



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

ARAGON U. N. A. M

**Aspectos Generales de los Concretos Reforzados
con Fibras de Acero y Vidrio**

T E S I S

Que para obtener el título de:

I N G E N I E R O C I V I L

p r e s e n t a :

MANUEL MARTINEZ ORTIZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Co. 84

Sist 29444

"Nadie, sino aquél que busca nuevos horizontes, arries
gándolo todo, es quien conoce el verdadero éxito ...
o el verdadero fracaso.
Nunca puede fracasar quien nunca intenta nada".

A mi madre:
Ma. de la Cruz Ortíz Morones.

A la ENEP-ARAGON:
Porque hemos crecido juntos.

Al señor Juan Antonio Gómez Velázquez:
Por el apoyo que me brindó para actuar
por sí solo.

Al Ing. Arturo Hernández Téllez:
Por haberme motivado al desarrollo de esta tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL
ARAGON

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

MANUEL MARTINEZ ORTIZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 29 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. ARTURO HERNANDEZ TELLEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., octubre 6 de 1981.
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería.
Unidad Académica.
Departamento de Servicios Escolares.
Director de Tesis.

I N D I C E

"ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO."

	PAGINA
1. INTRODUCCION.	
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 ANTECEDENTES HISTORICOS	3
1.3 DEFINICION	8
2. MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.	
2.1 AGREGADOS	9
2.2 CEMENTO	11
2.3 CONCRETO	13
2.4 FIBRA DE ACERO	15
2.5 FIBRA DE VIDRIO	19
3. PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS.	
3.1 LAS FIBRAS COMO MECANISMO DE REFUERZO EN EL CONCRETO	22
3.1.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MECANISMO DE REFUERZO DE MATRICES DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS	29

	PAGINA
3.2 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO	30
3.2.1 RESISTENCIA A LA FLEXION, A LA COMPRESION Y A LA TENSION INDIRECTA	32
3.2.2 TENACIDAD A LA FRACTURA	34
3.3 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO	35
3.3.1 INTRODUCCION	35
3.3.2 VENTAJAS PRINCIPALES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO	38
3.3.3 MATERIALES	40
3.3.4 PROPIEDADES	43
3.3.5 CONTENIDO DE FIBRA	44
3.3.6 COMPORTAMIENTO ESFUERZO-DEFORMACION	44
4. FABRICACION, MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.	
4.1 FABRICACION	52
4.1.1 FABRICACION DE CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO	52
4.1.2 ROCIADO A MANO	53
4.1.3 PULVERIZACION MECANIZADA	56
4.1.4 PROCESO DE EXTRACCION DE AGUA CONTINUO	58
4.1.5 PREMEZCLADO	59
4.1.6 COLADO EN MOLDES ABIERTOS	60
4.1.7 MOLDEO POR DESLIZAMIENTO	61
4.1.8 MOLDEADO A PRESION	62
4.1.9 FABRICACION DE CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA DE ACERO	63

	PAGINA
4.2 MANEJO DE LA MEZCLA PREPARADA CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO	65
4.2.1 PLASTICIDAD	65
4.2.2 TRABAJABILIDAD	67
4.2.3 COHESIVIDAD	68
4.3 COLOCACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	69
5. APLICACIONES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.	
5.1 FIBRAS DE ACERO	77
5.1.1 LOSAS	77
5.1.2 TUBOS	78
5.1.3 PAVIMENTOS	80
5.1.4 REVESTIMIENTOS	81
5.1.5 ESTRUCTURAS DE PROTECCION COSTERA	82
5.2 FIBRAS DE VIDRIO	83
6. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA	87

1. INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

1.2 ANTECEDENTES HISTORICOS

1.3 DEFINICION

1.1 GENERALIDADES.

Entre los diversos adelantos que se han presentado -
últimamente en la Ingeniería Civil y más especialmen-
te en la rama de la construcción, está el de la uti-
lización del concreto reforzado con fibras cortas. -
En general estas fibras se caracterizan primordial-
mente, por tener un área transversal pequeña, longi-
tud corta y estar situadas aleatoriamente en toda la
masa del concreto.

Por otra parte, la resistencia y el comportamiento -
que adquiera un concreto preparado con fibras cuales-
quiera, dependerá fundamentalmente del tipo de fibra
que se utilice. En la actualidad se han efectuado -
algunos estudios en fibras de: acero, vidrio, nylon,
polietileno, polipropileno y asbesto, observándose -
que las de acero son las que más se utilizan por las
características que estas poseen.

Ahora bien, la importancia de incluir fibras cortas

en matrices de concreto¹ es de mejorar las propiedades de resistencia y deformación a través de la misma matriz sujeta a esfuerzos, haciendo que esta -- transmita carga a la fibra; de esta manera las fibras ayudan a controlar el avance de las grietas - producidas por las deformaciones, que a su vez producen fuerzas de apresamiento en los extremos de - las grietas alterando de esta forma su ritmo de propagación.

¹ Compuesto que forma el agregado grueso y fino aglutinado por cemento.

1.2 ANTECEDENTES HISTORICOS.

El principio de reforzar un concreto con fibras se remonta tiempo atrás, ya que en aquel entonces para la fabricación de adobes se incluía el uso de paja; posteriormente en épocas más recientes, a los concretos se les trató de aplicar madera, esto claro está, con el objeto de que a través de dichos materiales la matriz de concreto adquiriera una mayor resistencia; por otra parte, también por esta época, el uso de las fibras de asbesto como material de refuerzo se remonta hasta el año 2500 A. C., principalmente en productos horneados de alfarería.

Fue hasta con la aparición del cemento portland que se presentaron muchas posibilidades de desarrollar nuevos y más ventajosos materiales, tal es el caso del concreto reforzado convencional.

El concepto del concreto como un material estructural homogéneo y resistente por la inclusión de fi -

bras de acero, fue considerado en 1910 por Porter. En 1911 Graham propuso el uso de fibras de acero en adición al refuerzo convencional, para incrementar la resistencia y la estabilidad del concreto reforzado. En 1920 se realizó una pasta de cemento reforzado que en volumen oscilaba entre el 40 y 50% respecto al de fibras pequeñas de acero (diámetro 0.3 mm y longitud 2 mm). En 1933 Etheridge utilizó alambre re-torcido pero con caras planas; más tarde se utilizaron fibras de diferentes tamaños y diámetros con el propósito de aumentar la resistencia al agrietamiento y a la fractura del concreto. En 1943 Constantinesco sintetizó la similitud entre los desarrollos modernos de los compuestos de fibra y el cemento de tal manera que los primeros proyectos de reforzar el concreto con fibras quedaron comprendidos entre los años 1900 y 1940.

Es importante hacer notar que la adición de fibras al concreto mejora en la mayoría de los casos las propiedades mecánicas del material como son: resis-

tencia a la flexión, resistencia al impacto y resistencia a la fatiga.

Partiendo de la baja resistencia a la tensión y lo frágil del concreto, se hizo necesario el uso de varillas de refuerzo en la zona de tensión del concreto desde mediados del siglo XIX.

Las investigaciones de Romualdi, Batson y Mendel en concretos con alambres continuos y paralelos dispuestos en las direcciones paralelas y perpendiculares a la aplicación del esfuerzo principal, así como con fibras cortas de alambre dispersas y colocadas al azar a fines de 1950 y a principios de 1960, fueron la base de una patente apoyada en el esparcimiento de las fibras.

En la década de los 60's se realizaron experimentos utilizando fibras plásticas en concretos con y sin refuerzo de barras de acero y mallas de alambre; también se experimentó con fibras de vidrio en los Esta

dos Unidos, Inglaterra y Rusia. Para la preparación de este tipo de concretos se han utilizado agregados de peso normal y cemento Portland como aglomerante.

Dentro de las fibras que se han utilizado como refuerzo en cementos y concretos tenemos las de origen orgánico, como el nylon, el polipropileno y el polietileno; y las de origen mineral, como el acero, el asbesto y el vidrio. Las primeras se caracterizan por ser resistentes al ataque químico del cemento mientras que por otra parte presentan baja resistencia al calor, bajo módulo de elasticidad, modifican muy poco la resistencia del concreto y en algunos casos la reducen, son difíciles de mezclarse y distribuirse en el concreto fresco; sin embargo aumentan la resistencia al impacto. Las fibras minerales han mostrado un buen comportamiento como refuerzo del concreto, en cambio las fibras de acero han sido más utilizadas y en la actualidad han tenido bastante éxito, aunque pueden llegar a sufrir corrosión si no

se les protege adecuadamente.

La fibra de vidrio en un principio se utilizó en forma de varillas con el propósito de sustituir al acero de refuerzo, lo cual no tuvo éxito debido al ataque de los álcalis en dicha fibra, en la actualidad gracias a investigaciones hechas en Estados Unidos e Inglaterra se ha logrado controlar parcialmente dicho fenómeno con fibras de vidrio especiales y aditivos.

1.3 DEFINICION

El concreto reforzado con fibras es aquel que está formado por agua, cemento Portland, agregado fino, grueso y fibras de origen orgánico o mineral de longitud corta y de pequeña área transversal (generalmente la primera varía de 12 a 50 mm y la segunda de 0.2 a 1.0 mm), distribuidas aleatoriamente en la matriz que forma el concreto.

2. MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.

2.1 AGREGADOS

2.2 CEMENTO

2.3 CONCRETO

2.4 FIBRA DE ACERO

2.5 FIBRA DE VIDRIO

2.1 AGREGADOS.

El concreto en sí consta de dos tipos de agregados, el grueso y el fino, al primero se le conoce como grava y al segundo como arena; sus tamaños varían de 2 a los 10 mm y de 0.1 a 2.0 mm respectivamente (según clasificación de Kopecky).

El agregado en el concreto ocupa la mayor parte de su volumen y dado que su costo es más bajo que el del cemento, resulta económico poner en la mezcla la cantidad máxima de agregado que sea posible; además, de esta forma se le proporciona al concreto mayor resistencia, estabilidad de volumen y mayor durabilidad que si se tratara de la pasta de cemento sola.

Debido a la gran importancia que tienen los agregados en un concreto, deberá de tomarse en cuenta la interacción que tienen las fibras en la elaboración de un concreto reforzado con estas, ya que se oca--

siona una fricción entre los agregados y la fibra, -
causando distorsión y aglomeración de la misma (es -
decir que se forma una especie de bolas) durante el
proceso de mezclado, por lo que además se tendrá cu
dato en el control del volumen fibra-agregado.

2.2. CEMENTO.

La mayoría de los cementos Portland se comportan analogamente entre sí con respecto a la propiedad principal que es proporcionar adhesión y cohesividad, lo que da como resultado la resistencia a la compresión del concreto.

Existen otros tipos de cemento como los puzolánicos, sobresulfatados, aluminosos, etc. que son empleados en medios difíciles o adversos.

Algunos tipos de fibras como son las de asbesto y en cierto grado las de celulosa se pueden mezclar frecuentemente por medio de distintos métodos de producción con cemento portland. Sin embargo, el problema se complica con otras combinaciones que aún no se han resuelto, y la mayoría de los materiales de este tipo que hasta ahora han salido se deben considerar como productos experimentales, puesto que en muchos casos se alcanzan tan solo algunas propiedades de re

sistencia debido a la variación de la concentración de la fibra de una zona a otra dentro del material y debido al poco anclaje de la fibra.

2.3 CONCRETO.

El concreto es un material de características pétreas, resultado de combinar en proporciones adecuadas cemento, agregado y agua. La pasta de cemento es el aglutinante que une a los agregados entre sí para formar de esta manera lo que se conoce como concreto simple.

El concreto simple o sin refuerzo es resistente a la compresión pero presenta baja resistencia a la tensión; un buen concreto debe tener suficiente resistencia a la compresión para soportar las cargas que se le apliquen y al medio al que va a estar sometido, además de que debe fabricarse al costo más económico posible.

Al concreto que en su matriz lleva acero de refuerzo se le conoce como concreto reforzado, y se caracteriza primordialmente porque el acero proporciona propiedades de tensión al concreto, disminuyendo las deformaciones debidas a la carga y tomando parte de los es

fuerzos de compresión que estén actuando en el elemen
to de concreto. Por otro lado, el acero en cuestión
es colocado antes de colar el elemento del que está -
formando parte o bién se puede incluir en elementos -
ya colados formando de esta manera lo que se conoce -
como concreto pretenzado y el postenzado.

2.4 FIBRA DE ACERO.

En la actualidad se han utilizado fibras de acero como refuerzo en el concreto a costos bastante elevados, situación que ha ocasionado que se trabaje con fibras de acero de las más económicas como lo son las fibras de acero de bajo carbón, que se caracterizan por tener un módulo de elasticidad diez veces mayor que el del concreto, además de que presentan buena adherencia, alto alargamiento a la rotura y mayor facilidad para mezclarse, incrementando de esta manera la resistencia a la compresión y a la tensión de una mezcla simple (figs. 1 y 2).

El tamaño de las fibras que por lo general se utilizan en los concretos, oscila entre los 10 y 50 mm de longitud y entre los 0.005 a 0.9 mm de diámetro, de tal forma que la relación de aspecto (longitud/diámetro) adopte valores de 100 a 200. Las proporciones comúnmente utilizadas para este tipo de concretos, son las de aproximadamente 100 para la relación de

aspecto, 25 mm de longitud y 2% para el consumo en volumen.

Las fibras de acero de bajo carbón tienen una resistencia a la tensión entre los 10,000 y 30,000 Kg/cm² aproximadamente, mientras que las de acero inoxidable resisten entre los 20,000 y 25,000 Kg/cm².

Es importante hacer notar que un concreto reforzado con fibra de acero tendrá un determinado estado de esfuerzos, dependiendo de la geometría de las fibras utilizadas, puesto que de ésta dependen la adherencia y trabajabilidad de una mezcla. En varios casos se han utilizado fibras de acero recubiertas de cobre o latón con objeto de aumentar la adherencia entre la fibra y el cemento; ahora bien, es recomendable la utilización de fibras de acero inoxidable debido al ataque que sufre la fibra por parte del cemento a largo plazo.

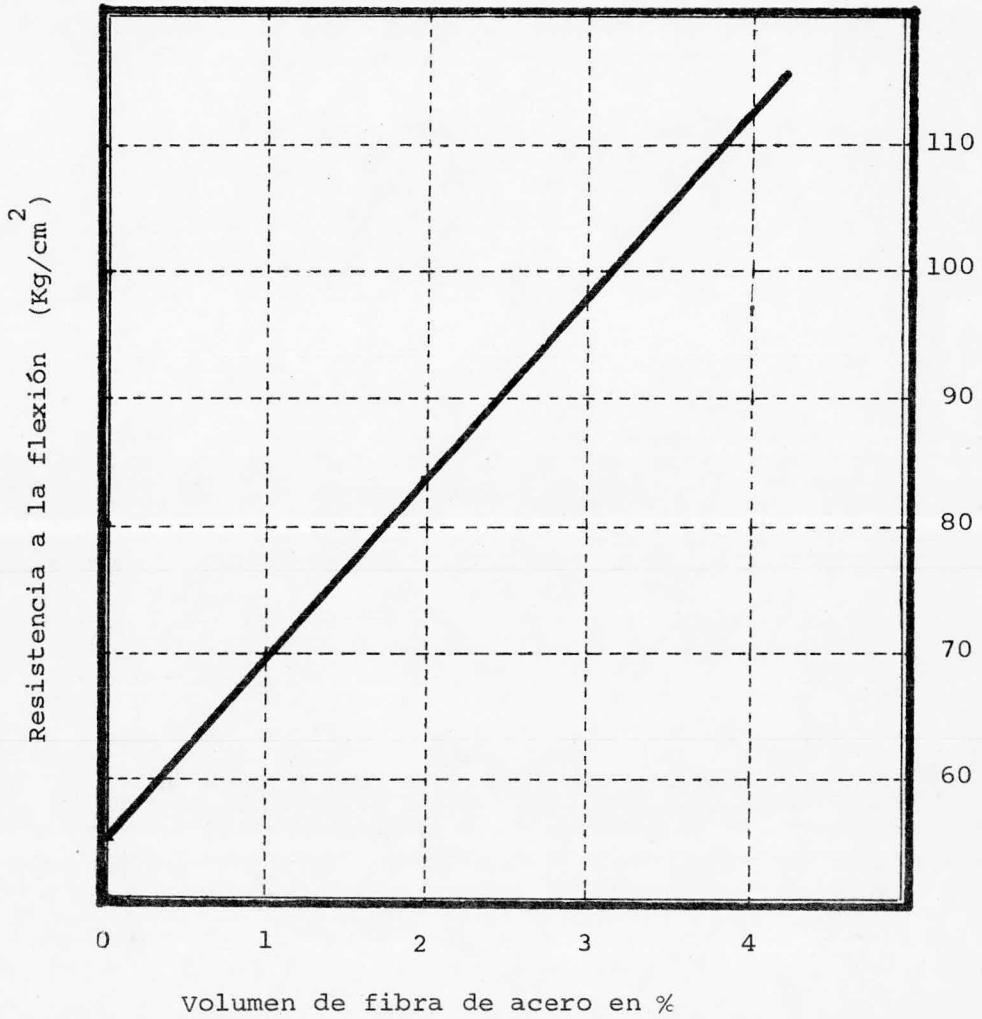


FIG. 1. Resistencia a flexión de un mortero reforzado con fibras de acero.

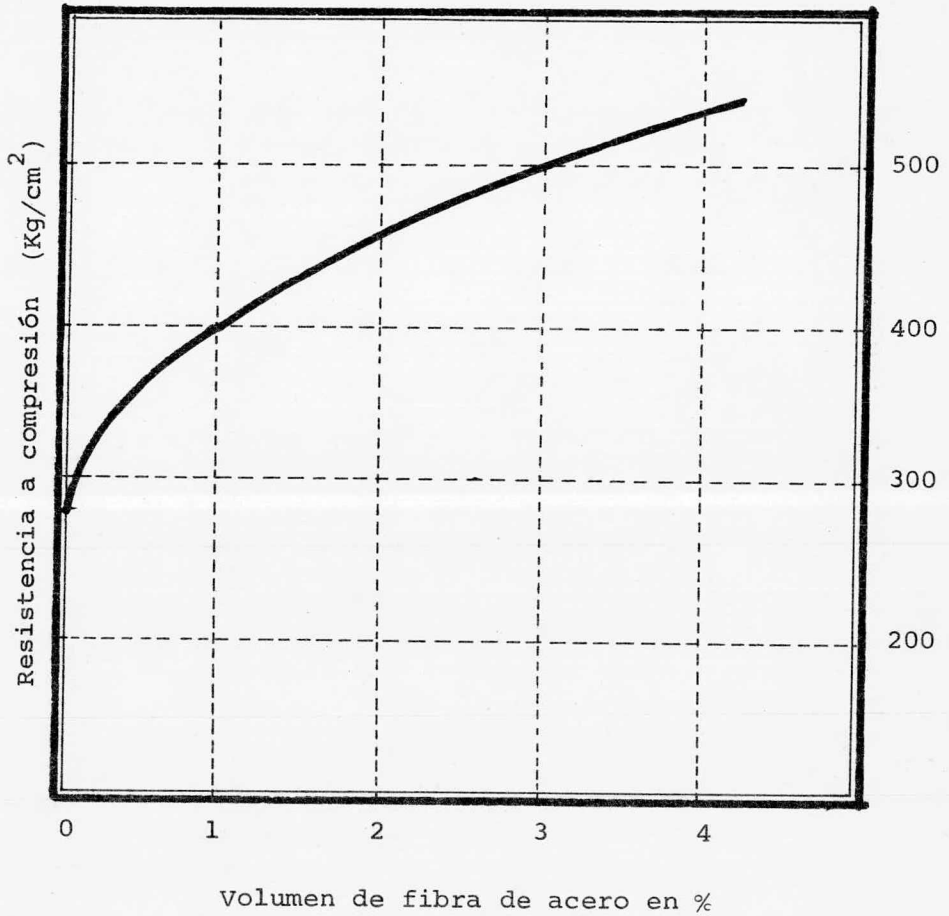


FIG. 2. Resistencia a la compresión de un mortero reforzado con fibra de acero.

2.5 FIBRA DE VIDRIO.

La fibra de vidrio es una fibra sintética que se obtiene de los minerales, se puede obtener con altas resistencias a la tensión y a la flexión, pero normalmente son atacadas por los álcalis del cemento después de cierto tiempo, perdiendo de esta manera el mayor porcentaje de dicha resistencia, y dando lugar a que se utilicen más como material de refuerzo en morteros que en concretos.

Existen dos tipos de producción de la fibra de vidrio que son: hilamiento de una sola fibra e hilamiento masivo o soplado; con el primero se obtiene un material más resistente que con el segundo pero además menos económico. Las fibras sopladas se producen para utilizarse como materiales aislantes.

Un producto especial de fibra de vidrio que es utilizado en la producción de lámina, paneles y tubos, es el que viene en forma de tramos delgados de fieltro,

compuesto de fibras largas con diámetros iguales, -
dispuestas aleatoriamente en el claro del fieltro
y ligeramente fijadas con un pegamento orgánico, es
te material es fácil de impregnarse con una lechada
de cemento asegurando así un buen anclaje de la fi-
bra.

Los primeros intentos para utilizar fibras de vi---
drio comerciales fallaron debido a la vulnerabili--
dad de las mismas y al medio altamente alcalino de la
matriz del concreto.

La fibra de vidrio cemfil resistente a los álcalis
fue desarrollada por Pilkington en base a un descu-
brimiento realizado por el Building Research Esta--
blishment (BRE) del Reino Unido. Pilkington empren
dió el desarrollo comercial de esta innovación bajo
licencia de la National Research Development Corpo-
ration (NRDC) y la generación actual de productos y
usos de los morteros de cemento reforzado con fibra
de vidrio (C. R. V.) es el resultado de muchos años

de esfuerzo coordinado entre Pilkington, el BRE y -
NRDC.

3. PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS.

3.1 LAS FIBRAS COMO MECANISMO DE REFUERZO EN EL CONCRETO.

3.2 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

3.3 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO.

3.1 LAS FIBRAS COMO MECANISMO DE REFUERZO EN EL CONCRETO.

Entre los objetivos que se tratan de cumplir con la inclusión de fibras en la matriz del concreto, está el de mejorar las propiedades de deformación y resistencia de dicha matriz, lo cual es posible si esta transfiere parte de los esfuerzos a lo que está sujeta la fibra, mejorando de esta forma en algunos casos dichas propiedades.

En la actualidad, para la fabricación de concretos reforzados con fibras, se están utilizando dos tipos que son: fibras de bajo módulo y gran alargamiento a la rotura que proporcionará a la matriz tenacidad y resistencia al impacto a cargas explosivas. Entre estas fibras se encuentran las de nylon, polipropileno y polietileno; fibras de alto módulo y gran resistencia que proporcionan a la matriz resistencia, rigidez y propiedades dinámicas, engrados variables como lo son las fibras de acero, asbesto y vidrio.

En los concretos reforzados con fibras cortas y discontinuas la adherencia que existe entre la matriz del concreto y la superficie de la fibra no es uniforme. Esto se debe principalmente a la geometría de la fibra, a la relación de aspecto (longitud/diámetro), al volumen de la fibra, a la orientación de las fibras y a las técnicas de fabricación de dicho compuesto que tienen gran influencia en las propiedades finales y modos de falla del concreto; a partir de esto surge la necesidad de estudiar cada uno de los aspectos anteriores, dado que en la actualidad la información que se tiene del material en cuestión todavía es poco confiable.

El papel esencial que desarrollan las fibras en un concreto reforzado es el de controlar el avance de las grietas que tienden a crecer, desarrollando en los extremos de las mismas, fuerzas de apresamiento que retardan su propagación a través de la matriz, creando un periodo de propagación de las grietas distinto al que se desarrollaría si se tratara de un concreto simple.

En cuanto a las propiedades mecánicas de la matriz reforzada con fibras, estas dependerán del tipo de fibra que se utilice como refuerzo así pueden ser metálicas o plásticas; con las primeras la transferencia de esfuerzos de la matriz a la fibra ocurre de la deformación plástica de la matriz, mientras que con las segundas la extensibilidad elástica de la matriz transfiere carga a la fibra.

Como hemos dicho, la inclusión de fibras cortas para el refuerzo del concreto busca como objetivo - principal interrumpir el periodo de agrietamiento - que se produce en la matriz, ya que las fibras ac- túan como interruptor de la propagación de las - grietas, desarrollando fuerzas de apresamiento en los extremos de ellas y evitando así su propaga -- ción. Los primeros en exponer estas ideas fueron los investigadores Romualdi y Batson, basándose en el concepto de espaciamiento geométrico, el cual es tablece la relación entre la primera grieta y la - resistencia a la tensión del compuesto, así como -

el espaciamento de la fibra. Dicho espaciamento es básicamente una cantidad geométrica que se caracteriza por el patrón de distribución de la fibra; en estudios posteriores realizados por Romualdi y Mandel se efectuaron pruebas en las que se comparó la relación de resistencia en función del espaciamento de las fibras, dichos resultados se presentan en la fig. 3.

Las pruebas de Snyder y Laukard fig. 4 muestran el efecto del refuerzo de fibra en la resistencia a la formación de la primera grieta ocasionada por flexión; en dichas pruebas se mantuvo constante el volumen de la fibra, no así el diámetro y el espaciamento el cual se calculó utilizando la siguiente expresión.

$$S=13.8 d \sqrt{\frac{1.0}{P}}$$

donde:

S - es el espaciamento entre los centroides de la fibra.

d - es el diámetro de la fibra.

P - es el porcentaje de volumen de fibra.

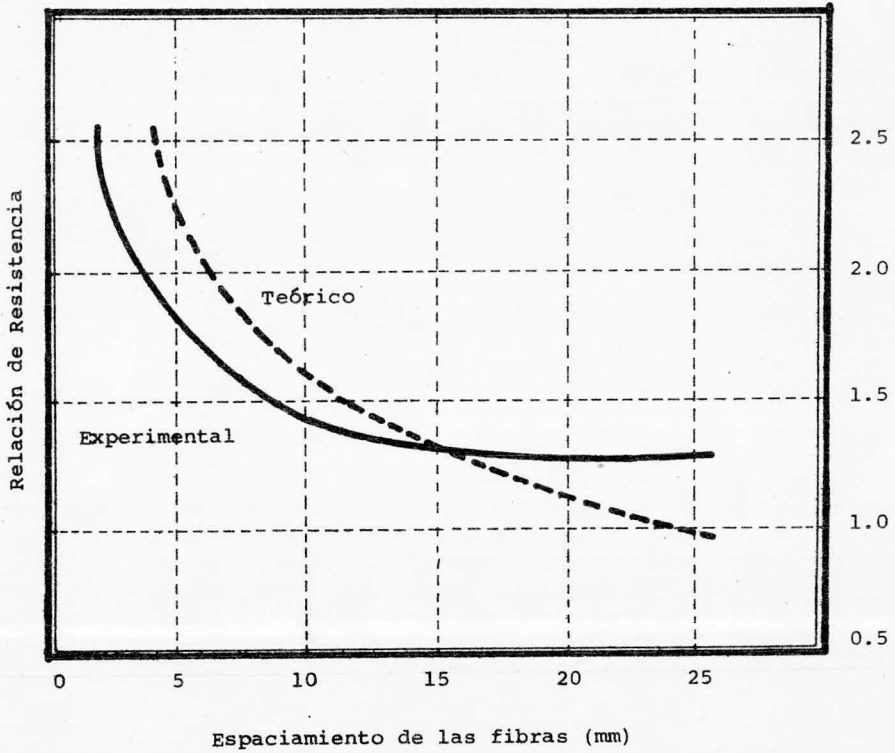


FIG. 3. Relación de resistencia teórica y experimental como una función del espaciamento de las fibras.

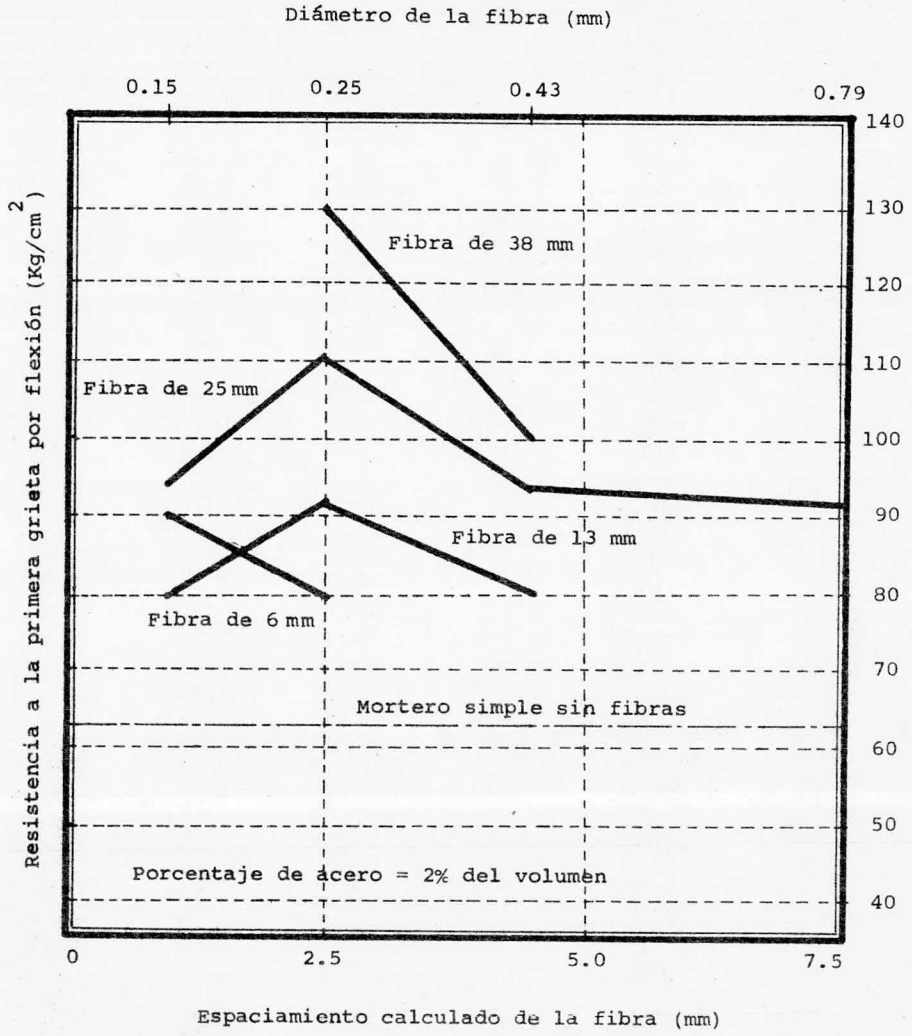


FIG. 4. Efecto del espaciamento sobre la primera grieta en la resistencia a la flexión, en un mortero re forzado con fibras de acero.

3.1.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MECANISMO DE -
REFUERZO DE MATRICES DE CEMENTO REFORZADO CON
FIBRAS.

En general podemos decir que existen tres factores -
básicos que intervienen en la transferencia de es---
fuerzos de la matriz a la fibra, primero la longitud
crítica o longitud de transferencia de la fibra, se-
gundo la adherencia interface matriz-fibra, y terce-
ro efectividad en la colocación aleatoria de la fi--
bra (factor de orientación).

3.2 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO.

En la actualidad podemos observar que los resultados definitivos de un número separado de investigaciones acerca del concreto reforzado con fibras de acero es cuantitativamente significativo, ya que los resultados de dichas investigaciones se obtienen en condiciones diferentes, entre las que varían la longitud de la fibra, la relación agua-cemento, el tipo de agregado e incluso las condiciones ambientales; por lo tanto, la comparación de los distintos resultados obtenidos hasta la fecha no tienen valor alguno, ni se les puede considerar como definitivos.

El grado de mejoramiento en alguna propiedad del concreto debido a la inclusión de fibra de acero ya sea en resistencia o en tenacidad va a depender directamente de la preparación de la mezcla; teóricamente el beneficio proporcionado por las fibras es el más adecuado cuando la mezcla con fibra es idéntica a -

una mezcla simple en todos sus aspectos, lo cual no es fácil de lograr debido a varios factores como - son la trabajabilidad, la compactación, la resistencia y las proporciones de la mezcla, aunque bien podríamos comparar una mezcla manteniendo constante la trabajabilidad y el contenido de cemento.

3.2.1 RESISTENCIA A LA FLEXION, A LA COMPRESION Y A LA TENSION INDIRECTA.

Estudios realizados muestran que la resistencia a la flexión de un concreto reforzado con fibras de acero está en función de un porcentaje de fibra por volumen o peso total del concreto, de hecho dicho porcentaje es el que influye en mayor parte en el comportamiento del material.

En un concreto reforzado con fibras de acero, el aumento a la resistencia por flexión es óptimo cuando el contenido de agregado grueso no excede de un cierto valor máximo y no cambia significativamente cuando la cantidad de agregado es más reducida bajo este valor.

En cuanto a la resistencia a la compresión dicho aumento es bastante alto y esto es debido a la tendencia de las fibras a adoptar de preferencia una posición horizontal.

De la resistencia a la tensión indirecta podemos decir que mientras la primera y la última grieta de resistencia del concreto simple son iguales en pruebas de tensión, la última grieta de tensión para concretos con fibras es mayor que la primera grieta de resistencia.

3.2.2 TENACIDAD A LA FRACTURA.

Como se sabe, la inclusión de fibras de acero en la matriz de un concreto simple da como resultado un aumento en sus propiedades de resistencia y de tenacidad; de esta última podemos decir que existe un aumento bastante considerable proporcionado por las fibras. Lamentablemente en los pocos trabajos publicados sobre concretos reforzados con fibras de acero no hacen referencia a esta importante propiedad.

3.3 PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO.

3.3.1 INTRODUCCION.

Como se sabe el concreto simple no resiste los efectos de la tensión además de ser poco dúctil, tampoco presenta resistencia a cargas producidas por impacto; es por eso que con el propósito de mejorar estas propiedades se han realizado experimentos utilizando fibras cortas como refuerzo del concreto, entre las que están la fibra de vidrio.

La idea de reforzar el concreto con fibras de vidrio se remonta a los años 40's, en los que se comenzaron a utilizar las fibras no como elementos cortos sino como substitutos del acero de refuerzo convencional.

Teniendo como principal problema la adhesión y sujeción de la fibra con el concreto. Además de que las fibras de vidrio eran atacadas por el medio altamente alcalino de la matriz del concreto; de ahí que -

surgiera la necesidad de encontrar una fibra de vidrio que cumpliera con los anteriores requerimientos, apareciendo así la fibra de vidrio cemfil, resistente a los álcalis y la cual fue desarrollada por Pilkington en base a un descubrimiento realizado por el Building Research Establishment (BRE) de Inglaterra.

El rendimiento a largo plazo del concreto reforzado con fibra de vidrio depende, de manera compleja tanto de los factores químicos como de los físicos, además que uno de los prerequisites es que el compuesto de cemento fibra de vidrio sea resistente por sí mismo a la acción de los álcalis, lo cual se puede determinar por métodos de laboratorio. La única adaptabilidad para reforzar el concreto a largo plazo es la prueba del tiempo real bajo condiciones ambientales adecuadas. Los concretos reforzados con fibra de vidrio fabricados a partir de fibra de vidrio cemfil resistente a los álcalis han sido sometidos a extensas pruebas de laboratorio y de tiempo real desde 1969 tanto por el Building Re-

search Establishment como por Pilkington.

3.3.2 VENTAJAS PRINCIPALES DEL CONCRETO REFORZADO - CON FIBRAS DE VIDRIO.

Las principales ventajas del mortero cemento - fibra de vidrio pueden resumirse de la siguiente forma:

- a) Facilidad de fabricación de formas complejas por medio de moldeado, prensado o procesamiento en el sitio de la obra.
- b) Secciones más ligeras que disminuyen el peso propio.
- c) Alta resistencia temprana al impacto, la cual resulta valiosa durante el periodo constructivo.
- d) Incombustibilidad y alta resistencia al fuego en cualquiera de las formas del componente, ya sea sencilla o compleja.
- e) Buena resistencia a la corrosión y al ataque biológico o de insectos, adaptándose a una gran variedad de condiciones ambientales.

f) Seguridad en su fabricación y manejo.

3.3.3 MATERIALES.

Los principales componentes del concreto reforzado con fibra de vidrio son: la fibra de vidrio, el cemento, la arena y la grava. Durante su fabricación pueden usarse aditivos, así mismo, las propiedades de la matriz pueden alterarse con ciertos rellenos; frecuentemente se utilizan materiales para rellenar el núcleo de paneles o para proporcionar nervaduras rigidizantes.

La fibra de vidrio cemfil resistente a los álcalis ha sido formulada para combinar una conveniente durabilidad y una fabricación mixta eficiente. En la actualidad se utilizan en forma de hebras entrelazadas y de hilos desmenuzados. En ambos casos los elementos de refuerzo son alambres integrales con una longitud que por lo general fluctua entre los 12 y 50 mm.

El cemento portland normal así como sus derivados,

el cemento de endurecimiento rápido y el cemento portland blanco son muy empleados para la fabricación del concreto reforzado con fibras de vidrio, sin embargo, para aplicaciones específicas pueden utilizarse otros cementos.

Tanto la arena como la grava y el agua se mezclan en proporciones normales. Los aditivos comercialmente disponibles, tales como fluidificantes, acelerantes, retardantes y agentes inclusores de aire pueden utilizarse dentro de ciertos límites sin que afecten adversamente las propiedades del producto final.

Para ciertas aplicaciones específicas se pueden emplear como rellenos cenizas de combustible pulverizadas, puzolana natural, perlita, vermiculita y polvo de piedra caliza.

En lo que se refiere al control de calidad las propiedades del concreto reforzado con fibras de vidrio y en consecuencia los niveles de esfuerzo de trabajo

utilizados en el diseño están influenciados por la -
formulación particular del mortero escogido por: el
método de fabricación, las condiciones de curado, la
naturaleza de la aplicación y su medio ambiente.

3.3.4 PROPIEDADES.

Al igual que todos los demás materiales compuestos - reforzados con fibras, las propiedades del concreto reforzado con fibras de vidrio dependen de una serie de factores como son:

- a) Contenido, orientación y forma del refuerzo de la fibra de vidrio.
- b) Tipo, peso volumétrico y relación inicial agua-cemento de la matriz.
- c) Grado de curado de la matriz.
- d) Método por medio del cual el concreto y los componentes son producidos.
- e) Edad, almacenamiento y condiciones del uso del material.

3.3.5 CONTENIDO DE FIBRA.

La resistencia a la tensión, al igual que la resistencia a la flexión dependen básicamente del largo de la fibra como de la proporción de la misma hasta aproximadamente el 8% en peso (6% en volumen). Más allá de esto, las dificultades para la incorporación llevan a una mayor porosidad y a valores de resistencia limitados.

3.3.6 COMPORTAMIENTO ESFUERZO-DEFORMACION.

Las curvas de esfuerzo deformación de tensión y flexión de concretos reforzados con fibras de vidrio tienen una semejanza a la fig. 5, en la que podemos observar que después de una zona inicial casi lineal con el modulo de Young de la matriz de concreto, se alcanza un límite elástico, seguido por una zona de rigidez relativamente baja, antes de que ocurra la falla que origine una deformación unitaria comparati

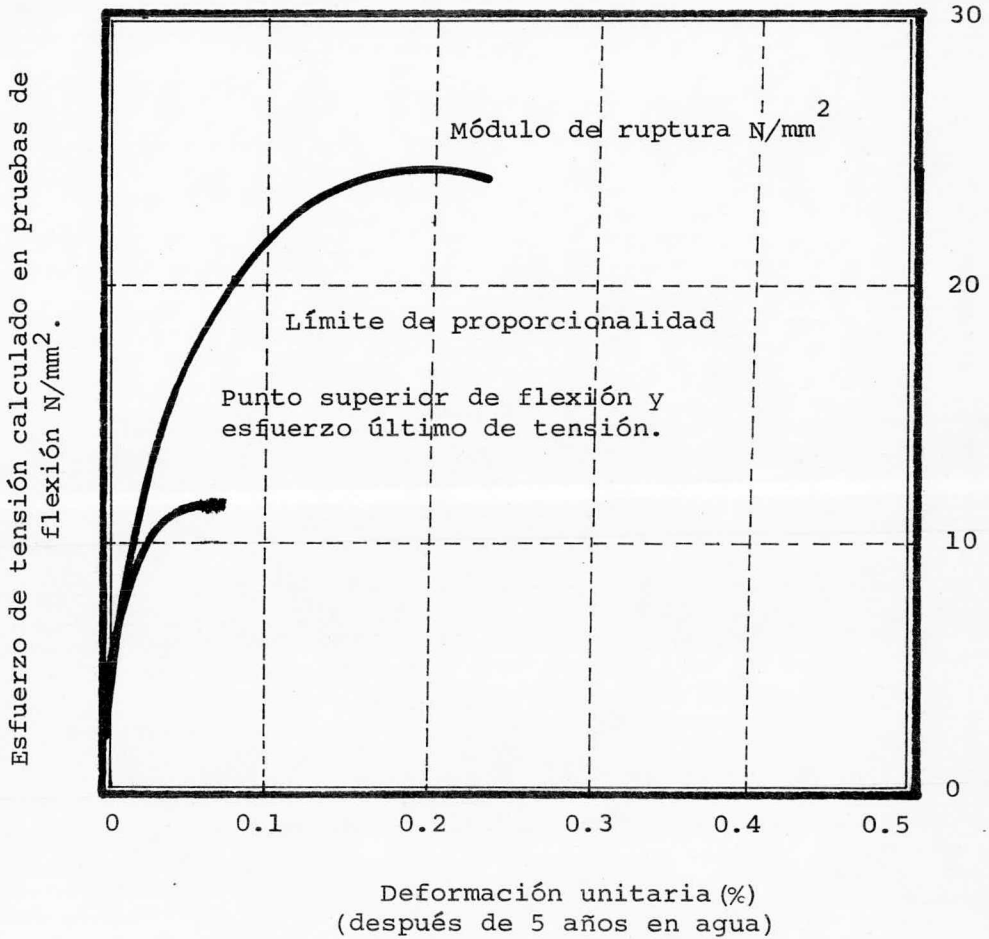


FIG. 5. Curva esfuerzo-deformación de concreto re forzado con fibra de vidrio.

vamente alta.

En la zona elástica, las propiedades son determinadas principalmente por la matriz; más allá del límite elástico, el esfuerzo se concentra cada vez más en los hilos de la fibra, mientras que el fino agrietamiento múltiple controlado por la matriz absorbe grandes cantidades de energía. El límite elástico en flexión conocido como el límite de proporcionalidad, es generalmente más alto que en tensión, conocido como el punto superior de flexión. La resistencia última a flexión, es decir, el módulo de ruptura es aproximadamente 2.5 veces el esfuerzo último de tensión. En todas las aplicaciones del concreto reforzado con fibras de vidrio los niveles de esfuerzo de trabajo están situados muy por debajo del límite de proporcionalidad y del punto superior de flexión.

A pesar de la alta resistencia a los álcalis de la fibra de vidrio cemfil, con el tiempo ocurre algún cambio en sus propiedades mecánicas como resultado de -

las acciones químicas y físicas. El grado de este cambio depende de las condiciones de almacenamiento y de su uso. Bajo condiciones secas se presenta un cambio poco significativo en la resistencia al impacto, a la flexión y a la tensión, mientras que bajo condiciones húmedas continuas o después de varios años en clima natural, los cambios en la resistencia y en la seudoductilidad (ver las gráficas)* son más notorios. Sin embargo, algunos estudios extensivos han mostrado que las propiedades de la fibra de vidrio resistentes a los álcalis permiten que sea utilizada en una gran cantidad de aplicaciones, las propiedades de la fibra de vidrio resistente a los álcalis se han estudiado a partir de 1969, y se ha tratado de obtener la mayor eficiencia del compuesto reforzado con fibras de vidrio.

Una serie de pruebas de agrietamiento por congelamiento demostró que no existe efecto negativo después de 48 horas de inmersión en agua seguida por 25 ciclos entre los 20°C y -20°C. Es importante hacer

notar que la permeabilidad al aire aumenta con el almacenamiento en condiciones secas, por lo que se han registrado valores de 3 perms métricos después de un almacenamiento seco de un año y valores tan bajos como de 0.51 perms métricos en condiciones de almacenamiento húmedos.

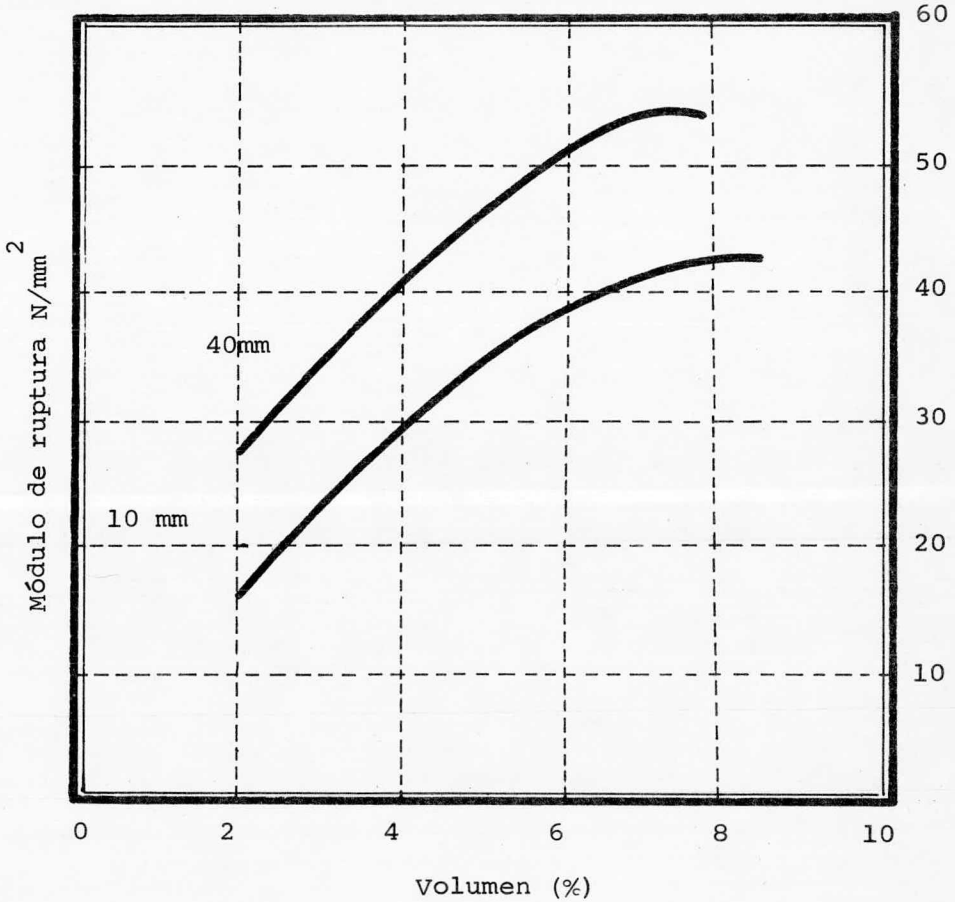
La permeabilidad al agua medida por la prueba Isat - es de 7 perms métricos para el material hecho con - una relación agua/cemento de 0.35 y mientras que pa-
ra 3 perms métricos se requerirá un material elaborado con una relación agua/cemento de 0.25

En cuanto a lo que se refiere a rupturas por esfuer-
zos, estas no se han observado, hasta el doble de los
niveles de esfuerzo de trabajo normalmente recomenda-
dos, en experimentos donde algunas muestras se han -
mantenido bajo cargas constantes de flexión en aire
seco, bajo agua a temperaturas que oscilan entre los
18 y 28°C, o en el clima natural de Inglaterra por -
períodos hasta de 3 años.

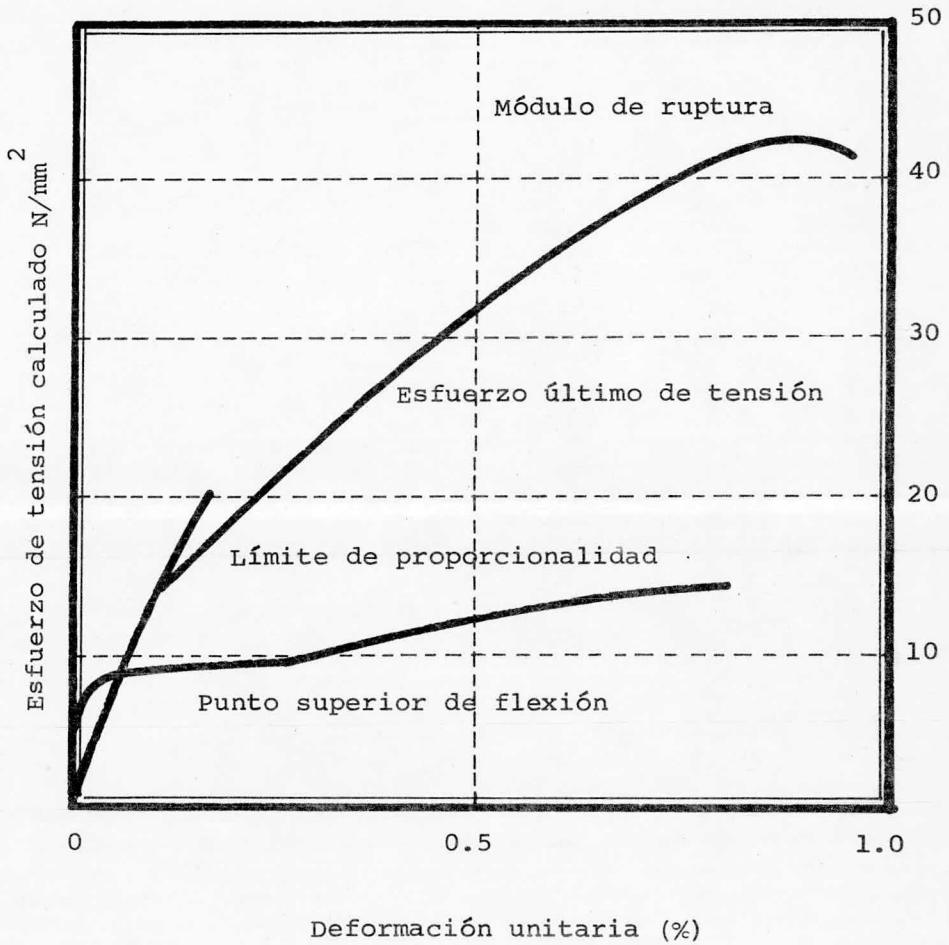
Se han efectuado pruebas constantes de fatiga por - carga repetida de flexión y tensión encontrándose en ellas un comportamiento normal al que presentaría un concreto simple.

Las propiedades de un concreto reforzado con fibra - de vidrio se pueden controlar a través de su matriz; algunos ejemplos de las propiedades más comunes son: peso volumétrico, contracción, expansión térmica y - conductividad.

Las fibras de vidrio resistentes a los álcalis actualmente son fabricadas por Owens-Corning Fiber Glass - Corporation en los E. U. y por Fiber Glass LTS subsidiaria de Pilkington Bros, LTD en Inglaterra.



Gráfica *. Módulo de ruptura y curvas esfuerzo-deformación por flexión del compuesto de cemento-fibra de vidrio hecho por medio de rociado típico, después de 28 días de curado en agua.



Gráfica *.

4. FABRICACION, MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO RE
FORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.

4.1 FABRICACION

4.2 MANEJO DE LA MEZCLA PREPARADA CON FIBRAS
DE ACERO Y VIDRIO.

4.3 COLOCACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FI
BRAS.

4. FABRICACION, MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.

4.1 FABRICACION

4.1.1 FABRICACION DE CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO.

La fabricación de concretos reforzados con fibra presenta como principal problema la inclusión de la fibra en la matriz, para lo cual existen varios métodos como son: rocío pulverizado, colado, moldeado, extruido y prensado; es importante hacer notar que cada técnica le imparte características diferentes al producto terminado.

El rocío pulverizado, ya sea por medio de un equipo manual sencillo o mecánicamente en una línea de producción, es el método más utilizado. Aquí en México la Compañía Productos Pretec, S. A. utiliza dicho método en la elaboración de elementos reforzados con fibras de vidrio.

4.1.2 ROCIADO A MANO.

En la forma más simple del procesamiento por rocío - pulverizado, se rocía simultáneamente lechada de mortero cemento-arena y fibra de vidrio por medio de - una pistola manual de pulverización dual dentro, o - sobre un molde adecuado.

La lechada de concreto es alimentada a la pistola - pulverizadora desde una bomba dosificadora y es ato- mizada con aire comprimido; la fibra de vidrio es - alimentada a una unidad cortadora y alimentadora, la cual está montada en el mismo ensamblaje de la pistola. El control del espesor del mortero obtenido se logra mediante el uso de pernos calibradores, mien-- tras que la compactación por medio de rodillos asegura que el material se adapte a la superficie del molde facilitando la supresión del aire atrapado.

Típicamente, el rendimiento de una sola pistola pul- verizadora es de 10 a 12 kg de mortero de cemento-fi

bra de vidrio por minuto, ó 2.5 toneladas por jornada de ocho horas, considerando aproximadamente un 50% de tiempo funcionando.

Por lo general, los productos son desmoldeados al día siguiente y curados en un cuarto húmedo. Al igual que los productos derivados del cemento, el mortero de cemento-fibra de vidrio requiere de un curado adecuado para alcanzar así sus óptimas propiedades mecánicas. Esto se logra normalmente colocando el componente en un medio ambiente húmedo mínimo durante siete días.

El proceso de rociado a mano es conveniente en especial para la fabricación de componentes que posean contornos complejos, ya sea en la superficie horizontal o vertical; es fácil de adaptarse tanto en la fabricación de secciones huecas y paneles compuestos, utilizando materiales de relleno ligeros e incluso de aire, como en la construcción de la obra, sobre materiales de apoyo tales como: láminas de plástico

o de espuma de plástico, telas de yute y láminas de -
metal.

4.1.3 PULVERIZACION MECANIZADA.

El método de rocío pulverizado básico es fácilmente - mecanizado para aquellos componentes que son en su ma yoría planos o que poseen un perfil poco profundo.

Los moldes se acarrean a lo largo de un transportador de rodillos o bandas y se pasan bajo una unidad transversal en la cual está montado el rociador dual. Los rocíos de alimentación están alineados con precisión para asegurar un tendido uniforme y una distribución correcta de fibras. Generalmente se emplea equipo de este tipo en la producción comercial de revestimiento de muros de una sola capa y elementos para fachadas, cimbras, revestimiento para albañales, etc. Por otro lado, al introducir unidades transversales de rocío - adicionales pueden producirse paneles tipo sandwich - sencillos o de doble revestimiento.

La Compo-Cem Limited, una compañía asociada a la - Tunnel Holdings Limited y Pilkington, fue creada para

desarrollar productos laminados planos así como maquin
naria relacionada con estos.

4.1.4 PROCESO DE EXTRACCION DE AGUA CONTINUO.

Este proceso sigue los principios de una simple operación de rocío mecanizada para formar una lámina - moldeable continua o fieltro, a la cual inmediatamente se le extrae el agua como en la producción de asbesto-cemento. El equipo utilizado para este proceso consta de una banda filtradora continua, la cual pasa bajo una unidad transversal que contiene un rociador de movimiento alterno. El mortero de cemento fibra de vidrio así producido, se traslada sobre cajas al vacío para eliminar el exceso de agua.

Por otra parte, el compuesto de lámina "moldeable" - es recortado en los bordes y cortado a lo largo requerido por medio de un equipo adecuado antes de ser - transferido para un procesamiento subsecuente, en el que se le deja fraguar en el estado plano o se le da una forma diferente aún estando en el estado moldeable para producir láminas corrugadas o recortadas, - secciones de cajas, tubos, etc.

4.1.5 PREMEZCLADO.

En procesos de premezclado; el cemento, la arena, la grava, la fibra de vidrio y el agua se mezclan juntos para formar una pasta que será moldeada sucesivamente por medio del colado, por lo que la estructura del producto final tiende más hacia una orientación tridimensional de las fibras que a la típica orientación en dos dimensiones del material rociado.

El premezclado se realiza en una mezcladora de recipiente y paleta simple, controlando cuidadosamente el ciclo de mezclado para minimizar el daño a la fibra en el medio abrasivo de la mezcla.

Los auxiliares de flujo, en particular lubricantes y aditivos reductores de agua, se utilizan comúnmente para facilitar el mezclado, al mismo tiempo que mantienen la relación agua/cemento al mínimo.

4.1.6 COLADO EN MOLDES ABIERTOS.

El colado simple del concreto premezclado en moldes abiertos resulta satisfactorio para la producción de elementos que no requieren propiedades mecánicas de alta resistencia. Productos tales como: basureros, macetones, cajas de registros de cables enterrados, muebles para jardín y tapas pequeñas para alcantarillas se fabrican de esta manera. Al igual que con los productos de concreto simple, se emplean técnicas de vibración, para eliminar el aire atrapado y para asegurar una alta calidad en el acabado de la superficie.

4.1.7 MOLDEO POR DESLIZAMIENTO.

Este proceso implica la alimentación del mortero premezclado en un embudo que contiene un vibrador transversal. Un canal en la base del embudo descarga la mezcla directamente sobre un molde manteniendo un estrecho contacto con este. La sección del molde puede ser la de una lámina plana simple, o puede tratarse de una sección de canal invertida compleja; por ejemplo, para secciones de ventanas y marcos de puertas o para la construcción de albañales.

El método puede ser aplicado al llenado de grupos de moldes individuales continuos.

4.1.8 MOLDEADO A PRESION.

La eliminación del exceso de agua del mortero premezclado mediante la aplicación de presión da como resultado un mejoramiento de las propiedades mecánicas (a través del desarrollo de una mayor densidad) y - permite el desmoldeo inmediato del producto. En consecuencia, el moldeado a presión es atractivo para la producción comercial repetitiva de pequeños elementos. La composición de la mezcla se modifica para facilitar la pérdida de agua, y la herramienta de presión está diseñada para asegurar la rápida eliminación del agua expulsada.

4.1.9 FABRICACION DE CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA DE ACERO.

En el caso de la elaboración de concretos reforzados con fibra de acero, el problema de incluir la fibra en un concreto simple, continúa siendo caso de estudio puesto que la fibra de acero tiende a hacerse "bolas" lo cual depende de la relación de aspecto (longitud/diámetro) del alambre y de las proporciones de la mezcla, dichas bolas son amontonamientos de fibras sin que entre ellas exista mezcla, estos problemas se presentan aún cuando la fibra se incorpora en forma individual a la mezcla. El tamaño máximo del agregado y el contenido de cemento son otros factores que pueden afectar la posible concentración de fi---bras. En general, mezclas con una mayor cantidad de cemento o con mayor humedad y poco agregado de tamaño máximo pueden permitir la inclusión de un contenido más alto de fibra. Por lo tanto, si se quiere obtener un concreto consistente, el diseño de mezcla, el control cuidadoso y la selección de un tamaño adecuado de la fibra, así como la cantidad de estas son

factores esenciales que deben considerarse para lograr una distribución uniforme.

En la elaboración de grandes volúmenes de concreto con fibra de acero, se han utilizado diferentes tipos de mezcladoras; en la actualidad lo más práctico para elaborar una mezcla es revolver en seco inicialmente la arena, el agregado grueso y la fibra. Este procedimiento elimina las bolas que producen las fibras y las distribuye uniformemente por medio de los agregados, al final se agrega el agua y el cemento.

4.2 MANEJO DE LA MEZCLA PREPARADA CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.

La facilidad con la que podamos manejar un concreto reforzado con fibras ya sean de acero o de vidrio depende principalmente de su plasticidad, de la trabajabilidad y de la cohesividad de estas sin olvidar - que también influyen las propiedades físicas de los componentes. Ver tabla 1.

4.2.1 PLASTICIDAD.

La plasticidad de la mezcla es importante para asegurar la dispersión adecuada de la fibra. La experiencia obtenida a través de pruebas indica que la relación agua/cemento debe ser entre 0.4 y 0.6 y el contenido de cemento de 250 a 430 kg/m³ para así poder obtener un adecuado recubrimiento, con pasta de cemento del área superficial que presentan las fibras.

Cemento	326 a 563 Kg/m ³
Relación agua/cemento	0.4 a 0.6
Porcentaje de arena-grava	50-100%
Tamaño máximo del agregado grueso	0.95 cm
Contenido de aire	6 a 9%
Contenido de fibra	0.5 a 2.5% por volumen de mezcla ³
	acero 1% = 78 Kg/m ³
	vidrio 1% = 25 Kg/m ³
	nylon 1% = 11 Kg/m ³

TABLA 1. Proporcionamiento típico para concreto reforzado con fibras.

4.2.2 TRABAJABILIDAD.

La trabajabilidad del concreto reforzado con fibra -
decrece al aumentar la relación de "aspecto" de la -
fibra, también el tamaño o la cantidad del agregado
grueso afectan la trabajabilidad de la mezcla, entre
las principales funciones del agregado grueso se tien
nen las siguientes: proporcionar estabilidad dimen-
sional a la matriz del concreto, siendo necesario op-
timizar el tamaño y la cantidad de dicho agregado, -
así como la forma de prevenir la fricción interpartí-
cula con objeto de evitar la formación de bolas de
fibra y al mismo tiempo asegurar la función princi--
pal del agregado como si se tratara de un concreto -
convencional.

4.2.3 COHESIVIDAD.

La cohesividad del compuesto concreto-fibra se puede obtener agregando algún aditivo a la mezcla para reducir la interacción entre las fibras y los agregados. Se puede substituir hasta casi la mitad del contenido de cemento con la incorporación de un aditivo reductor y un inclusor de aire, que da por resultado un contenido de cemento más bajo; otra forma de aumentar la cohesividad de una mezcla es agregando ceniza volante pulverizada, la cual además de ser económica actúa como retardador del fraguado ya que ayuda a la colocación y compactación proporcionando una mezcla con alto contenido de pasta y un factor de cemento más bajo.

4.3 COLOCACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

La colocación del concreto reforzado con fibras requiere de mayor energía que la que se necesita para el concreto convencional. Con mezclas de baja trabajabilidad la vibración interna puede dejar huecos que el concreto no llena, ya que no es tan fluido como el concreto normal. En mezclas de alto revenimiento la segregación de la fibra puede ocurrir durante la vibración interna ocasionando una mala distribución de la fibra en la matriz del concreto.

Es recomendable efectuar la colocación del concreto tal como va a quedar desde un principio ya que una mezcla con fibra pierde bastante fluidez, dificultando su colocación. En algunos casos las fibras pueden salir a la superficie del concreto dependiendo de la trabajabilidad de la mezcla, de su colocación y acabado. Con una mezcla bien proporcionada, así como con una buena colocación y compactación se reduce la tendencia de las fibras a sobresalir de -

la superficie del concreto. El bombeo de concreto con fibras es posible pero aún no se ha desarrollado una investigación que apruebe dicha colocación.

Debido a la forma de la fibra, el uso de palas en su colocación se dificulta, por lo que es recomendable usar en su lugar rastrillos para mezclas con bajo revenimiento. Por otra parte, es válido utilizar estándares de nivelación como son: reglas vibratorias de madera y vibradores portátiles montados sobre tablas.

En los acabados de la superficie del concreto reforzado con fibras se pueden utilizar llanas metálicas o pulidoras mecánicas; una determinada textura superficial se puede obtener a través del escobillado normal, mas en el caso de este tipo de concretos no es recomendable inmediatamente efectuarlo puesto que pueden quedar al descubierto las fibras, también es posible obtener buenos acabados a través de personal experimentado.

En cuanto a las pruebas para determinar el contenido de aire, peso volumétrico, revenimiento y pruebas de resistencia del concreto, se pueden utilizar en el concreto con fibras, pero es recomendable que se tomen sus resultados con reserva.

Una de las dificultades en la aplicación del concreto con fibras es el grado de compactación. La dificultad que surge en la colocación y compactación es debido a dos cosas: a la fibra y al agregado grueso. Cuando las fibras de acero se agregan a la matriz de mortero, la forma y superficie de la fibra reducen las características de fluidez de la mezcla, es decir que la forma alargada y delgada de las fibras crea un entrelazado, la pérdida de agua a través de este fenómeno resulta en el secado de la mezcla.

En la figura 6 se muestra como influye el contenido de agregado sobre la resistencia a la flexión de un concreto con fibras, además se puede observar la influencia del contenido de fibra en la formación de

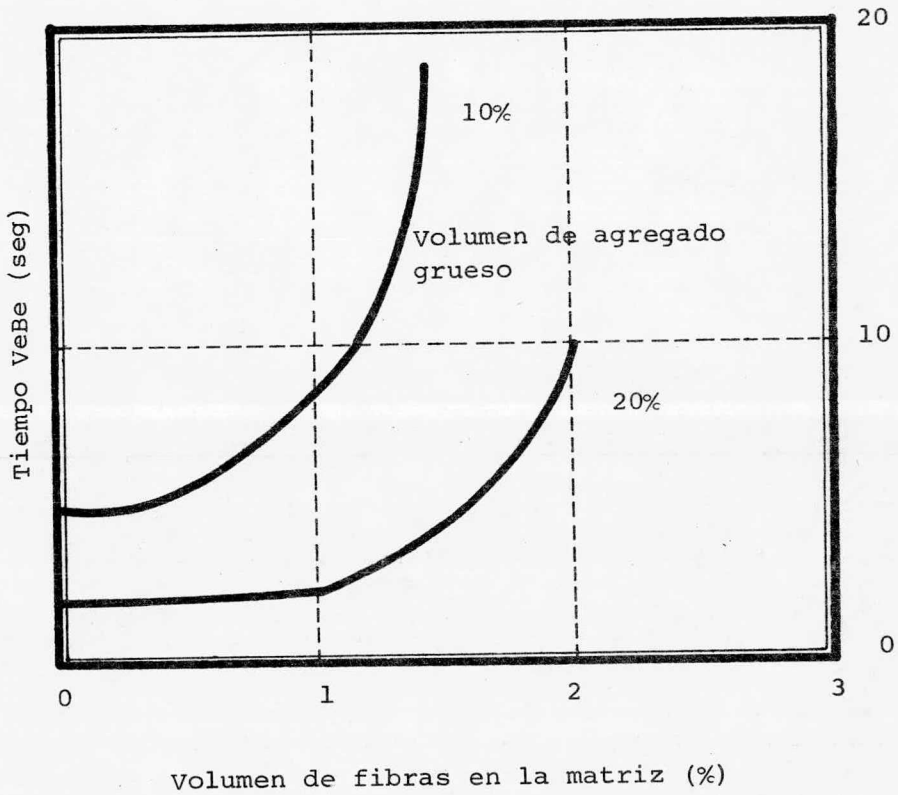


FIG. 6. Acción de la fibra sobre la compactación de concreto reforzado con fibras de acero.

bolas. El agregado grueso crea fricción con la fibra creando distorsión y aglomeración de las fibras durante la preparación de la mezcla, lo cual dificulta su colocación y compactación, además de presentar una mala distribución de la fibra que a su vez reduce la resistencia y las propiedades del compuesto.

Para producir una mezcla de buena trabajabilidad y poder controlar su colocación y compactación es necesario controlar la relación fibra-agregado.

La prueba VeBe es probablemente la mejor de las pruebas para medir la compactación del concreto, ya que el factor de compactación y la prueba de Walz no reflejan las dificultades de compactación que presentan las mezclas con fibras. Por lo general, es necesaria mayor energía para la compactación de una mezcla con fibra que la necesaria para una normal.

El método de compactación es importante debido a que la vibración puede causar alineamiento de las fibras

en determinadas direcciones, dependiendo de la relación de aspecto de la fibra, del tipo del molde de la cimbra y del tipo de vibración.

La vibración externa es preferible a la interna cuando se tienen mezclas poco trabajables; sin embargo no siempre se practica en la obra, por lo tanto, es necesario utilizar mezclas con alta trabajabilidad. Por otra parte la vibración prolongada puede causar sangrado aún en mezclas bien compactadas. Cabe mencionar que el bombeo de concreto con fibra por medios neumáticos se ha llevado con éxito.

Algunas fibras no presentan tendencia a segregarse bajo la vibración; se debe tener cuidado de expulsar el aire de las mezclas con fibras para asegurar su compactación óptima.

Algunas pruebas han demostrado que niveles de compactación ligeramente menores que el óptimo, dan como resultado una pérdida de resistencia a la flexión,

así como en una inadecuada compactación se incrementa la porosidad, situación que da por resultado una excesiva absorción de agua.

En general podemos concluir que los métodos de producción, manejo y colocación de concreto reforzado con fibras están todavía en etapas de desarrollo, - por lo que es necesaria la investigación total para posteriormente tener toda una teoría más acertada - acerca de dicho producto.

5. APLICACIONES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.

5.1 FIBRAS DE ACERO

5.2 FIBRAS DE VIDRIO

5. APLICACIONES DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO Y VIDRIO.

El concreto reforzado con fibras es un material diferente al concreto reforzado convencional ya que el compuesto concreto-fibra recibe los esfuerzos de tensión y compresión debidos a la carga en todo su volumen. Las fibras en la matriz de cemento actúan como interruptores de las grietas que son inherentes a un material frágil, no elástico con baja resistencia a la tensión así como al impacto; en el cual son de desear muy altas propiedades de resistencia a agrietamientos, ductilidades y comportamientos post-agrietamientos distintos anteriores a la falla. Entre algunas propiedades del concreto reforzado con fibras están las siguientes: resistencia al impacto, resistencia a los cambios térmicos, al desmoronamiento y a la absorción de energía, situación que da lugar a un material de ventajosas aplicaciones y que permite que las técnicas de construcción se agilicen.

Aunque los trabajos realizados con concretos reforzados a base de fibras son ya bastantes, aún su aplicación está en una etapa de desarrollo.

5.1 FIBRAS DE ACERO.

5.1.1 LOSAS.

Tal vez la primera aplicación práctica y estructural del concreto reforzado con fibras está en el estacionamiento del aeropuerto Heathrow de Londres; el estacionamiento es de 16.4 metros de ancho por 144 metros de largo proporcionando acomodo a 325 autos, en dos niveles cubiertos que se comunican entre si, y con el piso de tierra por medio de un sistema de rampas, la iluminación es proporcionada por debajo de las cubiertas y la calefacción está dentro de las rampas. La estructura consiste en dos marcos de acero, las cubiertas son losas cuadradas de 1.1 metros por lado y de 6.35 centímetros de peralte; cabe

hacer notar que para losas de refuerzo convencional es necesario un peralte mayor.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas que se realizaron para determinar el peralte de dichas losas. En general las ventajas de las losas de concreto reforzado con fibras de acero son las siguientes: aumento de la resistencia, al agrietamiento ocasionando un estado diferente o post-agrietamiento, aumento tanto en la ductilidad como en la capacidad de carga, y reducción del peso propio de la estructura donde se utilizan dichas losas.

5.1.2 TUBOS.

Los métodos de fabricación de tubos consisten en introducir una malla de refuerzo en la máquina de fabricación, misma que ocasiona retrasos en la producción; el concreto reforzado con fibras es tomado en

Contenido de la fibra (%)	Peralte de la losa (cm)	
	5.00	6.35
0	12.5 (KN)	9.0 (KN)
1	12.0	17.5
2	13.0	24.5
3	17.5	25.2
4	19.0	21.5

TABLA 2. Carga última de losas de concreto reforzado con fibras de acero, prueba efectuada a los 28 días (La carga está en KN).

cuenta en la fabricación de tubos precolados debido a que además de agilizar la producción, da propiedades de resistencia al agrietamiento superiores y la ductilidad del refuerzo de fibra de acero, da resistencia a los tubos con sobrecargas adicionales sin que ocurra la falla. Otra ventaja de las fibras de acero en el concreto para tubos es que dicho refuerzo se extiende hasta los extremos de los tubos (campanas) disminuyendo de esta manera la posibilidad de que se dañen durante su manejo.

5.1.3 PAVIMENTOS.

Probablemente en Inglaterra fue donde por primera vez se utilizó el concreto reforzado con fibras de acero en la construcción de un pavimento, el cual se realizó con una pavimentadora de cimbra deslizante, a lo largo de 400 metros y un ancho de 2.70 metros, pero en tramos continuos de hasta 64 metros y espesores que variaron entre los 2.5 y 10 centíme--

tros.

Por sus características el concreto reforzado con fi
bras de acero puede ser utilizado en pavimentos de ca
rreteras dañadas por agrietamiento principalmente -
transversal, causado por los esfuerzos resultantes de
la combinación de cargas de tránsito, esfuerzos térmi
cos y de las condiciones del medio ambiente.

5.1.4 REVESTIMIENTOS.

El concreto con fibras de acero se puede aplicar por
medios neumáticos, con lo cual se pueden obtener re--
vestimientos de diferente espesor; por lo general esta
técnica es aplicada en las paredes de túneles donde -
se utiliza cimbra deslizante inmediatamente detrás de
la máquina excavadora.

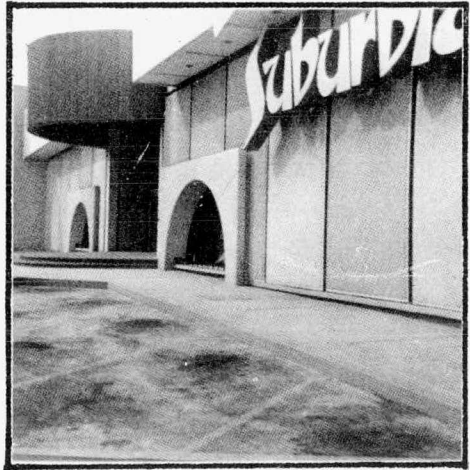
5.1.5 ESTRUCTURAS DE PROTECCION COSTERA.

El uso del concreto reforzado con fibras de acero, también se ha empleado en estructuras marinas. - Unidades rompeolas ("Dolos") hechas por la National Standard Co. Ltd. de Inglaterra, han presentado una mayor resistencia al impacto; veinte dolos de concreto reforzado con fibra fueron fabricados para hacer una comparación de comportamiento entre ellos y las unidades reforzadas convencionalmente; llegando a la conclusión que una unidad conteniendo 1.5% de fibras por volumen, tuvo el doble de resistencia a la primera grieta que la unidad reforzada convencionalmente.

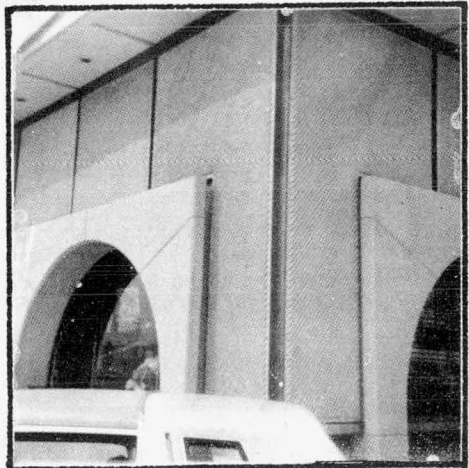
5.2 FIBRAS DE VIDRIO.

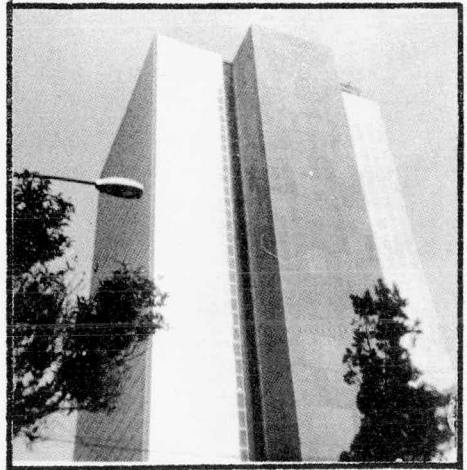
Se ha mostrado a partir de varias investigaciones que la adición de fibras de vidrio incrementa la resistencia a la flexión y al impacto del concreto, además de proporcionar un control de los agrietamientos en secciones delgadas, donde el refuerzo de acero no es práctico, y es por estas características que en la actualidad lo podemos encontrar en:

- a) Caminos y aeropuertos
- b) Pisos
- c) Durmientes de ferrocarril
- d) Postes
- e) Paneles arquitectónicos precolados.
- f) Artículos delgados (macetas, botes de basura)
- g) En túneles
- h) Unidades modulares para viviendas de concreto.
- i) Bóvedas funerarias.
- j) Como protección secundaria de plantas atómicas.

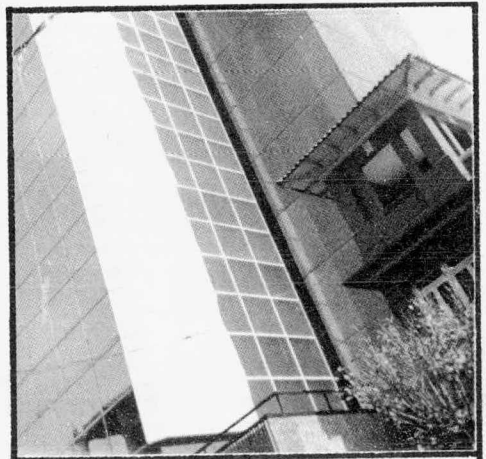


Una de las aplicaciones de concreto reforzado con fibras de vidrio que podemos observar en la Cd. de México, es la fachada del Centro Comercial Suburbia de Plaza Universidad.





La fachada del City Bank es otro de los casos en la Cd. de México en el que se utilizó el concreto reforzado con fibra de vidrio.



6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES.

Hoy en día el incremento en el costo de los materiales que se utilizan en la construcción (principalmente en el acero y cemento), así como la dificultad que es conseguirlos, son factores que han llevado a la gente que los emplea a buscar su máximo aprovechamiento, surgiendo así la necesidad de disponer del material adecuado para cada una de las solicitudes estructurales, económicas y estéticas que se presentan en la construcción de una obra.

El concreto reforzado con fibras de acero y vidrio aparece como un compuesto que viene no para sustituir al concreto reforzado normal en todos los casos, sino que surge para aplicarse en aquellos donde los resultados del concreto reforzado en forma convencional no ha logrado satisfacer las necesidades estructurales y económicas requeridas; las cuales representan una pérdida de tiempo y dinero.

Los concretos reforzados con fibras de acero y vidrio como componentes relativamente nuevos carecen de los estudios a los que ha sido sometido el concreto simple; pero será su eficiencia y sus buenos resultados en la práctica, lo que hará que los investigadores orienten sus trabajos para tener toda una teoría práctica acerca del comportamiento del concreto reforzado, no tan sólo con fibras de acero y vidrio sino también con otros tipos de fibra como son las de: nylon, polipropileno, polietileno, yute y henequén. Fibras que por su bajo costo y su inagotable existencia, harán que se busque su posible aplicación como refuerzo del concreto, desplazando parcialmente de esta forma el acero utilizado en elementos estructurales.

Por otra parte, cabe hacer notar que los concretos reforzados con fibras de acero y vidrio se comportan en la mayoría de los casos en forma análoga a un concreto reforzado convencionalmente pero son de menor peso volumétrico, lo cual hará más ligera la

super estructura de una obra y por lo consiguiente -
se tendrá menos peso en la cimentación, ocasionando
de esta manera un menor costo de la misma.

Es por lo anterior que pienso que la aplicación de -
las fibras no tan sólo en el concreto, sino también
en otros materiales utilizados en la construcción -
tendrán bastante aceptación.

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

1. TAKAGI J. Some Properties of Glass fiber Reinforced Concrete
FIBER REINFORCED CONCRETE/A.C.I. Publication SP-44 / 1974.

2. MARSH H. N. Jr., CLARKE L. L. Jr. - Glass Fibers in Concrete
FIBER REINFORCED CONCRETE / A.C.I. Publication SP-44 / 1974.

3. JOHNSTON C. D. - Steel Fiber Reinforced Mortar and Concrete, a Review of Mechanical Properties / FIBER REINFORCED CONCRETE A.C.I. Publication SP-44 / 1974.

4. A. C. I. COMMITTEE 544 - State of the Art Report - on fiber Reinforced Concrete - FIBER REINFORCED CONCRETE - Publication - SP-44 / 1974.

5. EDGINGTON, J., HANNAN, J. and WILLIAMS R. I. T., - STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE. Pre cast Concrete. Inglaterra V. 6, N° 8, agosto 1975, 6 pp.

6. McCURRICH, L. H. and ADAMS, M. A. J., - FIBRES IN CEMENT AND CONCRETE. Concrete. Inglaterra. V. 7, N° 4, abril 1973. 3 pp.

7. NEVILLE, A., EDITOR GENERAL Y HANNANT D. J. et al.
FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE.
RILEM SYMPOSIUM 1975. The Construc-
tion Press Ltd. Inglaterra. 459 pp.

8. SWAMY R.N., MANGAT P.S. and RAO C.V.S.K. - The me-
chanics of fiber Reinforcement of Ce
ment Matrices - FIBER REINFORCEMENT
CONCRETE / A.C.I. Publication SP-44/
1974.