prueba se localice por debajo del mínimo, independientemente de lo bajo que este se haya fijado. Es usual definir el mínimo como una valor que debe excederse por una proporción determinada de todos los resultados de las pruebas, por lo general del 95 al 99%.

10.2.3- CONTROL DE CALIDAD

Significa el control de las variación de las propiedades de los componentes de la mezcla, así como el control de la precisión de todas las operaciones que afectan la resistencia o consistencia del concreto: dosificación, mezclado, colado, curado y pruebas. En una



obra grande es posible eliminar en gran parte la variación en la resistencia del cemento, si este se obtiene de una sola fuente. La influencia de la variación en la granulometría del agregado es particularmente importante cuando la mezcla esta controlada por requisitos de trabajabilidad. Las variaciones en la resistencia del concreto surgen también de mezclas inadecuadas, insuficiente compactación, curado irregular y variación en los procedimientos de prueba. Estos factores son obviamente los que debemos de controlar en la obra. Los cambios de contenido de humedad del agregado también afecta seriamente la resistencia del concreto, a menos que estén debidamente compensados por la cantidad de agua añadida. El control de calidad se toma a veces como sinónimo de producción de concreto de alta resistencia, pero esto no es cierto, ya que el concreto de baja resistencia puede fabricarse bajo un buen control. El grado de control se evalúa a partir de la variación en los resultados de las pruebas, para ello se utilizan diversas técnicas estadísticas.

10.2.4- DURABILIDAD

El concreto de resistencia razonable, correctamente colado, es durable en condiciones ordinarias, pero cuando no es necesaria una resistencia elevada y las condiciones de exposición son tales que es vital una gran durabilidad, es el requisito de durabilidad el que determina la relación agua / cemento que debe usarse. Se dice que la relación agua cemento es el factor que determina la permeabilidad de la pasta del cemento, y por lo tanto, la del concreto. La resistencia no es un medio para asegurar la durabilidad, porque no solo

depende de la relación agua / cemento, sino también de las características del cemento. La resistencia, el tipo de cemento y la durabilidad determinan la relación agua / cemento, la cual es una de las cantidades esenciales en el proporcionamiento de la mezcla. Lo que es importante es que esta relación se establezca antes de iniciar el diseño estructural, cuando esta relación es inferior a la exigida por consideraciones estructurales, puede aprovecharse el empleo de un concreto de grado mas elevado en los cálculos de diseño.

En la tabla 9.6 se proporcionan algunos valores recomendables de relación agua / cemento máxima para diferentes condiciones de exposición, según la norma ACI 211.1.

10.2.5- TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad que se considera conveniente depende de dos factores: el primero es el tamaño de la sección que va a colarse y la cantidad y espaciamiento del acero de refuerzo, el segundo es el método de compactación a emplear. Puesto que las características de la estructura se definen durante el diseño, el ingeniero que diseña la mezcla se enfrenta a requisitos fijos y tiene pocas posibilidades de elección. Sin embargo, cuando no se tienen dichas limitaciones, la trabajabilidad puede definirse dentro de límites bastante amplios: en la tabla 9.4 se proporciona la trabajabilidad en diferentes tipos de construcción.

10.2.6- TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO

El tamaño máximo del agregado que puede emplearse esta regido por el ancho de la sección y por la separación de las barras de refuerzo. Generalmente se ha considerado conveniente el utilizar el

tamaño máximo del agregado posible. Pero la mejora de las propiedades del concreto con el incremento del tamaño del agregado, no supera los 40 mm, de modo que el empleo de tamaños mayores puede no ser ventajoso.

La elección del tamaño máximo también puede regirse por la disponibilidad del material y su costo.

10.2.7- GRANULOMETRÍA Y TIPO DE AGREGADO

No existe una granulometría ideal y puede hacerse un concreto excelente con una amplia gama de granulometrías de agregado.

La granulometría influye en las proporciones de la mezcla para lograr una trabajabilidad y relación agua / cemento determinadas.

La influencia del tipo de agregado también debe tomarse en cuenta porque la textura de la superficie, la forma y las propiedades asociadas afectan la relación agregado / cemento para lograr una trabajabilidad deseada y una relación agua/cemento determinadas. Para lograr un buen concreto es esencial conocer el tipo de agregado disponible desde el primer momento.

Es conveniente dosificar los materiales disponibles, de manera que la granulometría del agregado combinado sea similar a una de las curvas de la Figura 2.2.

10.3. PROPORCIONAMIENTO

Los métodos de proporcionamiento han evolucionado desde el arbitrario método volumétrico de principios de siglo hasta los métodos actuales de peso y de volumen absoluto. Los métodos de

proporcionamiento por peso son muy simples y rápidos para estimar las proporciones de las mezclas, utilizando un peso supuesto o conocido del concreto por unidad de volumen. Un método mas exacto, el de volumen absoluto, involucra el uso de los valores de la densidad de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada ingrediente ocupara en la unidad de volumen de concreto.

10.3.1- PROPORCIONAMIENTO A PARTIR DE DATOS DE CAMPO

Cualquier diseño que se encuentre en uso o que haya sido usado previamente, se podrá emplear en un nuevo proyecto, si los datos de resistencia y las desviaciones estándar demuestran que las mezclas son aceptables. Los datos estadísticos deberán representar a los mismos materiales, proporciones y condiciones de colado que serán empleados en el nuevo proyecto. Los datos deberán representar por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen al menos 30 ensayos (un ensayo es la resistencia promedio de dos cilindros tomados de una misma muestra).

Si solo se dispone de 15 a 29 ensayos consecutivos, se puede obtener una desviación estándar ajustada, multiplicando la desviación estándar (S) por los 15 a 29 ensayos y por un factor de modificación tomado de acuerdo con lo siguiente:

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar
Menos de:	
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 ó más	1.00

Para que las proporciones del concreto se consideren aceptables, la resistencia a compresión promedio del registro de pruebas, deberá igualar o rebasar la resistencia a compresión promedio requerida por el ACI 318 F'_{cr} . El valor de F'_{cr} para las proporciones elegidas de la mezcla será igual al mayor de las ecuaciones 10.1 y 10.2.

$$F'_{cr} = F'_{c} + 1.34 S \quad (10.1)$$

$$F'_{cr} = F'_{c} + 2.33 S - 35 \quad (10.2)$$

Donde:

F'_{cr} = Resistencia a compresión promedio del concreto requerida como base para la selección de las proporciones del concreto, kg/cm².

F'_{c} = Resistencia mínima a compresión especificada.

S = Desviación estándar

La desviación estándar de los ensayos de resistencia de una mezcla de concreto con al menos 30 ensayos consecutivos se puede determinar como sigue:

$$S = (\sum(X_i - \bar{X})^2 + (n - 1))^{1/2}$$

Donde:

S = desviación estándar, kg/cm²

X_i = ensaye individual de resistencia (resistencia promedio de dos cilindros a 28 días).

X = promedio de n resultados de ensayos de resistencia.

N = número de ensayos de resistencia consecutivos.

Si se hace uso de dos registros para obtener al menos 30 ensayos, la desviación estándar deberá ser el promedio estadístico de los valores calculado de cada registro de ensayos de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$S = \left[\frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]^{1/2}$$

donde:

S = desviación promedio estadística donde dos registros de ensayo se utilizan para estimar la desviación estándar.

S_1, S_2 = desviaciones estándar calculadas a partir de dos registros de ensayos, 1 y 2, respectivamente.

n_1, n_2 = número de ensayos en los registros de ensayos 1 y 2, respectivamente.

Si se dispone de 30 pero no menos de 10 ensayos, los ensayos podrán usarse como documentación de resistencias promedio si el periodo de tiempo no es inferior a 45 días. Las proporciones de las mezclas también se pueden establecer interpolando entre dos o más

registros de ensayos si cada uno de ellos cubre los requisitos anteriores así como los requisitos del proyecto. Si existe una diferencia importante entre las mezclas que se estén usando en la interpolación se deberá considerar la elaboración de una mezcla de prueba para revisar el incremento de la resistencia.

Si la resistencia promedio de las mezclas con datos estadísticos inferiores a f'_{cr} , o si los datos estadísticos o los registros de ensayos son insuficientes o no se encuentran disponibles, la mezcla debela ser proporcionada por el método de mezclas de prueba. La mezcla aceptada deberá tener una resistencia a la compresión que satisfaga o rebase a f'_{cr} . Se deberán probar tres mezclas de prueba, usando tres relaciones agua / cemento distintas, o tres diferentes contenidos de cemento. Entonces se puede graficar una curva de relación agua / cemento contra resistencia y las proporciones se pueden interpolar a partir de los datos.

10.3.2- PROPORCIONAMIENTO POR MEZCLAS DE PRUEBA

Cuando no se disponen de registros de campo, o cuando estos son insuficientes para elaborar un proporcionamiento con los métodos de experiencia de campo, las proporciones elegidas para el concreto deberán estar basadas en las mezclas de prueba. Las mezclas de prueba deberán utilizar los mismos materiales propuestos para la obra.

Se deberán elaborar tres mezclas con tres distintas relaciones agua-cemento o contenidos de cemento para producir un rango de resistencias que se encuentren cercanas a f'_{cr} . Las mezclas de prueba deberán tener un revenimiento y un contenido de aire dentro

de 2 cm y 0.5% respectivamente del máximo permitido. Se elaboraran tres cilindros por relación agua / cemento, mismos que se curaran y a la edad de ensaye designada se determinara la resistencia a compresión del concreto ensayando los cilindros a compresión. Los resultados se grafican para producir una curva de resistencia contra relación agua / cemento, que se utilizan para obtener el proporcionamiento de una mezcla.

Se deberán seleccionar primero los siguientes parámetros: resistencia requerida, contenido de cemento mínimo o relación agua / cemento máxima, tamaño máximo de agregado, contenido de aire y revenimiento. Entonces se elaboran las mezclas de prueba variando las cantidades relativas de agregado fino y grueso, así como otros ingredientes.

Cuando la calidad de la mezcla ha sido especificada por la relación agua / cemento, el procedimiento de mezclas de prueba consiste esencialmente en combinar una pasta (agua, cemento y un aditivo), de proporciones correctas con las cantidades necesarias de agregado fino y grueso para producir el revenimiento y la trabajabilidad requeridos.

Se deberá usar muestras representativas de cemento, agua, agregados y aditivos. Para simplificar los cálculos y eliminar errores causados por las variaciones en los contenidos de humedad de los agregados deberán ser humedecidos y luego secados hasta una condición saturada y superficialmente seca y colocarlos en recipientes cubiertos para conservarlos en estas condiciones hasta el momento de ser utilizados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El tamaño de la mezcla de prueba dependerá del equipo disponible y del número y tamaño de los especímenes a fabricar.

10.3.3- MEDICIONES Y CÁLCULOS

Las pruebas de revenimiento, contenido de aire y temperatura deberán efectuarse en las mezclas de prueba, y también deberán desarrollarse las siguientes mediciones y cálculos:

10.3.3-1. PESO VOLUMÉTRICO Y RENDIMIENTO.

El peso volumétrico del concreto se expresa en kilogramos por metro cúbico. El rendimiento es el volumen de concreto fresco producido en una mezcla, y normalmente está expresado en metros cúbicos. El rendimiento se calcula dividiendo el peso total de los materiales dosificados entre el peso volumétrico del concreto.

10.3.3.2- VOLUMEN ABSOLUTO.

El volumen del concreto es igual a la suma de los volúmenes absolutos del cemento, agua, agregados, aditivos y aire. El volumen absoluto se calcula a partir del peso y del peso específico del material de la manera siguiente:

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Peso específico del material}}$$

Se puede usar el valor de 3150 kg/m³ para el peso específico del cemento Portland. El peso específico del agua es igual a 1000 kg/m³. El peso específico de los agregados de peso normal varía

entre 2400 y 2900 kg/m³. El volumen absoluto del aire dentro del concreto, es igual al porcentaje del contenido de aire dividido entre 100 y multiplicado por el volumen de la mezcla de concreto.

10.3.4- COMBINACIÓN DE AGREGADOS PARA OBTENER UNA GRANULOMETRÍA TIPO

Aunque no existen granulometrías ideales es conveniente dosificar los materiales disponibles, de manera que la granulometría del agregado combinado sea similar a una de las curvas tipo de la figura 2.2. Esto puede hacerse mediante cálculos o gráficamente.

Supongamos que las granulometrías del agregado fino y de las dos secciones del tamaño grueso son las que aparecen en la tabla 9.4, y que vamos a combinar los materiales para aproximarlos a la granulometría mas gruesa de la figura 2.2 (curva 1).

Tabla 9.4 Ejemplo de la combinación de agregados para obtener una granulometría tipo

Tamaño del tamiz	Porcentaje acumulado que pasa por:							Granulometría del agregado combinado
	Agregado fino	3/4" - 3/16"	1 1/2" - 3/4"	(1) x 1	(2) x 0.94	(3) x 2.59	(4) + (5) + (6)	
Fig. o No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1 1/2	100	100	100	100	94	259	453	100
3/4	100	99	13	100	93	34	227	50
3/8	100	33	9	100	31	21	152	34
3/16	99	5	2	99	5	5	109	24
5	75	0	0	75	0	0	75	17
16	58			58			58	13
30	4			40			40	9
50	12			12			12	3
100	2			2			2	1/2

En esta curva el 24% del total pasa por la malla 3/16" y el 50% pasa por la malla 3/4".

Dejemos que x, y, z sean las proporciones de agregados finos de 3/4" - 3/16" y 1 1/2" - 3/4". Entonces, para satisfacer la condición de

que el 50% del agregado combinado pase por la malla de 19.0 mm tenemos:

$$1.0 + 0.99y + 0.13z = 0.5(x + y + z)$$

La condición de que el 24% del agregado combinado pase por la criba de 3/16" puede expresarse como:

$$0.99x + 0.05y + 0.02z = 0.24(x + y + z)$$

De estas dos ecuaciones se deduce:

$$x:y:z = 1:0.94:2.59$$

Es decir los tres agregados se combinan en proporciones de:

$$1:0.94:2.59$$

Para encontrar la granulometría del agregado combinado se multiplican las columnas (1), (2) y (3) de la tabla 10.12 por 1, 0.94 y 2.59 respectivamente; los productos se muestran en las columnas (4), (5) y (6). Ahora, sumamos estas tres columnas (columna 7) y dividimos la suma por $1 + 0.94 + 2.59 = 4.53$. El resultado, que aparece en la columna (8) es la granulometría del agregado combinado. Se da la granulometría al porcentaje mas cercano, ya que debido a la variabilidad de los materiales cualquier precisión aparente mas elevado no tiene significado alguno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**10.3.5- EJEMPLOS DE PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS
POR EL METODO DEL ACI 211:****EJEMPLO 1****Características de los materiales****Concreto a diseñar** $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Edad 28 días

Sin aditivo

Elemento: columna

Cemento

Densidad o peso específico 3.10

peso volumétrico suelto 1300 Kg/m³.**Grava**

Densidad o peso específico 2.60

Peso volumétrico compactado 1600 kg/m³Peso volumétrico suelto 1450 KG/m³

Tamaño máximo nominal de agregado (T.M.N.A.) 3/4"

Humedad 0.00%

Absorción 1%

Contaminación 4%

Arena

Densidad o peso específico 2.4

Peso volumétrico suelto 1300 kg / m³**TPSIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Modulo de finura 2.8

Humedad 3%

Absorción 2%

Contaminación 6%

Secuencia de proporcionamiento.-

Se elige el revenimiento.- El revenimiento estará en función de tipo de elemento, y se debe manejar el valor mínimo posible que sea practico para su colocación. Cuando no se especifica el revenimiento, se podrá seleccionar un valor apropiado para la obra, de acuerdo a los que aparecen en la siguiente tabla:

Tipos de construcción	Revenimiento, en cm	
	Máximo *	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados.	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5

* El revenimiento se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos, se deben tener en cuenta que el concreto tratado con aditivo tienen una relación agua-cemento o agua-materiales cementantes igual o menor sin que potencialmente tenga segregación o sangrado excesivo. Se puede incrementar en 2.5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

Se elige la cantidad de agua y el contenido de aire.- tendrá que utilizar el T.M.N.A. (mayor), que permita el elemento construir, para elegirlo se considera algunos de los siguientes puntos, sin que en ningún momento exceda:

- a) 1.- $1/5$ de la menor dimensión entre los lados de las cimbras.
- b) 2.- $3/4$ del espaciamiento libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo, paquetes de varillas, o torones de pretensado.
- c) 3.- $1/3$ de peralte de las losas

En este caso será de $3/4$ "

Se elige la cantidad de agua y el contenido de aire.- La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, se utilizará la menor cantidad posible de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 9.6 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.

Revenimiento, cm	Agua, Kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo, mm indicado.							
	9.5 *	12.5 *	19 *	25 *	38 *	50 *	75 +**	150 +**
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado +--- de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición.								
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5 #*	1.0 #*
Exposición moderada	5.0	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5 #a	3.0 #a
Exposición severa	7.5	7	5	6	5.5	5	4.5 #a	4.0 #a

* Las cantidades de agua de mezclado dadas para concretos con aire incluido están basadas en los requerimientos típicos totales de contenido de aire que se consignan en la tabla precedente como "exposición moderada". Estas cantidades de agua de mezclado son para usarse en el cálculo del contenido de cemento para mezclas de prueba a una temperatura de 20 a 25 °C. Son cantidades máximas para agregados gruesos, angulosos, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites aceptados por las especificaciones. Los agregados redondeados pueden requerir 20 lts/m³ menos para concretos con aire incluido. El empleo de aditivos químicos reductores de agua, que cumplen ASTM C 494, pueden también reducir el agua de mezclado en un 5% o más.

El volumen de aditivos líquidos se debe de incluir como parte del volumen total de agua de mezclado. Los valores de revenimiento mayores de 18 cm, se obtienen únicamente mediante el empleo de aditivos químicos reductores

de agua, éstos son para concretos con agregados cuyo tamaño máximo nominal no es mayor que 25 mm.

+Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento, después de quitar las partículas mayores de 40 mm, mediante cribado, húmedo.

++Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento para mezclas de prueba, cuando se utilizan agregados de tamaño máximo nominal de 70 o 150 mm. Son promedios para agregados gruesos razonablemente bien formados y con buena granulometría de grueso a fino .

+++En varios documentos del ACI aparecen recomendaciones adicionales con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias de contenido de aire para control en el campo. Entre estos documentos están: ACI 201, 345, 318, 301 y 302. La norma ASTM C 94 para concretos premezclados también proporciona los límites de contenido de aire. Los requerimientos que aparecen en otros documentos no siempre pueden concordar exactamente, por lo que al proporcionar concreto se debe prestar atención a la selección de un contenido de aire que se ajuste a las necesidades de la obra, así como a las especificaciones aplicables.

#Para concretos que contienen agregados grandes que serán tamizados en húmedo a través de una malla de 1 1/2 pulgadas antes de someterse a la prueba de contenido de aire, esperado en el material de tamaño inferior a 40 mm debe ser como el tabulado en la columna de 40 mm. Sin embargo, los cálculos iniciales de proporción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje total.

a Cuando se emplea agregado grande en concretos con bajo factor de cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos el requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente como para mejorar la relación agua-cemento y, de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con inclusión de

aire. Generalmente, sin embargo, para dichos tamaños máximos grandes de agregados los contenidos de aire recomendados en caso de exposición severa se debe considerar, aunque pueda haber poca o ninguna exposición a la humedad o al congelamiento.

aa Estos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9% de aire en la fase de mortero del concreto. si el volumen del mortero va ser sustancialmente diferente del determinado en esta obra, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomado por 9 % del volumen real del mortero.

Selección de la relación agua-cemento a/c.- La relación agua cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como durabilidad, para condiciones de exposición severas la relación agua cemento se debe mantener baja, aun cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con valores mayores. Cuando no se especifica esta relación se toma el valor de la siguiente tabla:

Tabla 9.7 Correspondencia entre la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes la resistencia a la compresión del concreto.		
Resistencia a la compresión a los 28 días $\leq \text{kg/cm}^2$	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Los valores son estimados para resistencias promedio de concretos que contengan normas del 2% para concretos sin aire incluido y 6% de contenido de aire total para concretos con aire incluido. Para una relación constante agua-cemento o agua-materiales cementantes, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido

de aire. Los valores de resistencia a 28 días pueden ser conservadores pero cambiar cuando se emplean varios materiales cementantes, también puede cambiar el porcentaje de desarrollo de resistencia a 28 días.

La relación supone un tamaño máximo de agregado de 3/4 a 1" (19 a 25 mm); para un banco de agregados dando la resistencia producida por una relación agua-cemento o agua-materiales cementantes dada se incrementaría conforme se reduzca el tamaño máximo de agregado.

Se recomienda de preferencia elaborar el concreto con una resistencia mayor denominada resistencia promedio (fcr, ACI 214, para mayor referencia y explicación), todo esto con base en la variabilidad de producción del concreto, considerando su desviación Standard y coeficiente de variación.

Como valor base inicial y practico se puede tomar de 30 A 70 kg/cm² adicional a la f_c especificada esto al inicio de la obra (sobre todo cuando se tienen datos de obra previamente), a medida que se van teniendo resultados de cilindros a la comprensión, se puede ir ajustando el proporcionamiento.

Considerar el aspecto estadístico especificado en cada proyecto:

$$f_{cr} = f_c + 1.34S \quad f_{cr} = f_c + 2.33S - 35$$

Cuando no se tienen valores previos el valor adicional puede ser de 70 a 100 kg/cm²

Calculo de cemento requerido.- Se calculo de la cantidad de agua entre la relación agua-cemento.

200lts/0.57 = 350 kg de cemento (para fines prácticos se consideró un consumo de agua de 200 l). como una regla practica, se

reconoce que para una resistencia a la comprensión especificada, el consumo de cemento serian promedio 100 kg mas de lo indicado en resistencia. En valores comprendidos entre 100 a 300 kg/cm², a 28 días y empleando agregados considerados aceptables en calidad y sin uso de aditivos.

En la medida de lo posible siempre se deberá utilizar aditivo con el fin de optimizar el uso del concreto.

Calculo del agregado grueso, grava.- Los agregados con tamaño máximo nominal y granulometría esencialmente iguales producen concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto, con base en varillado en seco.

Se multiplica el volumen encontrado en la tabla 9.8 por el peso volumétrico compacto de la grava.

Tabla 9.8 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto				
T.M.N.A. (mm)	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena*			
	2.4	2.6	2.8	3.0
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76

Los volúmenes se basan en agregados en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma ASTM C29.

*Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con trabajabilidad adecuada a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto se pueden incrementar en un 10% aproximadamente.

+Para concretos más trabajables, vease la ASTM método 136 para el cálculo del módulo de finura.

Volumen de agregado por peso volumétrico: $062 \times 1600 = 992 \text{ kg}$.

Calculo del agregado fino, arena.- Al término del sexto paso se han todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia. En este caso el volumen total desplazado por los componentes conocidos, agua, aire, cemento y agregado grueso, se resta al volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino.

El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su peso dividido entre su densidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Material	Kg / m ³	Densidad	Lt
Cemento	350	3.1	113
Agua	200	1.0	200
Grava	992	2.6	382
Aire (tabla 2)	2%		20
			715
Arena	684	2.4	285
Totales	2,226		1,000

Se verifica la relación agua/cemento, dividiendo la cantidad en kilogramos de agua entre cemento.

$$\text{Agua/cemento } 200/350 = 0.57$$

Grava + arena 1676 kg

$$\text{Grava/arena } \quad 992/1676=0.59 \quad (\text{grava}) \quad 684/1676=0.41$$

(arena) 59/41

Normalmente la relación grava arena esta comprendida entre 50/50 y 62/38.

Se entiende que rangos de 50/50 ó menos son utilizados principalmente en concretos bombeables, y se recomienda en la medida de lo posible emplear la mayor cantidad de grava.

En la producción diaria es necesario realizar los ajustes por la variabilidad en la humedad de los agregados y del contenido de arena en la grava y viceversa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Corrección por contaminación									
Material	Consumo original kg/m ³	Grava			Arena			Material	Consumo corregido kg/m ³
		%	Grava	Arena	%	Grava	Arena		
Arena	4	+ 41.3			94	- 41.3			
Grava	96		- 43.7		6	+ 43.7			
Pesos corregidos			990			686			1676

$$684 \times 6/94 = 43.7$$

$$992 \times 4/96 = 41.3$$

Corrección por humedad						
Material	Consumo original kg/m ³	Humedad		Absorción		Consumo corregido kg/m ³
		%	kg	%	kg	
Cemento	350					350
Arena	686	3	+20.6	2	- 13.7	693
Grava	990			1	- 9.9	980
Agua	200		- 20.6		+ 23.6	203
Suma	2226					

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EJEMPLO 2

Se requiere un concreto para una losa de concreto en autopista que quedará expuesta a poca humedad en un clima que tiene exposición baja a congelación y deshielo, sin estar sujeta a productos descongelantes.

Se requiere una resistencia de 350 kg/cm^2 a la compresión promedio aproximada a los 28 días de edad. Usando un cemento Portland CPO 30.

El peralte de la losa es de 30 cm y el diseño requiere pasajuntas a cada 5 metros.

Se permite el uso de aditivo incluso de aire para mejorar la trabajabilidad y aditivo reductor de agua y retardante (Tipo D de acuerdo a la Norma C-494).

El rango permitido de inclusion de aire de 2 a 4% y el revenimiento de 3 a 6 cm al llegar a la obra.

Los materiales con que se disponen son los siguientes:

Cemento CPO 30

Grava 1 (3/4" triturada)

Peso Especifico 2.65 kg/m^3

Absorción: 2.5 %

P.V.S.C.: 1675 kg/m^3

Humedad: 0 %

Contaminación sobretamaño: 6.0 %

Contaminación infratamaño menor a malla 4 : 3.0 %

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Grava 2 (1 ½" triturada)

Peso Específico 2.62 kg/m³

Absorción: 1.9 %

P.V.S.C.: 1675 kg/m³

Humedad: 0 %

Contaminación infratamaño menor a ¾": 15.0 %

Arena de mina

Peso Específico 2.47 kg/m³

Absorción: 4.0 %

Módulo de finura: 3.5

Contaminación sobretamaño mayor a malla 4: 12.0 %

Humedad: 3.4 %

Arena de trituración

Peso Específico 2.70 kg/m³

Absorción: 2.9 %

Módulo de finura: 2.37

Contaminación sobretamaño mayor a malla 4: 1.0 %

Humedad: 2.2 %

Aditivo inclusor de aire

Proporción recomendada: 0.4 c.c./kg de cemento

Aditivo reductor de agua y retardante

Proporción recomendada: 3.0 c.c./kg de cemento

TRISIS CON
FALLA DE ORIGEN

Otras consideraciones:

Se requiere usar una mezcla de grava 1 y grava 2 en proporción 55-45 %.

Se requiere usar una mezcla de arena de mina y arena de trituration en proporción 60-40 %.

Cálculos por el método de proporcionamiento del ACI-211.1

1. Revenimiento: de 3 a 6 cm.
2. T.M.N.A.: 1 ½"
3. Agua de mezclado y contenido de aire: De la tabla 9.6 con revenimiento de producción en planta de 7.5 a 10 cm, obtenemos 165 litros de agua. Pero tomando en cuenta que la utilización del aditivo reductor de agua nos reduce un 10%, nos queda 149 litros, es decir son 16 litros de agua menos al utilizar este aditivo. Y para el caso de aire incluido tenemos un valor del 2.5 %.
4. Relación agua/cemento: de la tabla 9.7 para una resistencia a la compresión promedio de 350 kg/cm² a los 28 días de edad se tiene un valor de 0.48.
5. Contenido de cemento:
Agua/cemento = 0.48 = 149/0.48
Cemento = 310 kg

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6. Contenido de grava:

55% de grava 1 y 45% de grava 2

P.V.S.C. Grava 1 = 1675 kg/m^3

P.V.S.C. Grava 2 = 1664 kg/m^3

$1675(0.55) + 1664(0.45) = 921 + 749 = 1670 \text{ kg/m}^3$

Arena de mina:

Módulo de finura: 3.5 mezclada en un 60%

Arena de trituración:

Módulo de finura: 2.37 mezclada en un 40%

$3.5(0.60) + 2.37(0.40) = 2.1 + 0.95 = 3.05$

Por lo tanto con un módulo de finura de 3 y un tamaño máximo del agregado de $1 \frac{1}{2}$ " de la tabla 9.8 se tiene que el volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto es de 0.69.

Peso de la grava = $0.69 \times \text{P.V.S.C. de la grava}$

Peso de la grava = $0.69 \times 1670 = 1152 \text{ kg/m}^3$

Así también se tiene:

Peso específico de la grava 1 = 2.65

Peso específico de la grava 2 = 2.62

$2.65(0.55) + 2.62(.45) = 2.64$

Peso específico de la arena de mina = 2.47

Peso específico de la arena de trituración = 2.70

$2.47(0.60) + 2.7(.40) = 2.56$

RECIBO CON
FALLA DE ORIGEN

7. Cálculo de la arena:

Material	Kg/m ³	P. E.	Volúmen (lt)
Cemento	310	3.1	100
agua	149	1	149
aire			25
grava	1152	2.64	436
			710
arena	741	2.56	290
	2352		1000

$$A/C = 0.48;$$

$$\text{Grava/ Arena} = 61/39$$

Aditivos:

310 kg/m³ de cemento x 0.40 c.c. = 124 c.c. de inductor de aire

310 kg/m³ de cemento x 3.0 c.c. = 930 c.c. de retardante y reductor/inductor de aire

8. Ajuste de la contaminación e humedad.
9. Ajuste en la mezcla de prueba.
10. Mezcla final.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 11
DOSIFICACIÓN, MEZCLADO Y
TRANSPORTE DEL CONCRETO

TFIS CON
FALLA DE ORIGEN

11.1- DOSIFICACIÓN

La dosificación es el proceso de pesar o medir volumetricamente e introducir al mezclador los ingredientes para una mezcla de concreto.

Para producir concretos de calidad uniforme, los ingredientes deberán medirse con precisión en cada mezcla. La mayoría de especificaciones requiere que la dosificación se efectúe por peso en vez de hacerlo por volumen debido a las imprecisiones al medir por volumen al agregado (especialmente la arena húmeda). El empleo de un sistema de dosificación por peso suministra una mayor exactitud y simplicidad y evita el problema creado por el abundamiento de la arena húmeda. El agua y los aditivos líquidos se pueden medir por volumen o por peso correctamente.

Las especificaciones generalmente exigen que los materiales se midan con los siguientes porcentajes de precisión: cemento 1%, agregados 2 % agua 1%, y aditivos 3%.

Periódicamente se deberá revisar la exactitud del equipo de medición mismo que deberá ser ajustado cuando sea necesario.

Los surtidores de aditivo se deberán revisar diariamente pues los errores al dosificar los aditivos, particularmente las sobredosificaciones pueden llegar a provocar problemas muy serios en el concreto, ya sea en estado fresco o en estado endurecido.

11.2 – MEZCLADO DEL CONCRETO

Todo concreto debe ser mezclado completamente hasta que sea uniforme en apariencia, con todos sus ingredientes distribuidos equitativamente. Los mezcladores no deben ser cargados por

encima de sus capacidades evaluadas y deberán ser operados aproximadamente a la misma velocidad para la cual fueron diseñados.

Si las aspas del mezclador se han desgastado o se han recubierto de concreto endurecido, la acción de mezclado será menos eficiente. Si el concreto ha sido mezclado adecuadamente las mezclas que se tomen de distintas porciones tendrán los mismos pesos volumétricos, contenidos de aire, revenimientos y contenidos de agregado grueso.

11.2.1 – CONCRETO PREMEZCLADO

El concreto premezclado se dosifica y se mezcla fuera del sitio del proyecto y se entrega en el área de construcción en estado fresco y sin endurecer.

- El concreto de mezclado central se mezcla en un mezclador estacionario y se entrega ya sea con un camión agitador, con un camión mezclador operando a velocidad de agitación, o con un camión especial no agitador.
- El concreto de mezcla iniciada en planta fija y terminada en tránsito se mezcla parcialmente en un mezclador estacionario y se acaba de mezclar en un camión mezclador.
- El concreto mezclado en camión se mezcla totalmente en un camión mezclador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

11.3 – TRANSPORTE Y MANEJO DEL CONCRETO

Una planeación anticipada puede ayudar en la elección del método más adecuado evitando así en lo mayor posible la ocurrencia de problemas.

La planeación deberá tener en consideración tres eventos que podrían afectar seriamente la calidad del trabajo terminado:

- Retrasos. Se logrará una productividad máxima si se planea el trabajo para aprovechar al máximo al personal y equipo y si se elige el equipo de manera que se reduzca el tiempo de retraso durante la colocación del concreto.
- Endurecimiento temprano y secado. El concreto comienza a endurecer en el momento en que se mezclan el cemento con el agua pero el grado de endurecimiento que ocurre durante los primeros treinta minutos normalmente no presenta problemas; por lo general, el concreto que se haya mantenido en agitación se puede colocar y compactar dentro de la primera hora y media posterior al mezclado.
- Segregación. Los métodos y equipos que lleguen a usarse para transportar y manejar no deberán ser causa de segregación.

A continuación se enumeran los diferentes métodos y equipos comunes para mover el concreto hasta el punto de su colocación.

- Bandas transportadoras.

Para transportar horizontalmente concreto a un nivel mayor o menor. Normalmente se emplean entre un punto de descarga principal y un punto de descarga secundario. Las bandas transportadoras tienen alcance ajustable, desviador viajero y

velocidad variable ya sea hacia adelante o hacia atrás. Pueden colocar grandes volúmenes de concreto cuando el acceso esta limitado.

- Cucharones.

Empleados junto con grúas, cablevías o helicópteros para la construcción de edificios o presas. Transportan concreto desde el punto central de descarga hasta la cimbra o hasta un punto de descarga secundario. Tiene una descarga limpia y un amplio rango de capacidades.

- Canalones.

Para transportar concreto a niveles inferiores, normalmente a niveles bajo el terreno en todos los tipos de construcción de concreto. Bajo costo y facilidad de maniobra. No se necesita fuerza motriz pues a gravedad se efectúa la mayor parte del trabajo.

- Bombas.

Empleadas para transportar directamente concreto desde el punto central de descarga hasta la cimbra. Las tuberías ocupan poco espacio y se pueden tender fácilmente. Entregan concreto en un flujo continuo, haciendo más rápida la descarga. Las bombas pueden mover el concreto ya sea de manera horizontal o vertical. Se requiere un abastecimiento continuo del concreto fresco con características cohesivas y pastosas y sin tendencia a segregarse.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Colado de concreto a tiro directo.



Colado de concreto con grúa y cucharón.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Colado de Zapata de Puente



Colado en Planta de elementos prefabricados

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

La moderna tecnología exige que el concreto resulte tan resistente como se desee y que a la vez soporte las condiciones de exposición y servicios a la que se vera sometido durante su vida útil, aunado a esto debemos cumplir cabalmente con los requerimientos de transporte, manejo y colocación en estado fresco.

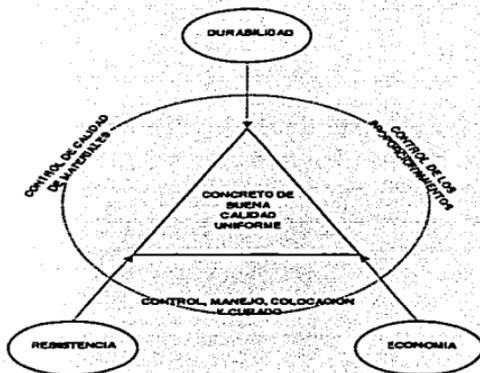
La elaboración del concreto deberá ser realizada al menor costo posible; debemos utilizar los materiales que se encuentren en el lugar, evitando distancias mayores de acarreo, también es necesario mantener un monitoreo continuo de los agregados durante el desarrollo de la obra cuidando su calidad y uniformidad detectando algún cambio si lo hubiera y realizando las correcciones prudentes a tiempo.

Debemos optimizar la utilización del cemento en la mezcla con la inclusión de los aditivos, ayudando con esto a lograr el mínimo consumo, dando como resultado un menor costo de producción.

Para lograr lo anterior se requiere de los conocimientos del comportamiento de todos los ingredientes que intervienen en el concreto y su correcta dosificación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el siguiente diagrama se ilustra claramente los diferentes aspectos tratados en el presente trabajo y que debemos cuidar en la producción del concreto para obtener una calidad uniforme.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

PROPERTIES OF CONCRETE

Third Edition

A.M. Neville

1992. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. A.C.

PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS

Concreto normal, pesado y masivo. ACI-211.1.

Primera edición

1993. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. A.C.

DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO

Décimo tercera edición.

Steven H. Kosmatka y William C. Panarese

1992. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. A.C.

CONCEPTOS BASICOS DE GEOLOGIA

Primera edición

Ing. Juan José Arteaga Bernal

Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.

BREVE DESCRIPCION DEL EQUIPO DE TRITURACIÓN EMPLEADO EN LA OBTENCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES.

Ing. Eduardo Hernández Ortega

Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN