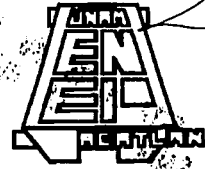




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

"ACATLÁN"

FALLA DE ORIGEN

PREVENCIÓN DE GRIETAS EN EL CONCRETO

MEDIANTE EL USO DE FIBRAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

PABLO MIGUEL PAVÍA ORTÍZ.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA:

**A MI MADRE:
QUE GRACIAS A SU CARÍO
Y APOYO, HE LOGRADO
UNA FORMACIÓN PROFESIONAL.**

**A MI ESPOSA Y
A MI PEQUEÑA HIJA
CON MUCHO CARÍO.**

PABLO.

AGRADECIMIENTO:

**A SIMON Y A MARY
GRACIAS POR SU
APOYO Y COOPERACIÓN**

**A MIS PROFESORES, COMPAÑEROS
ALUMNOS Y AMIGOS, QUE GRACIAS
A SU AMISTAD Y AYUDA FUE POSIBLE
LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.**

**A LA ESCUELA NACIONAL DE
ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"**

GRACIAS.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL.

SR. PABLO MIGUEL PAVIA ORTIZ.
ALUMNO DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA CIVIL.
P R E S E N T E :

DE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 13 DE MAYO DE 1994, ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE EL SIGUIENTE TEMA DE TESIS:
"PREVENCIÓN DE GRIETAS EN EL CONCRETO MEDIANTE EL USO DE FIBRAS", EL CUAL SE DESARROLLA COMO SIGUE:

INTRODUCCIÓN:

- I.- CONCRETO.
 - II.- GRIETAS EN EL CONCRETO.
 - III.- FIBRAS PARA CONCRETO.
 - IV.- PRUEBAS DE LABORATORIO.
- CONCLUSIONES

ASÍ MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL SR. ING. MANUEL GÓMEZ GUTIÉRREZ.

PIDO A USTED TOMAR NOTA QUE EN EL CUMPLIMIENTO DE LO ESPECIFICADO EN LA LEY DE PROFESIONES, DEBERÁ PRESENTAR SERVICIO SOCIAL DURANTE UN TIEMPO MÍNIMO DE SEIS MESES COMO REQUISITO BÁSICO PARA SUSTENTAR EXÁMEN PROFESIONAL, ASÍ DE LA DISPOSICIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES EN EL SENTIDO DE QUE SE IMPRIMA EN EL LUGAR VISIBLE DE LOS EJEMPLARES DE LA TESIS, EL TÍTULO DE TRABAJO REALIZADO. ESTA COMUNICACIÓN DEBERÁ IMPRIMIRSE EN EL INTERIOR DE LA TESIS.

SIN MÁS POR EL MOMENTO, RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

A T E N T A M E N T E.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
ACATLAN, EDO. DE MEX., A 15 DE FEBRERO DE 1995.

ING. CARLOS ROSALES AGUILAR
JEFE DE PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL.

	Pag.
INTRODUCCION.	I
CAPITULO I	
CONCRETO.	
I.1. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS.	1
I.1.1. CEMENTO.	1
I.1.1.a. TIPOS DE CEMENTO.	3
I.1.1.b. PROPIEDADES.	5
I.1.2. AGREGADOS.	7
I.1.2.a. NATURALLEZA Y CALIDAD.	8
I.1.2.b. AGREGADOS COMUNES.	8
I.1.2.c. CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES.	9
I.1.3. AGUA.	11
I.1.4. ADITIVOS.	15
I.1.4.a. ACELERANTES.	16
I.1.4.b. RETARDANTES.	17
I.1.4.c. INCLUSORES DE AIRE.	18
I.1.4.d. PUZOLANICOS.	18
I.1.4.e. FLUIDIFICANTES.	20
I.1.4.f. REDUCTORES DE AGUA.	20
I.1.4.g. FIBRAS.	21
I.2. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES.	27
I.2.1. RELACION AGUA/CEMENTO (LEY DE ABRAHAMS).	27
I.2.2. ASPECTOS QUE CALIFICAN AL CONCRETO, EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.	31
I.2.2.a. FRESCO.	31
a) UNIFORMIDAD.	
b) TRABAJABILIDAD.	
c) REVENIMIENTO.	
d) SEGREGACION.	
e) SANGRADO.	
f) FRAGUADO.	
I.2.2.b. ENDURECIDO.	33
a) CONTRACCION Y ASENTAMIENTO PLASTICO.	
b) MODULO ELASTICO.	
c) ABRASION.	
d) PERMEABILIDAD.	
e) DURABILIDAD.	
f) RESISTENCIA A LA COMPRESION.	
g) RESISTENCIA A LA TENSION.	
h) RESISTENCIA A LA FLEXION.	

	Pag.
CAPITULO II	
GRIETAS EN EL CONCRETO.	43
II.1. TIPOS DE GRIETAS.	46
II.1.1. GRIETAS POR CONTRACCION PLASTICA Y POR CONTRACCION POR SECADO A LARGO PLAZO.	50
II.1.2. GRIETAS SUPERFICIALES.	51
II.1.3. GRIETAS PROVOCADAS POR CONTRACCIONES TEMPRANAS DE TEMPERATURA (RESTRICCIONES FISICAS).	52
II.1.4. GRIETAS POR ASENTAMIENTO PLASTICO.	53
II.2. CAUSAS DE AGRIETAMIENTO.	54
II.3. METODOS DE PREVENCION O DISMINUCION DE AGRIE- TAMIENTOS.	56
II.3.1. METODOS COMUNES.	56
II.3.2. USO DE FIBRAS.	58
II.3.2.a. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.	58
II.3.2.b. PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO ELABORADO CON FIBRAS.	59
CAPITULO III	
FIBRAS PARA CONCRETO.	66
III.1. MARCAS COMERCIALES.	66
III.2. CARACTERISTICAS FISICAS.	67
III.3. ESPECIFICACIONES.	73
III.4. CAMPO DE APLICACION.	75
III.5. ANALISIS DE COSTOS	77
CAPITULO IV	
PRUEBAS DE LABORATORIO.	82
IV.1. DISEÑO DE MEZCLA.	82
IV.1.1. MEZCLAS.	82
IV.1.2. METODOS DE MEZCLADO.	86
IV.1.3. COLOCACION.	87
IV.1.4. CURADO.	87
IV.2. DESCRIPCION DE PRUEBAS.	88
IV.2.1. DISEÑO DE LA MEZCLA A UTILIZAR.	95
IV.2.2. ELABORACION DE ESPECIMENES.	100
IV.2.3. RESULTADOS Y OBSERVACIONES.	104
IV.2.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION.	104
IV.2.3.2. RESISTENCIA A LA FLEXION.	107
IV.2.3.3. EVALUACION DE AGRIETAMIENTO EN LOSAS.	111
CONCLUSIONES.	113
BIBLIOGRAFIA.	115

INTRODUCCION

Las dos últimas décadas se han caracterizado por los diversos adelantos que han tenido la industria de la construcción, en la tecnología del concreto, en técnicas de proyecto y en nuevos materiales. Uno de los nuevos adelantos en materiales está representado por el concreto reforzado con fibras cortas de pequeña área de sección transversal situadas aleatoriamente en toda la masa del concreto.

La idea de usar un refuerzo de fibras discontinuas y fuertes para reforzar el concreto parece seducir y retar a muchos ingenieros y arquitectos. Agregar el refuerzo a la mezcladora en la forma de fibras, tan simple como poner otro agregado o aditivo, para crear un material moldeable, isótropo (dícese de los materiales que tienen las mismas propiedades en cualquier dirección.) y homogéneo es un sueño que comenzó hace más de un siglo y parece ser ahora una realidad.

El objeto de la inclusión de fibras cortas en matrices de cemento es el de mejorar sus propiedades como son: permeabilidad, ductilidad, fragilidad, apariencia y durabilidad.

El concepto de usar fibras para mejorar el comportamiento de los materiales de construcción es viejo e intuitivo. Algunos ejemplos del uso de las fibras, para reforzar matrices frágiles y débiles, existen desde los principios de la historia de la humanidad. El pelo de caballo y el sisal se usaron en muros de barro y paneles de yeso, la paja constituyó una forma de refuerzo en los adobes, la fibra de asbesto se incluyó en la fabricación de productos horneados de alfarería para darles propiedades resistentes.

Las fibras sintéticas y metálicas se han utilizado en los Estados Unidos desde hace 10 años aproximadamente, utilizandose actualmente a nivel mundial en muchos países, como son: Malasya, Italia, Gran Bretaña, Noruega, Canada y México. Por mencionar algunos.

Ahora el objeto de esta investigación es describir los principales componentes que intervienen en la elaboración de un concreto, sus características y propiedades. Tener el conocimiento de tipos y causas más comunes de agrietamiento (no estructural) en el concreto, así como los métodos usuales y no comunes de prevención, presentando a las fibras como una alternativa adecuada.

Dentro de estos métodos de prevención se estudiará los tipos de fibras para concreto más comunes en el mercado nacional, así como sus usos y aplicaciones, realizando un análisis de costos para observar su factibilidad económica. Asimismo se describirán las pruebas cualitativas y de resistencia en laboratorio que demostrarán el comportamiento del concreto reforzado con fibras (plásticas y metálicas), tanto en estado fresco como endurecido, en especímenes cilíndricos, vigas y losas, para de esta forma demostrar la influencia de las fibras cortas de diferentes materiales en la prevención de grietas no estructurales en el concreto hidráulico.

Grietas Estructurales.- Son aquellas grietas de consideración fundamental en el análisis y diseño estructural en función de las cargas internas o externas a la estructura. Dichos agrietamientos deben de estar restringidos hasta ciertos límites que garanticen la estabilidad estructural del sistema.

Grietas No Estructurales.-Son aquellas grietas provocadas por diferentes esfuerzos en los materiales constitutivos del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

C A P I T U L O I

CONCRETO

Concreto es una mezcla de cemento, agregados inertes (en general grava y arena) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo de mezclado.

Los elementos que componen el concreto se dividen en dos grupos: activos e inertes. Son activos, el agua y el cemento a cuya cuenta corre la reacción química por medio de la cual esa mezcla llamada "lechada", se endurece -fragua- hasta alcanzar un estado, en general de gran solidez.

Los elementos inertes (agregados) son la grava y la arena, cuyo papel fundamental es formar el "esqueleto" del concreto, ocupando gran parte del volumen del producto final, con lo cual se logra abaratarlo y disminuir notablemente los efectos de la reacción química del fraguado: La elevación de temperatura y la contracción de la lechada al endurecerse.

Las proporciones en que se mezclan los distintos componentes varían de acuerdo con la granulometría de los agregados y con la resistencia final deseada; sin embargo, los siguientes valores en por ciento de volumen dan una idea aproximada.

Agregados:	75%
Cemento:	10%
Agua:	15%

El agua que entra en combinación química con el cemento es aproximadamente un 33% de la cantidad total y esa fracción disminuye con la resistencia del concreto.

En consecuencia, la mayor parte del agua de mezclado se destina a lograr fluidez y trabajabilidad de la mezcla, coadyuvando a la "contracción del fraguado" y dejando en su lugar los vacíos correspondientes cuya presencia influye negativamente en la resistencia final del concreto.

I.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS.

I.1.1 CEMENTO.

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

Generalmente se atribuye el invento del cemento portland a Joseph Aspdin, un albañil inglés. En 1824 obtuvo una patente y llamó a su producto "Cemento Portland" porque producía un concreto que se parecía a la caliza natural que se extraía en Inglaterra en la isla de Portland.

El cemento portland es un ligamento hidráulico; se llaman también hidráulicos porque fraguan y endurecen al reaccionar con el agua. Esta reacción se llama hidratación.

Este se obtiene cuando se entremuele finamente el clinker con un 4 a 5% de yeso. Aquí cabe mencionar que es el clinker. Se define este como un material sintético granular resultante de la cocción a una temperatura del orden de 1,450 ° centígrados de materias trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas. Esencialmente el clinker está constituido por silicatos, aluminio, y aluminoferrito cálcicos.

"Cemento Portland" es la definición general para los cementos fabricados de materias primas calcáreas y arcillosas sintetizadas a una temperatura aproximada de 1,450 ° centígrados.

La Norma Oficial Mexicana NOM C-1 (ASTM C-150), da la siguiente definición de cemento:

"Es el conglomerado hidráulico que resulta de la pulverización del clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adiciona sulfato de calcio natural o agua con sulfato de calcio natural".

Además, puede añadirse a la molienda, materiales auxiliares para obtener así alguna característica final en especial, mismos que se encuentran especificados en la NOM C-133 (ASTM C-465). (Coadyuvantes de molienda empleados en la elaboración de concretos hidráulicos).

Los principales componentes del cemento son:

Silicato tricálcico (C3S) .- de éste elemento dependerá las resistencias que puedan obtenerse a los 28 días aproximadamente.

Silicato dicálcico (C2S) .- de éste depende la resistencia que pueda obtener después de los 28 días.

Aluminato tricálcico (C3A) .-es el elemento que más calor genera. Este elemento provoca las variaciones de volumen y favorece la formación de grietas, su concentración en la mezcla debe de ser bajo, según las características esperadas del cemento.

Ferroaluminato tetracálcico (C4AF) .-ayuda a acelerar la hidratación en el concreto.

Los elementos antes mencionados constituyen aproximadamente un 90% del cemento. El otro 10% constituyen materiales como el yeso, cal libre, alcalis, etc.

Yeso (S04Ca)..- La velocidad con que se desarrolla el endurecimiento del cemento debe ser controlada dentro de ciertos límites. Dicho control es logrado dosificando yeso adecuadamente durante la molienda del Clinker, el cual regulará la acción química entre el cemento y el agua, controlando así el tiempo de fraguado.

I.1.1.a. TIPOS DE CEMENTO

Como ya se mencionó al Clinker se le adicionan durante su molienda, diferentes cantidades de yeso, etc. Lo que da como resultado la obtención de distintos tipos de cemento, que buscan dar al concreto fresco o endurecido ciertas características especiales.

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

Clasificación según NOM C-1, Norma ASTM C-150.

Tipo I ASTM, Normal.

Este tipo es para uso general. Es el adecuado para todos los usos en que no se requieran las propiedades especiales de los otros tipos.

Se usa donde el cemento o el concreto no está sujeto al ataque de factores específicos como a los sulfatos del suelo o del agua, o a elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado en la hidratación.

Usos: Entre sus usos se incluyen pavimento, aceras, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para ferrocarriles tanques y depósitos, alcantarillas, tuberías para agua, mampostería, etc.

Tipo II ASTM, Moderado.

Se usa cuando sean necesarias precauciones contra el ataque moderado por los sulfatos como en las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos en las aguas subterráneas sean algo más elevadas que lo normal, pero normalmente no muy graves.

El tipo II genera usualmente menos calor, más despacio que el cemento del tipo I o normal.

Usos: En estructuras de gran masa, como en pilas grandes estribos gruesos y en los muros de contención gruesos con su uso se disminuye al mínimo la elevación de temperatura, lo que es especialmente importante cuando el concreto se cuele en climas cálidos.

Tipo III ASTM, De Rápido Endurecimiento.

Este tipo de cemento permite obtener con rapidez elevadas resistencias, usualmente en una semana o menos. se usa cuando se tienen que retirar los moldes lo más pronto que sea posible, o cuando la estructura se debe poner en servicio rápidamente. En tiempo frío, su uso permite reducir el periodo de curado controlado.

Usos: Elementos estructurales presforzados, o siempre que se requiera descimbrar lo más pronto posible.

Tipo IV ASTM, De Bajo Calor de Hidratación.

Es para usarse donde el grado y la cantidad de calor generado se debe reducir al mínimo. El cemento tipo IV adquiere resistencia más despacio que el cemento tipo I o normal. Sus propiedades son las necesarias para usarse en estructuras de concreto de gran masa.

Uso: Grandes presas de gravedad, donde la elevación producida en la temperatura por el calor generado durante el endurecimiento es un factor crítico.

Tipo V ASTM, Resistente a los Sulfatos.

Este tipo de cemento se usa solamente en concreto sujeto al efecto intenso de los sulfatos. Su resistencia aumenta más lentamente que en el cemento tipo I o normal. Cuando se emplea este tipo de cemento, su contenido en la mezcla de concreto con agregado máximo de 3/4" no debe ser menor que 280 Kg/m³ y su relación agua/cemento no debe ser mayor de 0.55.

Usos: Se usa en concretos expuestos al agua de mar y en donde los suelos y el agua subterránea tenga una concentración elevada de sulfatos.

I.1.1.b. PROPIEDADES.

La mayor parte de las especificaciones para cemento portland limitan la composición química y algunas propiedades físicas del cemento. El conocimiento del significado de algunas de estas propiedades es provechoso para interpretar los resultados de pruebas del cemento.

Para efecto de este tema por su importancia sólo mencionare las siguientes: Fraguado, Finura, Firmeza, Calor de Hidratación y Peso Específico.

Fraguado.

(NOM C-58, C-59, C-132, ASTM C-191, C-451).- La pasta que se forma cuando el cemento se mezcla con agua permanece plástica durante un período corto de tiempo. Durante esta etapa aún es posible alterar el material y remezclarlo sin causarle daño, pero a medida que las reacciones químicas continúan, la masa pierde su plasticidad. Este período de endurecimiento es llamado "período de fraguado".

El período en el cual la mezcla permanece plástica generalmente depende más de la temperatura y del contenido de agua en la pasta que del tiempo de fraguado del cemento.

Finura.

(NOM-C-150, C-49, C-55, C-56, ASTM C-184, C-430, C-204).- La finura del cemento interviene determinadamente en la resistencia y en la hidratación del mismo. Al aumentar la finura del cemento aumenta la rapidez a la que se hidrata el mismo, acelerando la adquisición de resistencia.

Si se aumenta hasta cierto punto la finura del cemento, se reduce la cantidad requerida del agua de mezclado y también disminuye el sangrado del concreto. El sangrado 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 sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua de mezclado cuando se asientan en el fondo).

Calor de Hidratación.

Es el generado cuando reaccionan el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento; a la tasa de generación de calor le afecta la finura y la temperatura de curado, así como la composición química. En algunas estructuras, como aquellas de gran masa la rapidez y la cantidad de calor generado son importantes. Si no se disipa este calor rápidamente, puede ocurrir una importante elevación de temperatura en el concreto.

En las estructuras de gran masa, de concreto, pueden resultar inconveniente una elevación de temperatura porque puede estar acompañada de dilatación térmica. El enfriamiento posterior del concreto endurecido a la temperatura ambiente puede crear esfuerzos perjudiciales.

Por otra parte, la elevación de la temperatura en el concreto producida por el calor de hidratación es con frecuencia benéfica en tiempo frío, ya que ayuda a mantener temperaturas de curado favorable.

Peso Especifico.

(NOM-C-152 ASTM C-188).- El peso específico del cemento portland generalmente es aproximadamente de 3.15 ton/m³.

El peso específico de un cemento no indica la calidad del mismo; su uso principal es para el proyecto de mezclas.

I.1.2. AGREGADOS.

Los agregados ocupan generalmente del 60 al 80 por ciento del volumen del concreto. Por tanto sus características influyen en las propiedades del mismo.

Los agregados también influyen en las proporciones de la mezcla para el concreto y en la economía.

El 100 por ciento de los concretos que se elaboran en México, se encuentran constituidos por agregados pétreos de origen ya sea natural o producto de trituración de la roca madre.

AGREGADOS:

Materiales inertes que se mezclan con el aglomerante para obtener así concretos. La NOM-C-111 los define como "Material Natural, Material Procesado y Artificial que se mezcla con un cementante hidráulico para hacer morteros o concretos". Se tienen dos tipos básicos.

ARENAS.- Se clasifican así a aquellos materiales, que atraviesan la malla NOM G 4.75 también es llamado agregado fino.

GRAVAS.- Se clasifican así a aquellos materiales que quedan retenidos en la malla NOM G 4.75 también es llamado agregado grueso.

Dichos materiales deben de estar limpios de impurezas como carbón, escorias, yeso, mica, restos vegetales; esto es, porque dichos materiales comprometen la resistencia del concreto y en el caso de las gravas su adherencia con el mortero.

En caso de las gravas la limpieza se realiza con lavado de los materiales finos adheridos a la misma. El estudio de la medición del peso antes y después del lavado nos da el porcentaje del peso que constituyen los finos en la relación al total.

El control de la limpieza de la arena se lleva a cabo con la prueba de equivalente de arena (E.S.) que en el caso de arenas puras se tiene un 100% y en el de arcillas puras de 0% se recomienda un valor de E.S. = 75% para concretos de mucha calidad.

I.1.2.a. NATURALEZA Y CALIDAD.

la naturaleza del material viene dada por la roca o producto que constituyen los granos: Basalto, pórfido, cuarcita, sílex, calcáreas, arenisca, baritina, piritita, escoria, piedra pómez, etc.

Todo agregado se puede obtener de dos diferentes formas:

- a) Origen Natural: Cantos rodados (más o menos redondeados).
- b) Productos de trituración (aspecto anguloso).

Sus dos principales características en relación a la resistencia esperada del concreto son:

- Adherencia con el mortero.
- Resistencia del agregado.

I.1.2.b. AGREGADOS COMUNES:

- **Sílex**, calcáreos duros, y sílice-calcáreos: De origen aluvial, pueden ser duros o frágiles, los calcáreos son menos duros que los sílex pero presentan mayor adherencia.

- **Basalto**, agregado muy duro, de alta densidad absoluta (de 2.8 o 3.0). De origen ígneo extrusivo, presenta una textura afanítica vesicular. Presenta una alta resistencia a la compresión y a la abrasión.

- **Cuarcitas**, extremadamente duras, agregado ideal para obtener concretos de alta resistencia.

Requieren un análisis de laboratorio antes, de su utilización ya que pueden contener sílice del tipo reactivo con los álcalis del cemento.

- **Arenisca**; formados por granos de sílice aglomerados, siendo estas duras, resultan ser buenos agregados, mientras no contengan cementantes silíceos que sean reactivos con los álcalis del cemento.

- **Pórfidos**; Duros, compactos y resistentes. No almacenables sus arenas por presentar descomposición arcillosa al contacto con la humedad.

- **Granitos**; La presencia de mica en éstos es nociva. Algunos presentan descomposición al contacto con la humedad. Agregados no recomendables por ser altamente intemperisables.

- **Esquisto;** No recomendable. Estructura hojosa laminar y descomposición con la humedad, muy delesnable.

- **Caliza;** Se encuentra constituida básicamente por calcita, es un agregado que presenta una textura cristalina y es altamente soluble, presentando una buena resistencia mecánica.

- **Riolita;** De buena resistencia mecánica pero altamente reactiva con los álcalis del cemento.

- **Gabro;** De origen ígneo intrusivo, presenta una textura fanerítica. Es un agregado de alto peso específico.

Agregados pesados: Se utilizan en concreto cuya finalidad es dar protección biológica, a los alrededores de construcciones que produzcan cierta radioactividad.

- **Baritina;** Densidad absoluta de 4.2 a 4.7 .

- **Magnetita;** Densidad absoluta de 4.5 a 5.1 .

- **Chatarras;** Densidad absoluta de 7.6 a 7.8 .

Agregados ligeros: Se utilizan para producir concretos ligeros, presentan estos concretos resistencias bajas, en relación directa con lo ligero del agregado.

- **Arcilla expandida;** Esquistos expandidos, escorias expandidas, piedras pómex y puzolanas.

Agregados muy duros: Su fin principal en aplicaciones de anti-desgaste. Ejm. cuarzo, Corindon, etc..

I.1.2.c. CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES.

ARENAS:

- Granulometría de 0.05 a 2.00 mm finas.
de 2.00 a 5.00 mm gruesas.

Se considera como arena óptima a aquella constituida por 65% de arena fina y 35% de arena gruesa.

- Peso específico seco de 1450 kg/m³ a 1600 kg/m³.
- Peso específico húmedo de 2000 kg/m³.

- Control de calidad: Toda arena debe estar limpia de arcillas, carbón, lignito y materia orgánica teniendo, una granulometría distribuida para evitar vacíos, la NOM-C-111 es específica en cuanto a los límites y fronteras granulométricas que debe tener una arena estableciendo la siguiente tabla:

CRIBA	% RETENIDO ACUMULADO
G 4.75	0 - 5
G 2.36	0 - 20
M 1.18	15 - 50
M 0.66	40 - 75
M 0.30	70 - 90
M 0.15	90 - 98
CHAROLA	100

En cuanto a su forma, son preferibles aquéllas que son angulares por asentarse mejor que las redondas.

GRAVAS:

- Granulometría básica 3/4" o 19 mm.
- Debe tener forma redondeada u ovalada (equidimensional), preferentemente, ya que una forma tabular (pieza plana y alargada) puede provocar disminución en la trabajabilidad y afectar la durabilidad de la estructura.
- Rocas más adecuadas: Arenisca, cuarzita, andesita y basalto.
- Y principalmente, hay que tomar en cuenta que a mayor calidad del agregado se obtendrá una mayor calidad y resistencia en el concreto.

I.1.3. AGUA.

Puede usarse agua cuyo comportamiento no se conozca para hacer concreto, si los cubos de mortero hechos con esa agua alcanzan resistencias a los 7 y a los 28 días iguales a la de cuando menos el 90 por ciento, de muestras que se hagan empleando agua potable. Además, debe hacerse pruebas para tener la seguridad de que no se afecta desfavorablemente el tiempo de fraguado del cemento por las impurezas contenidas en el agua de mezclado.

Cuando son excesivas las impurezas contenidas en el agua de mezcla, pueden afectar no solamente el tiempo del fraguado, la resistencia del concreto, la constancia de volumen, si no que puede hasta producir eflorescencia o corrosión del refuerzo.

El agua que contenga menos de 2000 ppm (partes por millón) como total de sólidos disueltos puede usarse en general satisfactoriamente para hacer concreto. Aunque concentraciones mayores no son siempre dañinas, afectan a algunos cementos. Donde sea posible deben evitarse concentraciones elevadas.

A continuación se mencionan los efectos que tienen algunas de las impurezas contenidas en el agua de mezcla en la calidad del concreto.

Carbonatos y Bicarbonatos Alcalinos.

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y de potasio tienen diferentes efectos en los tiempos de fraguado de diferentes cementos. El carbonato de sodio puede producir un fraguado muy rápido; los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En grandes concentraciones estas sales pueden reducir materialmente la resistencia del concreto.

Cuando la suma de estas sales disueltas excedan de 1,000 ppm (del 0.1 por ciento), deberán hacerse pruebas para el tiempo de fraguado y de resistencia a los 28 días.

Cloruro y Sulfato de Sodio.

Generalmente la elevada proporción de sólidos disueltos de un agua natural se debe a un alto contenido de cloruro o sulfato de sodio. Ambos pueden tolerarse en relativamente grandes cantidades. Generalmente, concentraciones hasta de 20,000 ppm de cloruro de sodio son tolerables. Se han usado satisfactoriamente aguas para mezcla, que contenían 10,000 ppm de sulfato de sodio.

Sales de Hierro.

Las aguas naturales subterráneas rara vez contienen más de 20 a 30 ppm de hierro. Sin embargo, las aguas ácidas de las minas pueden contener cantidades grandes de hierro.

Las sales de hierro en concentraciones hasta de 40,000 ppm usualmente no afectan a las resistencias del mortero.

Otras Sales Comunes.

Los carbonatos de calcio y de magnesio no son muy solubles en agua, lo que da como resultado que rara vez se encuentran con concentraciones suficientes para que afecten la resistencia del concreto. Los bicarbonatos de calcio y de magnesio se encuentran en algunas aguas municipales.

Concentraciones hasta 400 ppm del ión bicarbonato en estas formas no se consideran dañinas.

El sulfato y el cloruro de magnesio pueden presentarse en elevadas concentraciones sin efectos perjudiciales en la resistencia. Se han obtenido buenas resistencias con concentraciones hasta de 40,000 ppm. El cloruro de calcio se usa algunas veces en el concreto (no en el presforzado) en cantidades hasta de 2 por ciento en peso del cemento, para acelerar el aumento del endurecimiento y de la resistencia.

Diversas Sales Inorgánicas.

Las sales de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo en el agua de mezcla pueden producir una importante reducción en la resistencia y ocasionar grandes variaciones en el tiempo del fraguado. De éstas, las más activas son las de zinc, cobre y plomo. Otras sales que son especialmente activas como retardadores incluyen al iodato de sodio, fosfato de sodio, arsenato de sodio y borato de sodio.

Todas estas sales, pueden retardar mucho, tanto en el fraguado como la adquisición de resistencia, cuando están presentes en concentraciones de unos cuantos decimos por ciento del peso del cemento. Generalmente pueden tolerarse concentraciones de estas sales hasta de 500 ppm en el agua de mezcla. Otra sal que puede ser perjudicial al concreto es el sulfuro de sodio; es necesario hacer pruebas aún cuando su concentración sea de 100 ppm.

Agua de Mar.

El agua de mar, que contenga hasta 35,000 ppm (3.5 por ciento) de sal, es generalmente buena como agua para mezclar concreto que no vaya a llevar refuerzo. Aunque el concreto hecho con agua

mar puede endurecer con mayor rapidez que el concreto normal, las resistencias en fechas posteriores (después de los 28 días) pueden ser inferiores.

Esta reducción de resistencia puede permitirse reduciendo la relación agua/cemento. Puede hacerse concreto de buena calidad con agua de mar si la mezcla se ajusta correctamente.

Si no se dispone de agua dulce adecuada puede usarse el agua de mar para hacer concreto reforzado. Aunque su uso puede aumentar el riesgo de corrosión; este riesgo se reduce si el refuerzo tiene un recubrimiento suficiente y si el concreto es impermeable y si tiene la cantidad adecuada de aire incluido.

Las estructura de concreto reforzado hecha con agua de mar y expuestas al ambiente marino deben tener una relación agua/cemento menor de 0.44 y el recubrimiento del refuerzo deberá ser cuando menos, de 3 pulgadas.

El agua de mar no debe usarse para hacer concreto presforzado en el que el acero para el presfuerzo quede en contacto con el concreto.

La arena y la grava, extraídas del agua de mar se usan en algunas veces para hacer concreto. La cantidad de sal de mar en el agregado usualmente no es más de aproximadamente 1 por ciento del peso del agua de mezcla. Estos agregados, usados con agua con agua potable, aportan menos sal a la mezcla que el agua de mar.

Aguas Acidas.

La aceptación de una agua ácida para la mezcla deberá basarse en la concentración (en partes por millón) de ácidos en el agua. Ocasionalmente, la aceptación se basa en el pH, que es la medida de la concentración iónica del hidrógeno.

El pH es un índice de intensidad y no es la mejor medida de eventuales reacciones ácidas o básicas.

Generalmente las aguas para la mezcla que contengan ácido clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones tan elevadas como 10,000 ppm nos tienen efectos adversos en la resistencia del concreto. Las ácidas con valores pH menores de 3.0 pueden crear problemas de manejo y deben evitarse si es posible.

* El pH del agua neutra es de 7.0; los valores inferiores a 7.0 indican acidez y los que sobrepasan dicho valor indican alcalinidad.

Aguas Alcalinas.

Las aguas que tengan concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5 por ciento del peso del cemento no afectan mucho la resistencia del concreto, siempre que no aceleren el fraguado.

Sin embargo, mayores concentraciones pueden reducir la resistencia.

El hidróxido de potasio en concentraciones hasta de 1.2 por ciento en peso del cemento tiene poco efecto en la resistencia del concreto desarrollada para algunos cementos, pero la misma concentración, cuando se usa en otros cementos, puede reducir mucho la resistencia a los 28 días.

Cabe mencionar que las fibras de polipropileno y nylon no se ven afectadas por las sales y ácidos contenidos en las aguas para elaborar concretos siendo su resistencia alta, a diferencia de algunas fibras metálicas que se ven afectadas por la corrosión debido a la presencia de sales y ácidos en las aguas, existen fibras metálicas hechas de acero inoxidable para ser utilizadas en donde las aguas empleadas para elaborar concreto tienen contenidos de sales y ácidos, siendo el uso de estas fibras el más favorable. Aquí cabe destacar la importancia del uso de las fibras y su influencia en el concreto elaborado con aguas que contienen algunas impurezas, dando al concreto un incremento al despedazamiento, incrementa la resistencia a la abrasión y al desgaste, retarda la evaporación, reduce el sangrado del concreto, incrementa la durabilidad etc..

I.1.4. ADITIVOS.

Los aditivos incluyen todos los materiales que no son cemento Portland, agua y agregados que se añaden al concreto, mortero o lechada, inmediatamente antes o durante la mezcla.

En general, los aditivos pueden clasificarse como sigue:

1. Acelerantes
2. Retardantes
3. Incluidores de Aire
4. Puzolánicos
5. Fluidificantes
6. Reductores de Agua
7. Fibras

El concreto debe ser manejable, capaz de dársele acabados fuerte, durable, impermeable y resistente al desgaste. Estas calidades pueden obtenerse a menudo en forma cómoda y económica proyectando correctamente la mezcla y con la selección adecuada de los materiales, sin tener que recurrir a los aditivos (excepto cuando sean necesarios los incluidos de aire).

Sin embargo, pueden presentarse casos donde se requieran propiedades especiales, como mayor tiempo de fraguado, rapidez en la adquisición de resistencia, control de la afinidad química con ciertos agregados, o la reducción del calor de hidratación. Aunque con frecuencia pueden obtenerse estas propiedades especiales eligiendo el tipo adecuado de cemento portland, a veces no resulta práctico.

En esos casos pueden ser conveniente considerar e investigar algunos aditivos, ya que su uso en el concreto pueden producir los efectos especiales que se desean.

En algunos casos, las propiedades deseadas sólo pueden obtenerse con el uso de aditivos. Sin embargo, no debe considerarse que aditivos de cualquier tipo y en cualquier cantidad sean un buen sustituto de una buena técnica para preparar el concreto.

La eficacia de un aditivo depende de factores como el tipo y cantidad de cemento, proporción de agua, forma del agregado, granulometría y proporciones, tiempo de mezclado, revenimiento, y las temperaturas del concreto y del aire.

Los aditivos que se consideren adecuados para usarse en el concreto deberán ajustarse a las especificaciones de la ASTM, o de las federales (CFE, SCT, Etc.). (las especificaciones provisionales de aditivos químicos para concreto, ASTM C494, se aplican a la mayoría de aditivos comúnmente usados). Deberán

hacerse mezclas de prueba con el aditivo y materiales para la obra con las temperaturas y humedades que se sepa que van a existir en la obra.

De esta manera puede observarse la compatibilidad del aditivo con otros aditivos y materiales para la obra, así como los efectos del mismo en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Deberá usarse la cantidad de aditivo recomendada por el fabricante o la óptima según determinaciones hechas en el laboratorio.

Aunque los aditivos pueden producir concretos con las propiedades deseadas, con frecuencia pueden obtenerse los mismos resultados económicamente, variando las proporciones de la mezcla o eligiendo otros ingredientes para el concreto.

Siempre que sea posible, deberán hacerse comparaciones entre el costo que resulta al cambiar los materiales de la mezcla básica y el aumento de costo por usar aditivos. Este último costo debe incluir el del transporte, manejo, almacenamiento y de dosificar el aditivo, así como el costo real del mismo.

I.1.4.a. ACELERANTES.

Los acelerantes son aditivos que se usan para acelerar el fraguado y la adquisición de resistencia en el concreto. La mayor parte de los acelerantes comúnmente usados producen un aumento de la contracción que sufre el concreto al secarse.

La adquisición de resistencia en el concreto puede también acelerarse:

- 1.- Usando cemento portland Tipo III o de Rápido Endurecimiento.
- 2.- Disminuyendo la relación agua/cemento.
- 3.- Haciendo el curado a temperaturas más elevadas.

El aditivo acelerador más comúnmente usado es el cloruro de calcio. Deberá ajustarse a los requisitos de la especificación ASTM D98 y deberá muestrearse y probarse de acuerdo con la especificación ASTM D345.

El cloruro de calcio deberá añadirse en forma de solución como parte del agua de mezcla. Si se añade al concreto en forma seca, puede suceder que no todas las partículas secas se disuelvan durante la mezcla. Los terrones que no se disuelven en la mezcla pueden producir reventones o manchas negras en el concreto endurecido. En forma seca, el cloruro de calcio puede también reducir la eficacia de los aditivos inclusores de aire.

La cantidad de cloruro de calcio añadida, en ningún caso deberá exceder del 2 por ciento en peso de cemento. Una cantidad mayor creará problemas y pueden ser perjudicial para el concreto, que puede hacerse rápidamente inmanejable, aumentar su contracción al secarse y corroer el acero de refuerzo. Cuando no se añade más de 2 por ciento de cloruro de calcio, no tiene efecto corrosivo importante en el acero de refuerzo ordinario, siempre que el concreto sea de buena calidad.

El uso del cloruro de calcio o de aditivos que contengan cloruros solubles no se recomienda bajo ciertas condiciones:

1. En el concreto presforzado debido a los posibles riesgos de corrosión.
2. En concreto donde esté ahogado aluminio (por ej. conduit) porque puede producirse una fuerte corrosión del aluminio, especialmente si éste está en contacto con acero incrustado y si el concreto está en un ambiente húmedo.
3. Cuando el acero galvanizado va a quedar en contacto permanente con el concreto.
4. En concreto sometido a reacciones entre álcalis y agregados o expuestos a suelos o agua que contenga sulfatos.

I.1.4.b. RETARDANTES.

Los aditivos retardantes son materiales que se usan con el objeto de retardar el tiempo de fraguado en el concreto. Las elevadas temperaturas del concreto fresco (de 30° a 35° C. y mayores) son con frecuencia la causa del aumento de la rapidez del endurecimiento que dificulta el colado y el acabado.

Uno de los métodos más prácticos de contrarrestar este fenómeno consiste en reducir la temperatura del concreto enfriando el agua de la mezcla y/o los agregados.

- Algunas veces se usan los retardadores en el concreto para:
- 1.- Contrarrestar el efecto acelerante de los climas cálidos en el fraguado del concreto.
 - 2.- retrasar el fraguado inicial del concreto o la lechada cuando se presentan condiciones anormales de colado, como en las grandes pilas y cimentaciones, en la cimentación de los pozos de petróleo, o en el bombeo de lechada o de concreto a distancias considerables.

Como la mayor parte de retardadores funcionan también como reductores de agua, se les llama con frecuencia "retardadores reductores de agua". También los retardadores pueden incluir aire en el concreto.

Al uso de retardadores, en general, acompaña alguna reducción en la resistencia en los primeros días (1 a 3), mientras que los efectos de estos materiales en las demás propiedades del concreto, como la contracción, pueden no ser previsibles. Por tanto, las pruebas de aceptación para los retardadores deberán hacerse con materiales de la obra para las condiciones previstas.

I.1.4.c. INCLUSORES DE AIRE.

Los aditivos inclusores de aire se usan para mejorar la durabilidad del concreto expuesto a la humedad durante ciclos de congelación y fusión. El aire incluido mejora mucho la resistencia a la descamación superficial producida por los agentes descongelantes. La manejabilidad del concreto fresco también se mejora mucho, la segregación y el sangrado se reducen o se eliminan.

El concreto con inclusión de aire contiene diminutas burbujas de aire que se distribuyen uniformemente en toda la pasta del cemento. El aire incluido puede producirse en el concreto mediante el uso de cemento con inclusor de aire, con un aditivo inclusor de aire, o con la combinación de ambos métodos.

El cemento con inclusor de aire se hace añadiendo y moliendo con el cemento portland un material durante el proceso de su manufactura. Por otra parte, los aditivos inclusores de aire se añaden directamente a los materiales del concreto, ya sea antes o durante la mezcla. Las especificaciones y métodos para probar los aditivos inclusores de aire se dan en la ASTM C260 y C233, respectivamente. Los aditivos inclusores de aire deben satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C226. Los requisitos aplicables para los cementos con inclusor de aire se dan en las especificaciones ASTM C175 y C595.

I.1.4.d. PUZOLANICOS.

En la especificación de la ASTM C219 se define a las puzolanas como "material silíceo o silico-aluminoso, que por sí posee poco o ningún valor cementante pero que finamente dividido y en presencia del agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que posean propiedades cementantes." varios materiales como la tierra de diatomeas, cuarzos opalinos y pizarras, tobas y pumicitas y algunos materiales artificiales como la ceniza en suspensión se usan como puzolanas. Las propiedades de las puzolanas pueden variar mucho, deberán hacerse pruebas para su aceptación antes de usarlas. La especificación ASTM C618 trata del uso de

de las puzolanas naturales y de la ceniza en suspensión como aditivos para concreto; los procedimientos para muestrear y probar la ceniza en suspensión se dan en la especificación ASTM C311.

Se usan algunas veces los materiales puzolánicos en el concreto para ayudar a controlar las temperaturas internas.

En las estructuras de gran masa como las presas, pueden ocurrir altas temperaturas debidas a una lenta pérdida del calor generado durante la hidratación. Con frecuencia estas temperaturas se pueden disminuir al mínimo, usando cemento Tipo II, IV, V, bajando la temperatura del agua de mezcla y del agregado, o usando aditivos puzolánicos. Frecuentemente se usan combinaciones de estos tres métodos.

Se usan como aditivos algunas puzolanas con objeto de reducir o de eliminar la expansión potencial de los agregados con afinidad alcalina. Cuando se van a usar agregados con afinidad química en el concreto, por la falta de agregados sin afinidad química puede usarse un cemento poco alcalino o una puzolana adecuada (prueba ASTM C441) para contrarrestar la expansión.

Algunas puzolanas pueden mejorar la resistencia a los sulfatos si se usan como aditivos pero, si se usan como sustitutos de cemento, es probable que se obtenga una reducción en la resistencia a los sulfatos.

El uso de puzolanas en sustitución del cemento puede reducir mucho la resistencia del concreto en los primeros días, especialmente en los primeros 28. Debido a lo lento de la acción puzolánica, deberá proporcionarse un prolongado curado húmedo y temperaturas de curado favorables.

El efecto de las puzolanas en las mezclas para concreto varía mucho. Antes de aprobar el uso de algunas, deberá probarse en combinación con el cemento y los agregados para comprobar su bondad con respecto al agua requerida, adquisición de la resistencia, contracción, calor de hidratación, durabilidad y otras propiedades especiales como la de evitar la reacción entre los álcalis y el agregado.

I.1.4.e. FLUIDIFICANTES.

El concreto fresco es algunas veces difícil de manejar debido a las características del agregado, como la forma de las partículas y la granulometría incorrecta, o proporciones defectuosas de la mezcla. Bajo estas condiciones, puede ser necesario mejorar su manejabilidad, especialmente si el concreto requiere un acabado liso con la llana. Es también importante el mejoramiento de la manejabilidad en el concreto colado en miembros con mucho refuerzo, o en los colados por medio del embudo con tubo largo. A menudo al aumentar la proporción de cemento o la cantidad de agregado fino se obtiene la manejabilidad deseada.

Uno de los mejores agentes fluidificantes es el aire incluido. Funciona como "lubricante" y es especialmente efectivo para mejorar la manejabilidad de mezclas ásperas pobres.

Los materiales finamente divididos se usan también como aditivos para mejorar la manejabilidad de las mezclas deficientes en materiales que pasen por las cribas Nos. 50 y 100. Algunos de estos materiales son relativamente inertes químicamente, mientras que otros son puzolánicos. Cuando se añaden a las mezclas en las que no faltan agregados finos, generalmente se requiere aumentar el agua, para mantener una manejabilidad adecuada. Esto puede reducir la resistencia, aumentar la contracción al secarse y afectar las otras propiedades del concreto.

La ceniza en suspensión y las puzolanas naturales usadas como agentes fluidificantes deben ajustarse a la especificación ASTM C618. En esta especificación se advierte, que al reemplazar una porción del cemento portland por ceniza en suspensión o por una puzolana natural puede reducir la resistencia temprana del concreto y tender a reducir la cantidad de aire incluido en el concreto.

I.1.4.f. REDUCTORES DE AGUA.

Los aditivos reductores de agua son materiales que se usan con el objeto de reducir la cantidad del agua de la mezcla necesaria para producir concreto de una consistencia dada. Estos materiales aumentan el revenimiento del concreto para una proporción de agua dada. Sin embargo, la tasa de la pérdida de revenimiento no se reduce y en algunos casos puede aumentarse.

Muchos aditivos reductores de agua pueden también retardar el tiempo de fraguado del concreto. Algunos se modifican para producir grados variables de retardo, mientras que otros no afectan apreciablemente el tiempo de fraguado. Algunos aditivos reductores de agua pueden también incluir aire en el concreto.

Generalmente puede obtenerse un aumento de resistencia con los aditivos reductores de agua si se reduce la proporción de agua para una mezcla dada y si la proporción de cemento y el revenimiento se mantienen constantes. A pesar de la reducción en la proporción de agua, los concretos hechos con algunos aditivos reductores de agua muestran aumentos importantes en la contracción al secarse.

Estos aditivos están fabricados con lignosulfonatos, ácidos carboxílicos hidroxilados y carbohidratos.

I.1.4.g. FIBRAS.

La mayor parte de los estudios que sobre el uso de fibras se han realizado, han tenido por objeto el estudio de sus propiedades con el fin específico de mejorar alguna de las características no satisfactorias o no deseables del concreto, como pueden ser su baja resistencia a la flexión o tensión y su proceso de contracción en el proceso de endurecimiento. Esta última propiedad que produce agrietamientos en el concreto y como consecuencia final puede provocar oxidación en el acero de refuerzo y/o deterioramiento superficial de la masa de concreto.

Las fibras pueden estar hechas de acero, plástico, vidrio y algunos materiales naturales; en varias formas (cilíndricas, planas, rizadas, estriadas) y tamaños, de longitudes típicas de 6 a 76 mm. y espesores variables que van de 0.005 a 0.8 mm.

CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Acelerantes (ASTM C 494, Tipo C).	Aceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edad temprana.	Cloruro de calcio (ASTM D 98). Trietanolamina, tiocianato de sodio, formato de calcio, nitrito de calcio, nitrato de calcio.
Exclusores de aire.	Disminuyen el contenido de aire.	Fosfato tributilo, ftalato dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles al agua de ácido carbónico y bórico, silicones.
Aditivos inclusores de aire. (ASTM C-260).	Mejoran la durabilidad en los ambientes en que existe congelación-deshielo, productos químicos descongelantes, sulfatos, y reactividad a los álcalis. Mejoran la trabajabilidad.	Sales de resina de madera (resina vin-sol). Algunos detergentes sintéticos. Sales de lignina sulfonatada. Sales de ácidos de petróleo. Sales de material proteináceo. Acidos grasos y resinosos y sus sales. Sulfonatos dealkiben-ceno. Sales de hidrocarburos sulfonatados.
Reductores de reactividad con los álcalis.	Reducen la expansión provocada por la reactividad con los álcalis.	Puzolanas (ceniza volante, humo de sílice) escoria de alto horno, sales de litio y de bario, agentes inclusores de aire.
Aditivos para unir.	Mejoran la unión	Hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno.

Continuación...

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Agentes colorantes.	Concreto con color.	Negro de humo modificado, óxido de fierro, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio, azul cobalto (ASTM C 979).
Inhibidores de la corrosión.	Reducen el avance de la corrosión del acero en un ambiente con cloruros.	Nitrito de calcio, nitrito de sodio, benzoato de sodio, algunos fosfatos o fluosilicatos, fluoaluminatos.
Aditivos a prueba de humedad.	Retardan la penetración de la humedad en el concreto seco.	Jabones de calcio o estearato de amonio u oleato estearato butilo.
Aditivos minerales finamente divididos. Cementantes.	Propiedades hidráulicas. Sustitución parcial del cemento	Escoria de alto horno granulada molida. (ASTM C 989). Cemento natural. Cal hidráulica hidráulica hidratada. (ASTM C 141).
Puzolanas.	Actividad puzolánica. Mejoran la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos; reducen la reactividad con los álcalis, la permeabilidad y el calor de hidratación. Sustitución parcial del cemento Relleno.	Tierras diatomáceas, horstenos opalinos, arcillas, pizarras, tufas volcánicas, pumicitas (ASTM C 618, Clase N); cenizas volantes, (ASTM C 618, Clases F y C), humo de sílice.

Continuación...

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Puzolánicos y cementantes.	Los mismos que en las categorías de cementantes y puzolánicos.	Cenizas volantes con contenidos altos de calcio (ASTM C 618, Clase C). Escoria de alto horno granulada molida (ASTM C 989).
Nominalmente inertes.	Mejoran la trabajabilidad. Relleno.	Mármol, dolomita, cuarzo, granito.
Fungicidas, germicidas e insecticidas.	Inhiben o controlan el crecimiento de bacterias y hongos.	Fenoles polihalogenados. Emulsiones de dieldrin Compuestos de cobre.
Formadores de gas hidrolizadas	Provocan expansión antes de que se presente el fraguado.	Polvo de aluminio. Jabón de resina y goma vegetal o animal. Saponina. Proteínas
Agentes para morteros (lechadas)	Ajustan propiedades de los morteros (lechadas) para aplicaciones específicas.	Vea los aditivos incluidos de aire, acelerantes, retardantes, y agentes para la trabajabilidad.
Impermeabilizantes.	Disminuyen la permeabilidad.	Humo de sílice. Cenizas volantes (ASTM C 618). Escoria sólida (ASTM C 989). Puzolanas naturales. Reductores de agua. Látex.

Continuación...

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Ayudas de bombeo.	Mejoran la capacidad de bombeo.	Polímeros orgánicos y sintéticos. Floculantes orgánicos. Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos. Bentonitas y sílices pirogénicas. Puzolanas naturales (ASTM C 618, Clase N). Cenizas volantes (ASTM C 618, Clases F y C). Cal hidratada (ASTM C 141).
Retardantes (ASTM C 494, Tipo B).	Retardan el tiempo de fraguado.	Lignina. Bórrax. Azúcares. Acido tartárico y sales.
Superplastificantes (ASTM C 1017, Tipo 1).	Concreto con mayor fluidez. Disminuyen la relación agua/cemento.	Condensados de formaldehido de melamina sulfonatados. Condensados de formaldehido de naftaleno sulfonatados. Lignosulfonatos.
Superplastificantes y retardantes (ASTM C 1017, tipo 2).	Concreto con mayor fluidez y con retardo en el fraguado. Disminuyen la cantidad de agua.	Vea los aditivos superplastificantes y también los reductores de agua.
Reductores de agua (ASTM C 49), Tipo A).	Reducen la demanda de agua al menos 5%.	Lignosulfonatos. Ácidos caboxílicos hidroxilados. Carbohidratos. (También tienden a retardar el fraguado, por lo que a menudo se les agrega un acelerante).

Continuación.

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Reductores de agua y acelerantes (ASTM C 494, Tipo E).	Reducen el agua (mínimo 5%) y aceleran el fraguado.	Vea los aditivos reductores de agua, Tipo A (Se agrega un acelerante).
Reductores de agua y retardantes (ASTM C 494, Tipo D).	Reducen el agua (mínimo 5%) y aceleran el fraguado.	Vea los aditivos reductores de agua, Tipo A.
Reductores de agua de alto rango (ASTM C 494, Tipo F).	Reducen la demanda de agua (mínimo 12%).	Vea los aditivos superplastificantes.
Reductores de agua de alto rango y retardantes (ASTM C 494, Tipo G).	Reducen la demanda de agua (mínimo 12%) y retardan el fraguado.	Vea los aditivos superplastificantes y también los reductores de agua.
Agentes para la trabajabilidad.	Mejoran la trabajabilidad.	Aditivos inclusores de aire. Aditivos minerales finamente divididos, excepto el humo de sílice. Reductores de agua.

Después de analizar la clasificación de los aditivos, el más usual en concreto reforzado con fibras (plásticas o metálicas) es el aditivo fluidificante ya que al mezclar el concreto con las fibras, disminuye la trabajabilidad y fluidez, por lo que es necesario su uso.

No es recomendable añadir agua para lograr la trabajabilidad ya que el concreto elaborado se vería afectado en la resistencia deseada.

Cabe mencionar que no queda descartado el uso de otro aditivo, que dado sus características y efectos puede ser empleado.

I.2. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES.

I.2.1. RELACION AGUA/CEMENTO (LEY DE ABRAHAMS).

Relación Agua-cemento

La relación agua/cemento es sencillamente el peso del agua, dividido entre el peso del cemento. La relación agua/cemento que se elija para el diseño de la mezcla, debe ser el menor valor requerido para cubrir las consideraciones de exposición de diseño. La Tabla 1-1 sirven como guía para escoger la relación agua/cemento adecuada para diversas condiciones de exposición.

Cuando la durabilidad no sea el factor que rija en el diseño, la relación agua/cemento deberá elegirse con base en la resistencia a compresión del concreto. En tales casos la relación agua/cemento y las proporciones de la mezcla para la resistencia requerida deberán basarse en datos de campo adecuados o en mezclas de prueba hechas con los materiales con los que verdaderamente se va a trabajar para determinar la relación entre la relación agua/cemento y la resistencia (Figura 1-1). La tabla 1-2 puede usarse para escoger una relación agua/cemento, con respecto a la resistencia promedio requerida para mezclas de prueba, cuando no se disponga de ninguna otra información.

La Tabla 1-3 puede usarse sólo con permiso del ingeniero proyectista cuando no se cuente con datos ni mezclas de diseño. Si se hace uso de alguna puzolana en el concreto, se puede usar una relación agua/cemento-más-puzolana en peso, $W/(C+P)$, en vez de la tradicional relación agua/cemento-exclusivamente, (W/C) . En términos de equivalencia en peso, $W/(C+P)$ es sencillamente el peso del agua dividido entre la suma de los pesos del cemento y la puzolana.

Fue el profesor DUFF A. ABRAHAMS, del Instituto Lewis de Chicago, quien expresó la ley del endurecimiento del concreto por medio de una fórmula que relaciona el contenido de agua de una mezcla con el peso del cemento (w/c): " A más baja relación w/c es mayor la resistencia".

Cabe mencionar que una relación w/c de 0.27 teóricamente es la más adecuada para la hidratación del cemento y que cualquier contenido excedente a esta relación disminuirá la resistencia a la compresión ($f'c$), que pudiera alcanzarse.

En la práctica cotidiana en lo referente a colados de concreto, generalmente se pide una trabajabilidad que resulta difícil de obtener sin la adición de una poca o, en la mayoría de los casos, de mucha agua, afectando así, primeramente, la relación w/c y, consecuentemente, la resistencia.

Tabla 1-1 Relaciones agua/cemento máximas para diversas condiciones de exposición.

Condición de exposición	Relación agua/cemento máxima (en peso) para concreto de peso normal
Concreto protegido contra la exposición a la congelación y el deshielo o a la aplicación de productos químicos descongelantes	Escoja la relación agua/cemento basándose en los requisitos de resistencia trabajabilidad y acabados
Concreto que se pretende sea hermético:	
a. Concreto expuesto a agua dulce	0.50
b. Concreto expuesto a agua salobre o a agua de mar.	0.45
Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda:	
a. Guarniciones, cunetas, guardarríes, o secciones delgadas.	0.45
b. Otros elementos.	0.50
c. En presencia de productos químicos descongelantes.	0.45
Como protección contra la corrosión del concreto reforzado expuesto a sales descongelantes, aguas salobres, agua de mar, o a rocío proveniente de estas fuentes.	0.40

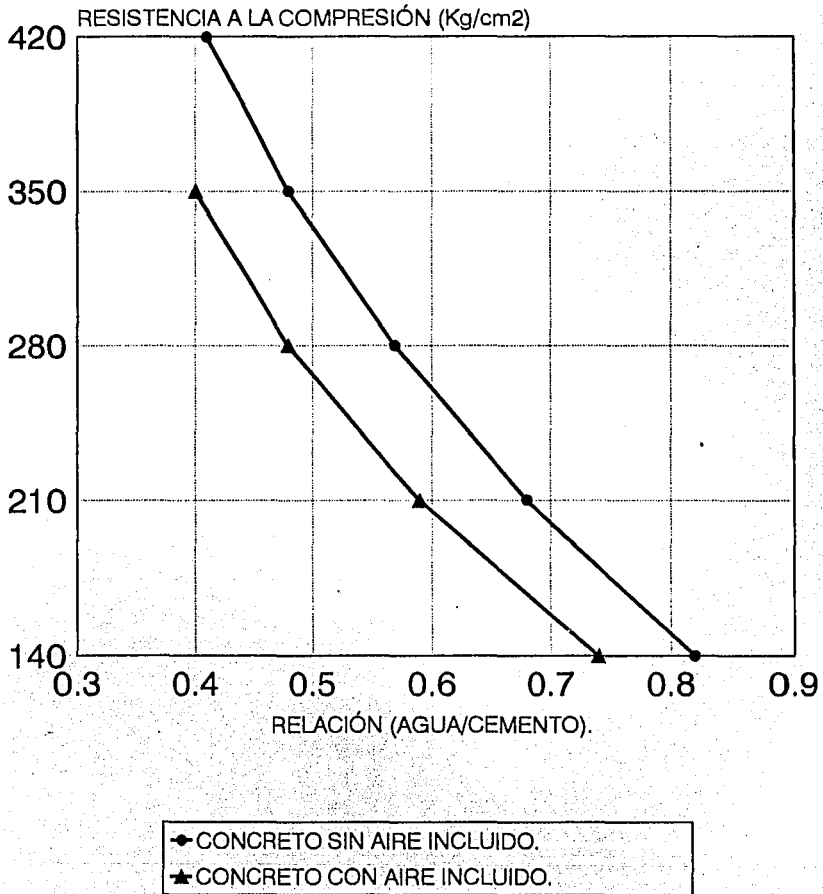
Ref.1.

Tabla 1-2 Correspondencia típica entre la relación agua-cemento y la resistencia a compresión del concreto.

resistencia a compresión a los 28 días, Kg/cm ² .	Relación agua/cemento en peso.	
	Concreto sin aire incluido.	Concreto con aire incluido.
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Ref.2.

CURVAS TÍPICAS DE RESISTENCIA DE MEZCLAS DE PRUEBA O DE CAMPO.



Ref. 3.

Fig. 1.1.

Tabla 1.3. Relaciones agua/cemento máximas permisibles para el concreto cuando no se dispone de datos de resistencia de experiencias en campo ni de mezclas de prueba.

resistencia a compresión a los 28 días, Kg/cm ² .	Relación agua/cemento en peso.	
	Concreto sin aire incluido.	Concreto con aire incluido.
175	0.67	0.54
210	0.58	0.46
245	0.51	0.40
280	0.44	0.35
315	0.38	*
350	*	*

Ref. 4.

* Para resistencias arriba de 315 kg/cm² (en concretos sin aire incluido) y de 280 kg/cm² (en concretos con aire incluido), las proporciones del concreto deberan establecerse a partir de datos de campo o de mezclas de prueba.

I.2.2. ASPECTOS QUE CALIFICAN AL CONCRETO, EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.

I.2.2.a. FRESCO.

a) UNIFORMIDAD.

El resultado de una mezcla correctamente diseñada, es un material homogéneo, uniforme, de buena cohesión y no segregable. Independientemente de la forma de mezclado que se emplee es importante que haya suficiente intercambio de materiales en la cámara de mezclado para que se cumpla con los requisitos antes mencionados.

b) TRABAJABILIDAD.

Es una propiedad del concreto que determina su capacidad de ser colado y compactado apropiadamente y de tener un acabado sin segregación nociva. Engloba conceptos tales como moldeabilidad, adhesión y compactabilidad.

c) REVENIMIENTO.

La prueba de revenimiento (Norma ASTM C143), es el método de mayor aceptación que generalmente se utiliza para medir la consistencia del concreto (Fig.1.2). El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (un molde de metal en forma cónica de 30 cm de altura con diámetro de 20 cm en su base y de 10 cm en la parte superior y una barra de acero de 15.9 mm de diámetro, y 61 cm de largo que tenga una punta de forma semiesférica). El cono de revenimiento humedecido, colocado a plomo sobre una superficie plana y sólida, deberá llenarse en tres capas de aproximadamente igual volumen. Por lo tanto, el cono deberá llenarse hasta una altura de aproximadamente 6.5 cm (después de varillar) para la primera capa, hasta aproximadamente 15 cm para la segunda capa, y sobrellenarse en la última capa. A cada capa se le aplican 25 golpes con la varilla.

La última capa se enrasa y se retira el cono lenta y verticalmente, mientras el concreto se desploma o se asienta hasta alcanzar una nueva altura. El cono de revenimiento vacío se coloca en seguida junto al concreto asentado.

El revenimiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, midiéndolo con una precisión de medio centímetro desde la parte superior del cono de revenimiento (molde) hasta el centro original desplazado del concreto desplomado.

Un valor alto de revenimiento señala a un concreto húmedo o fluido. La prueba de revenimiento deberá iniciarse dentro de los siguientes 5 minutos a la obtención de la muestra y la prueba se deberá completar en 2 1/2 minutos, pues el concreto pierde revenimiento con el tiempo.

Otro método de prueba involucra el uso del medidor k de revenimiento. Se trata de un instrumento de sondeo que se introduce dentro del concreto en cualquier lugar donde haya un mínimo de 15 cm de concreto alrededor del medidor.

La cantidad de mortero que fluye dentro de las aberturas en el probador es una medida de la consistencia. La prueba no ha sido normalizada por la ASTM.

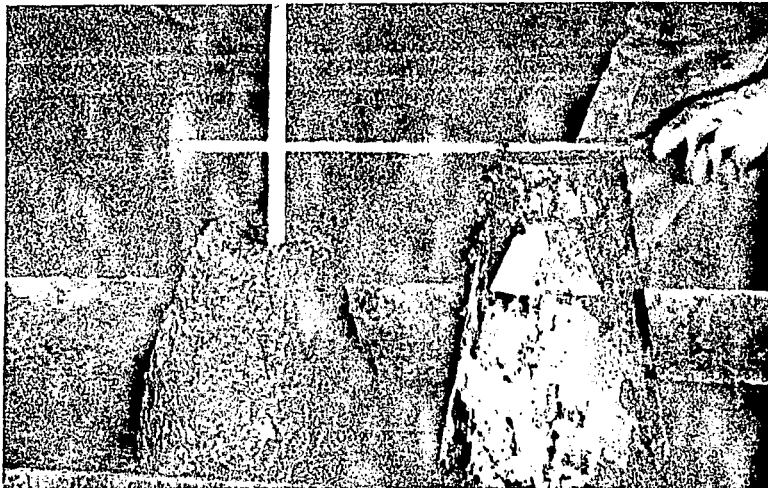


Fig. 1.2. Prueba de revenimiento para medir la consistencia del concreto.

Pruebas adicionales de consistencia son la prueba británica del factor de compactación, la prueba de remoldeo de Powers, la prueba alemana de la mesa de flujo (DIN 1048), La prueba Vebe, la prueba de la esfera de penetración (ASTM C360), y el cono invertido de revenimiento (ASTM C 995 para concreto reforzado con fibras). La prueba Vebe es aplicable en particular a las mezclas ásperas y extremadamente secas, y la mesa de flujo se aplica especialmente a los concretos fluidos.

Existen tres clases de revenimiento:

- 1.- Revenimiento Verdadero: cuando el concreto simplemente se asienta, conservando su forma original.
- 2.- Revenimiento de corte: cuando la mitad de la parte superior del cono de concreto se desprende y se desliza lateralmente en un plano inclinado.
3. Revenimiento de Colapso: cuando el concreto se asienta inmediatamente.

d) SEGREGACION.

Es la separación de los elementos que forman la mezcla heterogénea, de modo que ésta deja de ser uniforme.

e) SANGRADO.

Es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos, cemento, arena y piedra dentro de la masa.

Un sangrado excesivo aumenta la relación agua/cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se llevan a cabo las operaciones de acabado mientras está presente el agua de sangrado.

f) FRAGUADO.

Es el cambio que sufre un fluido cuando pasa al estado rígido. En concreto se usa este término para describir la rigidez de la mezcla. Es de uso común hablar de un fraguado inicial y de un fraguado final. El primero de ellos es cuando el concreto normal alcanza una resistencia a la penetración igual a 35 kg/cm². El segundo, es cuando se tiene una resistencia a la penetración de 280 kg/cm².

I.2.2.b. ENDURECIDO.

a) CONTRACCION Y FLUJO PLASTICO.

CONTRACCION:

Las deformaciones producidas por este fenómeno se debe principalmente a los cambios en el contenido de agua del concreto a lo largo del tiempo. Entre los factores que más importancia tienen al hablar de este fenómeno tenemos la cantidad inicial de agua en la mezcla y las condiciones ambientales a edad temprana de la misma.

FLUJO PLASTICO:

También conocido como fluencia, es un fenómeno relacionado con la aplicación de cargas con respecto al tiempo. el flujo plástico es debido al reacondo interno de las partículas que ocurren al mismo tiempo que la hidratación del cemento.

Este depende de algunas variables de consideración tales como la cantidad de pasta de cemento por unidad de volumen, la duración de la carga aplicada, edad del concreto, el proporcionamiento de la mezcla y la humedad.

b) MODULO ELASTICO.

La relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del intervalo elástico de una curva esfuerzo-deformación unitaria para el concreto define el módulo de elasticidad (E) de aquel concreto (fig. 1.3). El concreto de peso normal tiene un módulo

de elasticidad entre 140,620 y 421,860 kg/cm², dependiendo de factores tales como la resistencia a la compresión y el tipo de agregado. Para los concretos de tipo normal con resistencias a la compresión (f'c) entre 210 y 350 kg/cm², el módulo de elasticidad puede estimarse como 15,114 veces la raíz cuadrada de f'c. El módulo de elasticidad para el concreto ligero estructural se encuentra entre 70,310 y 175,775 kg/cm². Se podrá determinar el valor de E para cualquier concreto en particular conforme a la norma ASTM C 469.

* En las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto. Se dan los siguientes parámetros para la determinación del módulo de elasticidad en el concreto.

$$\text{Concreto clase I } E_c = 14,000 \sqrt{f'c}$$

$$\text{Concreto clase II } E_c = 8,000 \sqrt{f'c}$$

En donde:

E_c = Módulo de elasticidad del concreto (kg/cm²)

$f'c$ = Resistencia a la compresión (kg/cm²)

(Concreto clase I, peso volumétrico en estado fresco = 2.2 ton/m³)
 $f'c \geq 252 \text{ kg/cm}^2$.

Concreto clase II, peso volumétrico en estado fresco entre 1.9 y 2.2 ton/m³, $f'c < 250 \text{ kg/cm}^2$). Ecuaciones aplicables únicamente aplicables en concretos fabricados con agregados típicos de la Ciudad de México.

** Reglamento ACI-318-89, da la siguiente ecuación.

$$E_c = w^{1.5} 15,000 \sqrt{f'c}$$

En donde:

w = Peso volumétrico del concreto (ton/m³)

* Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y construcción de Estructuras de Concreto. México, D.F., Gaceta Oficial del Departamento del D.F., RCDF, Julio, 1991.

** Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado (ACI-318-89) y Comentarios, Traducción autorizada del American Concrete Institute, México, D.F. IMCYC. 1990.

CURVA GENERALIZADA, ESFUERZO-DEFORMACION UNITARIA PARA EL CONCRETO.

ESFUERZO, θ

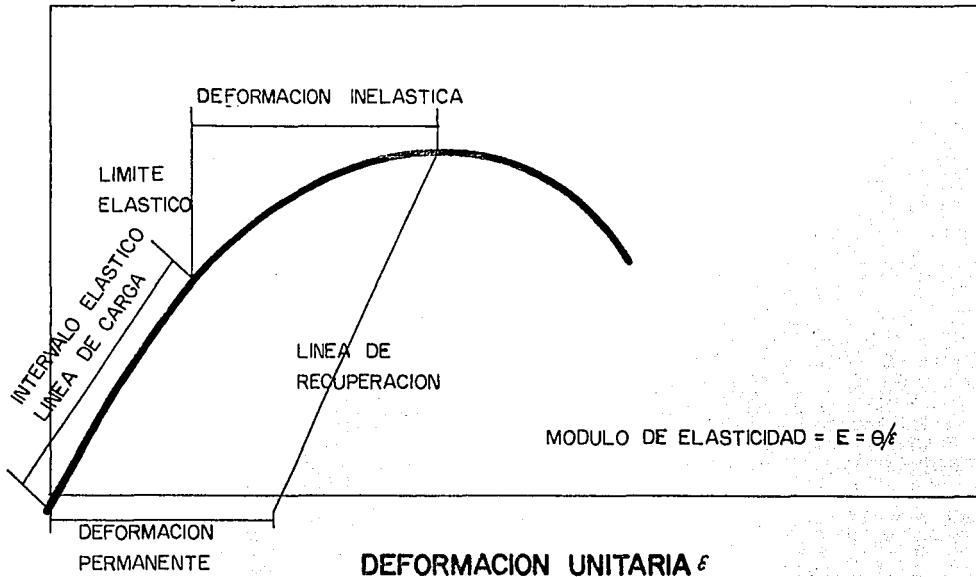


Fig.1.3.

c) ABRASION.

La prueba de resistencia a la abrasión se realiza siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C 779 el cual se usa una máquina de abrasión por medio de un disco rotatorio, (métodos de disco giratorio, de rueda rectificadora y de baleros de bolas).

También se puede determinar con la norma ASTM C 418 (limpieza con chorro de arena), y la norma ASTM C 944 (cortadora rotatoria).

Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja, como la resistencia a la compresión depende de la relación agua/cemento y del curado, una relación agua/cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia a la abrasión. El tipo de agregado y acabado de la superficie también tienen fuerte influencia en la resistencia a la abrasión.

d) PERMEABILIDAD.

Una de las características más importantes del concreto es su permeabilidad (propiedad de los materiales la cual permite el paso de algún fluido a través de él). Los concretos con baja relación a/c y altas resistencias presentan permeabilidades muy bajas en relación a los concretos de resistencias convencionales.

Se puede disponer de varios métodos de prueba para determinar la permeabilidad del concreto a distintas sustancias. Se hace uso tanto de métodos directos como indirectos. La resistencia a la penetración del ión cloruro, por ejemplo se puede determinar embalsando una solución de cloruro sobre una superficie de concreto a profundidades particulares (AASHTO T259).

La prueba de permeabilidad rápida a los cloruros (resistencia eléctrica) (AASHTO T277) se correlaciona satisfactoriamente con la permeabilidad y resistencia a la penetración del ión cloruro del concreto. También se emplean varios métodos de absorción. Se pueden obtener datos de permeabilidad directa al agua utilizando un método recomendado por el Instituto Norteamericano del petróleo (American Petroleum Institute) para rocas. En la ASTM se encuentra un proceso de desarrollo un método estándar para la permeabilidad hidráulica del concreto.

e) DURABILIDAD.

La durabilidad se refiere a la capacidad del concreto para resistir el deterioro proveniente del medio ambiente o del servicio que reciba. Un concreto diseñado adecuadamente deberá perdurar sin fallas de importancia durante su vida de servicio. Para cubrir los requisitos del proyecto, asegurarse o verificar la durabilidad, o determinar el efecto de ciertos ingredientes o procedimientos de operación sobre la durabilidad, se pueden efectuar varias pruebas. La resistencia a la congelación y al deshielo se puede determinar de acuerdo con las normas ASTM C 666, C 671 Y C 682. La resistencia a los descascaramientos provocados por el uso de productos descongelantes se puede determinar por medio de la norma ASTM C 672.

La protección contra la corrosión y la determinación de la actividad de corrosión del acero de refuerzo se pueden probar según la norma ASTM C 876. La reactividad álcali-agregado se puede analizar con las normas ASTM C 227 (reacción álcali-sílice), C 289, C 342, C 441 (efectividad de los aditivos minerales inhibidores de la reacción álcali-sílice), y C 586 (reacción álcali-carbonato). La resistencia a los sulfatos se puede evaluar por medio de las normas ASTM C 452 Y C 1012.

f) RESISTENCIA A LA COMPRESION.

El índice de resistencia más común en el caso del concreto es el obtenido de los ensayos de especímenes a la compresión simple. Esto, debido a la simplicidad en la aplicación de dichas pruebas y, a que fundamentalmente, mide las características más aprovechable del concreto además, sus otras características de resistencia mecánica se encuentran en función de la resistencia a la compresión del mismo.

La NOM C-155 designa como $f'c$, a la resistencia a la compresión obtenida de un cilindro estándar a los 28 días o a la edad en la que el concreto recibe su carga de servicio. La resistencia del concreto debido a una carga axial a compresión se determina con la siguiente fórmula:

$$\sigma = P/A = f'c$$

En donde σ = Esfuerzo (kg/cm²)
 P = Carga máxima (kg)
 A = Area promedio de la sección (cm²)

No existe una convención universal sobre el tipo de especímenes a ser ensayados para la prueba de compresión pero, el uso más común es utilizar cilindros con relación de esbeltez igual a 2. El espécimen más usual consta de una altura de 30 cm y diámetro de 15 cm. Fig. 1.4. esto es, para concretos en los cuales su aplicación final es en estructura típicas o convencionales.

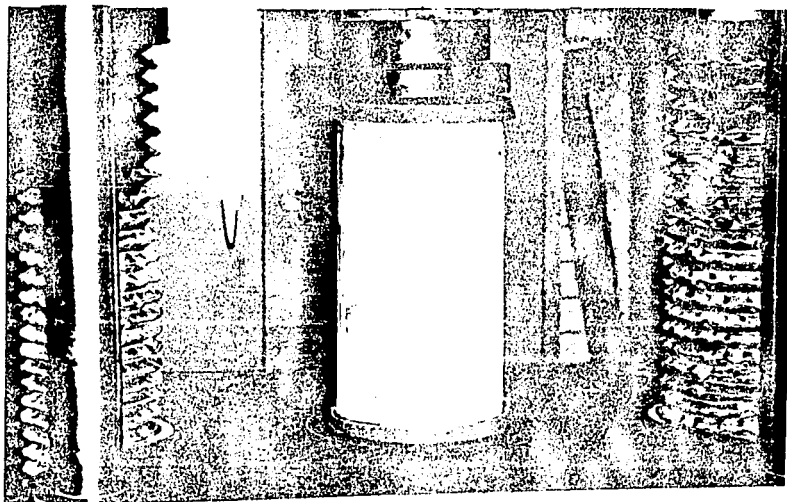


Fig. 1.4. Muestra espécimen sometido a resistencia a la compresión.

g) RESISTENCIA A LA TENSION.

Debido a las dificultades de un ensaye a tensión axial se realiza la prueba brasileña de tensión o como la NOM C-163 (ASTM C-496-71) la llama: determinación de la resistencia a la tensión diametral de cilindros de concreto.

La prueba brasileña es fácil de realizar y proporciona resultados más uniformes que otras pruebas de tensión. Se considera que la resistencia determinada en la prueba brasileña es más aproximada a la resistencia real del concreto que la del módulo de ruptura; la resistencia es del 12 al 15% más elevada que la resistencia a la tensión directa.

En forma general, la prueba consiste en someter a compresión diametral un cilindro de los empleados a compresión mediante las platinas de la maquinaria de prueba, llevando al espécimen a una falla a lo largo del diámetro vertical. En esta prueba, la hipótesis fundamental es que, si el material fuera perfectamente elástico, se originarían esfuerzos de tensión uniformemente distribuidos en la mayor parte del plano diametral de carga, como se muestra en las fig. 1.5.

La NOM antes mencionada determina la metodología de prueba de los cilindros. El método de elaboración, descimbrado, curado, así como la herramienta y equipo a utilizar, deben cumplir las mismas especificaciones que la NOM DGN C-159 contiene.

La resistencia a la tensión por compresión diametral se determina con la siguiente fórmula:

$$T = 2P/\pi LD$$

En donde: P = Carga máxima aplicada (kg)

T = Resistencia a la tensión (kg/cm²)

L = Longitud (cm)

D = Diámetro (cm)

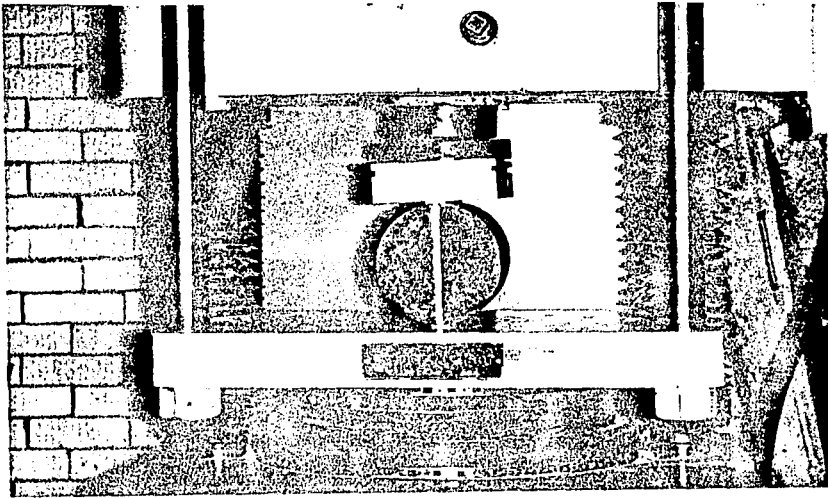


Fig. 1.5. Muestra espécimen sometido a resistencia a la tensión

h) RESISTENCIA A LA FLEXION.

El valor de la resistencia del concreto simple o flexión se obtiene del ensaye de vigas de sección cuadrada. dichas vigas son colocadas en forma simplemente apoyada y se les aplica una o dos cargas puntuales (fig.1.6 y 1.6.1). La NOM C-161 y La NOM C-160 reglamentan o especifican las condiciones de elaboración, curado y prueba de los especímenes de concreto para éste fin.

La resistencia a la flexión en especímenes de concreto sujetos a una sola carga puntual, es mayor que para aquéllos sometidos a dos cargas puntuales simétricas, ésto se debe a que en el segundo caso las zonas de esfuerzos máximos se presenta en una porción mayor de la viga, lo que por consecuencia aumenta la posibilidad de que en esa porción exista una zona de menor resistencia que la promedio.

La resistencia a la flexión se usa como índice de la resistencia de estructuras tales como pavimentos rígidos, sin embargo, esta prueba también es utilizada para determinar la resistencia del concreto a la tensión originada por la flexión siendo en este caso el índice de resistencia el patrón conocido como módulo de ruptura. Este módulo se expresa con la siguiente ecuación:

$$MR = Mc/I$$

En donde: MR = Módulo de ruptura del material.

M = Momento flexionante máximo.

c = Medio peralte.

I = Momento de inercia de la sección.

o bien, con la siguiente fórmula:

$$MR = 3/2 PL/bd^2$$

En donde: P = Carga máxima.

L = Longitud entre los apoyos.

b = Ancho de la viga.

d = Peralte de la viga.

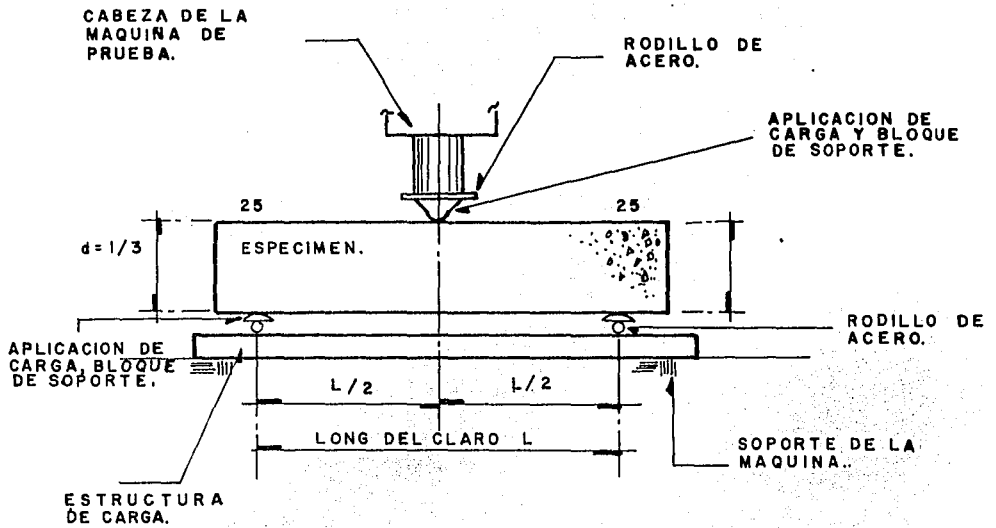


Fig. 1.6. Esquema representativo de espécimen sometido a resistencia a la flexión bajo una carga puntual.

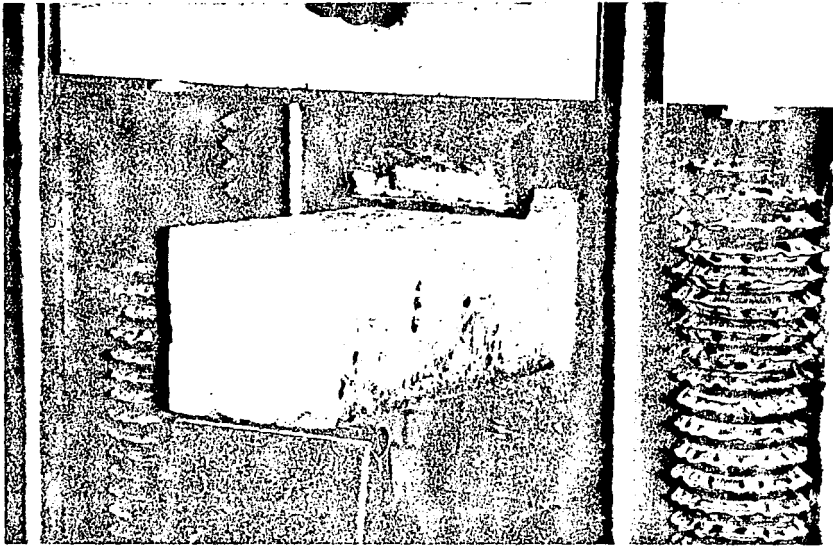


Fig. 1.6.1. Muestra espécimen sometido a resistencia a la flexión.

C A P I T U L O I I

GRIETAS EN EL CONCRETO.

El concreto es uno de los materiales que se utilizan más por las siguientes razones.

- Permite realizar estructuras de gran belleza.
- Es económico en comparación con otros materiales. por ej. el acero.
- Permite realizar estructuras de cualquier forma, ya que el concreto en estado fresco toma la forma del molde que uno desee.
- Tiene la rigidez suficiente para hacer estructuras seguras.

Sin embargo, el concreto presenta también algunas deficiencias como pueden ser : tener poca resistencia al impacto, una alta permeabilidad y el que se agriete.

Que es lo que pasa?, una vez que hemos colocado y terminado una obra empiezan a presentarse grietas, las cuales desde el punto de vista arquitectónico pueden ser inaceptables y pueden afectar de manera importante la durabilidad y funcionamiento de la estructura. Aquí es importante hacer notar que lo que más cuesta y afecta importantemente a las compañías no es la inversión inicial sino las pérdidas y problemas que implica el sacar de operación a las estructuras para darles mantenimiento, en muchas ocasiones a los pocos meses de haberse terminado la obra.

En cuanto al agrietamiento existe una única razón que provoca el agrietamiento del concreto y esta es, "Esfuerzos Excesivos".

Ahora los esfuerzos excesivos pueden ser clasificados en dos categorías, Externos e Internos.

Los esfuerzos externos provocados por el diseño, las cargas y el procedimiento constructivo.

Los esfuerzos internos por el trabajo mismo del concreto, los cuales pueden provocar grietas que podemos clasificar en tres categorías principales : Grietas plásticas (provocadas por contracción y asentamiento plástico), grietas por contracciones a edades tempranas y grietas por contracciones a edades posteriores.

Ahora en cuanto a las grietas estas pueden ser tratadas de tres formas, dependiendo del tipo de grietas :

- Evitar que éstas se presenten.

- Permitir que se formen en zonas predeterminadas en donde posteriormente podamos trabajarlas o que no afecten la durabilidad y funcionamiento de la estructura.
- Permitir que estas se presenten en forma aleatoria y reforzar y detallar la estructura de manera que los anchos de las grietas sean limitados.

Los reglamentos tratan el problema de las grietas de acuerdo con la última recomendación. Es importante notar que el agrietamiento ha causado problemas en la práctica, esto ocurre frecuentemente porque grietas que deberían haber sido evitadas, se ha permitido que se presenten. Estas pueden ser grietas plásticas las cuales no pueden ser controladas por el acero de refuerzo o grietas en áreas en donde se presentan esfuerzos no calculados y el refuerzo insuficiente no puede controlar el agrietamiento.

Las grietas debidas a cargas externas rara vez causan problemas en miembros adecuadamente reforzados.

El concreto al igual que otros materiales, sufre de expansiones y contracciones debidas tanto a diferentes estados de carga, como a efectos de cambios de temperatura que generan diferentes estados de esfuerzos. En el caso de que estos no se consideren en el proceso de elaboración, curado y servicio de los diferentes elementos estructurales, se pueden formar agrietamientos, de los cuales vamos a distinguir dos tipos en forma muy general:

- Estructurales.

- No estructurales.

El primero de ellos es de consideración fundamental en el análisis y diseño estructural en función de las cargas internas o externas a la estructura. Dichos agrietamientos deben de estar restringidos hasta ciertos límites que garanticen la estabilidad estructural del sistema y de estética del mismo.

El segundo de ellos y objeto de estudio en este trabajo, son aquellas grietas de carácter no estructural, provocadas por diferentes esfuerzos en los materiales constitutivos del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

Este último caso resulta más difícil de evaluar por el gran número de variables que involucra en relación al primero de ellos en el que las grietas dependen directamente de esfuerzos y deformaciones para lo cual existe toda una metodología de análisis en su determinación. Un ejemplo de lo anterior podría explicarse en el caso específico del análisis de las características mecánicas de los agregados, concepto que difícilmente estará definido en las especificaciones del proyecto.

Además, se tiene el problema de que las grietas no siempre surgen al mismo tiempo, puesto que en función de las variables que se tengan, esto podrá ser desde muy corto hasta muy largo plazo (de horas o días a meses o años).

II.1. TIPOS DE GRIETAS.

En la tabla 2.1. se da una clasificación de los diferentes tipos de grietas no estructurales, siendo de nuestra mayor consideración las siguientes:

- Grietas por contracción por secado.
- Agrietamiento (grietas superficiales).
- Grietas provocadas por restricciones internas o externas.
- Por contracción plástica.
- Por asentamiento plástico (fluencia).

La figura 2.1 nos muestra una estructura hipotética de concreto en la cual se observan los diferentes tipos de grietas no estructurales en situaciones típicas. Para la interpretación correcta de esta figura considerese la tabla 2.1.

Tabla 2.1.

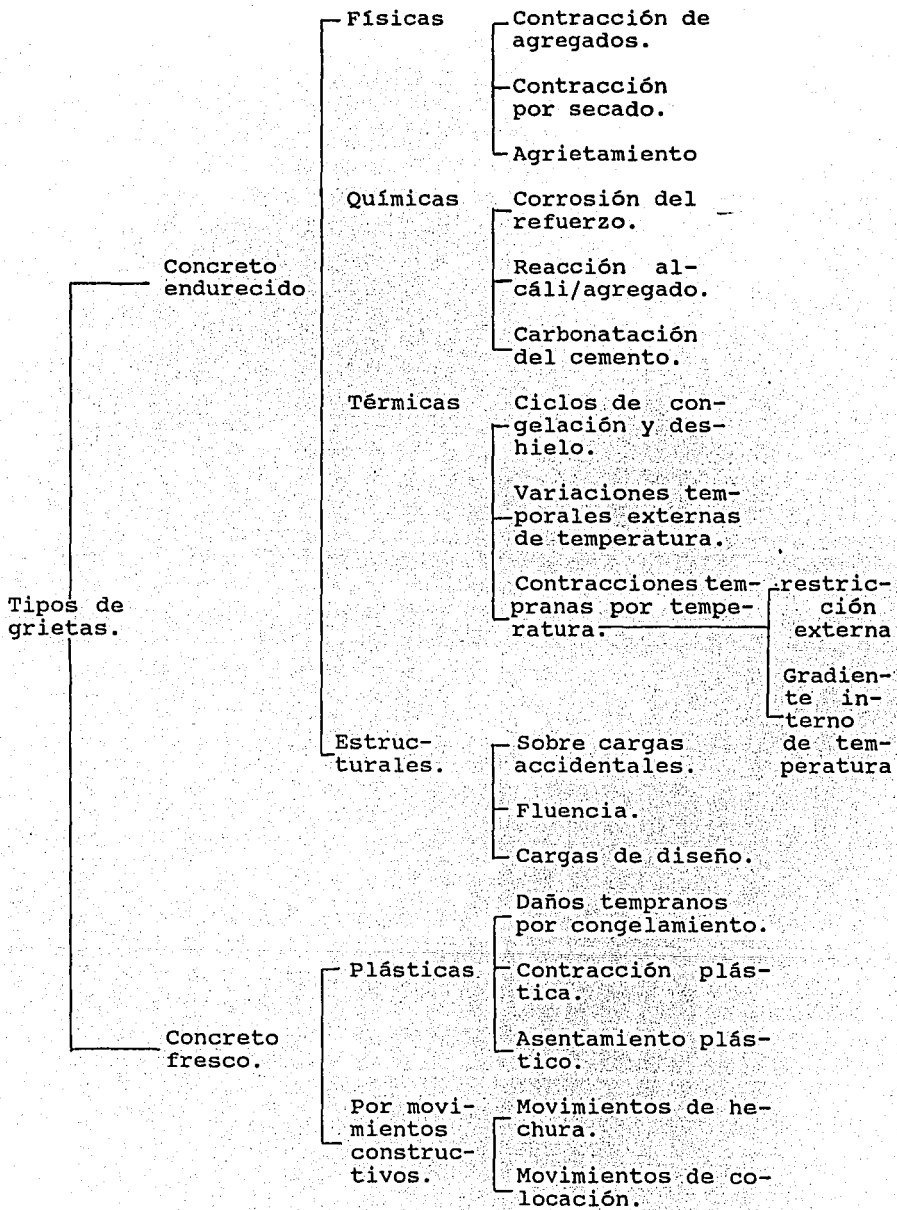
TIPO DE GRIETAS	LETRA	SUBDIVISION	LOCALIZACION MAS COMUN
Por asentamiento plástico (fluencia).	A	Sobre el refuerzo.	Secciones profundas.
	B	Arqueo.	Parte.
	C	Cambio de profundidad.	Losas reticulares.
Por contracción plástica.	D	Diagonal.	Caminos y losas de piso.
	E	Al azar.	Losas reforzadas.
	F	Sobre el refuerzo.	Losas reforzadas.
Por restricciones internas o externas.	G	Restricción externa.	Muros gruesos.
	H	Restricción interna.	Losas gruesas.

continuación...

TIPO DE GRIETAS	LETRA	SUBDIVISION	LOCALIZACION MAS COMUN
Contracción por secado a largo plazo.	I		Losas y muros delgados.
Grietas superficiales.	J	Acabado inadecuado.	Superficie.
	K	Concreto fluidificado.	Losas.
Corrosión del refuerzo.	L	Natural.	Carencia de recubrimiento.
	M	Por cloruro de calcio.	Concreto premezclado.
Reacción alcali-agregado	N		Humedades.

continuación...

TIPO DE GRIETAS	LETRA	SUBDIVISION	LOCALIZACION MAS COMUN
Contracción por secado a largo plazo.	I		Losas y muros delgados.
Grietas superficiales.	J	Acabado inadecuado.	Superficie.
	K	Concreto fluidificado.	Losas.
Corrosión del refuerzo.	L	Natural.	Carencia de recubrimiento.
	M	Por cloruro de calcio.	Concreto premezclado.
Reacción alcáli-agregado	N		Humedades.



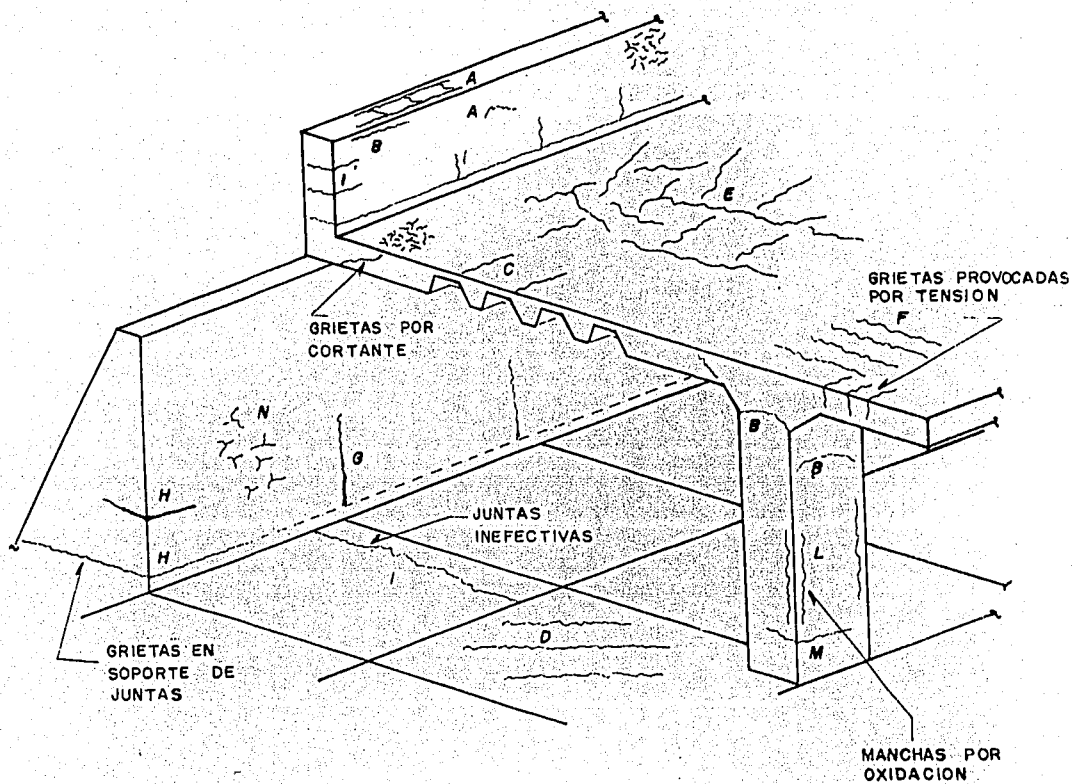


Figura 2.1.
Estructura Hipotética
de los diferentes ti-
pos de grietas no es-
tructurales.

II.1.1. GRIETAS POR CONTRACCION PLASTICA Y POR CONTRACCION POR SECADO A LARGO PLAZO.

Las grietas producidas por este fenómeno se deben principalmente a los cambios en el contenido de agua del concreto en relación a su edad. Entre los factores más importantes al hablar de este fenómeno tenemos la cantidad inicial de agua en la mezcla, la relación de área expuesta y las condiciones ambientales a edad temprana de la misma.

Las grietas por contracción plástica ocurren a las pocas horas de haber sido colocado el concreto, aunque generalmente se les detecta hasta el siguiente día (aparecen en el rango de tiempo comprendido entre los 30 minutos y seis horas) y no debe confundirse con las grietas por contracción por secado a largo plazo. Este tiempo es frecuente verlas en losas o en, menos común en las caras externas de muros.

Las losas de concreto que hallan sido correctamente aplanadas no deberán exhibir grietas por contracción plástica debido a la acción del allanado que recompacta la mezcla y tiende a cerrar las grietas tan pronto como ellas se forman.

De estas tenemos tres tipos básicos:

- Grietas diagonales a 45 grados separadas de los cantos de las losas de 0.2 - 2.0 M.
- En forma aleatoria formando una red o mapa amplio.
- Grietas que siguen la pauta del acero de refuerzo u otros aspectos físicos como cambios de sección.

Aunque las grietas por contracción plástica pueden ser muy anchas en su parte superior, estas disminuyen rápidamente en función de su profundidad. No obstante, algunas veces estas atraviesan el peralte total de las losas.

Las grietas por contracción por secado a largo plazo se producen por el efecto de contracción antes mencionado (aparecen después de varias semanas o meses).

Como resultado de la reducción en volumen, pueden producirse grietas sólo si el concreto se encuentra restringido en algunos sentidos, pero en el caso específico de este, estudios han demostrado que por el bajo valor de las contracciones a largo plazo, aisladamente, no puede iniciar agrietamientos. Con un adecuado diseño del esfuerzo y procesos constructivos adecuados, la probabilidad de los efectos de agrietamiento por contracción por secado estará muy disminuida.

II.1.2. GRIETAS SUPERFICIALES.

Las grietas superficiales son el desarrollo de una red de grietas muy finas o hendiduras, que aparecen al azar sobre la superficie del concreto o del mortero, debido a la contracción de la capa superficial. Rara vez tienen una profundidad mayor a los 3 mm y son más visibles si el acabado de la superficie se realizó con llana metálica. Las áreas exagonales definidas por estas grietas van de tamaños desde 9 mm en casos excepcionales, hasta de 40 mm de lado a lado. Este tipo de grietas aparecen en el concreto a unas cuantas horas de haber sido colocado o a lo más, al final de la primera semana (algunas veces, mucho tiempo después). Fig. 2.2.

Este tipo de grietas pocas veces dañan la durabilidad o resistencia al desgaste; sin embargo, son poco agradables a la vista.

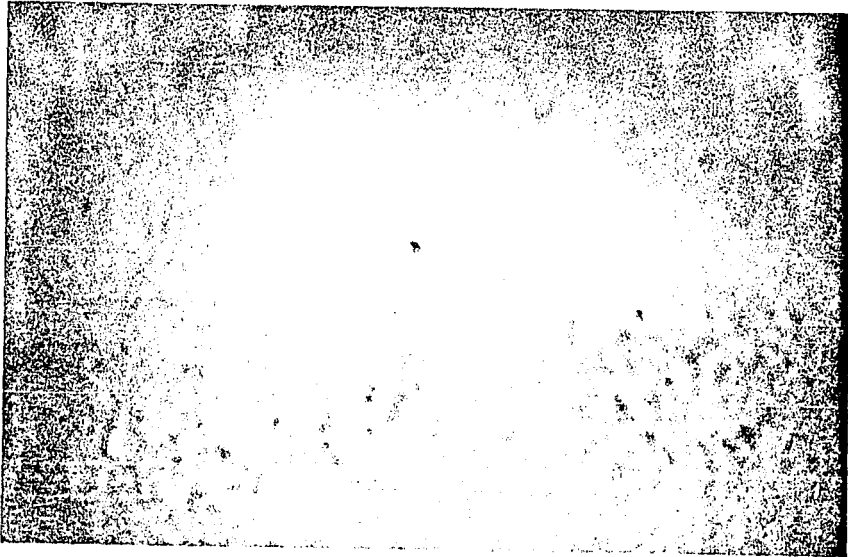


Fig. 2.2.

II.1.3. GRIETAS PROVOCADAS POR CONTRACCIONES TEMPRANAS DE TEMPERATURA (RESTRICCIONES FISICAS).

La reacción del cemento con el agua, conocida como hidratación, es una reacción química que produce calor. Si el elemento de concreto es lo suficientemente grande se produce un efecto de aislamiento, afectado también por el confinamiento de las cimbras, el cual no permite la pérdida de calor al exterior por lo que la temperatura de la mezcla se eleva. Después de algunos días la temperatura desciende produciéndose contracciones en el elemento, que, en función de las restricciones a ese efecto se producirán grietas, mismas que aparecen en el concreto en un período de tiempo que va de aproximadamente un día a tres semanas. Fig. 2.3.

Se tienen 2 tipos básicos de restricciones:

- Restricción Externa.

Si el concreto es colocado en una base previamente compactada, o es colado junto a elementos similares sin la previsión de una junta que permita el movimiento, estará posteriormente restringido.

- Restricción Interna.

La superficie de un elemento de concreto fragua más rápidamente que su parte interna; además respondera a las variaciones de temperatura externas más que su núcleo. Es por ello que se tendrán diferenciales de deformaciones a lo largo de la sección y donde ese diferencial sea mayor, como pueden ser secciones gruesas, se presentarán finalmente grietas en la parte externa o superficie del elemento.

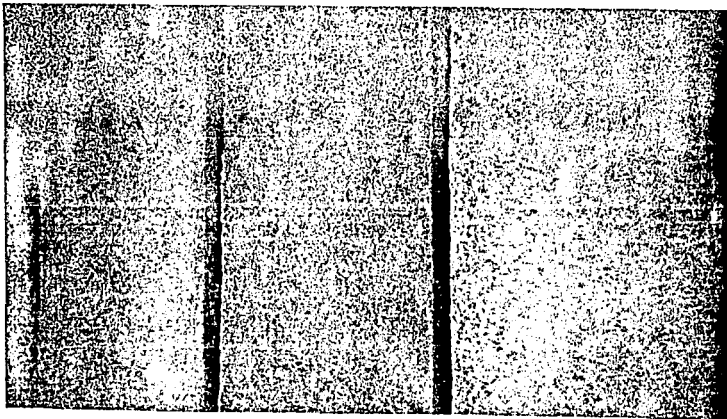


Fig. 2.3.

II.1.4. GRIETAS POR ASENTAMIENTO PLASTICO.

Este tipo de grietas son producidas por el efecto de flujo plástico del material, propiedad más conocida como fluencia.

Este, es un fenómeno relacionado con la aplicación de cargas con respecto al tiempo debido al reacomodo interno de las partículas en función de la aplicación de las cargas ocurriendo esta deformación al mismo tiempo que la hidratación del cemento. Otros factores que influyen en este fenómeno son los materiales constitutivos de la mezcla de concreto, su proporcionamiento y la humedad ambiental.

Las grietas por flujo plástico ocurren solo cuando el sangrado y los asentamientos son relativamente altos y se tienen algunas restricciones al asentamiento.

Los tipos más comunes que se presentan son:

- Grietas directamente por encima de los pasos de los moños de las cimbras o directamente sobre el acero de refuerzo que permanece fijo cerca de la parte externa del elemento.
- Grietas en columnas y muros esbeltos en forma de arco que se forman generalmente en la parte superior de los mismo, efecto que se ve agravado por los traslapes del acero de refuerzo.
- Grietas en cambios de secciones.

II.2. CAUSAS DE AGRIETAMIENTO.

En forma general, las principales causas en la formación de grietas son prácticas de diseño y construcción poco adecuadas, de estas podemos mencionar:

- El no colocar juntas de control o aislamiento.
- Preparación incorrecta de la base, en el caso específico de losas sobre el suelo.
- El uso de un concreto con alto revenimiento o la adición de agua.
- Acabado inadecuado de las superficies.
- Ineficiencia en el curado.

En forma específica para los tipos de grietas antes mencionados se observan las siguientes causas tabla 2.2.

Tabla 2.2.

TIPO DE GRIETA.	LETRA	CAUSA PRIMARIA. (SE EXCLUYEN RESTRICCIONES).	CAUSA SECUNDARIA. (PARA TODOS LOS CASOS SE CONSIDERA ADECUADO REDUCIR LAS RESTRICCIONES).
Por asentamiento o (fluencia).	A	Sangrado.	Condiciones rápidas de secado A edad temprana.
	B	Excesivo.	
	C		
Por contracción plástica.	D	Secado rápido.	Baja relación de sangrado.
	E	A edad temprana.	
	F	Idem. Cerca de la superficie del acero.	
Por restricciones internas o externas.	G	Exceso en la generación de calor.	Enfriamiento rápido.
	H	Exceso en los gradientes de temperatura.	

Continuación...

TIPO DE GRIETA	LETRA	CAUSA PRIMARIA. (SE EXCLUYEN RESTRICCIONES).	CAUSA SECUNDARIA. (PARA TODOS LOS CASOS SE CONSIDERA ADECUADO REDUCIR LAS RESTRICCIONES).
Contracción por secado a largo plazo.	I	Ineficiencia en las juntas.	Exceso de las contracciones por curado ineficiente.
Grietas superficiales.	J	Acabado antes de tiempo.	Mezclas muy ricas.
	K	Sobre allanado.	Curado pobre.
Corrosión del refuerzo.	L	Carencia de recubrimiento.	
	M	Exceso de cloruro de calcio.	Concreto de baja calidad.
Relación alcali-agregado.	N	Alta reactividad de los agregados con los álcalis del cemento.	

II.3. METODOS DE PREVENCION O DISMINUCION DE AGRIETAMIENTOS.

Como ya se mencionó, el concreto siempre se agrieta, razón por la cual resulta muy difícil el obtener un concreto libre de las mismas. No obstante, se puede disminuir o controlar dichos efectos mediante una práctica de diseño y de construcción adecuada, o mediante algún aditivo, que por sus características propias, en correspondencia a las de la mezcla, contribuyan a eliminar este problema.

II.3.1. METODOS COMUNES.

Los métodos más comunes de control de grietas se describen a continuación:

- **Sub-base o subrasante y cimbra:**

la sub-base o subrasante deberá proporcionar apoyo firme y uniforme a la losa de concreto, por lo antes del colado deberán eliminarse todo los materiales sueltos y basura existentes; en lo que se refiere a la capa de apoyo, esta debe ser compactada adecuadamente, cuidando que tenga la pendiente adecuada para que permita escurrimientos y además, debe de presentar una superficie lisa. Toda la cimbra debe de estar correctamente colocada y sujeta para evitar movimiento de la mismas por empuje de la mezcla de concreto fresco. Inmediatamente antes del colado, deben de humedecerse la capa de apoyo, la cimbra y el acero de refuerzo si existiese.

- **CONCRETO:**

En general es adecuado utilizar revenimientos no mayores de 12 cms y evitar el remezclado. Sin embargo, según los requerimientos del proceso constructivo, pueden utilizarse concretos con revenimiento máximo de 18 cms. siempre y cuando la mezcla esté diseñada para dar la resistencia requerida evitando problemas de segregación y sangrado.

En concreto a la intemperie, en lugares con climas extremos, caso más específico, lugares en los cuales se tengan problemas congelación y deshielo, es recomendable incluir aire en la mezcla para mejorar su durabilidad. En lugares cálidos, en los que se tenga problemas de evaporación excesiva, éste deberá reducirse por algún medio que evite las grietas por contracción plástica.

- ACABADO:

El acabado debe de hacerse en el preciso instante en el que desaparece el agua superficial de la mezcla. Debe evitarse espolvorear o aplanar cemento seco o una mezcla de cemento y arena fina en la superficie del concreto en estado plástico para absorber el agua de sangrado. El aplanado inicial debe ser rápidamente seguido por el pulido mecánico. Para obtener mayor tracción, un escobillado es adecuado para obtener una superficie rugosa.

- CURADO:

Debe de iniciarse el curado tan pronto como sea posible, ya sea por anegamiento, aspersión, costales húmedos, capa de arena, plástica, papel kraft, membrana o cualquier otro método recomendado (ACI 308).

En el caso de curado con membrana, debe aplicarse preferentemente con aspersor y es recomendable poner una segunda capa al día siguiente de la primera aplicación.

Si el curado se realiza utilizando tela de Yute mojada, debe tenerse cuidado de que esta se encuentre limpia y debe de mantenerse húmeda al menos 5 días si el cemento utilizado es tipo I o normal.

Los plásticos para el curado, de espesores mayores o iguales a 0.1 mm, aumentan tanto el sangrado como el agrietamiento en concretos con un alto revenimiento, por lo que éstas deben cubrirse con una capa de arena húmeda de 2 a 5 cm de espesor.

Debe de evitarse discontinuidad en el curado.

- JUNTAS:

El objeto de construir juntas en las superficies de concreto es para absorber los movimientos de contracción o expansión de las losas, provocados por los cambios de temperatura y/o humedad.

Las juntas de control pueden realizarse mediante aserrado, labrado o formado de hendiduras de un espesor aproximado de 0.25 del espesor total de la losa. La separación máxima entre juntas debe ser menor o igual a 30 veces el espesor de la losa. La longitud conveniente de estas losas es 1.5 veces el ancho.

Cuando se prevea restricciones en la libertad de movimiento de la losa, por citar algún ejemplo, en las uniones de los pisos con los muros, cimentación o columnas, se deberán colocar juntas de aislamiento. Estas juntas deberán hacerse en todo el espesor de la losa colocando algún tipo de barrera que impida la adherencia de la losa con otros elementos estructurales o constructivos.

- RECUBRIMIENTO:

Para prevenir la aparición de grietas en concreto reforzado, producidas por expansión del acero de refuerzo al sufrir corrosión debido al ataque de sulfatos, ácidos y sales contenidos en el agua, debe dejarse como recubrimiento mínimo los valores que aparecen en la siguiente tabla 2.3.

Tabla 2.3.

CASO	No.	VARILLA	RECUBRIMIENTO (Cm.)
Colado en contacto permanente con el terreno.	3	AL 14	7
Expuesto a tierra o intemperie.	<	AL 5	4
	6	AL 14	5
No expuesto a tierra o intemperie.			
- Losas, Muros y Trabes.	14	AL 16	4
	<	AL 11	2
- Columnas.			4
- Cascarones.	>	AL 6	2
	<	AL 5	1

II.3.2. USO DE FIBRAS.

Una de las aplicaciones más comerciales del uso de fibras es la reducción de grietas por contracción y asentamiento plástico, aunque el campo y desarrollo de las mismas es mucho más amplio.

En este inciso se hará una descripción general de los conceptos relacionados al concreto reforzado con fibras, las más utilizadas, y algunas de sus características físicas, químicas y constructivas más importantes.

II.3.2.a. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

El concreto reforzado con fibras es un concreto hecho con cementantes hidráulicos, agregados finos y gruesos, y fibras cortas o discontinuas.

Las fibras pueden estar hechas de acero, plástico, vidrio y algunos materiales naturales en varias formas (cilíndricas, planas, rizadas, estriadas) y tamaños, de longitudes de 6 a 76 mm y espesores variables que van de 0.005 a 0.8 mm. Un parámetro numérico útil que describe a las fibras es la relación de su longitud dividida entre su diámetro equivalente.

La tabla 2.4. da una muestra más exacta de los diferentes tipos de fibras existentes, sus diámetros correspondientes, resistencia a la tensión y gravedad específica:

Tabla 2.4.

FIBRA	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA A LA TENSION (Kg/Cm ²)	GRAVEDAD ESPECIFICA
Asbestos	0.00001-0.020	5600 - 9800	3.20
Algodón	*	4200 - 7000	1.50
Vidrio	0.005-1.300	10500 - 38500	2.50
Nylon	0.020-0.380	7700 - 8400	1.10
Poliester	0.020-0.380	7350 - 8750	1.40
Polietileno	0.020-0.380	7350 - 7000	0.95
Polipropileno	0.020-0.380	5600 - 7700	0.90
Acero **	0.005-5.080	2800 - 28000	7.80
Henequen	0.010-0.051	2800 - 8400	1.49
Carbón	0.003-0.009	2800 - 26600	1.90

* Se le encuentra en una gran variedad de formas y tamaños.

** Una medida más real para fibras de acero sería su ancho por su espesor.

II.3.2.b. PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO ELABORADO CON FIBRAS.

- COMPORTAMIENTO:

Cuando especímenes de concreto reforzado con fibras son cargados a flexión, se observan dos estados de comportamiento en la curva de carga vs deformación. Esta curva puede considerarse de un comportamiento más o menos lineal hasta el punto - A - (Fig. 2.4.). Más allá de este punto, la curva es significativamente no lineal, presentando un segundo máximo en el punto - B -. El punto - A - es más bien conocido como límite elástico o de proporcionalidad, mientras que el punto correspondiente en - B - ha sido llamado de resistencia última. Este comportamiento depende

de algunas variables tales como el tipo de fibra utilizada, en el caso de fibras metálicas su forma a todo lo largo o pequeño anchaje en sus extremos (geometría), cantidad utilizada, orientación de las fibras, sin olvidar claro está, la relación agua/cemento, contenido de aire, densidad. etc.

Las figuras 2.5 Y 2.6 ejemplifican en forma comparativa el comportamiento de concretos reforzados y no con fibras, en pruebas de flexión y compresión.

- RESISTENCIA ESTÁTICA:

El uso de fibras metálicas en dosificación de un 4% del volumen, ha demostrado un incremento en el límite elástico a flexión del material en relación a la misma mezcla sin fibra en razón de 2.5 veces y un ligero incremento de la resistencia a la compresión (véase las fig. 2.5 y 2.6). Sin embargo, el 2% del volumen se considera una dosificación adecuada por efectos prácticos de colocación en campo.

Las fibras incrementan la ductilidad del concreto dependiendo del tipo y del contenido de fibra utilizada.

En el caso de las fibras metálicas, se ha observado que el anclaje en extremos o una forma ondulada de la fibra, puede proveer la misma resistencia que fibras de acero lisas pero con la ventaja de usar un 40% menos de fibra.

Las fibras de vidrio tenían la desventaja de sufrir ataque químico debido a la alta alcalinidad del cemento hidratado, problema que se ha visto disminuido al desarrollarse fibras de vidrio resistentes a los álcalis.

Las fibras plásticas, tales como las de nylon, polipropileno o polietileno, son resistentes ante agentes químicos agresivos y se ha encontrado que contribuyen a mejorar la resistencia en el concreto, tanto mecánica como al impacto.

COMPORTAMIENTO A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS ELABORADOS CON FIBRAS.

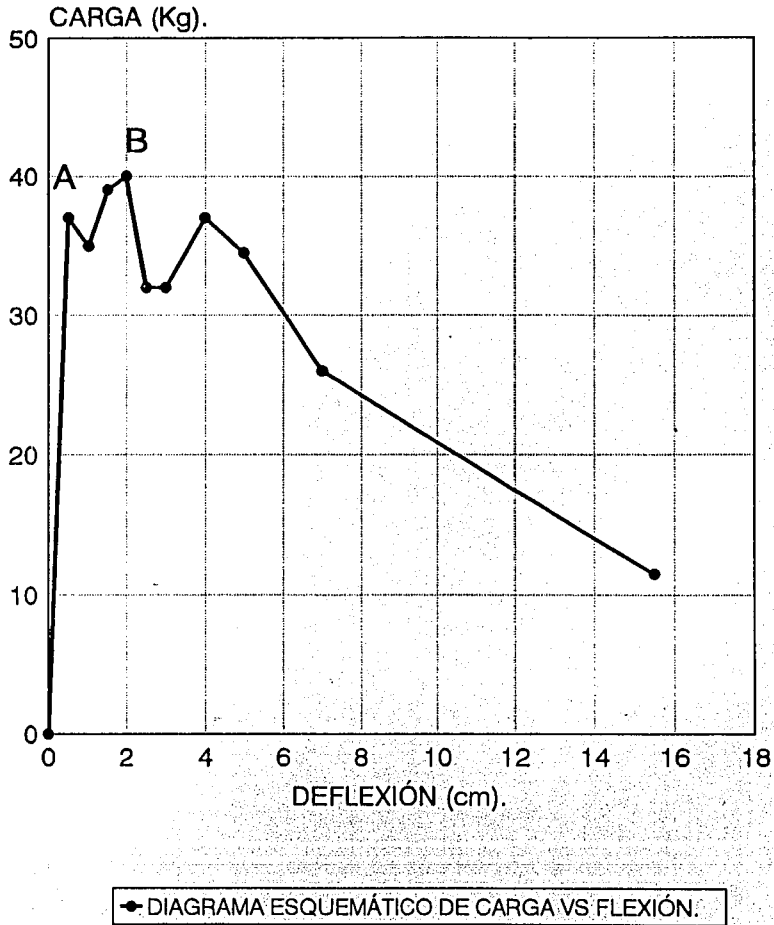
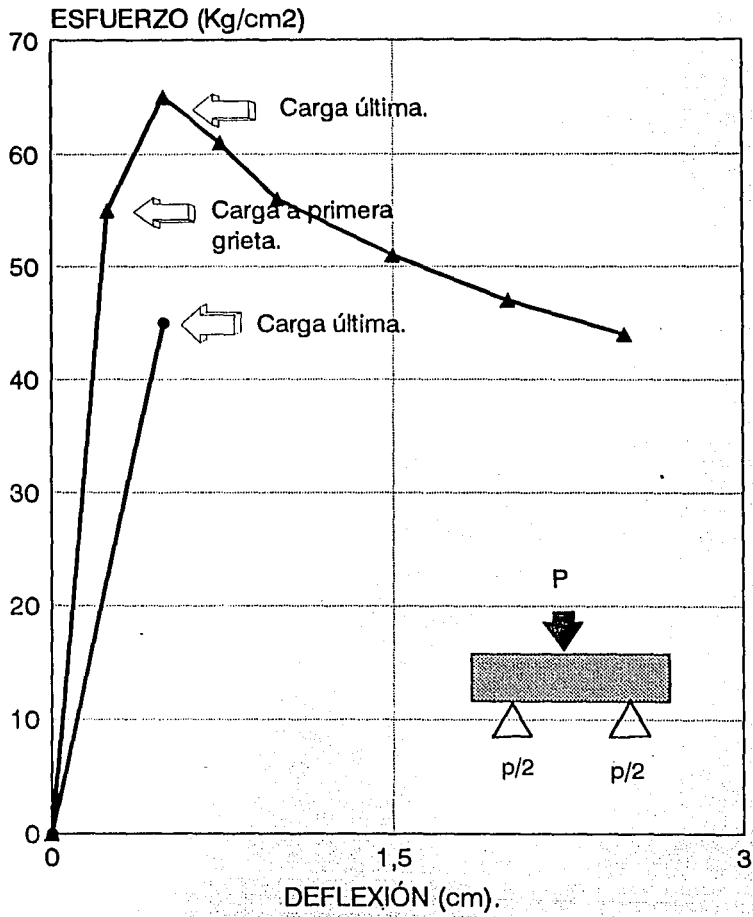


Fig. 2.4.

COMPORTAMIENTO A LA FLEXIÓN.



- ◆ CONCRETO SIMPLE.
- ★ CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

Fig. 2.5.

COMPORTAMIENTO A LA COMPRESION.

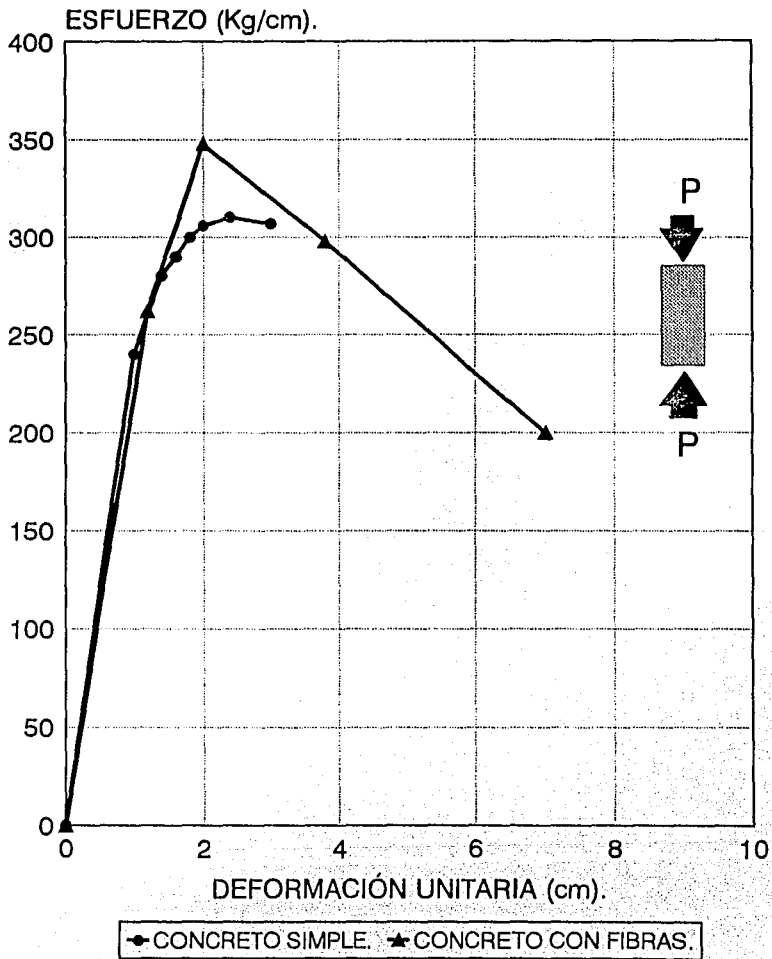


Fig. 2.6.

Fibras como el algodón, henequen y poliéster, han demostrado poca resistencia al ataque químico de los álcalis del cemento entre otros y por lo tanto presentan poca efectividad en la resistencia del concreto.

- RESISTENCIA DINAMICA:

Estudios han demostrado que la resistencia dinámica, ante efectos tales como explosiones, tensiones dinámicas, cargas de -impacto, fluidos en movimiento, etc., es de un 5 a un 10% mayor que en el concreto ordinario.

- RESISTENCIA A LA FATIGA:

Dado un tipo específico de fibras, se ha observado un aumento de la resistencia ante el efecto de ciclos de carga y descarga en función del aumento en la cantidad de fibras dosificadas en la mezcla. Se ha demostrado que la adición de fibras a vigas de concreto reforzado convencional incrementa la resistencia a la fatiga y disminuye el ancho de las posibles grietas bajo cargas de fatiga.

- FLUENCIA:

Algunos estudios aislados, han demostrado que el refuerzo en fibras no presenta un efecto significativo en el comportamiento de fluencia en morteros de cemento portland.

- CORROSION DE LAS FIBRAS DE ACERO:

Pruebas de especímenes a edad temprana (90 días), que consistían en ciclos de inmersión, adentro y afuera, en una solución de agua salada, han encontrado efectos insignificantes de corrosión en morteros reforzados al 2% del total en volumen de fibras de acero.

Pruebas de durabilidad a largo plazo de concreto elaborado con fibras, muestran una corrosión mínima de las fibras y efectos no significativos en la resistencia a la flexión después de 7 años de exposición en aguas saladas. El mayor índice de corrosión por ataque de cloruros se observó en puntos cercanos a la superficie expuesta.

- RESISTENCIA A LA ABRASION:

Se ha demostrado que la cantidad del agregado y la resistencia de la superficie determina la resistencia a la abrasión, por lo que las fibras no tienen un efecto significativo en este campo.

Debe hacerse notar que para este efecto, que un concreto resistente a efectos que erosionen su superficie debe de tener agregados gruesos durables y estar bien graduados.

- CONDUCTIVIDAD TERMICA:

En este aspecto, los estudios realizados a la fecha, muestran una dispersión en el comportamiento de la conductividad térmica, ya que algunos muestran pequeños incrementos en dicha propiedad, mientras que otros muestran incrementos de un 25 a un 50% para morteros con 1 al 2% de fibras de acero en volúmen, en relación con morteros ordinarios.

C A P I T U L O I I I

FIBRAS PARA CONCRETO.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los diferentes tipos de fibras proveen al concreto de propiedades especiales de resistencia mecánica y propiedades físicas específicas, mejoras que hacen que este tipo de aditivos sean actualmente muy utilizados en varios países, sin ser México la excepción.

En este capítulo se mencionarán los tipos más comunes de fibras en el Mercado Nacional, sus características físicas, especificaciones de uso, campo de aplicación, entre otras.

III.1. MARCAS COMERCIALES.

Actualmente en México varias son las Empresas que han introducido el uso de fibras como refuerzo secundario en el concreto, de las cuales, quizá la más importante sea la Empresa FIBEROL, S.A. DE C.V., la cual comercializa, fibras plásticas y metálicas ya sea por Producción Nacional o por Importaciones los siguientes Productos:

- Fibra Fibermesh.
- Fibra Xorex.
- Fibra Harex.
- Fibra Mitchell.
- Otras.

Existen otras Empresas las cuales comercializan Fibras de diferentes marcas como son:

FIBERCON, la cual comercializa fibra "Fibercon" son de polipropileno del tipo Monofilar y Fibrilizada *.

IMPERQUIMIA, esta comercializa Fibra "Fiberquím" que es una fibra de polipropileno del tipo Monofilar.

ITAL MEXICANA, la cual comercializa fibra "Ital Nylon" que es una fibra de nylon del tipo monofilar.

CEMIX, la cual comercializa fibra "Fibermix" son de polipropileno del tipo monofilar.

HI-TECH-FIBERS. INC., la cual comercializa fibras "Hi-Tech" estas pueden ser de poliéster y de polipropileno. El tipo de fibra es en monofilamento y fibrilizada *.

* Filamento alargado que constituye tejidos o mallas.

III.2. CARACTERISTICAS FISICAS.

A continuación se describen los productos antes mencionados y sus características físicas y químicas principales.

- FIBRA FIBERMESH.

Fibras de polipropileno, químicamente inertes, no sufren corrosión, gran resistencia a los ácidos minerales, básicos y sales orgánicas. Muy estables y no absorben agua.

FISICAS:

Absorción: ninguna.

Gravedad específica: 0.9.

Longitud de la fibra 1/2", 3/4", 2".

Punto de ignición: 590 grados C.

Conductividad térmica: baja.

Conductividad eléctrica: baja.

Resistencia a la tensión: 5700 - 7850 kg/cm².

PRESENTACION:

En bolsas de 150 y 900 grs.

DOSIFICACION:

900 grs/m³ de concreto.

150 grs. por un saco de cemento.

- FIBRAS XOREX.

Fibras de acero laminadas en frío conforme a la norma ASTM A 820-90, cuya sección se encuentra constituida por segmentos circulares, de forma ondulada a todo lo largo para mayor anclaje mecánico. Son químicamente activas.

FISICAS:

Absorción: ninguna.

Longitud de la fibra: 1", 1 1/2", 2", 2.5".

Relación de aspecto: 30, 45, 60, 70 Respectivamente.

(Valor que resulta de dividir la longitud de la fibra entre el diámetro equivalente).

Conductividad térmica: considerable.

Aspecto: ondulaciones la distancia entre 2 picos o valles va de 0.25 a 0.27".

Resistencia a la tensión: 12,600 kg/cm².

PRESENTACION:

Costales de 22.5 kg y de 30 kg.

DOSIFICACION:

Muy variable según su destino y la longitud de la fibra, mínimo 10 kg/m³, máximo 88 kg/m³.

Se recomienda normalmente 40 kg/m³ de concreto.

- FIBRAS HAREX.

Fibras de acero, torcida ligeramente a lo largo de su eje y una superficie rugosa que mejora la adherencia con el concreto. Además, presenta unas torceduras o ganchos en sus extremos para un mejor anclaje mecánico. Cumple las especificaciones de la norma Alemana Din 17100.

FISICAS:

Absorción: ninguna.

Longitud de la fibra: 1 1/4", 5/8", 2", 1".

Aspecto: presenta una gran área superficial y anclajes en los extremos.

Conductividad térmica: considerable.

Resistencia a la tensión: 8,154 kg/cm².

PRESENTACION:

Bolsas de 20 kg.

DOSIFICACION:

Se recomienda 40 kg/m³ de concreto.

- FIBRAS MITCHELL.

Fibras de acero inoxidable, deformadas para proporcionar una adhesión positiva y mecánica dentro de la mezcla de concreto para resistir la extracción de las mismas. Aumenta la resistencia a la compresión, tensión, fragmentación, astillado, desgaste debido a la abrasión; posee suficiente ductilidad para permitir dobladuras de 180 grados sin ruptura. Utilizadas para reforzar concretos refractarios o aplicaciones en altas temperaturas.

FISICAS:

Absorción: ninguna.
Longitud de la fibra: 3/4", 1", 1 1/2", 2".
Relación de aspecto: 45 y 55 respectivamente. ("Aspect Ratios"
A.R. = L/d donde L=longitud y d=diámetro).
Conductividad térmica: considerable.
Aspecto: deformaciones en los extremos de la fibra.
Resistencia a la tensión: 3,450 a 6,900 kg/cm².

PRESENTACION:

Bolsas de 20 kg.

DOSIFICACION:

Se recomienda 40 kg/m³ de concreto.

- FIBRA FIBERCON.

Fibercon son fibras de polipropileno del tipo monofilar y fibrilizada utilizadas como refuerzo en el concreto, un método en la reducción de grietas por contracción plástica. Las fibras actúan en el concreto en todas direcciones evitando que desde su origen las microgrietas se propaguen, formando un refuerzo tridimensional que disipe los esfuerzos dentro de la masa del concreto en lugar de permitir que se manifiesten en forma de grietas que afecten la durabilidad del concreto.

FISICAS:

Absorción: ninguna
Longitud de la fibra: 1/2" , 3/4" , 1.5".
Conductividad térmica: baja
Conductividad eléctrica: baja
Resistencia a la tensión: 5700 - 7850 kg/cm².

PRESENTACION:

En bolsas de 150 y 900 grs.

DOSIFICACION:

900 grs. por 1 m³ de concreto.
150 grs. por un saco de cemento.

- FIBRA FIBERQUIM.

Adicionante de fibra de polipropileno para disminuir el fisurado y reforzar el concreto por temperatura.

FISICAS:

Absorción: ninguna
Longitud de la fibra: 1/2", 3/4", 2".
Conductividad térmica: baja
Conductividad eléctrica: baja
Resistencia a la tensión: 5400 kg/cm².

PRESENTACION:

En bolsas de 150 grs.

DOSIFICACION:

900 grs. por 1 m³ de concreto.
150 grs. por un saco de cemento.

- ITAL NYLON.

Es una fibra de nylon monofilar para el refuerzo del concreto, se utiliza en aplanados de concretos para evitar fisuras, agrietamientos y reduce el asentamiento del concreto.

FISICAS:

Absorción: ninguna.
Gravedad específica: 1.14
Longitud de la fibra. 5/6".
Punto de fusión: 265 c.
Conductividad térmica: baja.
Conductividad eléctrica: baja.

NOTA: Refuerzo por temperatura es el acero utilizado en el refuerzo del concreto, éste proviene de la laminación en caliente (a veces completada por un proceso en frío). Estos corresponden a tres clases o grados de dureza: grado estructural, grado intermedio y grado duro, caracterizándose cada uno de ellos por el valor del límite elástico aparente.

PRESENTACION:

Se envasa en bolsas de 750 grs.
En caja de 20 bolsas.

DOSIFICACION:

750 grs. por 1 m³ de concreto.

- FIBERMIX.

Son fibras de polipropileno altamente refinadas que ayudan a controlar el agrietamiento por contracción del concreto, son fibras separadas e independientes que se dispersan instantáneamente y de manera uniforme en la mezcla de concreto. Se dispersa por toda la mezcla de concreto, formando una red protectora tridimensional que contribuye a prevenir la extensión de grietas minúsculas.

FISICAS:

Absorción: ninguna.
Gravedad específica: 1.3
Longitud de la fibra: 1", 3/4", 1/2".
Punto de fusión: 254.44 - 260 grados C.
Punto de ignición: 537 grados C.
Conductividad eléctrica: baja.
Resistencia a la tensión: 5,320 kg/cm².

PRESENTACION:

Se ofrece en cajas con 12 bolsas de 900 gr. cada una.

DOSIFICACION:

900 grs. por 1 m³ de concreto.

- FIBRA HI-TECH.

Son fibras de poliéster y polipropileno resistentes a los álcalis con un revestimiento especial para garantizar su dispersión. Este revestimiento especial les permite dispersarse rápidamente y de manera uniforme en toda la mezcla de concreto y brindar un refuerzo secundario tridimensional uniforme.

FISICAS:

Absorción: ninguna.
Gravedad específico: 1.3
longitud de la fibra: 1/4" - 2 1/2".
Punto de ignición * : 538 grados C.
Resistencia a álcalis: alta.

PRESENTACION:

En bolsas de 0.680 kg., 5.450 kg y 6.800 kg.

DOSIFICACION:

900 grs. por 1 m³ de concreto.

* Estado de combustión (temperatura a la cual arde).

III.3. ESPECIFICACIONES.

En forma generalizada, los productos anteriores se recomiendan para:

- Control de agrietamiento ocasionado por fluencia y contracción plástica.
- Sustituto de la malla electrosoldada como refuerzo por temperatura .
- Reducen la permeabilidad del concreto al evitar las grietas en el mismo.
- Mayor resistencia al impacto y despedazamiento del concreto.
- Mayor resistencia a la fatiga.
- Mayor resistencia a la tensión.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Reducción en el espesor de losas de concreto.

No requieren de equipo especializado para su mezclado y no forman bolsas de fibras en la mezcla, pero en cualquier forma es recomendable una práctica de elaboración, construcción y supervisión adecuada.

Existen diferentes propositos para utilizar fibras plásticas y metálicas en el concreto:

El primer propósito; es controlar el agrietamiento por contracción plástica.

Inicialmente el éxito de las fibras se debió a su habilidad para controlar el agrietamiento por contracciones en el estado plástico del concreto y prácticamente eliminar dichas grietas.

Al principio se pensó que la ventaja era principalmente estética, en otras palabras, para mejorar la apariencia de cualquier losa de piso, banqueta, o cualquier área similar visible.

Además en lugares donde la losa se cubrió con mosaicos, es de notarse que la ausencia de grietas por contracciones plásticas tienen mucho valor ya que se reduce la posibilidad de que en los mosaicos se presenten grietas.

Los investigadores llegaron a la conclusión que la reducción de grietas por contracción era más importante de lo que originalmente se pensaba. En efecto la ausencia de grietas por contracción plástica en el concreto es de gran importancia desde el punto de vista de la integridad, resistencia y duración de la estructura más que de la sola apariencia.

El segundo propósito; es incrementar la resistencia al impacto. La habilidad de las fibras para incrementar la resistencia al impacto ha sido ampliamente demostrado. Las pruebas han mostrado que la adición de 900 gr. de fibra plástica por metro cúbico duplica la resistencia al impacto del concreto.

El tercer propósito; es incrementar la tenacidad y ductilidad del concreto. Las fibras pueden absorber mayores cantidades de energía y continúan soportando la carga después de que ocurre el agrietamiento. En las pruebas realizadas se han obtenido incrementos significativos en la tenacidad del concreto, la cual es definida en la publicación del ACI-SP-44 como la absorción de energía anterior a la separación completa del concreto.

En el concreto reforzado con fibras el agrietamiento ocurre cuando el material está sujeto a deformaciones más allá del alargamiento a la rotura de la matriz (concreto), del mismo modo que en el concreto reforzado ordinario cuando éste es reforzado en la zona de tensión más allá del alargamiento a la rotura del concreto. La manera como actúan los componentes fibra-concreto es entonces lo más importante, especialmente sobre la última parte de la curva esfuerzo-deformación, donde un incremento en el número de grietas en la matriz hace que el esfuerzo tome todo y aún, una porción más grande de la carga en la zona de tensión.

El cuarto propósito; de adicionar fibras al concreto es reducir su permeabilidad. Reducir la permeabilidad del concreto puede ser ventajoso en una gran variedad de situaciones diferentes.

El concreto se utiliza en muchos casos para contener líquidos y a la inversa para mantener líquidos fuera de la estructura.

Tanques de muchos tipos tales como cisternas, fosas sépticas, plantas de tratamiento de agua utilizan fibras para prevenir el paso de los líquidos a través del concreto. Por otro lado estructuras ubicadas en zonas en donde el nivel de agua freáticas está cerca de la superficie se utilizan para reducir la posibilidad de que el agua se filtre. En tubos de concreto se tiene la ventaja en la reducción de la permeabilidad, además de tener un producto más resistente al impacto.

El quinto propósito; es incrementar la resistencia al despedazamiento y la abrasión (resistencia al desgaste por fricción).

El concreto con fibras tiene una mayor resistencia al despedazamiento y a la abrasión. Esto es importante en lugares donde el concreto está sujeto a esfuerzos que provocan que el concreto se rompa, se astille y se estelle. La abrasión es particularmente importante en algunas áreas de la industria, vertedores, caminos, bodegas.

El sexto propósito; de adicionar fibras es para prevenir la corrosión del acero de refuerzo. La reducción de la corrosión del acero de refuerzo en el concreto se debe a diferentes factores. Primero, existe una reducción de las grietas por contracción plástica, estas grietas permiten un directo y rápido acceso a el acero de refuerzo de cualquier humedad o agua que puede causar oxidación. Las grietas también permiten el oxígeno y al dióxido de carbono alcanzar el acero y producir la carbonatación del concreto creando un medio propicio para la corrosión.

Particularmente importante es hacer notar que utilizando fibras en lugar de la malla como refuerzo secundario, se elimina una fuente potencial de corrosión ya que las fibras no tienen estos problemas.

Las fibras pueden utilizarse en lugar del tradicional refuerzo cuando éste se utiliza como refuerzo por temperatura del concreto, con esto se reduce el costo, el tiempo de construcción y al mismo tiempo se mejora la calidad del concreto.

El uso de un refuerzo continuo requiere de una labor de colocación muy cuidadosa y una alta habilidad técnica, por lo tanto un alto costo. Esto también lleva a tener un material de construcción anisotropo en el cual el promedio de los trabajos realizados no es siempre satisfactorio.

Con el uso de las fibras se puede garantizar una correcta colocación en todos los casos, únicamente tiene que verificar que la fibra esté completamente distribuida en toda la masa de concreto, cuando se elabora la mezcla.

Las fibras son un material seguro, conveniente, fácil de usar y colocar tridimensionalmente, dentro del concreto. En contraparte con el refuerzo tradicional.

III.4. CAMPO DE APLICACION.

El uso de fibras como refuerzo en el concreto es muy amplio y estará en función de las necesidades de uso o del proyecto para su aplicación específica. A continuación se expresan algunos usos comunes de concretos reforzados con fibras:

- Pisos sobre el suelo o terreno de desplante en industrias, hangares, etc.
- Pavimentos de concreto hidráulico.
- Estabilización de túneles o taludes mediante concreto lanzado.

- Elementos precolados.
- Reparación de estructuras.
- Estructuras hidráulicas como plantas de tratamiento de aguas, canales, túneles, etc.
- Estructuras militares.
- Entre otras.

III.5. ANALISIS DE COSTOS.

A continuación se presenta el análisis de costos de mezclas tipo, considerando únicamente el costo de los materiales; faltaría anexar los casos de indirectos relativos a las diferentes empresas comercializadoras de concreto.

En este análisis se podrá observar la diferencia de costos en concreto simple, concreto elaborado con fibras plásticas y concreto elaborado con fibras metálicas, para de esta manera poder decidir sobre la mejor opción en cuanto a economía, cabe mencionar que existe una gran diferencia entre fibras, siendo unas plásticas y otras metálicas. La elección de la fibra a utilizar dependerá de su uso o aplicación.

Diseño de mezcla No. 1

f'c = 100 kg/cm², agregado máximo 1", revenimiento 8 - 10 cm., relación agua/cemento = 0.82

.- Concreto simple.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.2378	440.00	104.60
Grava	m ³	0.4089	90.00	36.80
Arena	m ³	0.3780	30.00	11.34
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
TOTAL				N\$ 154.30/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras plásticas (Fibermesh, Fibercon, Fiberquim, Ital nylon, Fibermix y Fibra Hi-Tech).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.2378	440.00	104.60
Grava	m ³	0.4089	90.00	36.80
Arena	m ³	0.3780	30.00	11.34
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	0.9000	23.34	21.00
TOTAL				N\$ 175.30/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras metálicas (Xorex y Harex).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.2378	440.00	104.60
Grava	m ³	0.4089	90.00	36.80
Arena	m ³	0.3780	30.00	11.34
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	40.000	2.20	88.00
TOTAL N\$				242.30/ M ³

Diseño de mezcla No. 2

f'c = 200 kg/cm², agregado máximo 1", revenimiento 8 - 10 cm.,
relación agua/cemento = 0.70

.- Concreto simple.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.2785	440.00	122.57
Grava	m ³	0.4066	90.00	36.59
Arena	m ³	0.3620	30.00	10.86
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
TOTAL N\$				171.58/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras plásticas (Fibermesh, Fibercon,
Fiberquim, Ital nylon, Fibermix y Fibra Hi-Tech).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.2785	440.00	122.57
Grava	m ³	0.4066	90.00	36.59
Arena	m ³	0.3620	30.00	10.86
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	0.9000	23.34	21.00
TOTAL N\$				192.58/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras metálicas (Xorex y Harex).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.2785	440.00	122.57
Grava	m ³	0.4066	90.00	36.59
Arena	m ³	0.3620	30.00	10.86
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	40.000	2.20	88.00
TOTAL				N\$ 259.58/ M ³

Diseño de mezcla No. 3

f'c = 250 kg/cm², agregado máximo 1", revenimiento 8 - 10 cm.,
relación agua/cemento = 0.62

.- Concreto simple.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.3160	440.00	139.05
Grava	m ³	0.4045	90.00	36.40
Arena	m ³	0.3471	30.00	10.41
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
TOTAL				N\$ 187.42/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras plásticas (Fibermesh, Fibercon, Fiberquim, Ital nylon, Fibermix y Fibra Hi-Tech).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.3160	440.00	139.05
Grava	m ³	0.4045	90.00	36.40
Arena	m ³	0.3471	30.00	10.41
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	0.9000	23.34	21.00
TOTAL				N\$ 208.42/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras metálicas (Xorex y Harex).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.3160	440.00	139.05
Grava	m ³	0.4045	90.00	36.40
Arena	m ³	0.3471	30.00	10.41
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	40.000	2.20	88.00
TOTAL N\$				275.42/ M ³

Diseño de mezcla No. 4

f'c = 300 kg/cm², agregado máximo 1", revenimiento 8 - 10 cm.,
relación agua/cemento = 0.54

.- Concreto simple.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.3584	440.00	157.71
Grava	m ³	0.4021	90.00	36.18
Arena	m ³	0.3304	30.00	9.91
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
TOTAL N\$				205.38/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras plásticas (Fibermesh, Fibercon, Fiberquim, Ital nylon, Fibermix y Fibra Hi-Tech).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.3584	440.00	157.71
Grava	m ³	0.4021	90.00	36.18
Arena	m ³	0.3304	30.00	9.91
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	0.9000	23.34	21.00
TOTAL N\$				226.38/ M ³

.- Concreto elaborado con fibras metálicas (Xorex y Harex).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. N (\$)	IMPORTE N (\$)
Cemento	ton	0.3584	440.00	157.71
Grava	m ³	0.4021	90.00	36.18
Arena	m ³	0.3304	30.00	9.91
Agua	m ³	0.1950	8.00	1.56
fibra	kg	40.000	2.20	88.00
			TOTAL N\$	293.38/ M ³

Aqui cabe destacar el incremento del costo de una mezcla de concreto elaborado con fibras, comparado con el concreto simple.

El concreto elaborado con fibras plásticas se incrementa en un 11.8 % y en fibras metálicas en un 44.5 % .

Por lo que en el aspecto económico es factible el uso de fibras (plásticas y metálicas) y sobre todo en cuanto a los resultados benéficos que proporciona el uso de fibras.

Haciendo una comparación del concreto que utiliza refuerzo por temperatura se observa que el uso de este refuerzo requiere de una labor de colocación muy cuidadosa y una alta habilidad técnica y por lo tanto un alto costo. Ahora en el análisis del concreto elaborado con fibras, se observó que las fibras metálicas pueden utilizarse en lugar del tradicional refuerzo por temperatura, con esto se reduce el costo, el tiempo de construcción y al mismo tiempo se mejora la calidad del concreto.

C A P I T U L O I V

PRUEBAS DE LABORATORIO

Este capítulo tiene como objetivo principal analizar el comportamiento y propiedades de especímenes de concreto elaborados con diferentes tipos de fibras tanto en compresión, tensión, y flexión, estudio de agrietamiento en losas elaboradas con concreto simple, fibras metálicas y fibras de polipropileno. Además se darán algunas recomendaciones de diseño de mezclas, métodos de mezclado, colocación y curado, en concretos elaborados con fibras

IV.1. DISEÑO DE MEZCLA.

IV.1.1. MEZCLAS.

El mezclado de concreto elaborado con fibras puede realizarse de muchas maneras, misma que dependerá de los requerimientos de trabajo y de las facilidades disponibles, es decir, si se elabora en obra o en laboratorio. Sin importar el método, debe tenerse gran cuidado en la dispersión uniforme de las fibras y no permitir que se formen bolsas o segregación de las mismas en la mezcla ver figuras 4.1., 4.2. y 4.3.

La formación de bolsas durante el mezclado puede deberse a un gran número de factores, tomándose como el más importante la relación longitud/diámetro equivalente (l/d). Otras características que provoca lo anterior son las propiedades del agregado grueso, tanto en tamaño, cantidad, y graduación; la relación agua/cemento (a/c) y el método de mezclado. Un incremento de la relación l/d y de la cantidad de agregado grueso, aumenta la probabilidad de formación de bolsas de fibras.

Estudios han observado que al agregar fibras disminuye la trabajabilidad de la mezcla, por lo que debe evitarse consumos muy grandes de agregado grueso y, en el caso de fibras de acero, procurar que su proporción no sea mayor al 2% del volumen a elaborar. En relación a lo anterior, se ha observado que la prueba de revenimiento no es un parámetro significativo en la medición de la trabajabilidad de la mezcla. Un método común de prueba que ha demostrado ser útil y representativo de dicha propiedad es la prueba de vebe, misma que mide la trabajabilidad de la mezcla en función del tiempo que tarda ésta en moverse cierta distancia bajo Vibración. La figura 4.4 muestra dos curvas típicas para dos diferentes tamaños máximos de agregado en los que se varió el contenido de fibras obteniéndose sus tiempos vebe de trabajalidad.

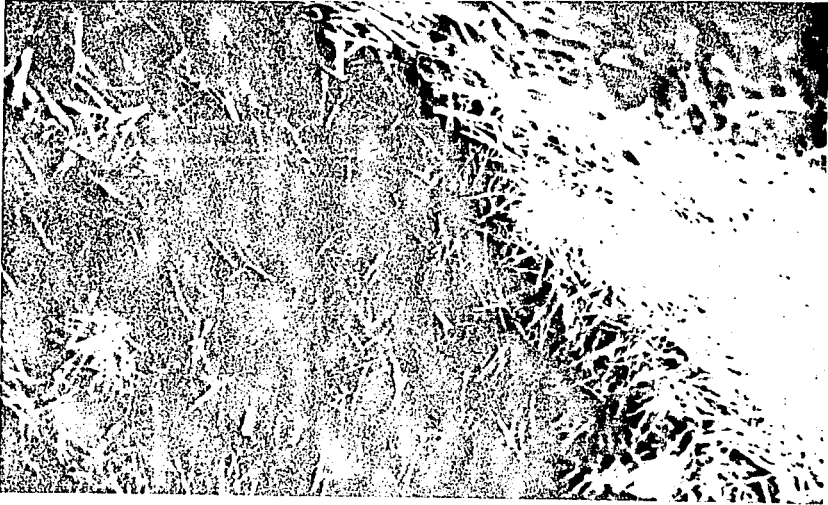


Fig.4.1. Dispersión uniforme de fibras.

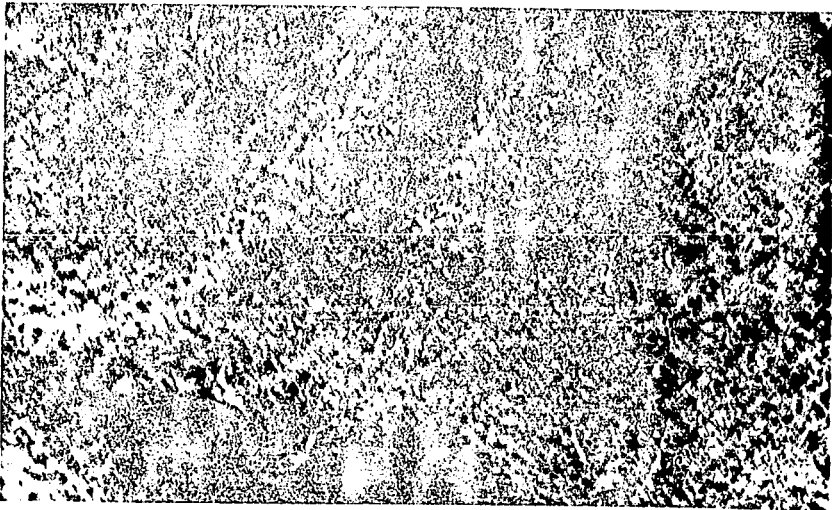


Fig.4.2. Dispersión uniforme de fibras.

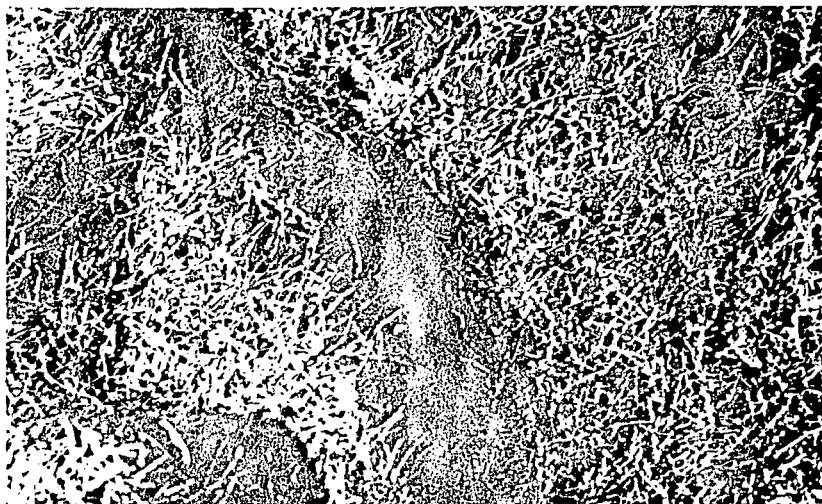


Fig.4.3. Dispersión uniforme de fibras.

La plasticidad de la mezcla es importante para asegurar la apropiada dispersión de las fibras. La experiencia sugiere la utilización de relaciones a/c en el rango de 0.4 a 0.6 y contenidos de cemento de 249 a 430 kg/m³ mismos que se requieren para obtener una pasta de cemento adecuada para cubrir la gran área superficial de las fibras. La tabla 4.1 nos da un proporcionamiento típico para concretos elaborado con fibras.

Tabla 4.1.

MATERIAL	MORTERO	CONCRETO T.M.A.3/8"	CONCRETO T.M.A.3/4"
Cemento (kg/m ³).	415-712	356-593	297-900
Relación a/c.	0.30-0.45	0.35-0.45	0.40-0.50
Agregado fino (%)	100	60	55
Agregado grueso (%)	-	40	45
Contenido aire (%)	7-10	4-7	4-6
Contenido de fibra (% del volumen total).			
Fibra metálica.	0.5-1.0	0.4-0.9	0.3-0.8
Ondulada.	-	-	-
Fibra metálica lisa.	1.0-2.0	0.9-1.8	0.8-1.6
Fibra de vidrio	2.0-5.0	0.3-1.2	-

Es común el uso de mezclas convencionales en concreto con fibras, aire incluido y aditivos reductores de agua de alto rango o superfluidificantes, siendo estos últimos de gran utilidad en la obtención de concretos con una baja relación a/c y una trabajabilidad, cuestión muy importante en la facilidad de trabajo y colocación de la mezcla fresca.

Estableciendo un análisis comparativo entre concretos normales y reforzados con fibras, se ha observado que, en forma general, estos últimos se caracterizan por altos contenidos de cemento, gran consumo de agregados finos y granulometría pequeña del agregado grueso.

TRABAJABILIDAD EN TIEMPO Vebe VS CONTENIDO DE FIBRAS.

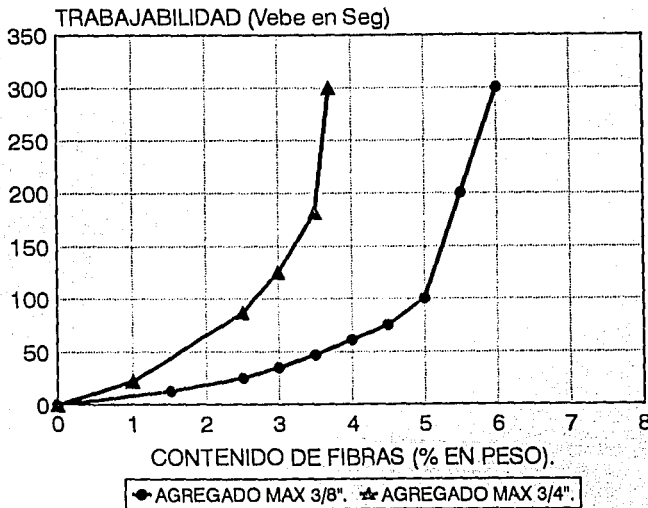


Fig. 4.4.

IV.1.2. METODOS DE MEZCLADO.

Como ya se mencionó, las fibras deben de dispersarse uniformemente en la mezcla. Esto esto debe ser preferentemente durante el mezclado de los agregados y el cemento y antes de que el agua de la mezcla sea vaciada a la misma. De cualquier manera, se dan las siguientes recomendaciones:

- MEZCLAS DE LABORATORIO:

Por el pequeño volúmen de concreto a elaborar, se recomienda adicionar las fibras manualmente, haciéndolas pasar por una malla ver figura 4.5.

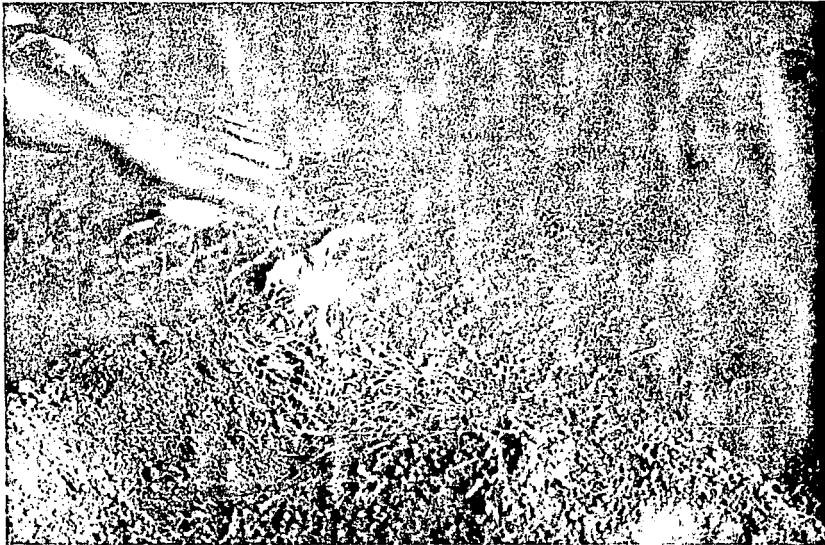


Fig. 4.5. Adición de fibras manualmente.

- MEZCLADO EN PLANTA O CAMION REVOLVEDOR:

Una metodología común es la siguiente, se mezclan primero los agregados finos y gruesos, luego se añaden las fibras a velocidad de mezclado (= 12 rpm) y finalmente se añaden el cemento y el agua en forma simultánea o el cemento seguido del agua y de los aditivos.

Para el mezclado manual de fibras, la mano de obra que se encargue de esta labor debe estar protegida con equipo que proteja sus manos y sus ojos.

IV.1.3. COLOCACION.

Las mezclas de concreto con fibras en general requerirán de un mayor tiempo de vibrado, ya sea interno o externo, para su consolidación correcta en la cimbra que lo contenga.

IV.1.4. CURADO.

Los concretos elaborados con fibras deben ser curados y protegidos utilizando los mismos métodos que para concreto convencional.

Como conclusión a este respecto, se recomienda seguir las especificaciones del fabricante o proveedor para un mejor desempeño de los diferentes tipos de fibras.

IV.2. DESCRIPCION DE PRUEBAS.

Las pruebas se realizaron en los laboratorios de resistencia de materiales de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Plantel Acatlán, con la colaboración del personal de laboratorio de este Plantel.

Dicho estudio experimental comprendió de las siguientes partes:

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Determinación de la densidad, la absorción y peso volumétrico de los mismos.
- Diseño de la mezcla.
- Elaboración de los especímenes.
- Ensayes.

Descripción.

Análisis granulométrico (según NOM C-77, ASTM C-136)

Desarrollo en el cual se determinó los diferentes tamaños granulométricos de los agregados.

- 1.- Cuarteo, se toma una muestra de agregado, se coloca en una charola y se divide en cuatro partes, escogiendo solo una de ellas.
- 2.- Peso de la muestra, se tara la báscula con la charola que contendrá los agregados antes de pesar.
- 3.- Cribado, se arman las cribas que se van a emplear en el siguiente orden: para agregados finos y agregados gruesos se utilizarán las siguientes mallas, 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", No.4., charola, para agregado grueso; y mallas No.4, No. 10, No. 20, No. 40, No. 60, No. 100 y charola, para agregado fino.
Se coloca el conjunto de mallas o tamices en la máquina cribadora y se agita mecánicamente por un tiempo tal que, después de haberse completado, no más del 1% en masa del residuo, en cualquier criba individual, pase esa criba durante un minuto de cribado manual continuo.

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en las siguientes tablas 4.2 y 4.3. y en las gráficas 4.1. y 4.2.

AGREGADO GRUESO

Tabla 4.2.

Peso de la muestra = 2,055 Gr.

MALLA No.	PESO Kg.	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
1"	0.082	3.992	3.992
3/4"	0.585	28.481	32.473
1/2"	0.598	29.113	61.586
3/8"	0.252	12.268	73.855
1/4"	0.239	11.635	85.491
NO.4	0.149	7.254	92.745
Charola	0.149	7.254	99.999
TOTAL	2.054	99.999	---

TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO = 1".

La curva granulométricas en agregado grueso nos muestra un agregado bien graduado, porque esta dentro de los límites que marca la Norma C-111.

AGREGADO FINO

Tabla 4.3.

Peso de la muestra = 1,748 Gr.

MALLA No.	PESO Kg.	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
No. 4	0.126	7.212	7.212
No. 10	0.541	30.967	38.179
No. 20	0.379	21.694	59.873
No. 40	0.315	18.030	77.904
No. 60	0.205	11.734	89.639
No. 100	0.144	8.242	97.881
Charola	0.037	2.117	--
TOTAL	1.747	99.999	370.691

MODULO DE FINURA = SUMA % RETENIDOS ACUMULADOS / 100

M.F. = 370.69 / 100

M.F. = 3.7069

La curva granulométrica en agregado fino nos muestra un agregado mal graduado, porque no esta dentro de los límites que marca la Norma C-111. Aquí es recomendable la adición de otro material fino, mezclándolo para obtener una buena granulometría.

AGREGADO GRUESO

Tabla 4.2.

Peso de la muestra = 2,055 Gr.

MALLA No.	PESO Kg.	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
1"	0.082	3.992	3.992
3/4"	0.585	28.481	32.473
1/2"	0.598	29.113	61.586
3/8"	0.252	12.268	73.855
1/4"	0.239	11.635	85.491
NO.4	0.149	7.254	92.745
Charola	0.149	7.254	99.999
TOTAL	2.054	99.999	---

TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO = 1".

La curva granulométricas en agregado grueso nos muestra un agregado bien graduado, porque esta dentro de los límites que marca la Norma C-111.

AGREGADO FINO

Tabla 4.3.

Peso de la muestra = 1,748 Gr.

MALLA No.	PESO Kg.	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
No. 4	0.126	7.212	7.212
No. 10	0.541	30.967	38.179
No. 20	0.379	21.694	59.873
No. 40	0.315	18.030	77.904
No. 60	0.205	11.734	89.639
No. 100	0.144	8.242	97.881
Charola	0.037	2.117	--
TOTAL	1.747	99.999	370.691

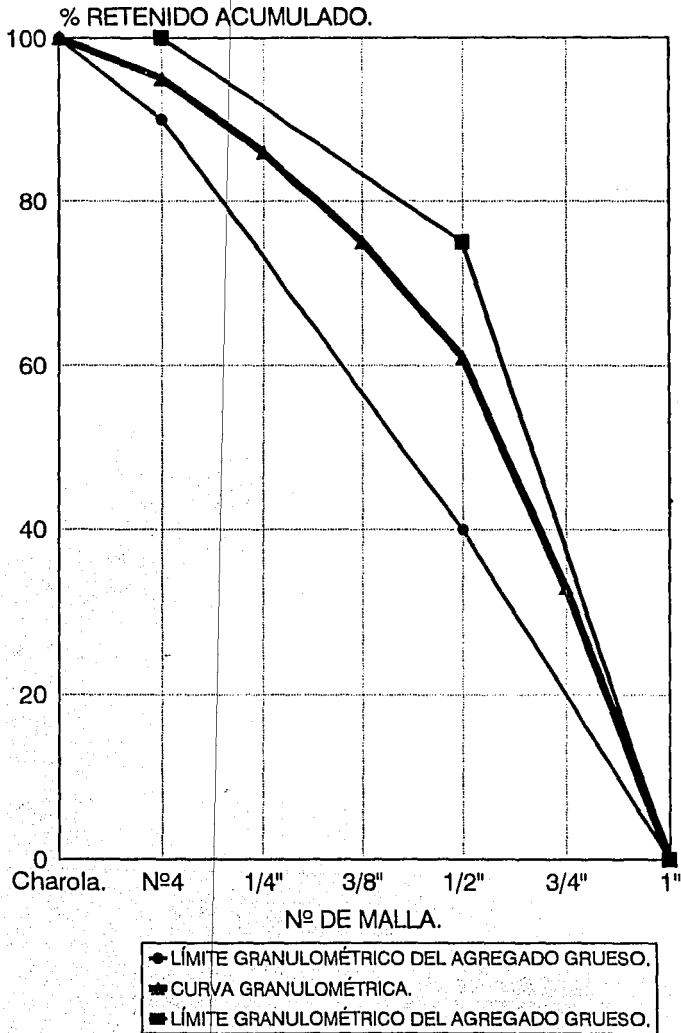
MODULO DE FINURA = SUMA % RETENIDOS ACUMULADOS / 100

M.F. = 370.69 / 100

M.F. = 3.7069

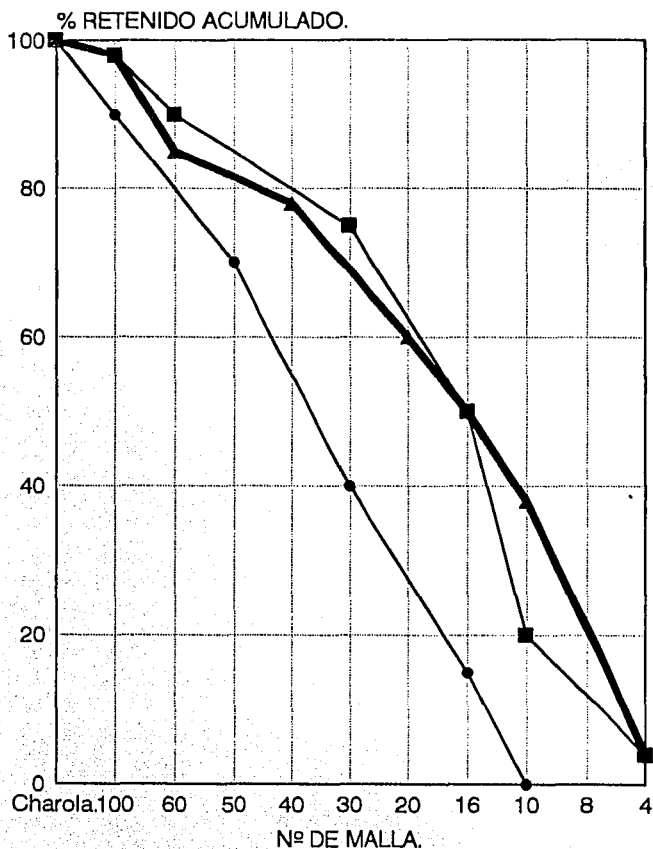
La curva granulométrica en agregado fino nos muestra un agregado mal graduado, porque no esta dentro de los límites que marca la Norma C-111. Aquí es recomendable la adición de otro material fino, mezclandolo para obtener una buena granulometría.

GRANULOMETRÍA EN AGREGADO GRUESO.



Gráfica 4.1.

GRANULOMETRÍA EN AGREGADO FINO.



- LÍMITE GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO.
- ▲ CURVA GRANULOMÉTRICA.
- LÍMITE GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO.

Gráfica 4.2.

Determinación de la densidad.

El procedimiento para determinar la densidad de los agregados fue el siguiente:

- 1.- Se saturaron los agregados sumergiéndolos en agua un tiempo no menor de 24 horas.
- 2.- Se secaron las muestras con papel de estrasa y por medio de una estufa. La superficie de la grava está seca cuando desaparece el brillo superficial; la superficie de la arena está seca cuando esta fluye libremente mediante el "método de la charola".
- 3.- Se pesan los agregados en estado de saturación
- 4.- Se introducen por separado los agregados en un vaso de precipitado con agua y se determina por una diferencia de niveles, el volumen desalojado por el agregado.
- 5.- Se obtiene la densidad de los distintos agregados con la siguiente fórmula.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso del material saturado}}{\text{Peso del líquido desalojado}}$$

Los resultados de la determinación de la densidad se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4.

MATERIAL	PESO SATURADO (Gr)	VOLUMEN DESALOJADO (Ml)	DENSIDAD
GRAVA	535.90	250	2.1436
ARENA	369.24	298	2.2615

NOTA: 1 Gr. de agua = 1 Ml de agua.

Determinación de la absorción.

El método para determinar la absorción o contenido de humedad del agregado es el conocido como "método de la charola", los pasos son los siguientes:

- 1.- Se saturan los agregados por inmersión en agua, por un tiempo no menor de 24 horas.
- 2.- Se pesan los agregados saturados.
- 3.- Se secan las muestras con papel de estrasa y mediante la utilización de una estufa. La superficie del agregado grueso está seco, como ya se menciono, cuando desaparece el brillo de la misma. En el caso de la arena, su superficie estara seca cuando ésta fluya libremente o se desmorone, mediante la " prueba de desmoronamiento " que consiste en lo siguiente.
 - a) Se utiliza el cono truncado específico para esta prueba colocandolo sobre una charola de tal forma que el diámetro mayor del mismo quede hacia abajo.
 - b) Se llena de arena dicho cono por su parte superior y mediante, el uso de un pisón se compacta al material.
 - c) Se retira el cono en forma vertical ascendente con cuidado y se verifica el desmoronamiento.
 - d) Se pesan las muestras de agregados ya perfectamente secas.
 - e) Se obtiene el porcentaje de absorción de los distintos agregados mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

los resultados de la determinación de la absorción se muestran en la tabla 4.5:

Tabla 4.5.

MATERIAL	PESO SATURADO (Gr)	PESO SECO (Gr)	% DE ABSORCION
GRAVA	282.13	257.83	4.84
ARENA	645.86	604.74	6.80

Peso volumétrico.

- Pesar el contenedor.
- Calcular el volúmen del contenedor.
- De la muestra obtenida llenar el contenedor para obtener:

a) Peso Volumétrico Suelto.

- Llenar el contenedor con el cucharón en forma libre hasta llenarlo por encima del marco de enrase.
- Quitar dicho marco en forma vertical ascendente para posteriormente enrasar la superficie del agregado con la varilla en forma aserrada teniendo cuidado de no aplicar presión sobre la superficie de la muestra.
- Pesar el contenedor con la muestra no compactada.

b) Peso Volumétrico Compactado.

- Llenar el contenedor por encima del marco de enrase. Con el cucharón en tres capas del mismo tamaño picando con la varilla en forma espiral cada capa un total de 25 ocasiones.
- Quitar dicho marco en forma vertical ascendente para posteriormente enrasar la superficie del agregado con la varilla en forma aserrada.
- Pesar el contenedor con la muestra compactada.

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Vol. del contenedor}}$$

Los resultados de la determinación del peso volumétrico compactado se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6.

MATERIAL	PESO DE MUESTRA (Kg)	VOL. DEL CONTENEDOR (M ³)	PESO VOLUMETRICICO (Kg/M ³)
GRAVA	23.0	0.0156065	1,473.745
ARENA	22.4	0.0156065	1,435.290

Los resultados hasta aquí obtenidos son necesarios en la elaboración del diseño de mezcla a utilizar, en éste caso para la preparación de especímenes a ser ensayados a compresión, flexión y tensión indirecta (ensaye brasileño).

Para el diseño de la mezcla, el peso volumétrico utilizado es el compactado o varillado en agregado grueso.

IV.2.1. DISEÑO DE LA MEZCLA A UTILIZAR.

El diseño de la mezcla de concreto utilizada para estas pruebas se basó en el " método de cálculo por volumen absoluto ", el cual presupone que el volumen de concreto compactado es igual a la suma de los volúmenes absolutos de todos los componentes.

A continuación se describe todo el proceso de diseño de mezcla utilizado.

Características de la mezcla:

- Resistencia esperada a los 28 días = 200 kg/cm².
- Cemento utilizado = Cemento portland tipo I.
- Tamaño máximo de agregado = Grava de 1" (25 mm).
- Revenimiento = 8 - 10 cm.
- Aire incluido = No

- 1.- Se utiliza la tabla 1.2. para obtener la relación agua/cemento.

$$A/C = 0.70$$

Se obtuvo el valor de la relación a/c interpolando en la tabla 1.2.

- 2.- Cantidad de agua de mezclado.

$$\text{Agua} = 195 \text{ kg/m}^3.$$

Se obtuvo el valor de la tabla 4.7.

- 3.- Cantidad de cemento.

$$C = \text{Agua}/0.70 = 195/0.70 = 278.57 \text{ Kg/m}^3.$$

- 4.- Cantidad de agregado grueso.

$$\text{Módulo de finura agregado fino} = 3.70$$

$$\text{Tamaño máximo de agregado grueso} = 1".$$

A partir de estos datos se entra a la tabla 4.8. para obtener un volumen unitario y multiplicarlo por el peso volumetrico compactado del agregado grueso y de esta manera obtener la cantidad de agregado grueso.

Se obtuvo el módulo de finura de 3.70 interpolando en la tabla 4.8.

$$\text{Volumen Unitario} = 0.58 \text{ m}^3.$$

$$\text{Peso volumétrico compactado} = 1435.30 \text{ kg.}$$

$$\text{Agregado grueso} = 1435.30 \text{ kg} \times 0.58 \text{ m}^3 = 832.47 \text{ kg/m}^3.$$

5.- Cantidad de agregado fino.

Aquí no es adecuado proponer un valor tentativo del peso volumétrico del concreto, debido a las propiedades de peso volumétrico y densidad de los agregados típicos de cada lugar, por lo que se procede por medio del método de volumen absoluto:

$$\frac{\text{Agua}}{e (1000)} + \frac{\text{Cemento}}{e (1000)} + \frac{\text{Grava}}{e (1000)} + \frac{\text{Arena}}{e (1000)} = 1$$

$$\frac{195}{1 (1000)} + \frac{278.57}{3.15 (1000)} + \frac{832.47}{2.15 (1000)} + \frac{\text{Arena}}{2.25 (1000)} = 1$$

$$0.6706 + \frac{\text{Arena}}{2250} = 1$$

$$\text{Arena} = 2250 (1 - 0.6706)$$

$$\text{Arena} = 741.08 \text{ kg/m}^3.$$

6.- Peso Volumétrico del concreto.

Agua	=	195.00 kg/m ³ .
Grava	=	832.47 kg/m ³ .
Arena	=	741.08 kg/m ³ .
Cemento	=	278.57 kg/m ³ .

$$\text{Peso vol. del concreto} = 2,047.12 \text{ kg/m}^3.$$

Tabla 4.7. 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 de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado, mm.							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
de 3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
de 8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
de 15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
cantidad apro- mada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresa- do como un porcentaje.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	.2
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO								
de 3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
de 8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
de 15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	-

Tabla 4.8. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.

Tamaño máximo de agregado, mm.	Volúmen de agregado grueso varillado en seco, por volúmen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Corrección de la mezcla por absorción.

Cemento = 278.57 kg/m³.

Agua = 195 - 832.47 (0.0484) - 741.08 (0.068) = 104.32 kg/m³.

Grava = 832.47 + 832.47 (0.0484) = 872.72 kg/m³.

Arena = 741.08 + 741.08 (0.068) = 791.47 kg/m³.

Peso volumétrico del concreto = 2047.12 kg/m³.

Diseño final (con agregados secos).

Grava = 832.47 kg/m³.
 Arena = 741.08 kg/m³.
 Cemento = 278.57 kg/m³.
 Agua = 195.00 kg/m³.

(con agregados saturados).

Grava = 872.72 kg/m³.
 Arena = 791.47 kg/m³.
 Cemento = 278.57 kg/m³.
 Agua = 104.32 kg/m³.

Dosificación a utilizar = 0.1896 m³.

Mezcla testigo.

Grava = 165.475 kg.
Arena = 150.060 kg.
Cemento = 52.816 kg.
Agua = 36.972 kg.

Mezcla con fibra de polipropileno (Fibermesh).

Grava = 165.475 kg.
Arena = 150.060 kg.
Cemento = 52.816 kg.
Agua = 41.000 kg.
Fibra = 170.640 gr.

Mezcla con fibra de nylon (Fibercon).

Grava = 165.475 kg.
Arena = 150.060 kg.
Cemento = 52.816 kg.
Agua = 41.900 kg.
Fibra = 170.640 gr.

Mezcla con fibra de acero (Xorex).

Grava = 150.307 kg.
Arena = 157.644 kg.
Cemento = 52.816 kg.
Agua = 38.000 kg.
Fibra = 7.584 kg.

Mezcla con fibra de acero (Mitchell).

Grava = 150.307 kg.
Arena = 157.644 kg.
Cemento = 52.816 kg.
Agua = 40.500 kg.
Fibra = 7.584 kg.

IV.2.2. ELABORACION DE ESPECIMENES.

- CILINDROS.

Se procedió tal como lo marca la NOM C-159, (ASTM C-192) que determina la metodología a seguir en la elaboración de especímenes de prueba, descimbrado y curado de los mismos. (Fig.4.6.).

Se utilizaron cilindros estandar de 15 cms. de diámetro y 30 cms. de altura, colados en laboratorio, descimbrados a las 24 horas y curados en cuarto húmedo al 95% de saturación hasta la edad de prueba.

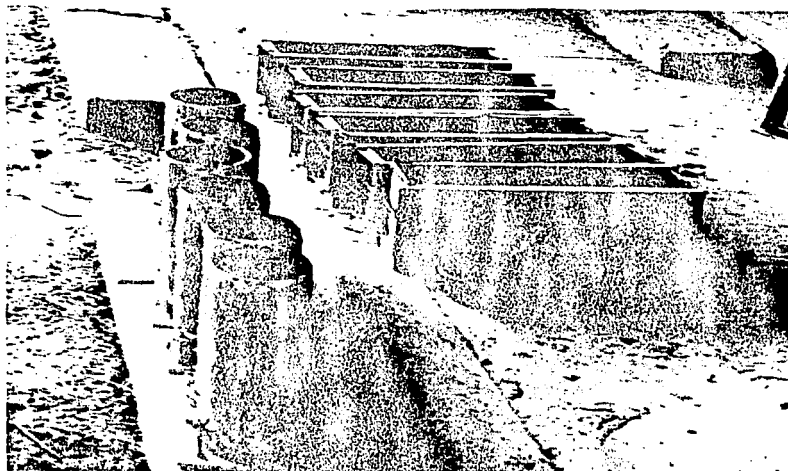


Fig.4.6. Moldes para elaboración de especímenes cilíndricos.

- VIGAS.

Se procedió tal como lo marca la NOM-C-159, (ASTM C-192) que determina la metodología a seguir en la elaboración de especímenes de prueba, descimbrado y curado de los mismos. (Fig.4.7.).

Se utilizaron vigas de 15 x 15 x 60 cms, coladas en laboratorio, descimbradas a las 24 horas y curadas en cuarto húmedo al 95% de saturación hasta la edad de prueba.

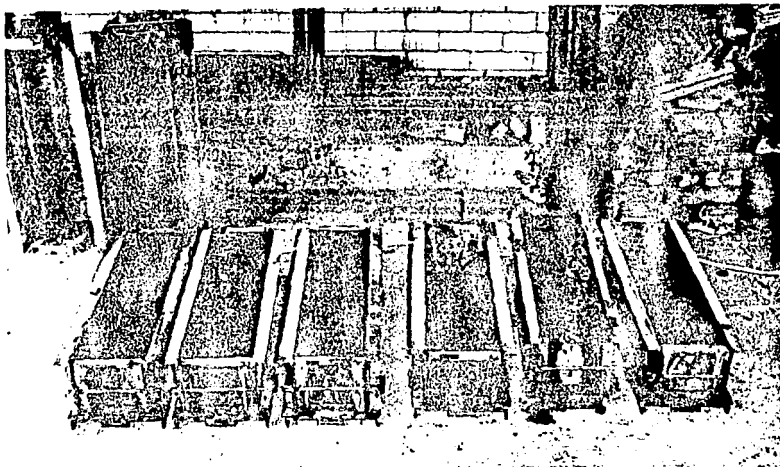


Fig.4.7. Moldes para elaboración de vigas.

- LOSAS.

Se colaron 10 losas de 8 x 40 x 120 cms, sobre suelo apisonado, 2 de ellas de concreto simple sin refuerzo de ningún tipo (testigo), 2 de concreto reforzado con fibra de polipropileno marca Fibermesh, 2 elaborada con concreto reforzado con fibra de nylon marca Fibercon, 2 elaboradas con concreto reforzado con fibra de acero onduladas marca Xorex y 2 más con fibra de acero marca Mitchell Se procedió a descimbrarlas a las 24 horas y se curó una de cada muestra dejando la otra muestra sin curar esto fue con la intención de procurar el proceso de agrietamiento del concreto. (Fig.4.8.).

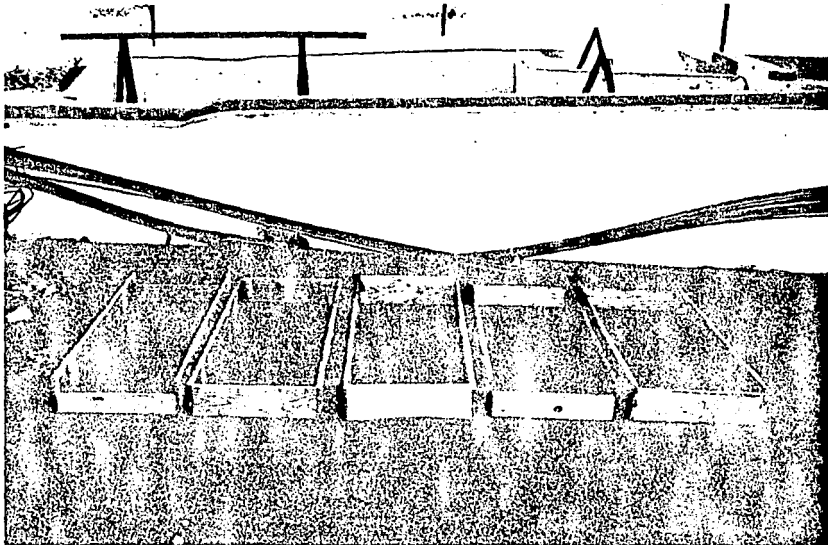


Fig.4.8. Elaboración de losas.

- COMENTARIOS:

a) Se obtuvo el revenimiento deseado en el concreto para conservar la relación agua/cemento y de esta manera no alterar la resistencia del concreto simple y el elaborado con fibras. (8 cms. de revenimiento, para cada una de las muestras elaboradas; ya que se tuvo el cuidado al añadir el agua de mezclado, Fig.4.9.). En el concreto elaborado con fibras es necesario mayor tiempo de mezclado para lograr la fluidez del mismo, o en su caso la inclusión de un aditivo para mejorar la trabajabilidad como pueden ser: Aditivos inclusores de aire, Aditivos minerales finamente divididos y reductores de agua.

b) Las mezclas con fibra presentaron un aspecto adecuado de uniformidad y fluidez ya que el volumen de concreto utilizado fue mínimo, la inclusión de agentes para la trabajabilidad es necesario en grandes volúmenes de concreto reforzado con fibras.

c) En la elaboración de la dosificación de mezclas con fibras, (plásticas y metálicas) se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Al anexar x cantidad de fibra plástica (en peso), en el concreto, su peso es despreciable ya que no afecta el peso volumétrico y la trabajabilidad del mismo.

- Al anexar x cantidad de fibras metálicas (en peso), entonces, se quita de grava una cantidad igual a $2x$, y finalmente, se compensa con arena la cantidad x faltante.

Esto es para que no se afecte el peso volumétrico del concreto y afecta también la trabajabilidad (se hace necesario la adición de agregado fino). Por lo que es importante tomar en cuenta esta consideración.

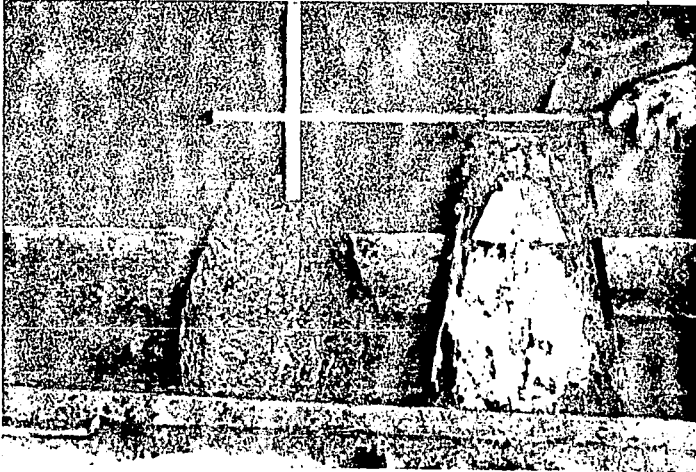


Fig.4.9. Obtención de revenimiento.

IV.2.3. RESULTADOS Y OBSERVACIONES.

IV.2.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Se procedió tal como lo marca la NOM C-109 (ASTM C-617 y C-109), referente al cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto y a la NOM-C-83 (ASTM C-39 y C-683), misma que determina lo que se refiere a aparatos y equipo a utilizar, procedimiento de prueba e interpretación de los resultados.

Los resultados obtenidos de las pruebas se muestran en la tabla 4.8. y en la figura 4.12.

Tabla 4.9.
Resistencia a la compresión (kg/cm²).

MUESTRAS	EDAD (DIAS)		
	14	21	28
Testigo.	143.92	167.21	192.40
Fibermesh.	104.49.	122.23	175.36
Fibercon.	132.60	144.01	181.26
Xorex.	100.53	120.25	170.97
Mitchell.	121.66	152.22	187.45

COMENTARIOS DE LAS PRUEBAS:

Se observa de la tabla 4.8., que la resistencia de la mezcla testigo fué muy alta, en relación a la resistencia obtenida en las mezclas de concreto con fibras y al valor de diseño. Esto de ninguna manera nos indica de que la adición de fibra a la mezcla aumente su resistencia a la compresión, más la disminuyo en un 7.25%, de que como ya se esperaba, al tener un exceso en la cantidad de agua de mezclado, se esperaba una variación considerable de resistencia en esta prueba de concreto.

- Las mezclas con fibra de polipropileno y fibra de acero, se comportaron en forma similar.

- Se observa que las resistencias obtenidas a los 28 días para concretos reforzados con fibras estuvieron alrededor de un $f'c = 179 \text{ kg/cm}^2$, valor bajo al de diseño de la mezcla.

Esto fue ocasionado al incremento de agua que se utilizó en las mezclas, para buscar el revenimiento de 8 cm. y de esta manera tener mayor trabajabilidad, de acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar la disminución de resistencia a la compresión.

- Obsérvese las figuras 4.10 y 4.11, donde se ilustra el ensaye típico a compresión de cilindros, en el caso específico de un concreto elaborado con fibras.

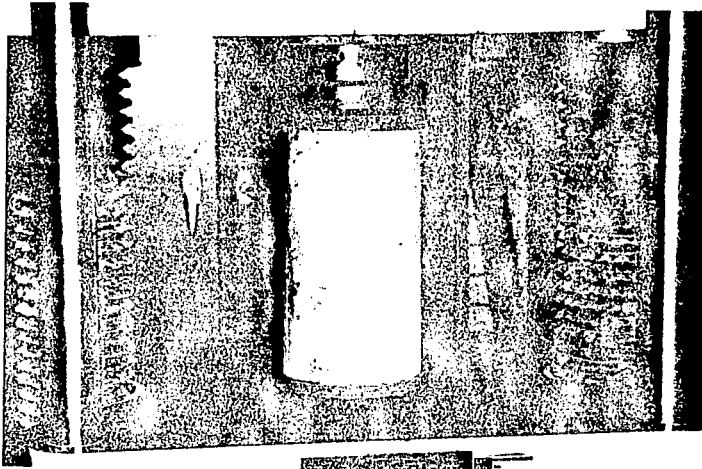


Fig.4.10. Resistencia a la compresión, marco de carga, espécimen y aditamento de prueba.



Fig.4.11. Resistencia a compresión, falla del espécimen.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

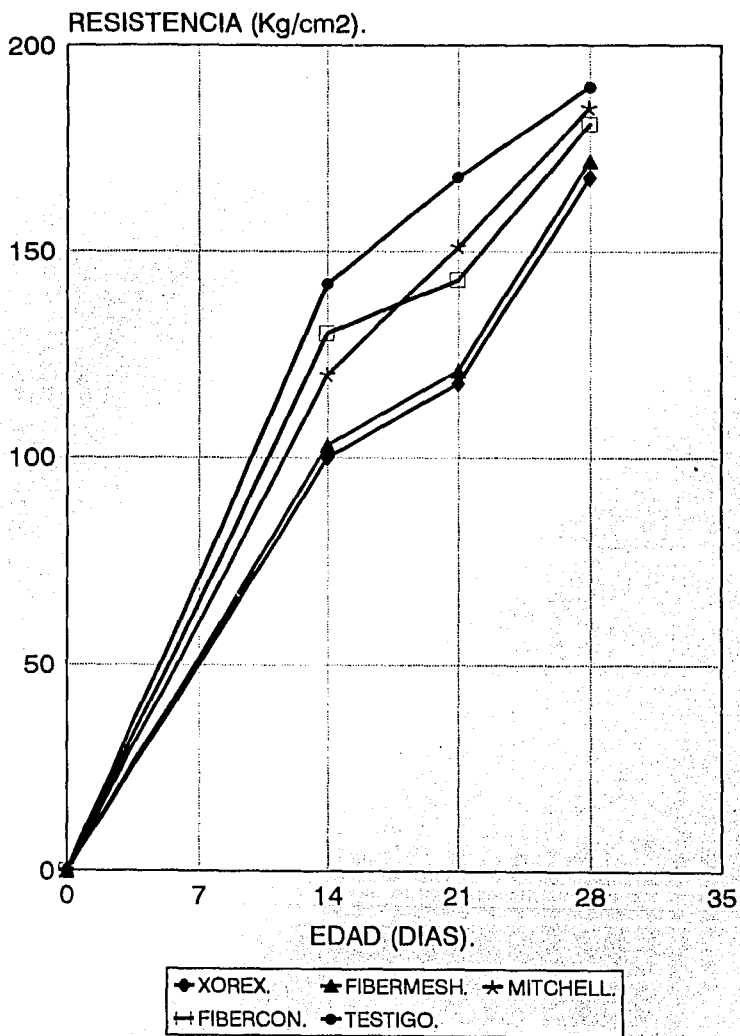


Fig. 4.12.

La figura 4.13, nos muestran los diferentes detalles de la distribución de la fibra en cilindros de concreto llevados a la falla.

En cuanto a las edades de prueba a las que se sometieron los especímenes cilíndricos, fue con la intención de observar el comportamiento posterior al 70% alcanzado teóricamente es decir después de los 14 días, ya que es más representativo.

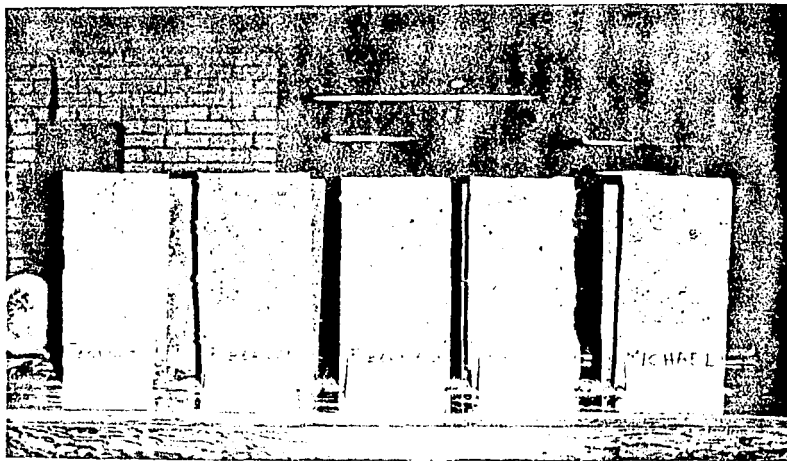


Fig.4.13. Distribución de fibras en cilindros.

IV.2.3.2. RESISTENCIA A LA FLEXION.

Se procedió tal como lo marca la NOM-C-191 (ASTM C-78), misma que determina lo referente a aparatos y equipo a utilizar, procedimiento de prueba e interpretación de los resultados en ensayos de vigas a flexión simple con carga al centro del claro.

Los resultados obtenidos de las pruebas se muestran en la tabla 4.10., y en la figura 4.16.

Tabla 4.10.

Resistencia a la flexión. Módulo de ruptura. (kg/cm²).

MUESTRA	EDAD (DIAS)		
	14	21	28
Testigo.	26.74	27.60	28.30
Fibermesh.	23.48	27.92	32.33
Fibercon.	24.44	32.14	37.28
Xorex.	23.85	27.85	34.20
Mitchell.	25.55	32.51	38.72

COMENTARIOS DE LAS PRUEBAS:

- Se observa de la tabla 4.9., que la resistencia a la flexión de la mezcla testigo fué mayor en relación a la resistencia obtenida en las mezclas de concreto con fibras, a edad temprana (los primeros 7 días). Posteriormente alcanza su resistencia máxima a los 28 días superando a la muestra testigo en un 24% .

- Considerando que el reglamento, en sus normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, marca que la resistencia a la flexión, en un concreto clase 2, es decir, de peso volumétrico no mayor de 2200 kg/cm^3 , y agregado andesítico, como el elaborado y utilizado en estas pruebas, es aproximadamente igual a $1.4 \sqrt{f'c}$, lo que nos daría como resistencia a la flexión a los 28 días un valor de 22.14 kg/cm^2 .

Comparando este valor con el obtenido en los especímenes a los 28 días se observa un incremento en la resistencia de un 58.08% para el concreto reforzado con fibras plásticas y de un 60.34% para el concreto reforzado con fibra de acero.

- La figura 4.14. ilustra el ensaye típico a la flexión con carga al centro del claro de vigas estandar.

Se observó que en el espécimen testigo al momento de la falla cae en forma abrupta.

En la figura 4.15. se observa la viga reforzada con fibra en las que al momento de la primera falla (carga en la que se presenta la primera grieta), se observa una disminución en la capacidad para seguir tomando carga, seguida de un pequeño aumento que no llega a superar el primer máximo y finalmente la falla final del espécimen de prueba en forma gradual sin caer o separarse del aditamento superior de carga.

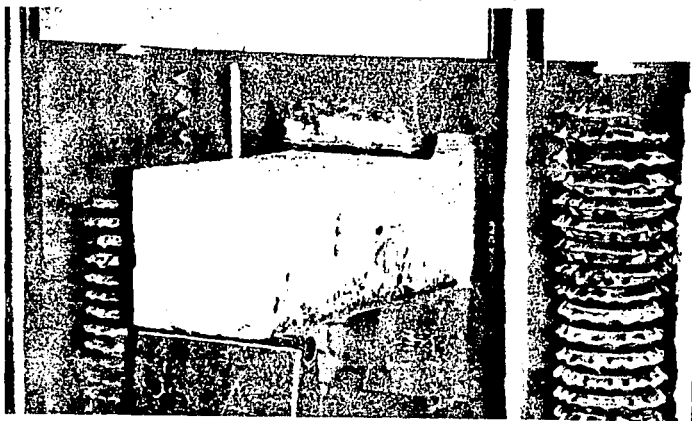


Fig. 4.14. Resistencia a la flexión, marco de carga, espécimen y aditamento de prueba.

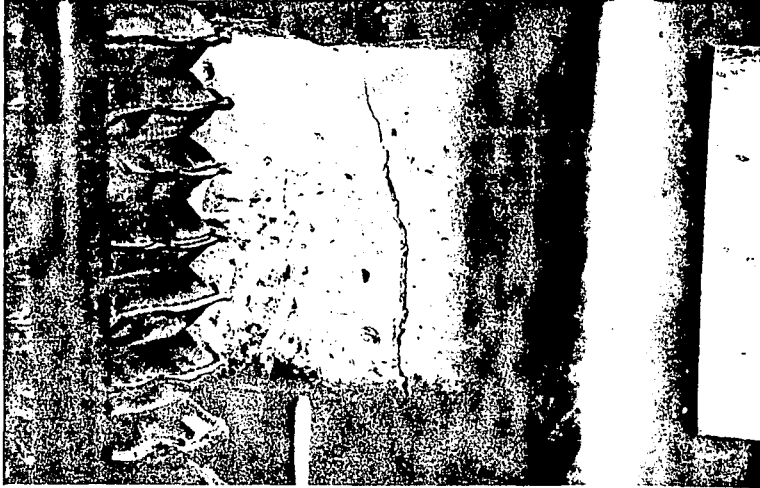


Fig.4.15. Resistencia a la flexión, falla del espécimen.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

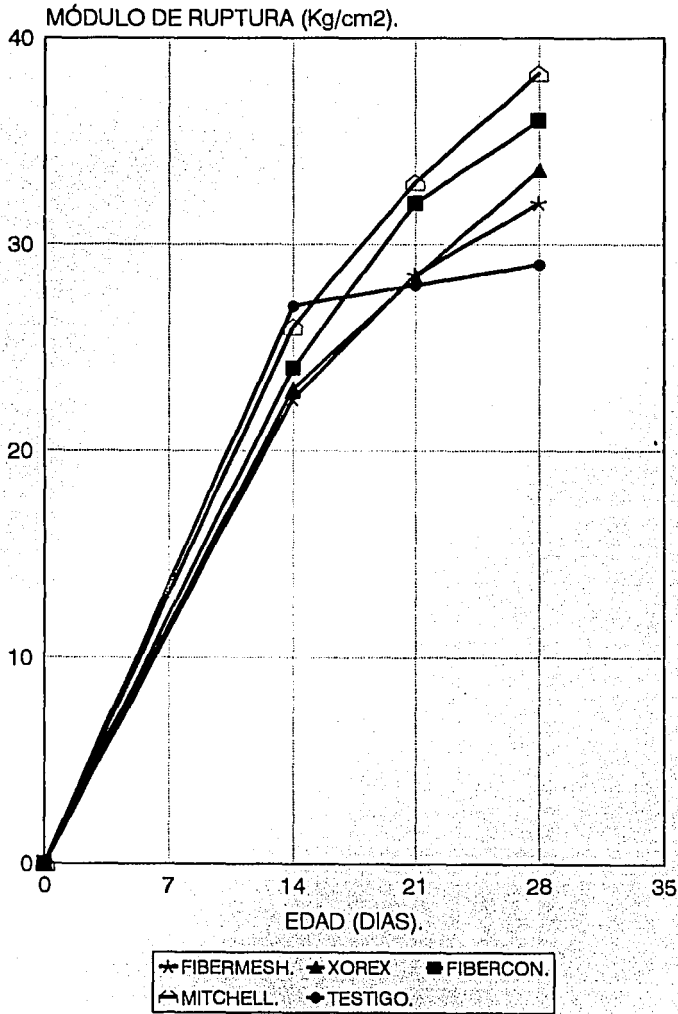


Fig. 4.16.

IV.2.3.3. EVALUACION DE AGRIETAMIENTO EN LOSAS.

Se elaboraron 10 losas de concreto sobre suelo compactado con pisón. Se tuvieron 5 tipos diferentes, como ya se mencionó en el inciso IV.2.2., de éste trabajo (veáse figura 4.8.).

- a) Losa de concreto simple, sin ningún tipo de refuerzo.
- b) Losa de concreto reforzada con fibra de polipropileno Fibercon.
- c) Losa de concreto reforzada con fibra de polipropileno Fibermesh.
- d) Losa de concreto reforzada con fibra de acero Xorex.
- e) losa de concreto reforzada con fibra de acero Mitchell.

COMENTARIOS DE LAS PRUEBAS:

Se observó el siguiente comportamiento (Veáse la figura 4.17).

a) La losa de concreto simple presentó un agrietamiento mínimo por contracción plástica en diagonal (Tipo D).

b) Las losas reforzadas con fibras plásticas y metálicas no presentarán agrietamiento alguno a todo lo ancho y a todo lo largo de la misma.

c) Se aplicó una restricción para provocar el agrietamiento en losas con fibras, pero se observó que no hubo tales efectos. La restricción fue no aplicar el curado en una de las losas fabricadas con su respectivo tipo de fibra. En las otras losas si se aplicó el curado. Tales losas no se vieron afectadas por las grietas por lo que se concluye la efectividad de las fibras para soportar los esfuerzos internos generados en el concreto.



Fig. 4.17. Comportamiento final del proceso de agrietamiento en losas.

CONCLUSIONES.

Como se ha observado en el desarrollo de éste trabajo las fibras ya sean naturales, de vidrio, asbesto, plástico, acero y polipropileno se han sometido a estudios e investigaciones acerca de sus propiedades particulares y su comportamiento en mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.

Actualmente su uso ha sido generalizado en los diferentes tipos de obras en los que se busca, mejorar la resistencias a la tensión, disminuir el efecto de contracción por pérdida de agua en la mezcla de concreto fresco en su proceso de fraguado, mejorar su resistencia ante ciclos de carga o impacto, aplicaciones de concreto, lanzado donde se busca una rápida resistencia y estabilidad adecuada de la mezcla, pisos industriales en los que las diferentes cargas estáticas y dinámicas provocan fatiga o despedazamiento del concreto y se pretende disminuir esos efectos, teniendo otros muchos usos y ventajas reales.

Sobre las pruebas realizadas, se observa claramente el efecto de las fibras (polipropileno y acero);de disminuir o simplemente no permitir el agrietamiento superficial en las losas de concreto y aumentar su resistencia a la flexión en un rango aproximado de un 60%. las fibras proporcionan características muy importantes en el concreto, pero nunca mejorará un concreto mal dosificado, cemento en mal estado, agregados inadecuados, agua fuera de condición óptima, descuido en el uso de otros aditivos, errores en el mezclado, transporte y colocación, etc., es decir, para tener éxito al utilizar fibras siempre será conveniente un diseño adecuado y una supervisión estricta de calidad de los procesos de producción de mezclas de concreto, en observancia de los métodos tradicionales y buscando tener mejores resultados apoyados en los nuevos procesos que la tecnología de materiales ofrece. Por lo que se proponen dos teorías para explicar el mecanismo de reforzar concreto con fibras plásticas y metálicas las cuales fueron el objeto principal de estudio:

1.- La primera teoría propone, que cuanto más estrecho queda el espacio entre las fibras individuales, dichas fibras mejor pueden disminuir la propagación de micro grietas en la mezcla.

2.- La segunda teoría mantiene que el mecanismo de reforzar a través del refuerzo por fibras esta relacionado con la adhesión entre las fibras y el concreto. Ha sido demostrado que las micro grietas en el concreto ocurre con cargas muy pequeñas. Por tanto las fibras sirven como pequeñas barras de refuerzo atravesando las grietas. Por lo que las fibras pueden soportar la entera carga de tensión.

EN CUANTO A COSTO.

El incremento del costo de una mezcla de concreto elaborado con fibras, comparado con el concreto simple se ve afectado económicamente.

Con respecto al concreto simple, el concreto elaborado con fibras plásticas se incrementa en un 11.8 % y en fibras metálicas en un 44.5 % .

Por lo que es factible el uso de fibras (plásticas y metálicas) y sobre todo en cuanto a los resultados benéficos que proporciona su uso.

El concreto que utiliza refuerzo por temperatura, se observa que el uso de este refuerzo requiere de una labor de colocación muy cuidadosa y una alta habilidad técnica y por lo tanto un alto costo. Ahora en el análisis del concreto elaborado con fibras, se observó que las fibras metálicas pueden utilizarse en lugar del tradicional refuerzo por temperatura, con esto se reduce el costo, el tiempo de construcción y al mismo tiempo se mejora la calidad del concreto.

EN CUANTO A PRUEBAS.

El uso de fibras cortas (plásticas y metálicas) como refuerzo del concreto tiene una notable trascendencia en el mejoramiento de las propiedades de éste. Las experiencias obtenidas y los éxitos han estimulado su desarrollo acelerado en la práctica.

Tomando ventaja a la investigación y estudio de las propiedades de estos materiales reforzados. Es común a los trabajos de laboratorio y a las experiencias empíricas, buscar el mejoramiento de las propiedades mecánicas y resistencia de los materiales existentes, todo enfocado a satisfacer las necesidades apremiantes del futuro. La pronta solución de estas necesidades, aumentará las posibilidades en cuanto al concreto reforzado con fibras de resolver los múltiples problemas de la construcción de obras de concreto.

Actualmente el uso de concreto reforzado con fibras a pasado de aplicaciones en laboratorios experimentales a la aplicación en campo y la elaboración de miles de metros cúbicos, lo que ha creado la necesidad de revisar los métodos existentes de prueba y desarrollar nuevos métodos para determinar las propiedades del concreto reforzado con fibras. Con el propósito de estandarizar los procedimientos y equipo para evaluar efectivamente y comparar los resultados obtenidos en las pruebas.

Para finalizar se ha demostrado la influencia de las fibras cortas de diferentes materiales en el concreto hidráulico, satisfacen la necesidad de prevenir grietas no estructurales.

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

- H. Kosmatka Steven y C. Panarese William.
"Diseño y Control de Mezclas de Concreto".
Primera Edición, México, IMCYC. A. C. 1992.
- "El Concreto en la Obra".
México, IMCYC. A.C. 1992.
- Canseco García Maria del Carmen.
"Estudio de los Efectos del Agua Tratada en el
Concreto Premezclado".
Tesis Profesional. 1992.
- "Practica Para Dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado
y Concreto Masivo".
IMCYC.
- A. M. Neville.
"Tecnología del Concreto Tomos I, II y III".
Ed. Limusa. IMCYC. México, D.F. 1989.
- "Agregados Para Concreto".
Varios.
Ed. Limusa. IMCYC. México, D.F. 1990.
- "Aditivos Para Concreto"
Varios.
Cómite ACI 212. México, D.F. IMCYC. 1986.
- "Steel Fiber Reinforced Concrete".
Varios.
- "State-Of-The-Art Report On Fiber Reinforced Concrete"
Reported By ACI Committee 544.
- "Normas de Construcción del DDF".
- "Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado"
(ACI-318-89) y Comentarios. Traducción Autorizada del
American Concrete Institute, México, D.F., IMCYC, 1990.
- "Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción
de Estructuras de Concreto".
México, D.F., Gaceta Oficial del Departamento del D.F.,
RCDF., Julio, 1991.

- NORMA OFICIAL MEXICANA:

- NOM-C-77 Método de prueba para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.
- NOM-C-83 Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes de concreto.
- NOM-C-111 Agregados para concreto.
- NOM-C-156 Determinación del revenimiento del concreto fresco.
- NOM-C-163 Determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto.
- NOM-C-191 Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en el centro del claro.

Referencias:

Ref. 1,2,3 y 4.

"Diseño y Control de Mezclas de Concreto". Steven H. Kosmatka y William C. Panarese. IMCYC.