

2
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

**CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS
DE POLIPROPILENO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

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

P R E S E N T A

ENRIQUE ACOSTA CHAVARRIA



MEXICO, D. F.

FALLA DE ORIGEN

1991



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.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. LAS FIBRAS Y SU UTILIZACION	3
II.1 Historia	3
II.2 Tipos de fibras	12
II.3 Uso de las fibras en el concreto	19
III. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO FIBROSO	25
III.1 Aspectos interesantes del Concreto Reforzado.	25
III.2 Alcances de las pruebas de Laboratorio	33
III.3 Características Físicas de los Materiales..	35
III.4 Diseño de las Mezclas	48
III.5 Comprensión	56
III.6 Flexión	58
III.7 Tensión	61
III.8 Permeabilidad	62
III.9 Agrietamiento	64
IV. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	71
IV.1 Resultados	71
IV.2 Conclusiones y Comentarios	87
IV.3 Aplicaciones del Concreto reforzado con fi- bras	90
BIBLIOGRAFIA	96

I. INTRODUCCION

Existe un gran número de aplicaciones en las que se requieren materiales que puedan proporcionar características de resistencia, estética y durabilidad. El concreto es un material que reúne esas características, así, la mayoría de los inmuebles habitacionales, escuelas y centrales nucleares están hechas de concreto. También tenemos estructuras de edificios administrativos y hospitales, aunque es cierto que sus fachadas, aproximadamente en la mitad de los casos están acabadas con otros materiales.

Esto se debe a las cualidades del concreto y a su precio que es muy competitivo, pero, también, lo que se ignora con mucha frecuencia, la manera en que el concreto ha evolucionado en los últimos años. En su aspecto, propiedades, empleo y posibilidades arquitectónicas, los progresos son considerables.

El concreto moderno existe y tiene numerosas posibilidades, desgraciadamente, es poco conocido y por lo mismo, subvalorado.

La deficiencia del concreto, estriba en su fragilidad; es decir, en su escasa resistencia a la tensión y al impacto. Se pretenden mejorar estas deficiencias al mezclar el concreto con otras sustancias que hasta hace poco tiempo, no eran usuales, como las fibras. De esta manera, se dispone de refuerzo de pequeñas dimensiones como parte de la masa del concreto.

La aparición de fibras ha ampliado los campos de utiliza-

ción, así como las características de empleo del concreto.

En esta Tesis, se estudiará la influencia que tiene un tipo particular de fibra de polipropileno (fibras plásticas) en las propiedades del concreto, cuando se emplean en volúmenes pequeños (menores al uno por ciento) en mezclas de concreto fabricadas con materiales comunes en el Distrito Federal.

Con dicho fin, se diseñó un programa de pruebas en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería.

De esta manera, obtendremos resultados objetivos con concretos de diferente resistencia para dar conclusiones en cuanto al empleo de este tipo de fibras.

II. LAS FIBRAS Y SU UTILIZACION

II.1 Historia.

El uso de la paja, el yute, las crines de caballo, las astillas de madera y el bambú para reforzar ladrillos y otros productos de mortero, se remonta a siglos atrás.

En realidad, el concepto de un aditivo de fibra a los materiales de construcción es muy viejo. El Exodo, 5.6, en el versículo 8, en el viejo testamento, nos revela que José quería llevarse a su gente para darle un descanso de tres días, pero que el Faraón de Egipto le dijo que si lo hacía: "iba a tener que sacar la paja del ladrillo..."

En los tiempos modernos las fibras de vidrio, asbesto y polyster se han convertido en un remedio para modificar el comportamiento del concreto.

A continuación haremos una breve reseña de los sucesos más importantes en la historia de las fibras para concreto.

David Porter, profesor norteamericano (Carolina del Norte), en 1910, propuso la inclusión de fibras de acero en el concreto, logrando así un material homogéneo y resistente.

El problema que se presentaba ahora era la poca adherencia de las fibras con el concreto. Retomando la idea del profesor Porter, en los años treinta, se utilizaron alambres planos de acero, torcidos, en forma de resorte, de diferentes tamaños y

diámetros o espesores para que se distribuyeran lo más uniforme posible en la masa de concreto, en función de su peso, por simple gravedad; esto es, los alambres más pesados se hunden y los más ligeros tienden a flotar, así se contribuye al mejoramiento en lo referente al agrietamiento y a la fractura de las estructuras de concreto.

En 1847, el investigador Joseph Lambot, sugiere que acondicionando fibras con forma de alambre o de redes continuas en el concreto, se obtendría un mejor material de construcción. Esta es la base del desarrollo de ferrocemento y concreto reforzado como lo conocemos hoy en día.

La idea de utilizar fibras resistentes discontinuas, como refuerzo del concreto, para obtener una respuesta similar a la que se obtiene con refuerzo continuo, parece haber sido una seducción y un reto para muchos Ingenieros Civiles.

El simple hecho de colocar el refuerzo en una mezcladora en forma de fibras, de igual forma que colocar agregados o aditivos, para que así obtengamos un material estructural, homogéneo, isotrópico y moldeable, es como un sueño que comenzó hace más de un siglo y se sigue intentando en la actualidad. Al parecer no está lejos de ser alcanzado.

Podemos clasificar el desarrollo de las fibras en dos períodos significativos de tiempo. El primero, previo a los sesentas, corresponde a una lenta fase de investigación y exploración, con escasas o nulas aplicaciones, mientras que el segun

do período, que se cuenta desde principios de los años sesenta corresponde a una fase de adelantos más rápidos y modernos, lo que se dio paralelamente con un gran incremento en las aplicaciones.

Han sido concedidas numerosas patentes de refuerzo para concreto. Estas patentes, tienen por lo general algo en común, de bido a que son combinaciones de cuatro aspectos fundamentales: La mezcla del concreto, el proceso o sistema de producción de las fibras, las formas de las fibras y la aplicación específica. Presentaremos algunas patentes a continuación para darnos idea de la evolución de las nuevas ideas con el tiempo.

La primera patente, en el siglo pasado (1874), parece haber sido concedida a A. Bernard, de California, quien propuso la utilización del desperdicio granular del hierro de las grandes fundidoras en las mezclas de concreto, para la creación de "pie dras artificiales".

Una patente francesa, de H. Alfsen, que data de 1918, describe un procedimiento para mejorar la resistencia que presentan los elementos de concreto a la flexión, por medio de un mez clado uniforme de pequeños cuerpos de forma alargada de acero, madera u otros materiales. Alfsen sugiere, de igual forma, que preferentemente la superficie de esos materiales deberá ser ru gosa y de ser posible, sus puntas terminales deberán tender a darle mayor adherencia con el concreto.

R. Weakly (Missouri), obtuvo una patente en el año de 1912

para utilizar alambre de acero, fabricado a partir de dos alambres y con unas como presillas para asegurar un vínculo, lo más durable posible, con el concreto.

En 1920, al término de la "gran guerra", A. Kleinlogel, de Alemania, consiguió una patente para mezclar un volumen relativamente grande de corpúsculos de acero con concreto, para lograr de esta manera que la masa que se producía, una vez fraguado el concreto, se pudiera limar, serruchar y moldear de forma similar a una masa de hierro.

Siete años después, en 1927, se dieron dos patentes en Norteamérica (California), atribuidas a G. Martin y a W. Meische-Smith. La de Martin describe el uso de piezas planas, ligeramente rizadas, de acero en forma de alambres, para endurecer tu berías de concreto.

La de Meische-Smith, sugiere de igual forma, las piezas de alambre planas, retorcidas (muy rizadas) como mejorador de mezclas de concreto. Ver figura 1:

concreto. Este escribió: "El objetivo que tengo en mente es la prevención de grietas locales y fisuras. Logré este objetivo - mediante mezclas de masas de concreto fresco, en etapa plástica, con fibras "annuli" en suficiente cantidad para efectuar - la conexión de lo que Yo llamaría: La adherencia de las masas, con las masas adyacentes de concreto".

En función de los requerimientos estructurales de las bases del ejército de los Estados Unidos, fue como se continuó en la búsqueda e investigación de materiales fibrosos en los años de la segunda guerra mundial. Muchas patentes fueron ganadas en - diferentes países en los años siguientes. Aquélla de G. Constantinesco (Gran Bretaña, 1954) merece una mención especial de bido a que los parámetros de refuerzo con fibras son muy similares a los utilizados actualmente.

La patente, a grandes rasgos, describe el uso de fibras de acero helicoidales o enroscadas para incrementar la resistencia al agrietamiento, mediante la absorción de energía de las masas de concreto. Véase figura 2 en la página siguiente.

Las aplicaciones que se recomendaban para el concreto fibroso eran almacenes para el ejército, refugios para bombardeos - aéreos, zapatas de cimentación y pilas para maquinaria con fuerte vibración, piezas sujetas a desgaste o abrasión y obras por el estilo.

En 1974, fue patentada una fibra de acero tridimensional, - fabricada a base de cuatro alambres, formando un esqueleto. Era

G. CONSTANTINESCO

May. 11, 1954

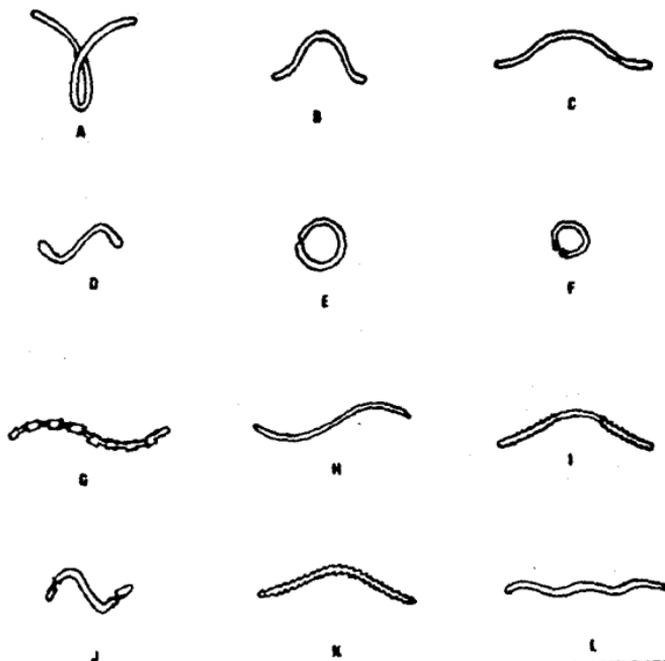


FIGURA 2

Todos estos descubrimientos han sido precedidos o acompañados por un entendimiento mejor de la mecánica de refuerzo de las fibras en la matriz de concreto, así como de la mecánica de materiales y de las fisuras y los daños que sufre el concreto.

Este breve análisis de las ideas fundamentales y de las primeras patentes de refuerzo mediante fibras, indica que las fibras, en un principio, se pensaron para incrementar la dureza del concreto, sin embargo, la resistencia a la compresión no aumentó tanto como la resistencia a la flexión.

algo así como dos balones de futbol americano subsecuentes, unidos por un eje.

Este tipo de refuerzo fibroso fue inventado para darle una elevada resistencia a la mezcla, a través de un eficiente anclaje y una mayor área de contacto para absorber esfuerzos por el cambio volumétrico del concreto, sin embargo, no se consigue fácilmente en el mercado.

Los beneficios no fueron fáciles de demostrar para los primeros investigadores de este campo. Esto lo podemos ver desde la prueba que llamaban de "deformación controlada", que practicaban usando vigas cargadas con costales y bultos de arena, que no daban ninguna indicación cuantitativa de la posible resistencia del concreto. El concepto de absorción de energía fue presentado solamente en algunas patentes, pero fue ampliamente enfatizado y desarrollado tiempo después, en el desarrollo moderno del refuerzo del concreto mediante fibras, donde las características pueden ser medidas, sin embargo, se están haciendo esfuerzos y se está progresando día con día, para incrementar de alguna manera la resistencia a la flexión y tensión del concreto por medio de fibras, aditivos, compuestos, etc.

Hoy en día, es más cercano que antes el sueño de los pioneros de producir un nuevo material de construcción con características superiores, el cual sea homogéneo e isotrópico, similar al acero.

En el campo de la ingeniería de materiales, el concreto con

fibras, complementado con aditivos, como superplastificantes, polvos de sílice, polímeros, etc. está en camino de empezar la solución general. Así pues, más que nunca antes, la ingeniería de materiales está plenamente segura en solucionar un amplio rango de requerimientos de estructuras modernas, resistentes al sismo, estructuras marítimas, estructuras resistentes al sa litre, etc.

Las primeras aplicaciones comerciales de las fibras sintéticas de polipropileno datan de cerca de 25 años, sin embargo, - fue sino hasta los ochentas cuando el Coronel Goldfein, de la Armada de los Estados Unidos, desarrolló un concreto para evitar el deterioro provocado por el impacto de misiles.

De esta manera se llegó a la conclusión de que las fibras de polipropileno eran la solución más viable a problemas como el despedazamiento, agrietamiento, abrasión, concreto, entre otros. De ahí que esta Tesis se avoque principalmente al estudio de - fibras sintéticas de polipropileno, no sin antes mencionar brevemente algunos aspectos de las demás fibras para visualizar-- las a todas en un marco de referencia.

II.2 Tipos de Fibras.

Existe una gran variedad de fibras y materiales fibrosos que han sido introducidos en el mercado como:

Fibras Metálicas.

Se usan en piezas de concreto sometidas a fuerte desgaste, como escaleras y para revestimiento de túneles, pero, también en muros antimisiles de centrales nucleares y elementos estructurales de refuerzo.

Fibras de Vidrio.

Estos concretos permiten la fabricación de piezas muy delgadas (4 a 5 cm. de espesor) y son especiales para fachadas y su superficies exteriores, debido a que son cinco veces más ligeros que los concretos normales.

Fibras de Carbono.

El carbono tiene la resistencia del acero presforzado, pero difícilmente se oxida o se corroe. Esta es una técnica novedosa que está en sus comienzos, pero, desgraciadamente, el costo es muy elevado.

Fibras de Madera, Yute, Bambú.

La ligereza de este concreto, lo destina a la remodelación de estructuras antiguas o a utilizarse como aislante acústico.

chos que oscilan entre 0.25 y 0.90 mm. Estas fibras pueden producirse económicamente si se emplean desperdicios de lámina.

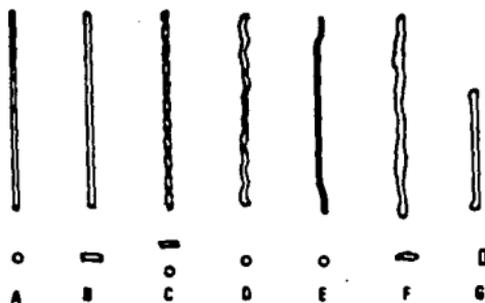
Otra técnica empleada en la producción de fibras en forma costeable es el proceso conocido como "melt-extract", en el cual, las fibras se obtienen directamente del metal fundido - por medio de un disco de extracción multirranurado que se encuentra en contacto con la superficie del metal fundido. En este proceso las fibras son lanzadas por el disco tomando la forma mostrada en la figura que se muestra al principio de la página siguiente.

La mayoría de los tipos que se muestran en la figura 3 pretenden dar un beneficio extra en la adherencia entre la fibra y el concreto, sin embargo, esto puede producir también desventajas asociadas con las deformaciones mecánicas que pueden presentar las piezas de acero, por ejemplo, el proceso de fabricación que se tiene para producir fibras "DUOFORM", puede debilitarlas y hacerlas más quebradizas, generalmente, cuando se emplean alambres de diámetros pequeños.

Además del anclaje o adherencia mecánica con que se producen las piezas, dada su forma, algunos fabricantes las someten a tratamientos químicos para proporcionarles mayor adherencia con la pasta cemento-agua.

Por otro lado, un dato que debemos conocer es el parámetro que se emplea para describir a una fibra de acero: "relación

FIGURA 3



- (A) Lisa de sección circular.
- (B) Lisa de sección rectangular.
- (C) Dentadas de sección circular o rectangular patentadas por DUOFORM National Standard.
- (D) Ondulada de sección circular patentada por G.K.N. & Johnson Nephew.
- (E) Fibra de sección circular con ganchos en los extremos patentada por Dramix, Z. Be-kaerto Ltd.
- (F) Fibra "melt-extract", patentada por Batelle.
- (G) Fibra de sección rectangular con extremos ensanchados, patentada por Australian Wire Industries Ltd.

de aspecto". Esta relación es el cociente que resulta de dividir la longitud de la fibra entre el diámetro de la misma.

$$\text{Asp} = \frac{L}{D}$$

Las fibras de sección circular se producen cortando alambres cuyos diámetros oscilan entre 25 y 0.76 mm. La producción de estas fibras resulta relativamente cara, por lo que actualmen-

te se están desarrollando nuevos métodos de producción tendientes a abatir los costos.

El mezclado del concreto reforzado con fibras se puede realizar convencionalmente. El método de mezclado depende principalmente de las condiciones de trabajo y del equipo disponible sin embargo, se debe tratar de propiciar una distribución lo más uniforme posible de las piezas de acero, con el fin de prevenir la segregación o que se formen pelotas de fibras, dentro de la matriz del concreto.

La "relación de aspecto" es uno de los más importantes factores de los que se han observado en cuanto a la segregación de fibras.

Otros factores que pueden afectar significativamente la distribución de las fibras son: el volumen de fibras, la cantidad y tamaño del agregado grueso o grava, la relación agua-cemento y la forma en que se mezcle. La tendencia a la segregación es mayor si se incrementa la relación de aspecto, la cantidad de fibra y el tamaño y cantidad de grava.

Los agrupamientos de fibra comúnmente ocurren cuando éstas son adicionadas a la mezcla. Estos agrupamientos se pueden disminuir o evitar cuidando la velocidad de adición o mediante el uso de paquetes de fibras que se desdoblén paulatinamente.

Hay que cuidar también el sobremezclado, porque también suele ocurrir que se adicionen correctamente y dada su trabazón -

debida al ancalej, las piezas se atoren unas con otras dentro de la masa de concreto.

Fibras de Asbesto.

Tradicionalmente, las fibras naturales disponibles de asbesto se han combinado con cemento Portland para formar el producto llamado "Asbesto-Cemento".

Este producto contiene un porcentaje aproximado que oscila entre 8 y 16% de volumen en fibras sobre el total.

La resistencia a la flexión se ve notablemente incrementada por las fibras de asbesto, con respecto a el concreto simple. El proceso de fabricación del Asbesto-Cemento difiere del concreto normal. Cuando las fibras de asbesto son mezcladas en forma convencional con el cemento, generalmente se presenta una reducción en la resistencia, debido a que el asbesto absorbe una gran cantidad de agua, por lo que se deberá usar una alta relación agua-cemento.

La distribución uniforme se dificulta, al igual que las demás fibras, durante el proceso de mezclado.

Fibras de Vidrio.

La fibra de vidrio se considera comúnmente un sustituto de asbesto. El problema que tienen estas fibras es el ataque químico del medio alcalino del cemento y a largo plazo, pierden resistencia.

Hay dos formas de solucionar este problema: una solución consiste en usar un recubrimiento orgánico a las fibras y la otra consiste en usar fibras tratadas especialmente para resistir el medio alcalino.

Fibras de Polipropileno.

La primera razón por la cual las fibras de polipropileno son ampliamente adoptadas actualmente, es el hecho de que, cuando se diseñan y manufacturan en forma correcta, son muy fáciles de usar.

Las fibras pueden ser almacenadas por tiempo indefinido, debido a que son altamente estables y no se ven afectadas por la humedad o el calor que hay normalmente en una planta premezcladora. Sólo la luz directa del sol, en períodos prolongados, puede hacer que las fibras pierdan características y se tornen frágiles.

El trabajo de las fibras es estrictamente mecánico. No existen reacciones químicas. Las fibras no afectan los tiempos de revenimiento.

La mezcla de las fibras con el concreto se ha simplificado con el descubrimiento de manojos de fibra; esto es, que la presentación de estas fibras viene de modo que se expanden en contacto con el concreto fresco al revolverse. Las primeras fibras solamente podían ser mezcladas después de que todos los componentes del concreto hubieran sido mezclados.

Hoy en día, las fibras de polipropileno en el concreto brindan protección en el primer período de vida de éste y particularmente cuando se encuentra en la etapa plástica, ya que es durante este tiempo en que el concreto es más vulnerable a daños por causas internas y externas. Las fibras previenen microgrietas y adicionalmente actúan como pequeños amortiguadores, sosteniendo a los agregados en su lugar, previniendo de esta forma que el material más pesado se vaya al fondo por gravedad lo que produce la segregación. Como resultado de esto, el concreto tiene una mayor uniformidad, disminuyendo en forma significativa el fenómeno de sangrado.

La retención del agua ayuda a acelerar la hidratación más uniforme del cemento y así se logra producir un concreto de elevada integridad.

Como se mencionó anteriormente, esta Tesis se avocará al estudio de este tipo de fibras.

II.3 Uso del Polipropileno en el Concreto.

Las propiedades del polipropileno hacen a los atados fibrosos especialmente útiles y económicamente rentables como un elemento adicional del diseño de mezclas de concreto. Inclusive actualmente, el valor de este tipo de fibras se sigue considerando además de una innovación, una continua promesa como mejorador de las mezclas de concreto.

El polipropileno es particularmente valioso en conjunto con

el concreto, debido a que una de sus características es que es químicamente inerte. Los ácidos no lo afectan y es inmune a los elementos básicos del concreto.

Las fibras no se oxidan ni se corroen y tienen una vida igual a la de las estructuras en las que se utilizan.

Debido a su bajo peso específico (0.91) se puede tener una gran cantidad de fibras con un volumen muy bajo en la mezcla. Como ejemplo, utilizando fibras con una longitud de 19 mm. con un 0.1% del volumen, habrá más de 1,500,000 de fibras en un metro cúbico de concreto, diseñado normalmente.

El denier es una medida comúnmente usada en la industria textil, para expresar la finura de los hilados de seda, rayón y de otras fibras, como el polipropileno. Este número, expresa en -gramos el peso de 9000 metros. Así el polipropileno mide 260 -denier. Un 0.1% de volumen de un metro cúbico es equivalente -al volumen de un litro. En un litro caben 910 gramos de fibra, ya que su peso específico es de 0.91. Entonces, si 260 gramos miden 9000 metros, 910 gramos miden 31500 metros, divididos en porciones de 19 mm, tendremos un total de 1'657,895 fibras.

El mayor problema que se encontró en la década anterior, como ya vimos, en el uso de fibras sintéticas, fue que no funcionaban adecuadamente al mezclarse dentro de la masa de concreto. Esto de por sí, fue una desventaja para la aceptación de -las fibras y prácticamente no permitió la continuación de las pruebas y estudios del posible provecho que se podía obtener de

éstas. Partiendo de lo anterior, el desarrollo requería de una cercana cooperación de especialistas en fibras y especialistas en concreto. Los dos tipos de especialistas coincidieron en que la distribución uniforme de las fibras en la masa de concreto se lograría únicamente mediante la creación de atados fibrosos.

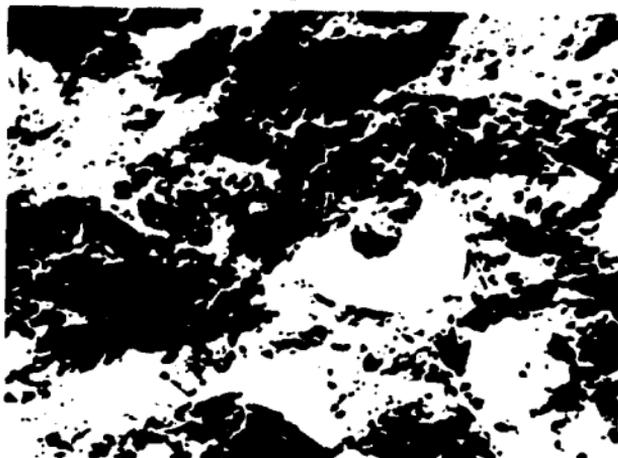
Los procesos de extracción normal de la fibra tuvieron que ser modificados y se avanzó en las técnicas que ayudaron a solucionar los problemas físicos de mezclado de fibras en la matriz de concreto.

La primera solución para el problema del mezclado fue hallado al hacer el polipropileno en ramificaciones. Así, las fibras se pueden introducir a la mezcladora en grupos pequeños, interconectados unos con otros, en lo que se conoce como "atados fibrosos".

Los agregados del concreto separan, por la acción de golpearlos, a estos atados fibrosos en fibras solas, las cuales no se apelotonarán cuando estén en la matriz. Ver figura 4.

La adopción general de las fibras de polipropileno como parte integral del concreto se inició al avanzar la investigación del anclaje entre las partículas de concreto y las fibras. De hecho, el descubrimiento a través de un análisis microscópico, realizado por el Instituto del Cemento y del Concreto de Suiza fue muy significativo debido a que dio pie a que se estudiara la permeabilidad del concreto fibroso.

FIGURA 4



El tremendo incremento en el uso de fibras en la industria de la construcción ha servido para analizar más a fondo las ventajas y desventajas que presenta este material.

No obstante que, como ya dijimos, en los primeros días del uso del polipropileno hubo una considerable falta de comprensión de las ventajas que se obtienen al agregarse al concreto, la combinación de investigación intensiva y pruebas de laboratorio alrededor del mundo y un amplio programa comercial, han dejado una evaluación justa y certera.

Por otra parte, las pruebas realizadas por Norcem, en Noruega, midieron la combinación de impacto y abrasión y promediaron un incremento del 34.4% sobre especímenes de concreto simple de

alta resistencia.

En la Universidad de Columbia Británica, el Dr. Mindess, utilizando un sofisticado equipo electrónico para hacer pruebas, apoyó los resultados previos, los cuales indican que el uso de concreto fibroso tiene ventajas significativas en lo que se refiere a la resistencia al impacto. Asimismo el Dr. reportó que la inclusión de las fibras en un 0.1% del volumen total, aproximadamente, elevan al doble la energía de fractura del concreto.

Las pruebas de flexión estática en vigas cargadas dejaron ver que se incrementa la resistencia después de la carga de falla.

La dureza o resistencia a la abrasión también se incrementa cuando se agregan fibras.

Resultados de las pruebas de migración de agua indican que la permeabilidad del concreto se puede reducir cuando mucho en un 80%, dependiendo de la cantidad de fibras que se utilicen y de la cantidad de concreto. Las fibras de polipropileno han sido incluidas en cubiertas de puentes para los propósitos tanto de protección del acero de refuerzo a la corrosión, por medio de la reducción en la permeabilidad del concreto que lo recubre.

Aun en el ámbito de las pruebas de laboratorio donde las condiciones son ideales, la promesa que ofrece este nuevo material estriba en la posibilidad de reducir la corrosión del acero.

"Webster Engineering", de Cleveland, Ohio, fue la primer empresa en investigar qué tanto se reduce la corrosión en el acero y obtuvo en sus reportes de laboratorio que las fibras proporcionan una protección tal que se necesita el doble de tiempo para alcanzar el mismo grado de corrosión que con un recubrimiento de concreto convencional. Estos descubrimientos han sido validados por investigadores independientes, como "Idorn", de Dinamarca, empresa especialista en el micro-estudio de materiales cementantes y de concreto.

III. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO FIBROSO

III.1 Aspectos Interesantes del Concreto Fibroso.

Los concretos, como sabemos, son materiales de construcción que se producen en la medida en que han de emplearse. Sus componentes: cemento, agua y agregados inertes de diferentes tamaños, forman en un principio, al revolverse, una masa semifluida que se adapta a cualquier molde; posteriormente, al endurecerse el material aglutinante (cemento-agua), la masa se transforma en un material pétreo de resistencia previamente determinada.

Los procesos constructivos han ido mejorando paulatinamente así el concreto se ha convertido en un material muy versátil - para los constructores, puesto que puede diseñarse con plasticidad adecuada a la obra por realizar y con resistencias calculadas previamente.

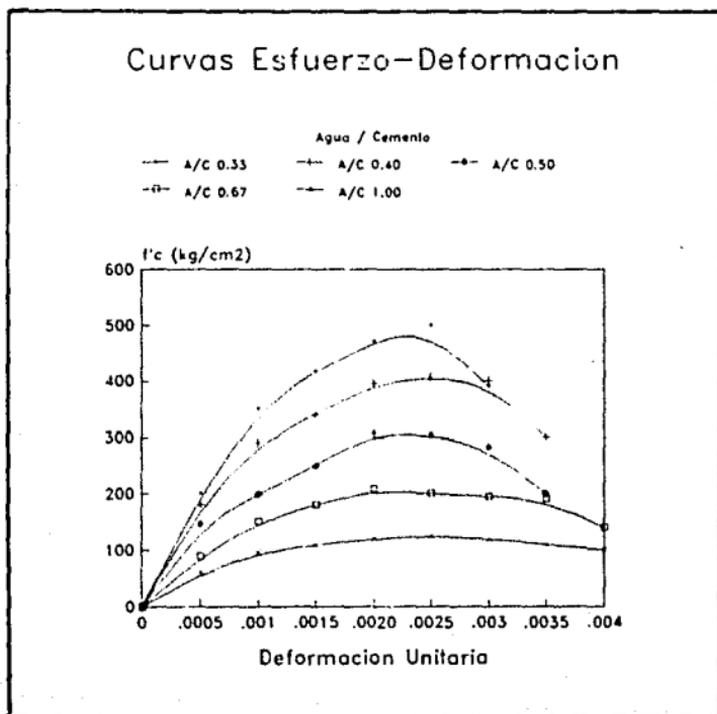
La fluidez de la mezcla es un requisito de resistencia en un concreto, mas no es una condición única. Esto se observa porque al adicionar agua, de acuerdo con las dimensiones y refuerzos de los miembros de la estructura, se obtienen resultados - muy variables en cuanto a su resistencia, para una misma proporción de agregados y una misma cantidad de cemento.

Como consecuencia de lo anterior, se tienen diversas teorías y existen diversos criterios sobre el proceso de manufactura -

de concretos de resistencias variables. La teoría del Dr. Duff A. Abrams es la base de los métodos de diseño de mezclas de concreto y puede expresarse de la siguiente manera: "Para materiales dados y condiciones de manipulación semejantes, la resistencia del concreto queda fijada por la relación agua-cemento".

A mayor relación Agua/ Cemento, menor resistencia.

En la gráfica que se muestra a continuación, se presentan curvas esfuerzo-deformación, correspondientes a diferentes relaciones.



Las curvas esfuerzo-deformación se obtienen al ensayar muestras, sujetas a compresión axial, donde la carga se reparte uniformemente mediante una placa rígida. Los valores del esfuerzo (eje de las ordenadas) resultan de dividir la carga aplicada entre el área transversal del espécimen, tomando en cuenta la teoría de que la distribución de deformaciones es uniforme y las características de deformación del concreto son constantes en toda la masa.

El valor de la deformación unitaria, es la relación entre el acortamiento total y la longitud del espécimen.

Lo anterior es una idealización del fenómeno, debido a que el concreto es un material heterogéneo.

Los esfuerzos, considerados como la carga que soporta un área diferencial, variarán en cada sección, según la distribución de la pasta y del agregado. Sin embargo, esta variación no es significativa.

A continuación enunciaremos las características del concreto reforzado con fibras de polipropileno, como son: la trabajabilidad, reducción en la contracción, incremento de la resistencia al impacto y despedazamiento y el hecho de que se convierte el concreto de un material frágil a uno más dúctil, así como la prevención de segregación de agregados.

Trabajabilidad:

El revenimiento es una medida de la fluidez de la mezcla y

está solo indirectamente relacionado con la trabajabilidad.

Es una ventaja el hecho de que las fibras actúen solo mecánicamente y no químicamente porque de esta manera no afectan los tiempos de asentamiento y el revenimiento inicial.

El revenimiento se ve disminuido cuando se usan las fibras, porque el concreto sufre un microrreforzamiento y por ende es un poco más consistente. El polipropileno no absorbe humedad y el único requisito es que debe haber suficiente agua para cubrir la superficie adicional que ocupan las fibras. No hay necesidad de agregar agua en exceso a la mezcla, de ahí que la relación agua-cemento no sufra alteraciones importantes.

A los aditivos convencionales también se pueden emplear en concretos reforzados con fibras. Estos pueden ser reductores de agua, aditivos para mejorar la trabajabilidad del concreto, etc.

La experiencia ha demostrado que el empleo de superfluidificantes produce concretos fibrosos de alta calidad, de esta manera se pueden obtener mezclas con una relación agua/cemento baja y una alta trabajabilidad.

Reducción de la contracción con respecto a un concreto simple:

Los cambios en el contenido de agua del concreto a lo largo del tiempo, producen deformaciones por contracción. El agua de la mezcla se evapora paulatinamente e hidrata el cemento. Esto produce cambios volumétricos en la estructura interna del con-

creto y por ende, deformaciones.

Los factores que afectan la contracción son la cantidad inicial de agua en la mezcla y las condiciones ambientales; especialmente a edades tempranas.

Generalmente, un concreto con baja resistencia tiene más agua que uno con alta resistencia; el primero se contraerá más que el segundo.

Asimismo, un concreto en condiciones climáticas húmedas se contraerá menos que en condiciones secas.

Para la misma relación Agua/Cemento, la contracción varía con la cantidad de pasta (cemento y agua) por unidad de volumen; es decir, una mezcla con mucha pasta, tendrá mayor contracción que otra con poca pasta.

Los esfuerzos que produce la contracción se deben a las restricciones, al desplazamiento y a la deformación.

Si el elemento de concreto se pudiera contraer libremente, el efecto de la contracción no produciría ni esfuerzos ni grietas.

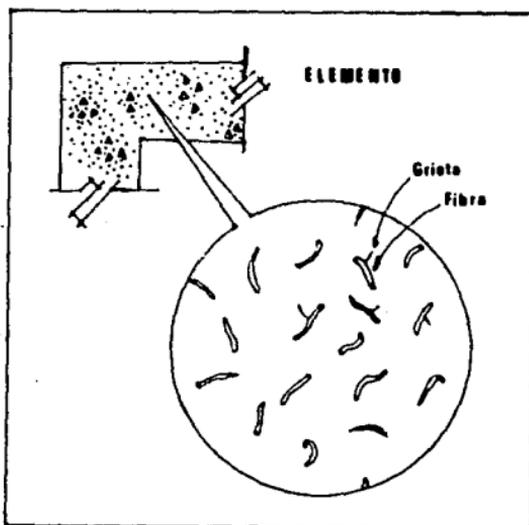
Para aminorar la contracción, se deberá cuidar el curado inicial del concreto, de modo que sea hecho cuidadosamente.

Normalmente, la mayor parte de la deformación ocurre en los primeros meses.

El concreto se contrae aproximadamente de 1.90 a 2.03 centímetros por 30.48 metros. Cuando el agua comienza a evaporarse,

se empiezan a formar pequeñas microgrietas. En esta etapa, las pequeñas grietas poseen muy poca energía y son fácilmente detenidas, bloqueándolas con una fibra.

Cuando las microgrietas se producen y son interceptadas con un filamento de polipropileno, su propagación se interrumpe. - Con miles de filamentos distribuidos uniformemente a través del concreto, las microgrietas no pueden convertirse en macrogrietas. La presión es distribuida en un área más grande, reduciendo las grietas a la insignificancia.



Resistencia al Impacto.

Trataremos ahora la resistencia al impacto, otra de las características del concreto fibroso. Las fibras tienen notables características amortiguadoras de impacto y actúan como peque-

ños amortiguadores independientes.

Visualicemos el choque de una pelota de voleibol contra la red y tendremos una idea de hasta qué punto las fibras absorben el impacto.

El efecto de la carga de impacto en una masa de concreto en endurecido es amortiguado en forma similar.

Este tipo de absorción de energía es muy útil en plantas in dustriales y pisos de almacenes y otras áreas donde el impacto continuo puede ocasionar fallas en el concreto.

De esta forma, se convierte al concreto fibroso de un material quebradizo a uno más dúctil.

Prevención de la segregación e incremento de homogeneidad en la masa de concreto.

Esta segregación que hace que las partículas pesadas se vayan al fondo y las ligeras a la superficie por efecto de la fuerza de gravedad, decremента muy notablemente la calidad del con creto y causa una baja de resistencia. Todavía es un problema prevenir esta segregación y falta de homogeneidad en el colado del concreto, en la práctica, dando al traste con la resistencia especificada en el elemento estructural.

Una característica sumamente importante del concreto fibro so es que las fibras, al dar mayor trabazón mecánica a la mezcla, producen un concreto de elevada integridad, evitando la -

segregación y manteniendo la relación agua/cemento, debido a - que disminuyen notablemente el fenómeno de sangrado.

Estas características se conocen debido a que un significativo número de laboratorios alrededor del mundo, que se basan en pruebas, han establecido algunos aspectos interesantes que da la inclusión del polipropileno como material de construcción, en adición al concreto.

Existe diferencia entre las fibras sintéticas como aditivo y las fibras sintéticas para refuerzo del concreto. Las normas ASTM C-1116 y ASTM C-1018 establecen los estándares y la diferencia entre aditivos de fibra sintética y refuerzo de fibra - sintética.

Los aditivos de fibra sintética son utilizados únicamente - para reducir el agrietamiento del concreto provocado por la - contracción plástica que sufre cuando es recién elaborado y es debida a la pérdida de humedad.

Las fibras sintéticas para el refuerzo son utilizadas para evitar el agrietamiento por contracciones y cambios volumétricos, lo que se conoce como refuerzo por temperatura y de esta forma constituyen una alternativa de la malla electrosoldada; que es utilizada para el control de grietas no estructurales.

Esta malla es comúnmente utilizada en sistemas de piso.

III.2 Alcances de las Pruebas de Laboratorio.

El objeto de las pruebas que se efectuarán, es conocer cuantitativamente el efecto que producen las fibras en el concreto hidráulico y al mismo tiempo, determinar la magnitud de estos efectos comparados con un concreto convencional.

Para lograr esto, elaboraremos concretos con resistencias diferentes, de 200 y 300 kg/cm², con fibra y sin fibra.

Las pruebas que se van a efectuar, arrojarán resultados que serán comparados con un parámetro, que es el espécimen de concreto simple.

Este programa de pruebas no pretende ser una evaluación definitiva del potencial de desempeño de cualquier concreto de Cemento Portland que contenga la misma dosificación de fibras de polipropileno, ya que sólo se utilizaron materiales del Valle de México y no se variaron los revenimientos ni tamaños máximos de agregados en los concretos involucrados.

De hecho, estas pruebas sirven para corroborar y visualizar las mejoras que proporcionan las fibras de polipropileno al concreto.

Dosificación de Fibras:

La dosificación de fibras se establece por las normas ASTM C-1116 y ASTM C-1018.

En términos generales, de una viga de concreto simple que se

ensaya, se hace una gráfica y se obtiene la curva carga-deformación y se divide el área bajo la curva desde que se empieza a cargar hasta la falla, entre el área bajo la curva desde que se empieza a cargar hasta la primera grieta.

El resultado es un valor adimensional y se conoce como índice de ductilidad.

Este índice tiene un valor numérico mínimo de 3.0, para que el concreto en cuestión sea considerado como reforzado, con refuerzo no estructural, es decir, reforzado únicamente contra cambios volumétricos por temperatura.

Según Transportation Research Board, de Washington, D.C., con una dosificación de 0.900 kg/m³ de fibras de polipropileno se obtuvo un índice de ductilidad de 3.519, para diferentes mezclas, por lo que aceptaremos esta dosificación.

Las pruebas a efectuar son:

Compresión, Flexión, Tensión, Permeabilidad, Agrietamiento y se explicarán a medida que se van efectuando.

III.3 Características Físicas de los Materiales.

El concreto fibroso es una mezcla de cemento, agua, grava, arena y fibras de polipropileno, que se distribuyen aleatoriamente.

A continuación, veremos las generalidades de cada uno de estos materiales componentes.

Cemento: En la fabricación de los concretos que utilizaremos, se empleó cemento Portland, tipo I, marca Tolteca, que cumple con los requisitos de la norma oficial mexicana NOM C-2. Para garantizar el mínimo de variación entre una y otra revolutura se verificó que el cemento perteneciera a un solo lote y para protegerlo de la humedad se cubrió con bolsas de plástico hasta el momento de su uso.

Agregados: Se emplearon gravas basálticas trituradas, las cuales se almacenaron en tolvas del patio del laboratorio de materiales de la Facultad. Las partículas presentan una forma regular, es decir que no son muy planas, lo que ocasiona que la mezcla requiera de poca arena para lograr mezclas manejables.

La arena empleada es de origen andesítico, con una densidad ligeramente baja y alta absorción, como veremos posteriormente.

Estas resultan las únicas aceptables de las disponibles en el Valle de México y por lo tanto, las utilizadas en todos los concretos fabricados en esta área. Por otro lado, el alto contenido de polvos, hace que las mezclas requieran un poco más de

agua y por lo tanto, para alcanzar una resistencia dada, un poco más de cemento; aunque esto no siempre es necesario.

Agua: Para el mezclado se utilizó agua tomada de la red local de agua potable y por lo tanto, satisfactoria para su empleo en la fabricación de concreto.

Fibras: Las fibras de polipropileno utilizadas, tienen una longitud de 19.0 mm. un ancho de 260 denier, absorción nula, punto de ignición 590 grados centígrados, conductividad térmica y eléctrica bajas, alta resistencia a sales y ácidos y peso específico de 0.91, módulo de Young de 3.5 kN/mm².

Para el proporcionamiento de concretos reforzados con fibras, se pueden seguir los procedimientos establecidos para concretos convencionales, debido a una ventaja que presentan las fibras plásticas, que consiste en que no hay que variar el contenido de agua, debido a su absorción nula.

A continuación, haremos una descripción detallada de las pruebas de laboratorio, tendientes a obtener las propiedades físicas de los agregados.

Con el objeto de no caer en partículas demasiado grandes o demasiado pequeñas, es decir, mal graduadas, procederemos a efectuar un muestreo, considerado suficientemente satisfactorio, para determinar, a partir de un lote representativo, las características de todo el material a emplear.

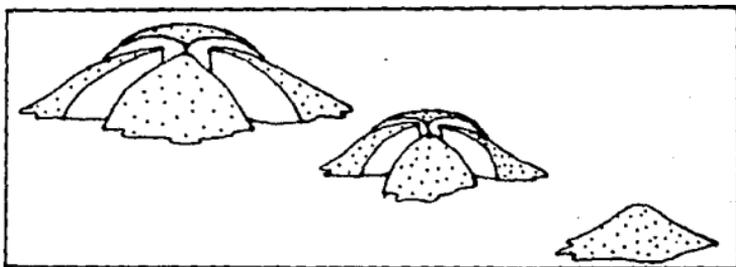
Se tomó una muestra representativa de el depósito de mate-

riales, no muy extensa debido a que utilizaremos muy poco concreto.

El siguiente paso en el muestreo se conoce como cuarteo. El cuarteo es un procedimiento por medio del cual se coloca el material (grava o arena) en forma de cono y se achata un poco de la punta para, posteriormente, dividirlo en cuatro porciones.

Una vez dividido, descartamos dos cuartas partes que estén opuestas y con las que queden repetimos el proceso. Hacemos esto las veces que sean necesarias hasta obtener una muestra del tamaño deseado. Ver figura 5.

F I G U R A 5



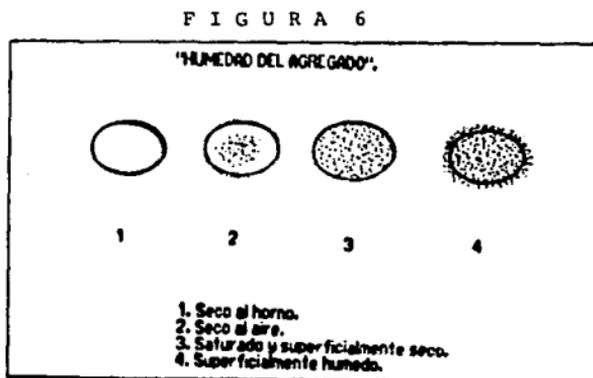
El último cuarteo que se llevó a cabo nos dejó una muestra de 13.730 kg. de arena y 26.0 kg. de grava.

Ambas muestras fueron secadas al horno por 24 horas para que perdieran toda la humedad y así poder trabajar en seco.

En charolas de fierro, separamos tres muestras de arena, dos de ellas con un peso de 1200 g. cada una y la tercera con un peso de 800 g., que utilizamos para efectuar un análisis granulo

métrico que se explicará posteriormente. Asimismo, separamos dos muestras de grava de 3000 g. cada una, limpiándola previamente con un tamiz de 3/8", para evitar polvo. Esta grava fue lavada y depositada en charolas con agua durante 24 horas para lograr su estado saturado y superficialmente seco (S.S.S.) que se explica a continuación.

El agregado saturado y superficialmente seco ha retenido toda el agua que le es posible, es decir, se ha agotado su capacidad de absorción en su totalidad. Este concepto se aprecia más fácilmente por medio de la ilustración de la figura 6:



Nótese que en el caso último (a la derecha de la figura), el agregado está mojado por dentro y por fuera, por lo que se excede la capacidad de absorción.

Es necesario conocer las siguientes propiedades físicas de los agregados para aplicar el método A.C.I. (American Concrete Institute), para dosificar mezclas de concreto:

	GRAVA	ARENA
1	Densidad	Densidad
2	T.M.A.	Módulo de finura
3	Peso Volumétrico	Peso Volumétrico
4	Humedad	Humedad
5	Absorción	Absorción

A continuación haremos una breve reseña de las pruebas efectuadas en el laboratorio para determinar las propiedades físicas de las agregadas.

---1--- DENSIDAD -----

Para llevar a cabo la prueba de densidad o peso específico, el agregado debe estar en estado S.S.S.

* Agregado Grueso (Grava). NOM-C-164-86

Determinación de la masa específica y absorción del agua del agregado grueso

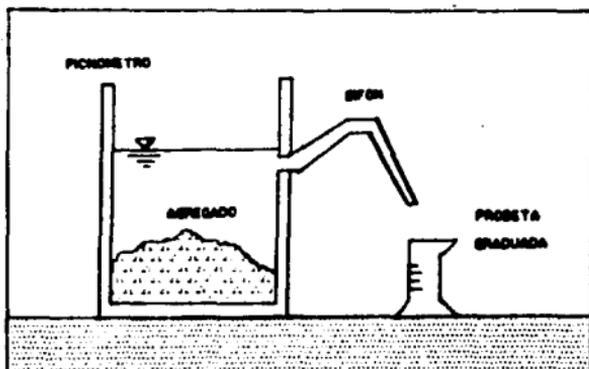
Para calcular la densidad utilizamos dos métodos para corroborar los resultados, que describimos a continuación:

a) Método del Picnómetro.

Se procedió de la siguiente manera: de las muestras de grava que se saturaron en agua durante 24 horas, se secó la superficie de los agregados con una jerga hasta que perdieron el brillo (estado S.S.S.). Pesamos 1000 g. de este agregado y lo sumergimos en el picnómetro, previamente "tarado" o "cebado", es decir, con el agua en un nivel tal que estuviera a punto de salir por el sifón. Así, podemos medir en la probeta graduada el

volumen que desaloja la grava. Ver figura 7.

FIGURA 7



$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso S.S.S.}}{\text{Peso del Agua desalojada}} = \frac{1000 \text{ g.}}{422 \text{ ml.}}$$

$$\text{Densidad} = 2.369$$

b) Método de inmersión en agua.

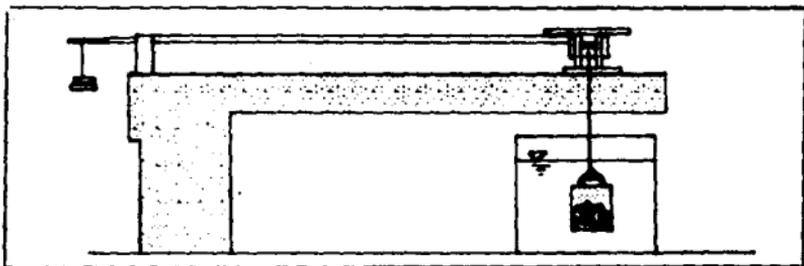
Se pesa la muestra en estado S.S.S., se pone en una canastilla suspendida en una balanza y se toma su peso de inmersión.

Obtenemos la densidad por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso SSS}}{\text{Peso SSS} - \text{Peso en Agua}} = \frac{3105}{(3105-1795)} = 2.37$$

Ver figura 8:

FIGURA 8



• Agregado Fino (Arena). Determinación de la masa específica y absorción del agua del agregado fino. Método de prueba
 NOM-C-165-84

La expresión que se utiliza para calcular la densidad es la siguiente:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso SSS}}{\text{Vol. de agua que desaloja}}$$

Para lograr el estado saturado y superficialmente seco (S.S.) de la arena fue necesario secar una muestra al horno durante 24 horas a 100 grados centígrados para posteriormente saturarla en agua por otras 24 horas. Luego, se escurrió el agua y se secó mediante movimiento constante con una espátula hasta que pasó la prueba del cono, que a continuación se describe:

Se coloca la arena de la muestra que se pretende ensayar en un cono de metal, de manera que quede copeteado, luego, se apisona con un cilindro de fierro con su propio peso, es decir, se pone a ras de la arena y se suelta 25 veces consecutivas.

El material alcanzará su estado S.S.S. cuando al retirar el cono, el montículo escurra solo parcialmente.

Otro aspecto de la arena en estado S.S.S. es que no se adhiere al recipiente, ni siquiera con sus partículas más finas.

Así pues, terminada la prueba, pesamos 500 g. y los introducimos en una probeta con 200 ml. de agua. Agitamos la probeta con arena de modo que saliera todo el aire y medimos el volumen de agua desalojada:

$$\text{Densidad} = \frac{500 \text{ g.}}{208 \text{ ml.}} = 2.40$$

NOTA: Se considera que 1 ml. de agua pesa 1 gramo.

--- 2 --- ANALISIS GRANULOMETRICO NOM-C-77-87 Agregados para concreto
Análisis granulométrico, método de prueba.

El análisis granulométrico que se practica a los agregados es diferente para la grava y para la arena.

El de la grava es muy simple y se limita a determinar el tamaño máximo de agregado (T.M.A.), que será dado por el tamaño más grande de malla o tamiz en el que se retiene más del 10% del peso total de la muestra. Las mallas que se utilizan para este análisis son: #4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2".

A continuación, tabulamos los resultados:

MALLA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
1 1/2"	0	0.00
1"	194	1.37
3/4"	4520	32.44
1/2"	5698	40.88
3/8"	1149	8.24
# 4	868	6.24
Charola	<u>1507</u>	<u>10.81</u>
TOTAL	13936	100.00

Como vemos, el tamaño máximo del agregado (T.M.A.) donde se retiene menos del 10% es la malla de 1", por lo tanto el T.M.A. es de 1" (25.0 mm).

Por otro lado, el análisis granulométrico que se practica - para la arena difiere ligeramente al de la grava.

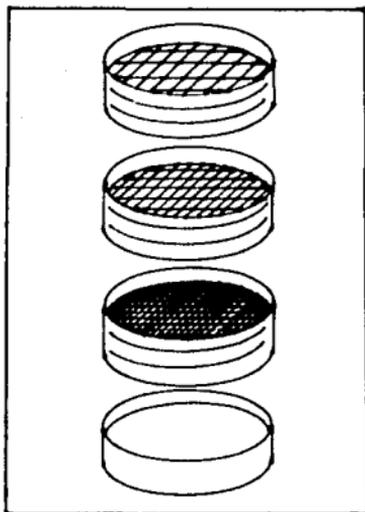
La muestra usada debe proceder de la operación de cuarteo y debe estar seca al horno con 24 horas a 100 grados centígrados de temperatura. Las mallas estándar para usarse con agregados finos son: 4, 8, 16, 20, 50, 100 y charola.

El procedimiento que seguimos para llevar a cabo el análisis fue como sigue:

- a) Sacamos la muestra del horno.
- b) Colocamos los tamices en orden ascendente de abajo hacia arriba, a manera de que las partículas más pequeñas se fueran hacia abajo y las partículas más gruesas se detuvieran en las

mallas superiores. Véase figura 9:

FIGURA 9



c) Se vacía la muestra, se tapan los 7 tamices y se agitan en forma lateral y vertical durante 10 minutos, en una máquina con motor eléctrico que se gradúa de forma tal que quepa exactamente el juego de mallas.

d) Se pesa la arena que queda detenida en cada una de las mallas para obtener el peso retenido individual. Se suman estos pesos y se obtiene el peso retenido acumulado.

Con estos datos, obtenemos los siguientes resultados:

ANALISIS GRANULOMETRICO
DE AGREGADO FINO

NOM C-77

Fecha: 12 Nov 90

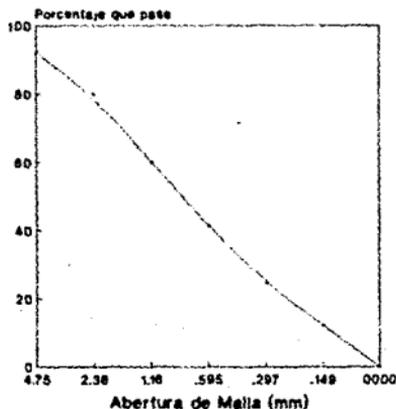
Ensaye: TESIS Fecha de Muestreo: 5 Nov 90

Tipo de arena: Andesítica Peso de la muestra: 770 gramos

Análisis efectuado con: 13.73 kg. de material seco.

MALLAS		Peso Retenido g.	% Retenido Indiv.	% Retenido Acum.	% Que Pasa	Abertura de malla mm.
No. 4	60	7.79	7.79	92.21	4.750	
No. 8	95	12.34	20.13	79.87	2.360	
No. 16	153	19.87	40.00	60.00	1.160	
No. 30	145	18.83	58.83	41.17	0.595	
No. 50	129	16.75	75.58	24.42	0.297	
No. 100	95	12.34	87.92	12.08	0.149	
Charola	93	12.08		00.00	0.000	
TOTAL	770	100.00	A=290.25			

Curva Granulometrica



Módulo de Finura

$$M.F. = \frac{A}{100}$$

$$M.F. = 290$$

Cumple con los límites
NOM C-111

$$2.3 \quad M.F. \quad 3.1$$

SI X NO

Hay alguna malla en que
el % retenido individual sea mayor que 45%

SI NO X

El módulo de finura es, digamos, un número que indica el tamaño promedio de partículas en una muestra.

Así, mientras más fina sea la arena, más bajo será el módulo de finura y mientras más gruesa sea, será mayor el módulo de finura.

Usualmente, el módulo de finura se encuentra entre 2.3 y 3.1 para tener agregado fino con partículas adecuadas, esto es, ni muy gruesas ni muy finas.

--- 3 --- PESO VOLUMETRICO COMPACTADO

NOM-C-73-83 Masa volumétrica de
agregados para concreto, método de prueba

El procedimiento para determinar el peso volumétrico compactado es similar para agregados gruesos y finos.

Se utiliza un recipiente rígido con volumen y peso conocidos. Entre más grande sea el recipiente, más exacto será el resultado.

Se llena el recipiente, colocando el material en tres capas aproximadamente iguales, compactando cada capa con 25 piquetes de varilla de diámetro de 5/16" con punta redondeada, cuidando de compactar cada capa independientemente, sin penetrar las demás. Se enrasa con la varilla la parte de arriba y se pesa la muestra.

ARENA

Vol. = 2.830 lt.
Peso Tara = 1.134 kg.
Peso Total = 5.308 kg.
Peso Arena = 4.174 kg.

$$P.V. = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{4.174 \text{ kg.}}{0.00283 \text{ m}^3}$$

$$P.V. = 1474.91 \text{ kg/m}^3$$

GRAVA

Vol. = 10.240 lt.
 Peso Tara = 4.505 kg.
 Peso Total = 8.430 kg.
 Peso Grava = 13.926 kg.

$$P.V. = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{13.926 \text{ kg.}}{0.01024 \text{ m}^3}$$

$$P.V. = 1359.96 \text{ kg/m}^3$$

--- 4 --- HUMEDAD

NOM-C-166-83 Agregados. Contenido total de humedad por
 secado, método de prueba

Se toma una muestra de agregado (fino o grueso) y se pesa. Luego, se mete al horno por 24 horas a 100 grados centígrados y se vuelve a pesar. La diferencia porcentual es la humedad.

A continuación se tabulan los resultados.

	Arena	Grava
Peso Húmedo	1000	2000
Peso Seco	970	1934
Diferencia	30	66
Diferencia Porcentual	3.00%	3.30%

 --- 5 --- ABSORCION NOM-C-164-86
NOM-C-165-84

La prueba es semejante a la de humedad. Se toma una muestra en estado S.S.S., se pesa y se mete al horno por 24 horas a 100 grados centígrados, para que se seque perfectamente. Luego, se saca y se pesa. La diferencia porcentual es la absorción de los agregados.

	Arena	Grava
Peso S.S.S.	767	995
Peso Seco	723	950
Diferencia	44	45
Diferencia Porcentual	5.74%	4.52%

III.4 Diseño de las Mezclas.

En resumen, tenemos las siguientes condiciones:

Queremos elaborar dos mezclas de concreto, con una resistencia promedio a la compresión a los 28 días de 200 y 300 kg/cm², respectivamente.

Utilizaremos cemento tipo I, cuyo peso específico o densidad es de 3.15. En cuanto a los agregados, la grava tiene una densidad de 2.37 y una absorción de 4.52%.

La arena tiene una densidad de 2.40, una absorción de 5.73% y un módulo de finura de 2.90. El revenimiento que proponemos para que la muestra sea manejable es de 8 a 10 cm. La grava tiene un peso volumétrico de 1360 kg/m³ y un tamaño máximo de agregado (TMA) de 1" (25.0 mm).

A continuación se describe la secuencia para calcular las cantidades de los componentes del concreto, según el método de dosificación del A.C.I. (American Concrete Institute).

1 Elección del Revenimiento.

Como sabemos, la prueba del revenimiento, consiste en medir el hundimiento que presenta un cono de concreto fresco cuando se le retira el molde y es una medida "in situ" de la fluidez de la mezcla. Como ya vimos, el revenimiento a utilizar será de 8 a 10 cm.

T A B L A A

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.

TMA	Agua (kg/m ³) para los TMA indicados (mm)							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
Revenimiento (cm)								
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	---
Aire Atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

4 Selección de la relación agua/cemento.

Podemos leer valores aproximados para concretos con cemento Portland tipo I, de la tabla B:

T A B L A B

Resist. a la compresión a los 28 días	Relación Agua/Cemento por peso
450	0.38
400	0.43
350	0.48
300	0.55
250	0.62
200	0.70
150	0.80

La relación agua cemento es de 0.70 para el concreto con re sistencia de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y de 0.55 para el concreto con - resistencia de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$.

5 Cálculo del contenido de cemento.

El volumen que desaloja el cemento en nuestros concretos se obtiene dividiendo el agua de mezclado (paso 3) entre la relación agua/cemento (paso 4).

Entonces:

* Para $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

$$\text{Cemento} = \frac{195 \text{ kg/m}^3}{0.70} = 278.57 \text{ kg/m}^3$$

* Para $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$.

$$\text{Cemento} = \frac{195 \text{ kg/m}^3}{0.55} = 354.54 \text{ kg/m}^3$$

6 Estimación del contenido de agregado grueso.

Este valor está en función del T.M.A. y del módulo de finura de la arena y se obtiene de la tabla C:

T A B L A C

Vol. de grava seca y compactada por vol. unitario de concreto para diferentes módulos de finura.

T.M.A. (mm)	2.4	2.5	2.8	3.0
10.0	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20.0	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65
40.0	0.76	0.74	0.72	0.70
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72
70.0	0.81	0.79	0.77	0.75
150.0	0.87	0.85	0.83	0.81

Haciendo una interpolación, obtenemos para un módulo de finura de 2.90 un volumen de grava por volumen unitario de concreto de 0.66.

El peso seco de la grava se determina multiplicando lo que obtuvimos de la tabla C por el peso volumétrico de la misma:

* Para ambos concretos: $(0.66)(1360 \text{ kg/m}^3) = 897.60 \text{ kg/m}^3$.

7 Estimación del contenido de agregado fino.

Consideramos que el peso de un metro cúbico de concreto es de 220 kg. Entonces, si conocemos todos los pesos de los demás componentes, el que nos falta es la arena, que obtenemos por una simple diferencia.

* Para $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

Agua	=	195.00 kg.
Cemento	=	278.57 kg.
Grava	=	897.60 kg.
Suma	=	1371.17 kg.

$$\text{Arena} = 2200 - 1371.17 = 828.83 \text{ kg.}$$

* Para $f'c = 300 \text{ kg /cm}^2$.

Agua	=	195.00 kg.
Cemento	=	354.54 kg.
Grava	=	897.60 kg.
Suma	=	1447.14 kg.

$$\text{Arena} = 2200 - 1447.14 = 752.86 \text{ kg.}$$

8 Ajustes por humedad de los agregados.

El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado, - por lo que debe excluirse.

Entonces, la cantidad de agua que aporta el agregado se obtiene restando la absorción menos la humedad.

ARENA-----
5.73% - 3.00% = 2.73%
GRAVA-----
4.52% - 3.30% = 1.22%

El requerimiento de agua de adición será el peso del agua estimado menos el peso del agua que contienen los agregados.

NOTA: Tomamos en cuenta que el peso volumétrico del agua es de

1000 kg/m³. Así, pues:

* Para f'c = 200 kg/cm².

$$(195.0) - (828.83)(0.0273) - (897.6)(0.0122) = 161.42 \text{ kg.}$$

* Para f'c = 300 kg/cm².

$$(195.0) - (752.86)(0.0273) - (897.6)(0.0122) = 163.5 \text{ kg.}$$

Los pesos de los agregados se modifican, tomando en cuenta el agua que contienen: (humedad).

* Para f'c = 200 kg/cm².

ARENA-----

$$828.83(1.030) = 853.69$$

GRAVA-----

$$897.6(1.033) = 927.22$$

* Para f'c = 300 kg/cm²

ARENA-----

$$752.86(1.030) = 775.44$$

GRAVA-----

$$897.60(1.033) = 927.22$$

Los pesos corregidos de la mezcla serán:

* Para f'c = 200 kg/cm²

COMPONENTE	PESO	PORCENTAJE
Agua	161.42 kg.	7.27 %
Cemento	278.57 kg.	12.54 %
Grava	927.22 kg.	41.75 %
Arena	853.69 kg.	38.44 %
	<u>2200.9 kg.</u>	<u>100.00 %</u>

* Para $f'c = 300 \text{ fg/cm}^2$

COMPONENTE	PESO	PORCENTAJE
Agua	163.50 kg.	7.36 %
Cemento	354.54 kg.	15.97 %
Grava	927.22 kg.	41.75 %
Arena	775.44 kg.	34.92 %
	<u>2200.70 kg.</u>	<u>100.00 %</u>

9 Ajustes en la mezcla de prueba.

A continuación medimos el revenimiento, con un resultado de aproximadamente 8.0 cm. en promedio, por lo que está en el rango de lo que diseñamos, de esta manera no es necesario hacer ajustes y así se queda el proporcionamiento de los componentes del concreto.

Para las mezclas con fibras de polipropileno, no es necesario hacer ajustes ya que los atados fibrosos no absorben agua, no obstante que disminuyen el revenimiento, pero esto se debe a que hay mayor trabazón mecánica de la mezcla por las fibras.

A continuación, haremos una reseña de las pruebas efectuadas en el laboratorio para notar la diferencia entre el concreto simple y el concreto reforzado con fibras de polipropileno. Estas pruebas fueron: Compresión, Flexión, Tensión, Permeabilidad, Agrietamiento y Abrasión.

III.5 Compresión.

Determinación de la resist. a la
NOM-C-83-88 Compresión de cilindros de concreto

Se ha indicado que el objeto principal del estudio del comportamiento del concreto es la obtención de las relaciones entre el concreto simple y el concreto reforzado con fibras de polipropileno.

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto aumenta su capacidad de carga, en forma de compresión axial, con la edad.

Este proceso de hidratación depende de las condiciones de intercambio de agua con el ambiente, después del colado, de ahí que los especímenes se curen en húmedo en una cámara de vapor.

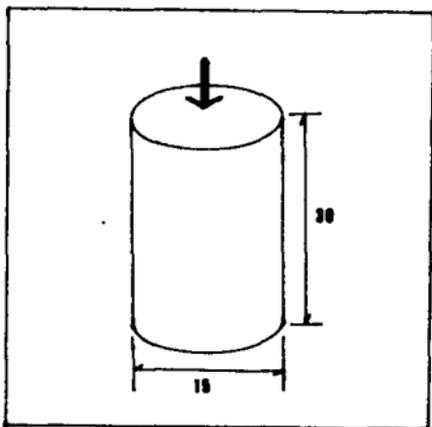
En cilindros con relación de altura contra diámetro igual a dos, como el que se muestra en la figura 10, la falla se presenta por lo regular en forma de planos a 45 grados con respecto a la dirección en que se aplica la carga. Este ángulo se debe a la restricción que ofrecen las placas de apoyo contra movimientos laterales. Las grietas se presentan en la pasta; es decir, entre el agregado y la lechada endurecida. Es raro que se fracturen los agregados, aunque en ocasiones ocurre. Este microagrietamiento se va desarrollando a medida que se incrementa la carga, hasta producir irreversiblemente el colapso.

La máquina donde se realizan las pruebas, debe estar equipada con dos bloques de acero lisos. Uno de los bloques (el superior) tiene asiento esférico para que se distribuyan más uni-

formemente los esfuerzos. Con este mismo fin, los cilindros se "cabecean" tan pronto como el azufre haya requerido la rigidez requerida y se aplica caliente, en estado de licuación (paso - del estado sólido al líquido).

Los cilindros de 15 X 30 cm. fueron fabricados de un mismo concreto y ensayados a distintas edades, variando la resistencia de diseño de 200 y 300 kg/cm².

En el momento de la prueba, nos aseguramos que al bajar la placa superior, ésta hiciera contacto suave y uniformemente con el cilindro. Se aplicó la carga continuamente y sin impactos. La velocidad de aplicación fue del orden de 150 kg/cm²/min. Al fallar la probeta, registramos la carga máxima y la dividimos entre el área para obtener la resistencia. Los resultados se - presentan en el capítulo IV.



III.6 Flexión. NOM-C-191-86. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con cargas en los tercios del claro.

Esta prueba proporciona una medida de la resistencia del concreto a la flexión, o mas bien, a la tensión debida a la flexión.

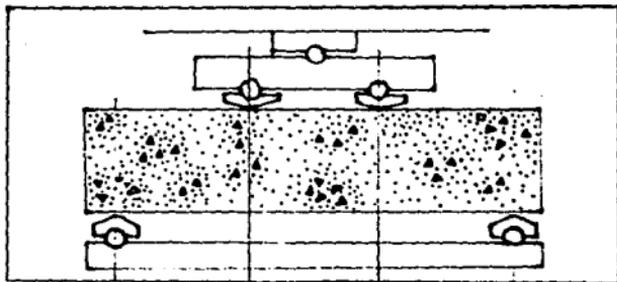
Se ha observado que el esfuerzo máximo de ruptura en flexión depende, entre otras cosas, de la relación peralte a claro y de las condiciones en que es curado el concreto.

Hay una razón por la cual se dispersan los datos de ensaye a flexión, y es que el punto de tensión máxima se presenta en la parte externa del espécimen y esta parte externa sufre esfuerzos de contracción originados por cambios ambientales.

Las pruebas que practicamos fueron para comparar los diferentes módulos de ruptura y se basaron en la norma oficial "Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro" NOM C-191, como mencionamos arriba.

Para hacer la prueba, colocamos la viga debajo de la prensa de la máquina universal y mediante una placa con bloques se bifurcó la carga para aplicarla puntualmente en los tercios medios del claro que queda entre los apoyos de la parte inferior. Las piezas que están en contacto con las vigas tienen pernos de acero para evitar giros y aplicar la carga lo más uniformemente posible. Ver figura 11:

FIGURA 11



La carga se aplica con una velocidad uniforme, de manera - que el aumento de esfuerzo no exceda de 10 kg/cm²/min.

Si la falla se da en el tercio medio del claro, el módulo de ruptura se calcula como sigue:

$$R = \frac{P L}{b d^2}$$

R = Módulo de ruptura (kg/cm²)

P = Carga máxima (kg)

L = Distancia entre apoyos (cm)

b = Ancho del espécimen (cm)

d = Peralte del espécimen (cm)

Si la ruptura se presenta en la superficie de tensión fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de su longitud, - el módulo de ruptura se calcula como sigue:

$$R = \frac{3 P a}{b d^2}$$

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de la viga (cm).

Si la fractura ocurre en la superficie de tensión del tercio medio del claro en más del 5%, se desecha el resultado de la prueba.

Se colaron vigas con concretos de resistencias $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ con y sin fibras, para probarse a 7 y a 28 días de edad.

Los resultados se presentan en el capítulo IV.

III.7 Tensión.

NOM-C-163-86. Determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto

No es sencillo encontrar una manera fácil de determinar la resistencia a la tensión, porque el concreto es un material frágil en esta condición. Es difícil evitar fallas prematuras debidas a concentraciones de esfuerzos. Para concreto en tensión axial, la resistencia es del orden del 10% de la resistencia a compresión axial.

Sin embargo, esta relación no es lineal para todas las resistencias.

En 1940, Akazawa de Japón y Fernando Carneiro de Brasil, casi al mismo tiempo, idearon una forma de ensaye indirecto de tensión, conocido como prueba brasileña.

En esta prueba, se colocan cilindros iguales a los que se usan para medir la compresión, pero se colocan entre las platinas de la máquina universal en posición horizontal y se aplica la carga por medio de una pieza de metal de forma rectangular.

Dado que en el punto que recibe la carga se dá un alto esfuerzo de compresión, se colocan hojas de madera de 5.0 mm. de espesor y 30.0 mm. de ancho, por 30 cm. de largo, arriba y abajo, según la norma oficial: "Determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto" NOM C-163.

El esfuerzo horizontal de tensión se calcula conforme a la expresión:

$$s = \frac{2 P}{w L D}$$

donde:

P = Carga (kg)

L = Longitud del cilindro (cm)

D = Diámetro (cm)

s = Esfuerzo de tensión.

III.8 Permeabilidad.

La prueba de permeabilidad a través del concreto no es común, ni muy utilizada, aunque la permeabilidad afecta fuertemente la durabilidad del acero de refuerzo. Por lo general, la industria concretera asume que:

- Resistencia a la compresión adecuada.
- Curado a conciencia.
- Consolidación nula de agregados.
- Baja relación agua/cemento.

Son los cuatro puntos que hay que cuidar y así se producirá concreto impermeable o resistente a la migración de agua.

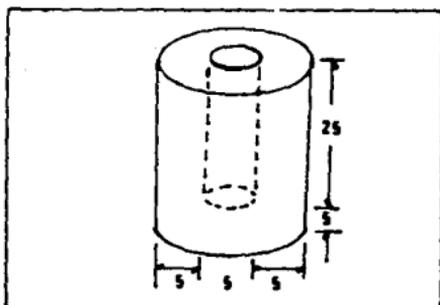
La falta de un procedimiento de prueba estándar es probablemente la razón por la cual el control de calidad en cuanto a la permeabilidad sea inexistente.

La investigación de lo anterior permitió el desarrollo del método de VonTest. Este método fue ideado por un miembro del A.C.I., Gary Vondran, que es un miembro activo de los subcomités: 201 Durabilidad, 544 Concreto Reforzado con Fibras. El tiene la patente de su prueba de permeabilidad, comúnmente conocida como método de VonTest.

Actualmente, el Ing. Vondran es Director de Investigación y Desarrollo de la Compañía de Fibras Sintéticas "Fibermesh".

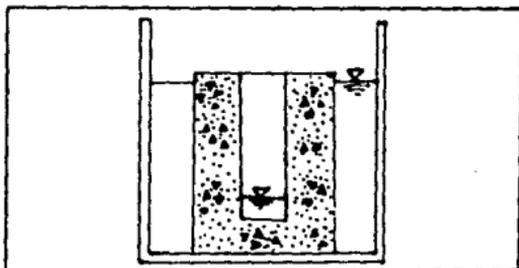
Esta prueba mide la cantidad de agua que pasa a través de una pared de 5.0 cm. de concreto. Las probetas que se especifican, miden 15.0 cm. de diámetro por 30.0 cm. de altura (como cilindros de compresión), con la salvedad de que están huecos en la parte central, con un agujero de 5.0 cm. de diámetro por 25.0 cm. de longitud. Ver figura 12:

FIGURA 12



El agua que fluye se mide en la parte hueca y la prueba se lleva a cabo a presión atmosférica, metiendo en agua los especímenes con concreto simple y fibroso para ver la diferencia. Ver figura 13:

FIGURA 13



Esta prueba tan sencilla no es una medida estándar de permeabilidad, ni es una forma normalizada de medirla, pero si nos da una idea de la diferencia que tiene el concreto simple y el fibroso y se antoja adecuada para practicarse en el laboratorio de materiales de la Facultad.

Los resultados se muestran en el capítulo IV.

III.9 Agrietamiento.

Antes de describir la prueba que efectuamos, haremos una breve introducción para ver porqué se propagan las grietas, ya que es este aspecto el que se ve más favorecido por la utilización de fibras de polipropileno.

Tipos de Grietas.

- * Grietas de contracción por secado.

Este tipo de grietas se desarrollan aproximadamente cuando el brillo del agua desaparece de la superficie del concreto. Por lo general son grietas rectas del grueso de un cabello, distribuidas aleatoriamente, que se extienden hasta el borde de la losa o del elemento estructural. La forma que regularmente presentan estas grietas es similar a la de una pata de gallo. Estas grietas son superficiales; es decir que tienen muy poca profundidad, por lo que realmente no presentan mayor problema que arruinar la estética de la superficie del concreto.

- * Grietas por contracción plástica.

Son más anchas que las anteriores y usualmente atraviezan todo el espesor del concreto. Su aparición es más frecuente en los días en que hay una elevada temperatura ambiental o en que hay mucho viento y se ha observado que aparecen paralelas entre sí y con sentido perpendicular al sentido del viento. Su causa es la evaporación del agua de la superficie y se deben -

reparar tan pronto como la superficie permita cargas ligeras como el paso de personas, sin que se deteriore notablemente la superficie. Se reparan mediante el allanado del concreto.

* Grietas por deslizamiento de cimbras.

Un aspecto que algunas veces el contratista pasa por alto es la construcción de cimbras firmes que es necesaria para prevenir agrietamiento. No tiene que ocurrir forzosamente que la cimbra se abra completamente para que cause problemas, cualquier desplazamiento de la obra falsa, o de la cimbra de contacto, debido a la expansión de la madera o a que se flexione o a que se aflojen los yugos, clavos o abrazaderas, puede producir grietas.

Estas grietas pueden aparecer durante el curado o posteriormente.

Estas grietas son una entrada a la humedad y se acelera el deterioro del acero de refuerzo. Otra desventaja es que, a veces estas grietas aparecen cerca de la cimbra y otras veces, lejos de ella.

* Grietas por el acero de refuerzo.

Si la mezcla se coloca sobre varillas de acero, pueden aparecer grietas en la superficie del concreto que está encima del acero, siguiendo la forma del acero de refuerzo.

Estas grietas pueden evitarse colocando suficiente recubri-

miento de concreto encima del acero, por lo menos 3.0 cm. y utilizando mezclas con revenimiento bajo, es decir, con una fluidez que no sea excesiva.

* Grietas por oxidación del acero de refuerzo.

Cuando el acero de refuerzo se ha oxidado, tiende a expandirse, creando grietas superficiales.

Estas grietas, a su vez, permiten la entrada de humedad, - creando más oxidación, deteriorando finalmente el elemento estructural. De ahí que sea tan peligrosa la corrosión en estructuras de concreto reforzado.

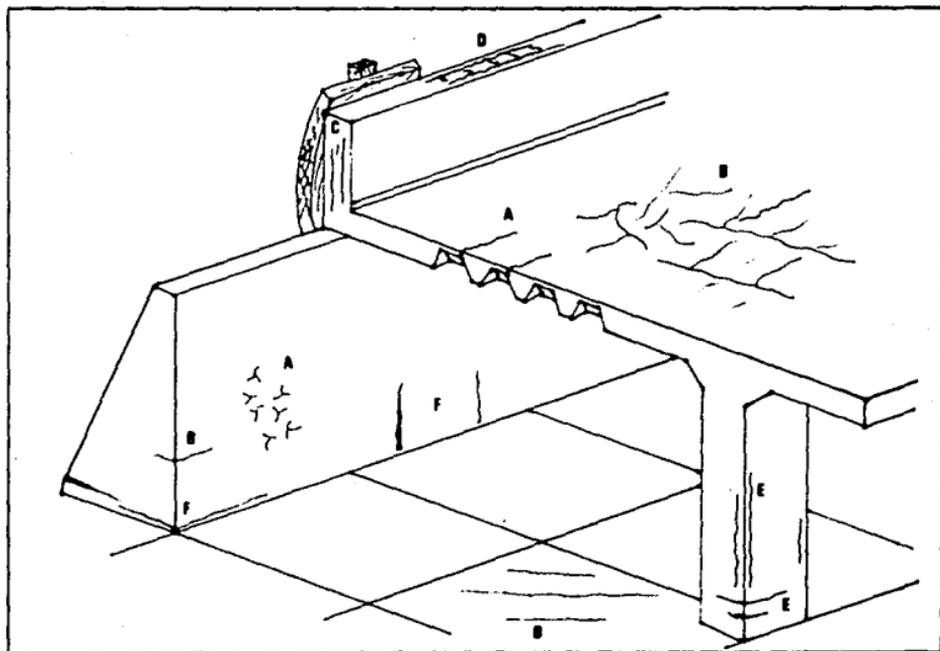
* Grietas por falla del terreno.

La ruptura del plano de la superficie del terreno o una base mal o escasamente compactada, permiten el desplazamiento de la masa de concreto durante el fraguado, creando grietas.

Este tipo de grietas no sigue ningún patrón en particular.

A continuación se muestra un esquema con todos los tipos de grietas en la figura 14:

FIGURA 14



- A) Grietas de contracción por secado
- B) Grietas por contracción plástica
- C) Grietas por deslizamiento de cimbras
- D) Grietas por el acero de refuerzo
- E) Grietas por oxidación del acero de refuerzo
- F) Grietas por falla del terreno.

Los resultados los apuntamos cronológicamente, para visualizar gráficamente la diferencia de potencial de agrietamiento.

Los paneles de concreto simple y fibroso de resistencia $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ no presentaron ninguna grieta, debido a que el tamaño del panel no era muy grande y hubo una confinación bastante favorable.

Nos basaremos en los resultados obtenidos en el concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

III.10 Abrasión

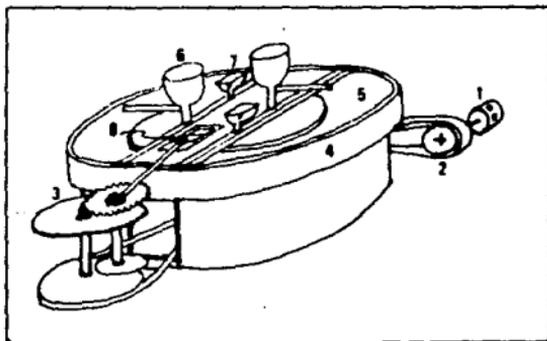
NOM-C-8-74 Mosaicos.

La resistencia relativa a la abrasión entre especímenes adicionados con fibras va a ser medida. Se pretende de esta manera evaluar el posible mejoramiento a la abrasión mediante la inclusión de fibras de polipropileno a las mezclas.

Este método es comúnmente utilizado para medir la abrasión en las piezas de mortero.

El aparato consiste en lo siguiente. Ver figura 16:

FIGURA 16



1. Motor Eléctrico
2. Polea
3. Rueda motriz
4. Bastidor fijo
5. Bastidor móvil
6. Depósito de agua
7. Depósito de arena sílica
8. Prensa de tornillos

Este aparato no es muy conocido, por lo que explicaremos brevemente su funcionamiento.

A grandes rasgos, se trata de una prensa o mecanismo similar, capaz de presionar un cubo de algún material contra una superficie rotatoria, que gira a una velocidad de 80 revoluciones por minuto y que produce desgaste debido a que se pone en ella arena sílica con agua. En la ilustración se aprecia que hay dos reservas de agua y dos de arena, entonces, se va adicionando una y otra constantemente.

El chasis de la máquina consiste esencialmente en un bastidor de fierro fijo y otro móvil; el fijo soporta a la superficie giratoria que es accionada por un motor eléctrico. El motor está ligado al eje por una polea que hace girar una flecha conectada por medio de engranes a la superficie móvil que produce desgaste.

Utilizaremos mortero con una proporción de 1:5.

No es recomendable utilizar superficies aserradas o cortadas para realizar esta prueba; deberán ser lisas.

Los especímenes de 5.0 X 5.0 X 5.0 cm. se colocan en el aparato por un lapso de 10 minutos y se mide el desgaste para obtener una medida de cm/minutos.

Medimos las cuatro caras de los cubos adheridos mediante adhesivo epóxico a piezas de madera para que puedan ser afianzados, antes y después de la prueba.

Los resultados se aprecian en el capítulo siguiente.

IV. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

IV.1 Resultados.

Se antoja un tanto difícil apreciar la diferencia entre el concreto simple y el concreto fibroso con simples tablas de resultados, por lo que resumiremos nuestros resultados en gráficas para darnos una idea visual de la magnitud de los cambios que se van presentando durante el lapso de 28 días en que el concreto llega a su resistencia de diseño.

Así, pues, mostraremos los resultados de cada prueba con sus gráficas comparativas.

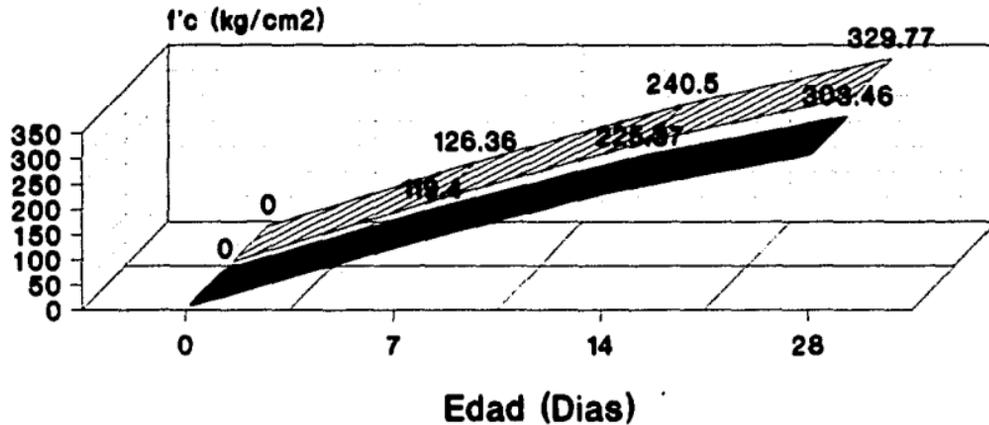
COMPRESION $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

	Concreto Simple		Concreto Fibroso	
	P (kg)	R (kg/cm ²)	p (kg)	R (kg/cm ²)
7	15,200	86.01	16,200	91.67
7	15,800	89.41	15,400	87.15
14	25,700	145.43	27,800	157.32
14	26,500	149.96	27,550	155.90
28	34,800	196.93	38,100	215.60
28	35,200	199.19	38,400	217.30

COMPRESION $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

7	21,400	121.10	22,450	127.04
7	20,800	117.70	22,200	125.63
14	39,550	223.81	42,300	239.37
14	40,100	226.92	42,700	241.63
28	53,700	303.88	58,400	330.48
28	53,550	303.03	58,150	329.06

Compresion



Simbologia



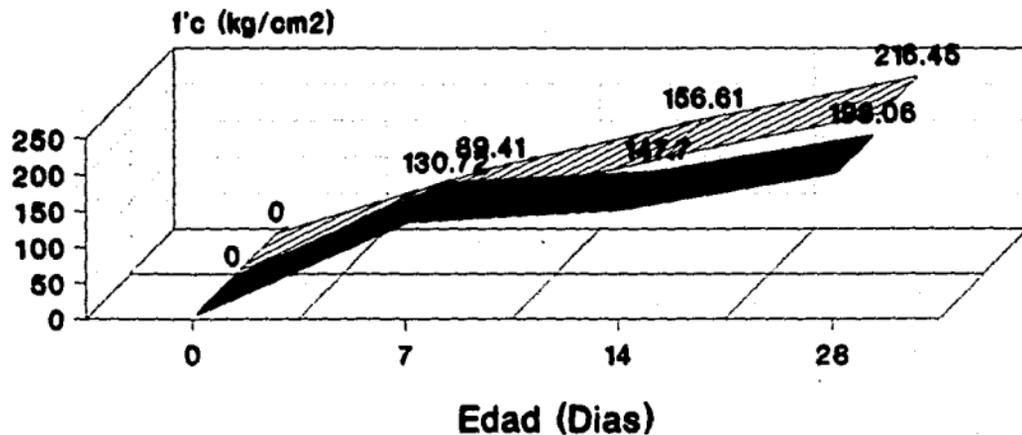
Concreto Simple



Concreto Fibroso

Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para concreto $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Compresion



Simbologia



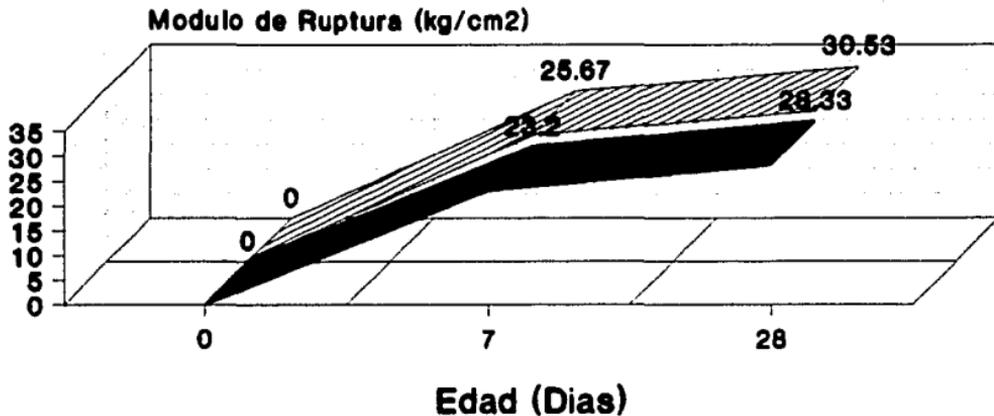
Concreto Simple



Concreto Fibroso

Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para Concreto $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$

Flexion



Simbologia



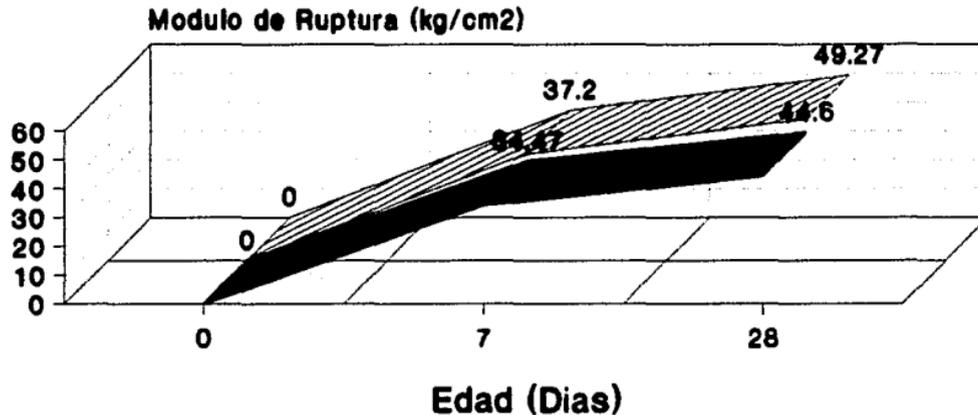
Concreto Simple



Concreto Fibroso

Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para concreto $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Flexion



Simbologia



Concreto Simple



Concreto Fibroso

Resultados de Pruebas de Laboratorio
Para concreto f'c = 300 kg/cm²

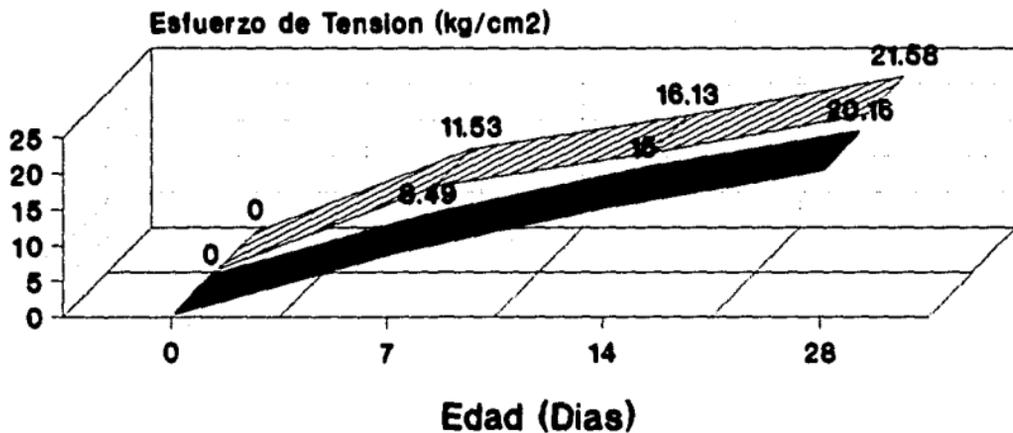
TENSION $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Edad	Concreto Simple		Concreto Fibroso	
	P (kg)	s (kg/cm ²)	P (kg)	s (kg/cm ²)
7	3,200	9.05	3,900	11.03
7	2,800	7.92	4,250	12.03
14	5,100	14.43	5,900	16.69
14	5,500	15.56	5,500	15.56
28	6,900	19.52	7,450	21.08
28	7,350	20.80	7,800	22.07

TENSION $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

7	4,350	12.31	5,000	14.15
7	4,100	11.60	4,800	13.58
14	7,500	21.22	8,700	24.62
14	7,850	22.21	8,550	24.19
28	10,950	30.98	11,450	32.40
28	10,700	30.27	11,700	33.10

Tension



Simbologia



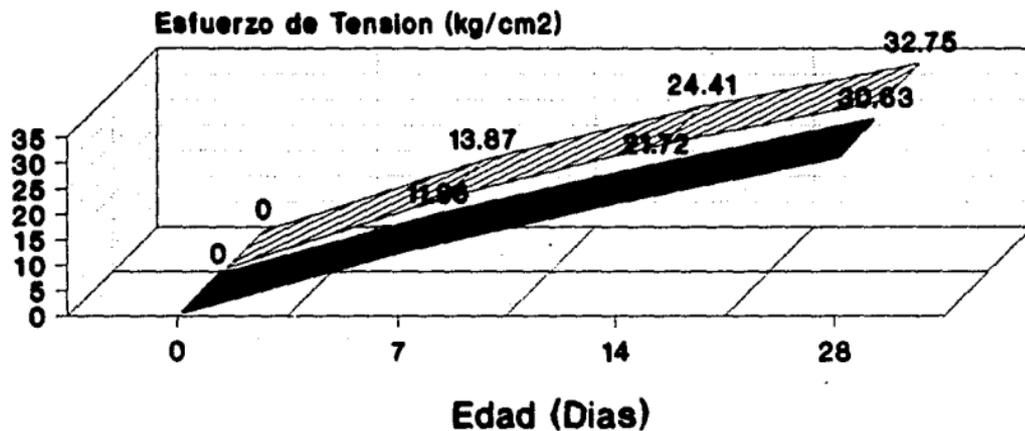
Concreto Simple



Concreto Fibroso

Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Tension



Simbologia



Concreto Simple



Concreto Fibroso

Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para concreto $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

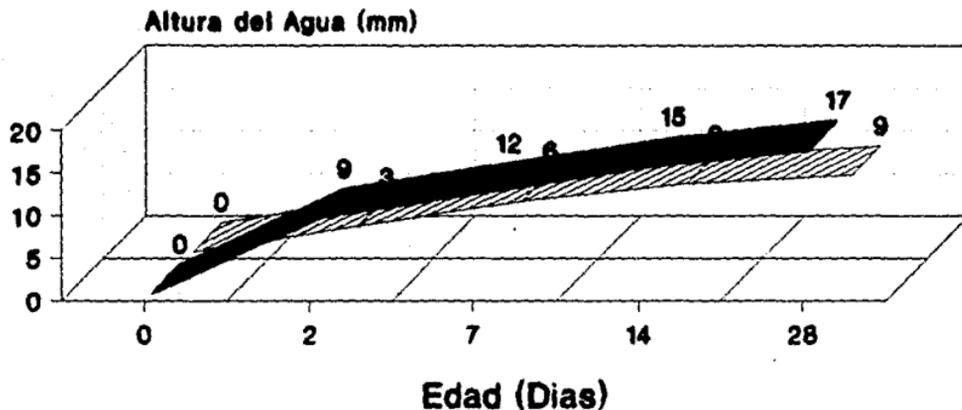
PERMEABILIDAD $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Edad	Concreto Simple	Concreto Fibroso
	Altura del agua (mm)	Altura del agua (mm)
2	9	3
7	12	6
14	15	8
21	17	9

PERMEABILIDAD $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

2	1	0
7	3	1
21	6	3
28	7	4

Permeabilidad



Simbologia



Concreto Simple



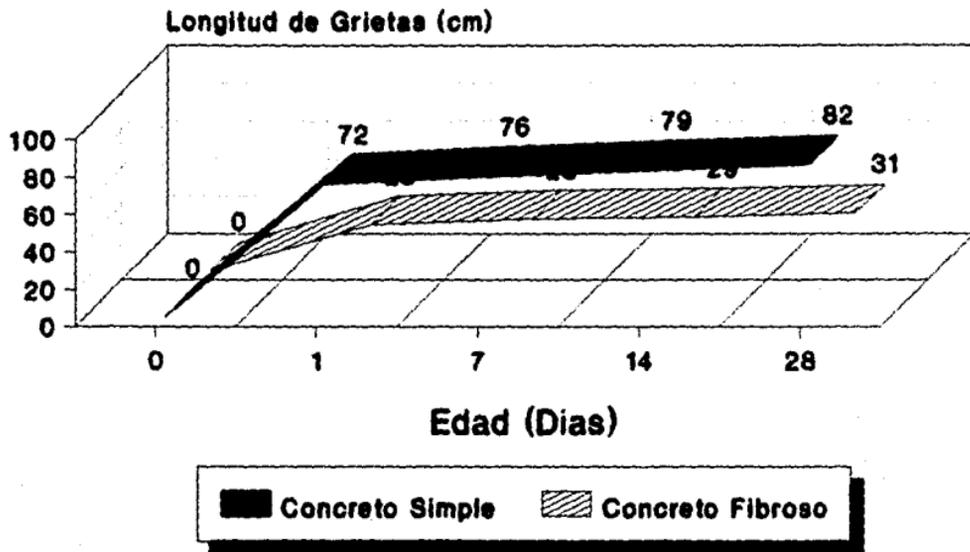
Concreto Fibroso

Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

AGRIETAMIENTO $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Edad	Concreto Simple Long (cm)	Concreto Fibroso Long (cm)
1	25.0	72.0
7	28.0	76.0
14	29.0	79.0
28	31.0	82.0

Agrietamiento



Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$
NOTA: No hay Grafica para $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

ABRASION mortero cemento-arena 1:5

Edad	Espécimen	Medidas Antes de la Prueba				Prom.
ESPECIMEN SIN FIBRAS						
7	S1	203.67	203.63	203.53	203.28	203.53
7	S2	202.22	203.85	201.91	201.33	202.33
14	S3	200.55	201.08	200.74	201.86	201.06
14	S4	200.24	200.94	200.43	200.97	200.65
28	S5	199.43	201.21	199.32	199.98	199.98
28	S6	206.46	207.14	207.24	207.31	207.04

ESPECIMEN CON FIBRAS

7	F1	201.16	201.39	202.06	201.64	201.56
7	F2	199.68	200.43	200.70	200.46	200.32
14	F3	199.18	199.29	199.40	199.18	199.26
14	F4	201.25	200.96	200.70	201.32	201.06
28	F5	201.22	201.90	202.59	201.78	201.87
28	F6	197.85	197.30	198.37	198.32	197.96

Edad Especimen Medidas Después de la Prueba Prom.

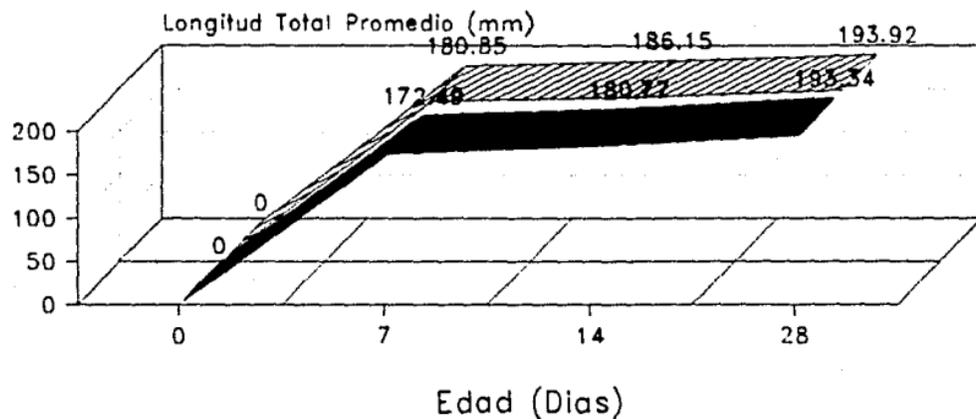
ESPECIMEN SIN FIBRAS

7	S1	173.12	173.09	173.00	172.79	173.00
7	S2	171.89	173.27	171.62	171.13	171.98
14	S3	180.50	180.97	180.67	181.67	180.95
14	S4	180.22	180.85	180.39	180.87	180.59
28	S5	189.46	191.15	189.35	189.98	189.98
28	S6	196.14	196.78	196.88	196.94	196.69

ESPECIMEN CON FIBRAS

7	F1	181.04	181.25	181.85	181.48	181.40
7	F2	179.71	180.39	180.63	180.41	180.29
14	F3	185.24	185.34	185.44	185.24	185.31
14	F4	187.16	186.89	186.65	187.23	186.99
28	F5	195.18	195.84	196.51	195.73	195.81
28	F6	191.91	191.38	192.42	192.37	192.02

Abrasion



Simbologia



Concreto Simple



Concreto Fibroso

Resultados de las Pruebas de Laboratorio
Para mortero 1:5

IV.2 Conclusiones y Comentarios.

Se nota de las gráficas anteriores que se incrementa la calidad del concreto, por lo que obtenemos las siguientes ventajas:

a) Prevención y control del desarrollo de grietas. Esto es muy importante en climas cálidos, donde se dificulta controlar los esfuerzos intrínsecos del concreto. El microagrietamiento es un resultado de estos esfuerzos y se deben a la contracción plástica, al asentamiento y encogimiento por secado.

Como podemos apreciar, después de 24 horas, hay una diferencia de 65.3%. La etapa crítica del estado plástico es de 0 a 24 horas y es donde realmente funcionan las fibras de polipropileno, interceptando las microgrietas y evitando su crecimiento.

El agrietamiento inicial empieza después de una hora y esencialmente todo el agrietamiento ocurre después de 4.5 horas: - sin embargo, la comparación de la propagación de grietas se hace a las 24 horas.

Las fibras también pueden actuar como salvaguarda contra un factor que el ingeniero no puede predecir: las condiciones ambientales a la hora en que el concreto es colocado en obra.

Además, con el empleo de fibras, las diferencias térmicas - en toda la masa se reducen notablemente. Estas diferencias se deben a que la temperatura en la parte superficial de la masa de concreto no es igual a la temperatura del fondo.

El secado de la masa de concreto es más uniforme, debido a que el fenómeno de sangrado es retenido por un mayor lapso de tiempo.

Estas propiedades son particularmente críticas cuando las temperaturas son elevadas o las velocidades de los vientos también lo son.

b) Incremento de la ductilidad y elasticidad del concreto.

Lo anterior lo podemos concluir de las gráficas de las pruebas de flexión, donde se nota que no se presenta una falla frágil, sino que hay un comportamiento más dúctil de las vigas de concreto.

c) Reducción de la Permeabilidad. Las fibras fibriladas de polipropileno pueden disminuir la permeabilidad, haciendo un concreto dimensionalmente más estable. Las fibras ayudan a reforzar lo que se conoce como "zona de transición", y es la interfase entre la pasta del cemento y los agregados.

Reduciendo la migración de agua en esta zona, la permeabilidad general disminuye.

d) Incremento de la Resistencia contra la abrasión y el despedazamiento. Esto es muy útil, especialmente en superficies expuestas a tráfico o a desgaste, como pisos de naves industriales o canchas de tenis o basquetbol.

e) Prevención de la corrosión del acero de refuerzo. El agrietamiento, la permeabilidad y la corrosión se reducen. Estos fac

tores están interrelacionados, ya que uno propaga el otro.

Las condiciones ambientales son fundamentales para determinar el grado en el cual uno propaga el otro.

Esta corrosión afecta notablemente cubiertas de puentes y en general a estructuras cercanas al mar.

f) Aumento en resistencia a la tensión. Esto indica un incremento en la tenacidad, por lo que se producirá un concreto menos quebradizo (más dúctil), lo que resulta en un incremento a la resistencia al impacto.

g) Lo que el concreto fibroso no hace. Hoy en día, los fabricantes están produciendo fibras que no degradan la calidad del concreto, pero a su vez, estas fibras no logran incrementar significativamente algunas de sus propiedades. Esto lo corroboramos porque las resistencias a la compresión y a la flexión no se mejoran apreciablemente.

Hay muchos ingenieros que creen que prácticamente todas las grietas del concreto a largo plazo se deben a causas como, por ejemplo, el movimiento o desplazamiento provocado por el asentamiento de la sub-base.

También se presentan grietas por contracción plástica, las cuales al ser tapadas en su parte superficial con la llana no son notadas y no se sabe que existen o dónde están exactamente.

Las losas no pueden reducir su peralte mediante la adición de fibras. El acero de refuerzo principal no puede ser eliminado y las juntas de contracción en las losas de piso deben de mantenerse a la misma distancia que con un concreto sin fibras.

IV.3 Aplicaciones del Concreto Reforzado con Fibras.

Las aplicaciones del concreto reforzado con fibras pueden clasificarse en seis categorías:

- a) Pavimentos para carreteras y autopistas.
- b) Estructuras hidráulicas.
- c) Concreto lanzado con fibras.
- d) Concreto resistente a acciones mecánicas.
- e) Aplicaciones en elementos estructurales.
- f) Aplicaciones estructurales.

A continuación enunciaremos cada uno de ellos.

a) Pavimentos para carreteras y autopistas.

Tres mejoras importantes han hecho que se seleccione el concreto fibroso como la mejor solución ingenieril a este problema:

i) Una resistencia a la flexión alta (comparada con la del concreto simple) da como resultado un incremento en la vida útil para el mismo espesor.

ii) El espaciamiento entre juntas longitudinales y transversales puede incrementarse. Bajo condiciones de contracción restringida, la mayor capacidad del concreto reforzado con fibras en las deformaciones por tensión, da como resultado un ancho de grieta máxima más pequeño que las obtenidas en el contrato simple.

iii) Las resistencias al impacto y a las cargas repetidas se incrementan. El mezclado, colocación y acabado del concreto con fibra es muy similar al del concreto simple; las losas se han colocado usando métodos manuales.

Los proyectos en los que se ha usado concreto con fibras, incluyen construcción de pavimentos nuevos o reparación de pavimentos existentes por medio del tendido de una capa superior, la cual puede o no estar adherida al pavimento existente.

Un ejemplo importante es la pavimentación de calles en la ciudad de Ensenada. Actualmente, el Consejo Urbano de dicho municipio ha utilizado 16,200 metros cúbicos de concreto fibroso.

b) Estructuras hidráulicas:

La razón principal para usar el concreto con fibras en los proyectos hidráulicos es su resistencia a la migración de agua y a los daños que causa la cavitación y erosión originadas por los flujos de agua de alta velocidad.

Un par de ejemplos notables y recientes en el uso del polipropileno como refuerzo del concreto fueron el lago artificial de la zona recreativa del Grupo Vitro Corporativa, en el que se cubrieron 35,000 m² y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del SEPAJAL (Sistema de Agua Potable del Estado de Jalisco), ubicada en Jocotepec.

c) Concreto Lanzado con Fibra.

Este tipo de concreto se ha usado en la estabilización de -

taludes en roca, en el recubrimiento de túneles y la reparación de puentes. No es necesaria una capa delgada de concreto simple, aplicada monolíticamente sobre el concreto lanzado con fibras, porque no existe el manchado sobre la superficie del concreto debido a que las fibras no se oxidan, ni corroen.

En ciertas aplicaciones, el concreto lanzado con fibras puede llegar a ser una opción más económica que la construcción tradicional por las siguientes razones:

i) Se elimina la dificultad del corte, doblado y fijación del refuerzo convencional para superficies curvas o irregulares.

ii) El tiempo requerido para aplicar un recubrimiento se reduce en forma significativa, lo cual puede ser apropiado para aquellas situaciones donde la superficie de roca recién expuesta requiere sellarse rápidamente.

iii) El material puede ser aplicado en secciones delgadas y seguir el contorno superficial con el consiguiente ahorro en material. El efecto del refuerzo de las fibras en las aplicaciones del concreto lanzado ha mostrado su eficacia en las paredes verticales de roca en las minas de Nacozari, Sonora.

d) Concreto Resistente a Acciones Mecánicas.

Los concretos reforzados con fibras de polipropileno han mostrado ser más durables que los concretos similares pero sin fibras cuando están expuestos a ciclos térmicos o excesos en las

acciones mecánicas.

El incremento en la vida útil se debe probablemente a la combinación de los siguientes efectos propiciados por la presencia de fibras: control del agrietamiento, incremento en la tenacidad y resistencia al despostillamiento y a la abrasión. De ahí que un importante número de industrias estén construyendo losas de piso con concreto fibroso, y por citar ejemplos tenemos:

Bodegas Procter & Gamble (25,000 m²), Nava Industrial Herdez (5,000 m²), Planta SIPESA (1,200 m²), etc.

e) Aplicaciones en Elementos Precolados.

Una gran variedad de aplicaciones aprovechan el mejor comportamiento en cuanto a resistencia a flexión e impacto que tienen los concretos con fibras. Ejemplos de tales aplicaciones incluyen tapas de pozos de registros, tubos de concreto, bases para maquinaria y postes de teléfono.

f) Aplicaciones estructurales del refuerzo con fibras.

Las más amplias aplicaciones se dan en sistemas de piso, en que se sustituye al acero por temperatura y se coloca fibra, resultando una alternativa más económica y más rápida.

Algunas perspectivas para el empleo de las fibras como refuerzo en aplicaciones estructurales se describen a continuación:

- i) El refuerzo con fibras puede restringir el crecimiento -

de las grietas, tanto en longitud como en ancho, lo que puede permitir el uso de acero de alta resistencia sin anchos de grietas y deformaciones excesivas bajo cargas de servicio.

ii) El refuerzo con fibras puede trabajar en forma secundaria como refuerzo adicional por cortante. La resistencia al cortante por penetración en losas se puede incrementar y una falla frágil; por penetración se puede transformar en una falla dúctil.

iii) En miembros de concreto presforzado, la adición de las fibras de refuerzo reduce las pérdidas de presfuerzo debido a la contracción y deformación del concreto.

iv) El refuerzo con fibras puede incrementar la resistencia al impacto de vigas reforzadas en forma convencional. También se pueden incrementar la resistencia al daño local y al despostillamiento.

v) El refuerzo con fibras puede mejorar la estabilidad e integridad de estructuras de concreto reforzadas en forma convencional cuando se ven expuestas al efecto de sismos y explosiones.

En la actualidad se dispone de suficientes datos para diseñar elementos estructurales de concreto reforzado y presforzado con fibras de polipropileno, hasta ahora hay bastantes aplicaciones en estructuras reales, sin embargo, las perspectivas de uso en obras futuras son enormes.

Como ejemplos de obras realizadas tenemos casdas monolíticas de concreto en Colima, Col. y en Cuernavaca, Mor., numero sos edificios en la ciudad de México que colaron losas con fibra en vez de malla electrosoldada o elementos prefabricados y fachadas con concreto fibroso.

BIBLIOGRAFIA

- "Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado". Oscar Gonzá-
les Cuevas, et al. Limusa, México, 1981.
- "Breakthrough to increase the life of concrete structures". -
Building & Construction, julio 1987.
- "Concreto reforzado con Fibras de Acero al Carbón". Mario Mon-
tero, Carlos Mendoza, Alberto Fuentes. Instituto de Ingeniería
UNAM, 1988.
- "Diseño de Mezclas de Concreto". George B. Southworth, Centro
Técnico de la División Concreto, Grupo Tolteca, S.A. de C.V.,
1987.
- "El efecto de las Fibras Sintéticas en el Hormigón". Paul P.
Krail, A.L. Landau, Fibermesh Company.
- "Fibermesh Concrete Engineering Data Report F.E.D. No. 1". Fi-
bermesh Co. Chattanooga, Tennessee.
- "Fiber Reinforcement for Concrete", Antoine E. Naaman, Concre-
te International, March, 1985.
- "Forta, three dimensional fibrous polypropilene reinforcement
for concrete". Forta Corporation, 100 Forta Drive, Grove City,
Philadelphia, PA.

"Método de prueba estándar para tenacidad a la flexión y resistencia a la primera grieta de concreto reforzado con fibras, - usando una viga con tres puntos de carga". ASTM C-1018.

"Non structural cracks in concrete". Report of a concrete society working party. The concrete Society, Wexham Spring, London, 1982.

"Práctica para dosificar concreto normal, concreto pesado y concreto masivo". Comité ACI 211, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

"Problemas en el Concreto, causas y soluciones". John C. Ropke, IMCYC.

"Standard Specification for fiber reinforced concrete and shotcrete". ASTM C-1116.

"Synthetic fibers find a place in concrete". Concrete International, March, 1986.

"The prospects of using polypropylene fiber as a concrete additive in high quality concrete". Seminar on the addition of polypropylene fiber in the stabilisation of concrete. Irman Nurdin, Jakarta, Indonesia, 1990.

"The relationship of Fiber reinforced concrete to permeability". Gary Vondran & Ted Webster. Webster Engineering Associates Inc. Cleveland, Ohio.