

# Hormigones especiales con adición de fibras

Rosa Herrera de la Rosa\*

## RESUMEN

El trabajo realiza una experimentación para apreciar el efecto de las fibras en las características mecánicas en los hormigones, para ser aplicado en la tecnología de las losas delgadas de hormigón en la rehabilitación de pavimentos asfálticos, conocida también como ultrathin whitetopping en su terminología en inglés. Se emplearon dosificaciones de hormigón de alta resistencia con  $R'_{bk} > 40$  MPa y se utilizaron diferentes tipos y tamaños de fibras importadas, que incluyeron fibras de polipropileno cortas y largas y fibras estructurales plásticas y metálicas. Se determinó su efecto ante las resistencias a la compresión, flexión y tracción del hormigón, así como su influencia en la retracción y la reología del hormigón.

**Palabras Clave:** Hormigón de alta resistencia (HAR), fibras, losas delgadas.

## Fibers added to concrete

### ABSTRACT

The work relates the details of an experiment about the effect of fibers on the mechanical characteristics of concrete. This technology can be applied in the manufacture of ultra thin white toppings. Samples of high resistance concrete were used with  $R'_{bk}$  40 MPa. Furthermore, different types and sizes of fibers, like long and short polypropylene, plastic and metallic structural fibers, were used. Their effects were determined by testing the compression, flexibility, and traction strengths, as well as retraction effects and effects on the rheology of the samples.

**Key words:** High Strength Concrete (HSC), fiber, white topping.

\* Investigador Agregado  
Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción.  
Carretera a Casa blanca y Calle 70. Rpto. Bahía. Municipio Regla.  
Correo electrónico: rosita@ctdmc.com.cu Teléfonos: 95.27.21 y 95.37.20  
Fecha de recepción: 13 de abril de 2005  
Fecha de aprobación: 10 de mayo de 2005

## INTRODUCCIÓN

Los hormigones para pavimentos se diferencian, en general, de los utilizados en las estructuras reforzadas en las características especiales que presentan, entre las que podemos mencionar: las solicitaciones mecánicas de carga y descarga instantáneas, tensiones de flexión, alta frecuencia en las aplicaciones de las cargas, así como, por las condiciones acentuadamente variables de su exposición al medio ambiente, una superficie protegida y otra sometida a los ciclos de fuertes gradientes térmicos con extremas variaciones higrométricas, desgastes por abrasión y eventualmente ataques químicos.

Según la literatura internacional, la adición de fibras en el hormigón, constituye una práctica habitual para mejorar el comportamiento del pavimento ante: las solicitaciones de flexión, controlar el agrietamiento, mejorar la resistencia al impacto, la ductilidad y resistencia a la fatiga del hormigón.

En nuestro país no se han desarrollado investigaciones sistemáticas ni estudios de factibilidad que permitan considerar las posibilidades de importación de fibras para aplicaciones en pavimentos de hormigón fibro-reforzados. Por ello se planteó una experimentación para apreciar el efecto de las fibras en las características mecánicas en los hormigones, empleando fibras de diferentes tipos y tamaños.

Las investigaciones de laboratorio estarán destinadas a su aplicación en la tecnología de las losas delgadas de hormigón para la rehabilitación de pavimentos asfálticos, conocida también como ultrathin whitetopping en su terminología en inglés.

## MATERIALES UTILIZADOS

### CEMENTO

Se caracterizó el cemento Pórtland procedente de la fábrica de Mariel en la Habana, identificados según la norma NC 54: 205-1980 como P-350.

El cemento procedente de la fábrica Mariel muestra un contenido superior de aluminato tricálcico (7%), característico de esta fábrica, lo que influye en el incremento de la resistencia en las edades tempranas, muy conveniente para su utilización en los hormigones de apertura rápida al tráfico. La resistencia a los 28 días alcanzó los 42.5 MPa, superior al mínimo de 35.0 MPa especificado por la norma NC-54-205:80 para los cementos Portland de calidad P-350.

### ÁRIDOS

En las pruebas experimentales realizadas se emplearon áridos fundamentalmente procedentes de Provincia Habana con las siguientes características:

- ◆ *Gravilla Dragón Camoa*. Árido de origen calizo procedente de la zona 1 (San José), con tamaño 20mm.
- ◆ *Arena Dragón Camoa*. Árido obtenido por la trituración de la roca clasificada geológicamente como una arenisca calcárea procedente de la zona 1 (San José) con tamaño máximo 5.0mm.

Los áridos caracterizados correspondientes a la zona 1 de la cantera Dragón Camoa corresponden a áridos calizos de calidad superior con bajos por cientos de porosidad, con una Triturabilidad en estado seco correspondiente a la marca de 100 MPa.

### ADITIVO QUÍMICO

El aditivo empleado denominado GENIOTEC SF 44 es un aditivo retardador específicamente destinado a la producción de hormigones premezclados, a partir de polinafteleno sulfonado con adiciones de lignosulfonato modificado, producido en el CTDMC. Este aditivo proporciona un efecto notable en el incremento de la laborabilidad, alto por ciento de reducción de agua (hasta 28%) y un retardo de la permanencia de esta acción de 1,5 a 2 horas en dependencia del por ciento de utilización del mismo (0.7 a 1.2 %). Presenta un tiempo de fraguado de 4 a 8 horas.

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL ADITIVO SÚPER-PLASTIFICANTE RETARDADOR SF-44**

| SF - 44       |                        |
|---------------|------------------------|
| Concentración | 40%                    |
| Densidad      | 1.20 g/cm <sup>3</sup> |

El empleo de estos aditivos permitirá altos efectos reológicos en las mezclas a emplear debido a la actividad dispersante de naturaleza electroquímica con la que se cargan, transitoriamente, las partículas minerales del cemento y otros aglutinantes, originándose su separación y con ello las posibilidades de una mayor hidratación, y reducción del contenido de agua en la mezcla, lo que no es posible en las tecnologías convencionales que no emplean aditivos.

### ADITIVO MINERAL. PUZOLANA

La adición que se analizó fue una puzolana natural procedente del yacimiento San Ignacio en la provincia de La Habana la cual para su utilización fue secada, triturada y finalmente pulverizada en un molinillo de bolas hasta finura de 90% en el tamiz de 44 micras habiendo previamente pasado el contenido por un tamiz de 1mm para eliminar las partículas mayores. Se le realizaron mediciones de su actividad puzolánica en morteros Cal-puzolana mediante dos métodos: método de ensayos mecánicos del Instituto Científico de la Construcción "Eduardo Torroja" (ICCET) y método de las partes solubles o método químico desarrollado en el CTDMC.

Según el método del ICCET se determinó la resistencia a compresión en probetas 40 x 40 x 160mm, conservadas en cuarto de curado cerrado y ensayadas a la edad de 7 días.

**TABLA 2. ACTIVIDAD PUZOLÁNICA EN MORTEROS CAL-PUZOLANAS SEGÚN EL MÉTODO DEL INSTITUTO CIENTÍFICO DE LA CONSTRUCCIÓN "EDUARDO TORROJA" (ICCET) Y POR EL MÉTODO DE LAS PARTES SOLUBLES.**

| Zeolita        | Método del ICCET<br>Resistencia a<br>compresión (MPa) | Método Partes<br>solubles (%) |
|----------------|---|-------------------------------|
| San Ignacio    | 9.1   | 31.00                         |
| Especificación | 7-10 Activa   | > 20% Buena                   |

Las puzolanas naturales cubanas cumplen con las exigencias de actividad especificadas por la norma ASTM- C618-91 para aditivos minerales tipo N.

## FIBRAS

Para la realización del estudio se emplearon fibras de polipropileno cortas y largas y fibras estructurales plásticas y metálicas, cuyas características se reflejan a continuación en la Tabla 3.

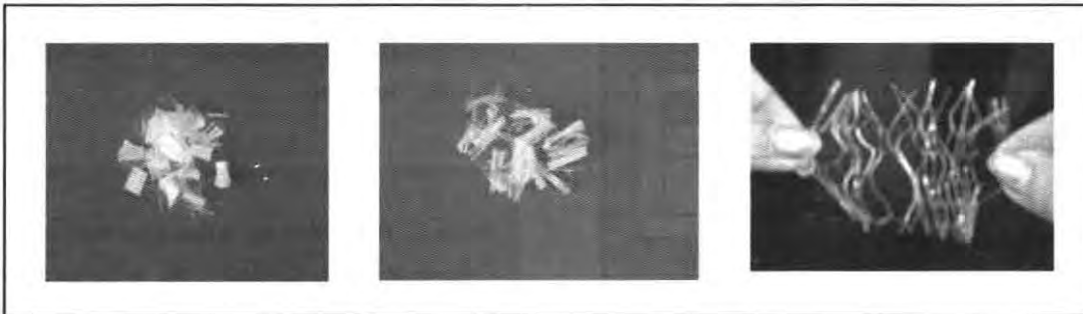
Las Figuras 1 y 2 muestran los tipos de fibras empleados en la experimentación.

**TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS EMPLEADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN**

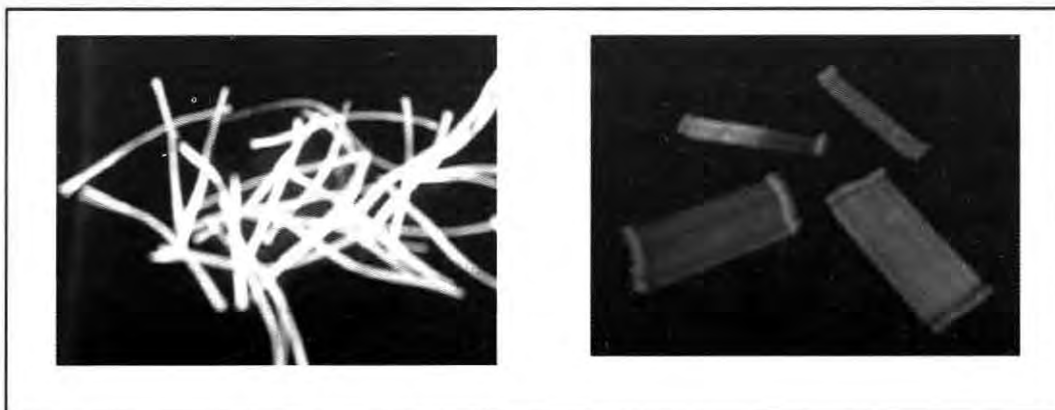
| Tipo de fibra | Tamaño (mm) | Dosificación n (g/m <sup>3</sup> )* | Peso específico o (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------|-------------|-------------------------------------|--|
| Polipropileno | 12          | 600                                 | 0.91                                   |
| Polipropileno | 19          | 1000                                | 0.91                                   |
| Polipropileno | 38 y 50     | 900                                 | 0.93                                   |
| Plásticas     | 50          | 2500                                | 0.97                                   |
| Acero         | 60/0.8      | 20 000                              | 7.8                                    |

\*Recomendado por el fabricante

**FIGURA 1. FIBRAS DE POLIPROPILENO. DE IZQUIERDA A DERECHA: TAMAÑO 12MM, 19MM Y 50MM. NÓTESE QUE LAS FIBRAS LARGAS SON ENTRETEJIDAS**



**FIGURA 2. FIBRAS ESTRUCTURALES. DE IZQUIERDA A DERECHA: FIBRA ESTRUCTURAL PLÁSTICA (CADA TIRA FORMA UN HAZ DE FIBRAS AGLUTINADAS) Y FIBRA ESTRUCTURAL METÁLICA**



## DOSIFICACIONES

Se utilizó una dosificación base para la obtención de hormigones de alta resistencia, del orden de los 45 MPa de resistencia a compresión y 6 MPa de modulo de rotura, necesarios para la tecnología del *whitetopping delgado*. A partir de la cual se realizaron las dosificaciones con adición de fibras empleando los contenidos de fibras recomendados por los fabricantes.

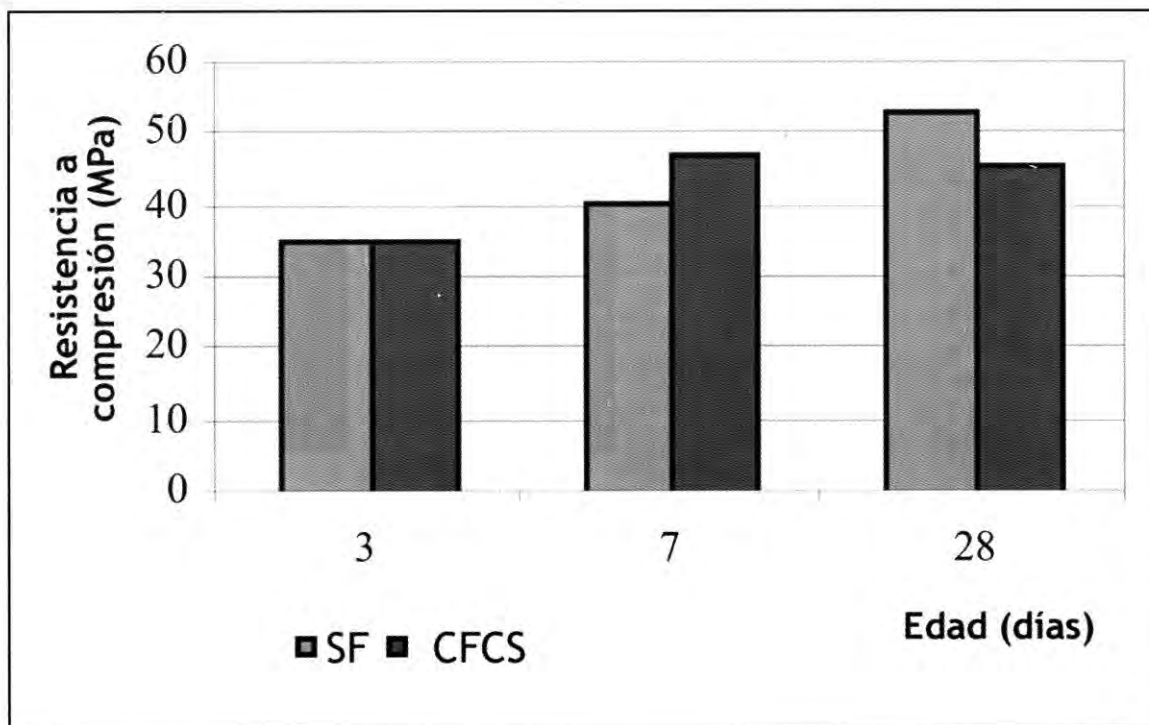
Los materiales fueron mezclados en una mezcladora de 50 litros de capacidad y posteriormente el hormigón fue compactado en una mesa vibradora con frecuencia de 3000rpm.

El curado fue realizado en cámara húmeda hasta las edades de ensayos programadas. Para los ensayos de resistencia a compresión se elaboraron probetas cilíndricas  $\phi$  150 x 300mm, las cuales cumplieron con los requisitos establecidos en la Norma Cubana NC 054.109:85.

En el ensayo de flexión se emplearon probetas prismáticas de 100 x 100 x 400mm, las que cumplieron con las especificaciones de la Norma Cubana NC 054.111:78.

Se realizó además mediciones de la resistencia a tracción indirecta empleando el método brasilero según la UNE 83-306:85.

**GRÁFICO 1. EFECTO DE LA FIBRA DE 12 MM EN PROBETAS 150 X 300 MM.  
ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.**





## RESULTADO DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES

### FIBRA DE POLIPROPILENO CORTA

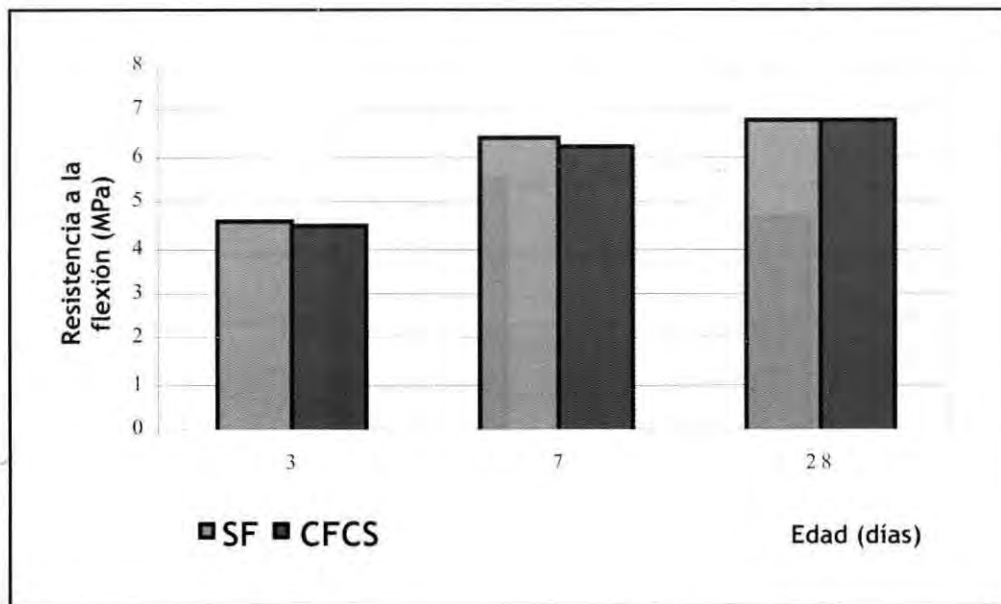
Se realizaron dos dosificaciones de hormigón que abarcaron las mezclas sin fibras y con adición de fibra de tamaño 12mm.

Los valores de resistencia a flexión de las mezclas con fibras (CFCS), no muestran incrementos respecto al hormigón sin fibra (SF), según se puede apreciar en el Gráfico 2.

Por su parte los resultados obtenidos de la resistencia a compresión presentan ciertas discontinuidades ya que no mantienen el ligero crecimiento iniciado a los 7 días en la edad de 28 días, esto puede deberse a problemas de compactación de las probetas ocasionados por la pérdida de plasticidad que se ocasiona al incorporar la fibra. En líneas generales se puede decir que no se obtienen incrementos significativos en la resistencia a compresión por la adición de la fibra.

En el ensayo de tracción indirecta, se obtuvo cierto crecimiento de la resistencia cuando se adiciona la fibra, con valores del orden a los mencionados en la literatura consultada (8º Congreso Mundial de Carreteras, 1998).

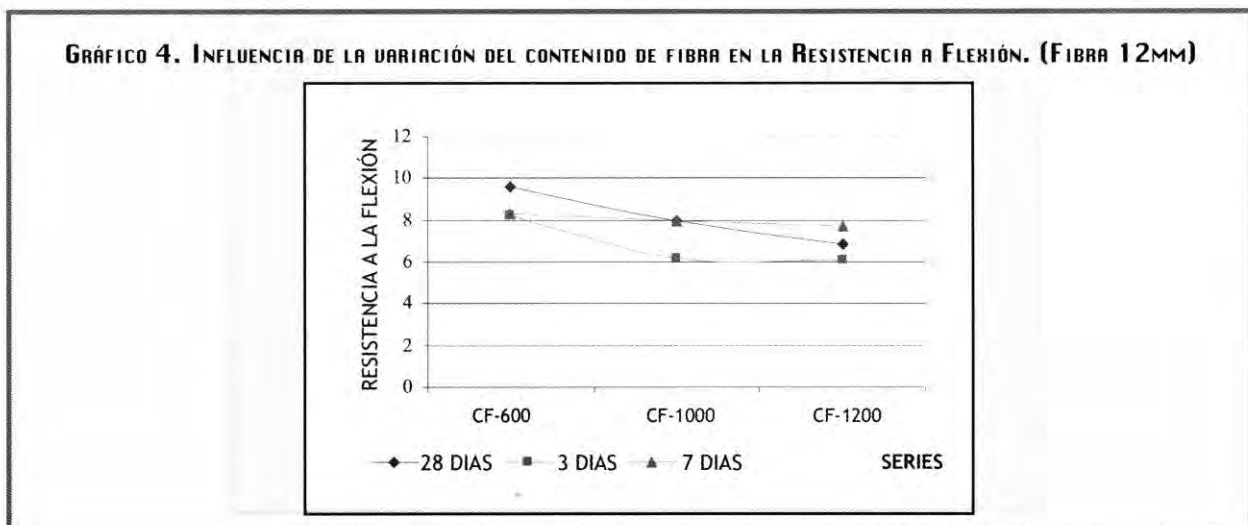
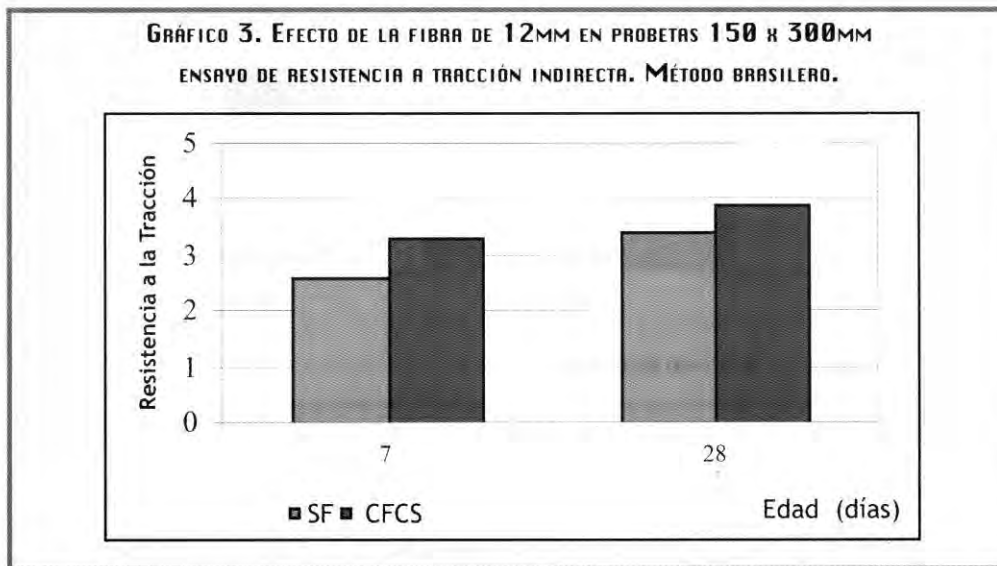
**GRÁFICO 2. EFECTO DE LA FIBRA DE 12 MM EN PROBETAS 100x100x400 MM.  
ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN.**



Los resultados inicialmente obtenidos en los hormigones con adición de fibra de polipropileno corta, muestran cierta contradicción a lo establecido en la literatura internacional respecto a la mejora del hormigón ante las sollicitaciones de flexión por adición de fibras. La explicación de este resultado pudiera deberse a dos cosas: que el contenido de fibra sea insuficiente considerando que en la literatura consultada se mencionan contenidos de fibras en un rango entre 1.4 a 1.8Kg/m<sup>3</sup> (8° Congreso Mundial de Carreteras, 1998), muy superiores a los recomendados por los fabricantes para esta experimentación (600g/m<sup>3</sup>), o que como estamos trabajando con hormigones

de alta resistencia a la flexión, la fibra tiene poco que aportar a las propiedades mecánicas de este hormigón.

A partir de estas hipótesis se procedió a realizar un estudio variando el contenido de fibra. En el gráfico 4 se representa el comportamiento de la resistencia a la flexión con el incremento del contenido de fibra, observándose que los mayores resultados se obtienen para el contenido de fibra recomendado por el fabricante (600g). Desechándose la hipótesis de la necesidad de incrementos en el contenido de fibra para obtener beneficios en la flexión.

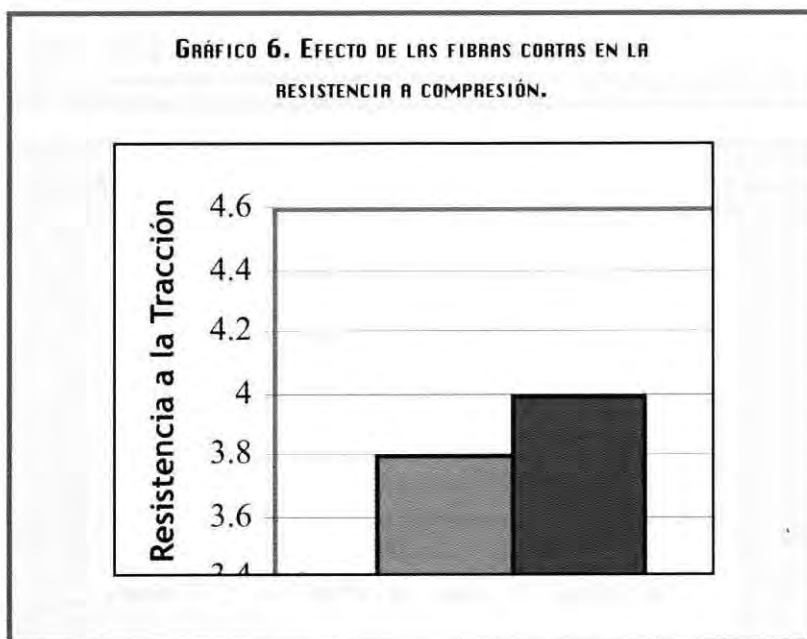
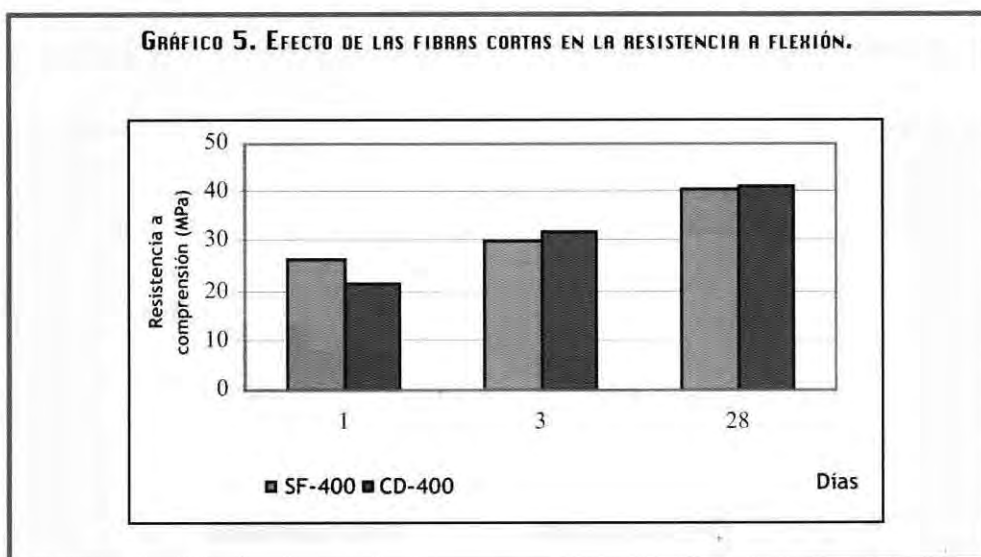


Con el objetivo de comprobar la hipótesis relacionada con el efecto de la fibra y la calidad del hormigón se desarrollaron nuevas dosificaciones para bajar la resistencia del hormigón al orden de los 40 MPa.

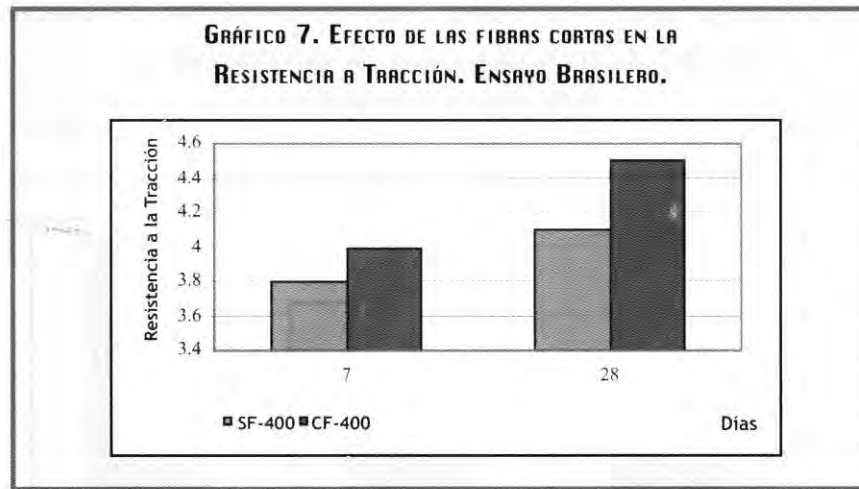
En los Gráficos 5 y 6 se puede apreciar que al obtener un hormigón base (sin fibra) de menor calidad (40 MPa), se obtuvo un ligero incremento, al adicionar las fibras, en las resistencia a flexión del orden de 0.5 a 0.6 MPa y en la resistencia a compresión con relación a los hormigones sin fibra.

Por su parte la resistencia a la tracción mostró un incremento superior al que ya se había obtenido en las dosificaciones anteriores para hormigones de 45 MPa.

Parece entonces evidente que la fibra corta aportará los mayores beneficios a la flexión en hormigones de resistencia normal del orden de los 5 MPa ( $R'_{bk} = 30$  MPa).







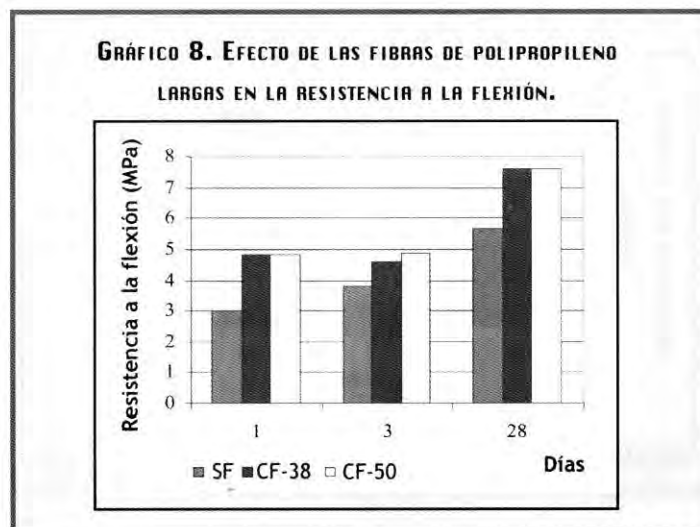
**FIBRA DE POLIPROPILENO LARGA**

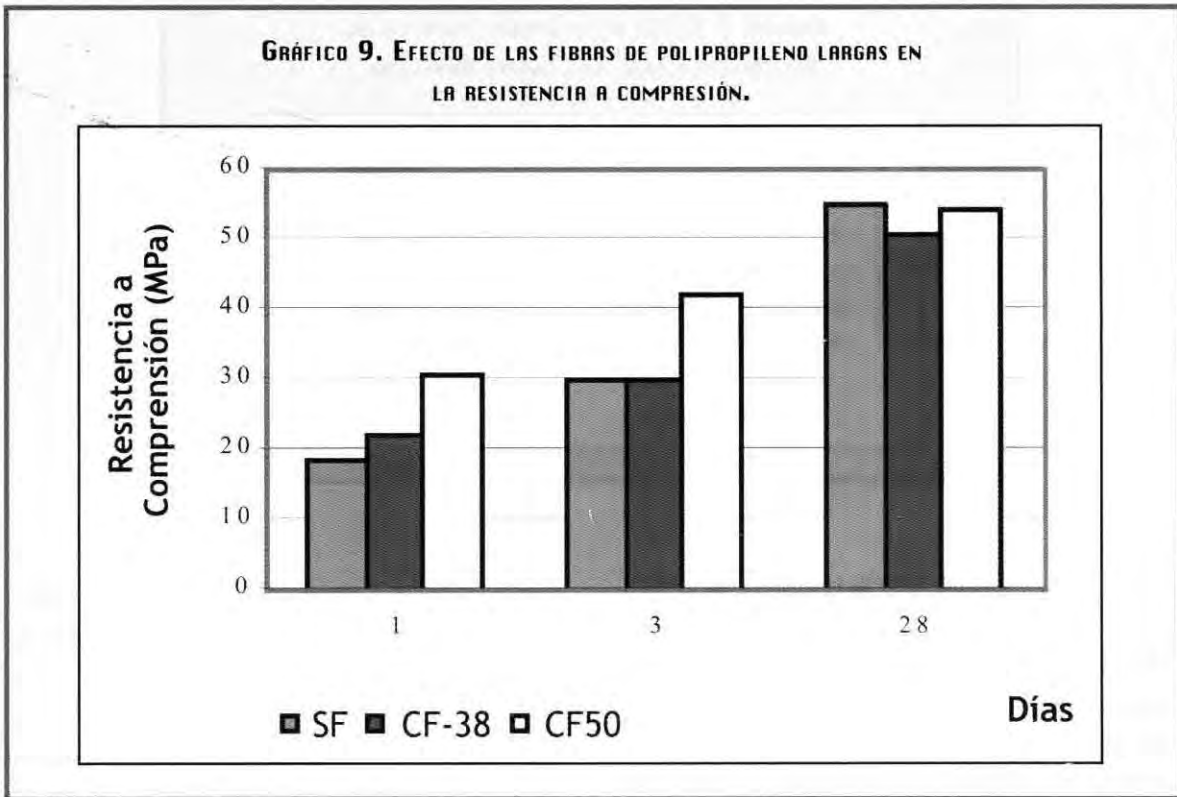
Se procedió a realizar los estudios utilizando otros tamaños de fibras para obtener beneficios más significativos en las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión en los hormigones de alta resistencia estudiados. Para lo cual se emplearon fibras de tamaño 38 y 50mm.

Los valores de la resistencia a flexión del hormigón, obtenidos con la adición de fibras largas, muestran un beneficio apreciable con relación al hormigón sin fibra (SF), no apreciándose diferencia entre los

tamaños de 38 y 50mm. Los incrementos obtenidos al adicionar la fibra se encuentran en el orden de los 2 MPa a los 28 días.

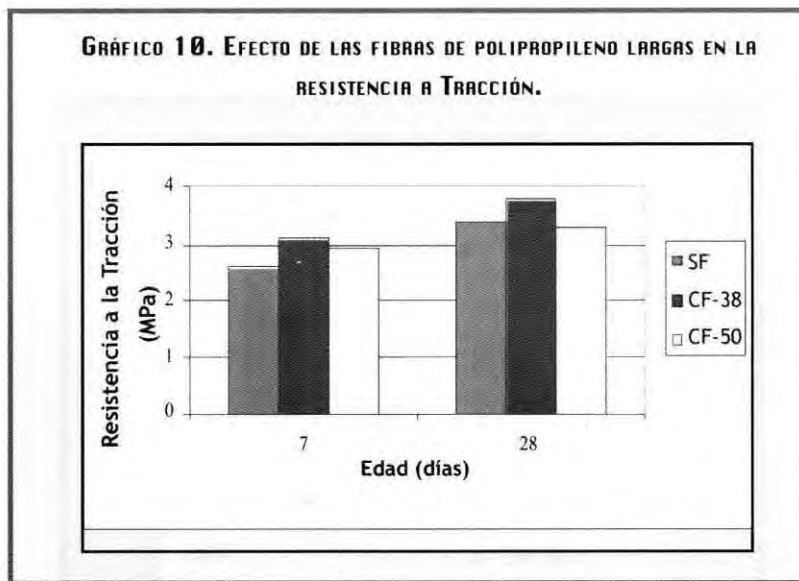
Los valores de resistencia a compresión obtenidos muestran un rápido crecimiento de la resistencia en las primeras edades (1 y 3 días), cuando se emplea la fibra de 50mm, lo cual es beneficioso ya que en esta etapa es donde el hormigón sufre las mayores tensiones producto de los procesos iniciales de hidratación y secado, beneficiando su comportamiento al agrietamiento y fisuración. La fibra de 38mm no muestra efectos apreciables en la resistencia a compresión del hormigón.





Por su parte los resultados obtenidos en la resistencia a tracción indirecta del hormigón, expuestos en el Gráfico 10, muestran incrementos con relación al hormigón sin fibra para las primeras edades

fundamentalmente, similarmente a lo sucedido en la resistencia a compresión, mostrándose en este caso ligeramente superior la fibra de 38mm.



## FIBRAS ESTRUCTURALES

En líneas generales se puede establecer que no existe diferencia significativa entre la fibra de 38mm y la de 50mm en los beneficios que produce en las resistencias mecánicas del hormigón, por lo que resulta factible el empleo de cualquiera de las dos.

De la experimentación desarrollada con las fibras de polipropileno se ha podido apreciar además que la adición de fibras modifica la consistencia de la mezcla siendo necesario incrementar el consumo de aditivos reductores de agua (superplastificante) para conservar su consistencia de manera que no se afecte la compactación de las probetas. Se hace necesario controlar el tiempo de vibrado en tanto el contenido de fibra produce cierta resistencia a la compactación.

La distribución de la fibra en el mezclado no causó inconvenientes, no se formaron los temidos "erizos" de fibras, observándose de manera homogénea en toda la masa (Figura 3).

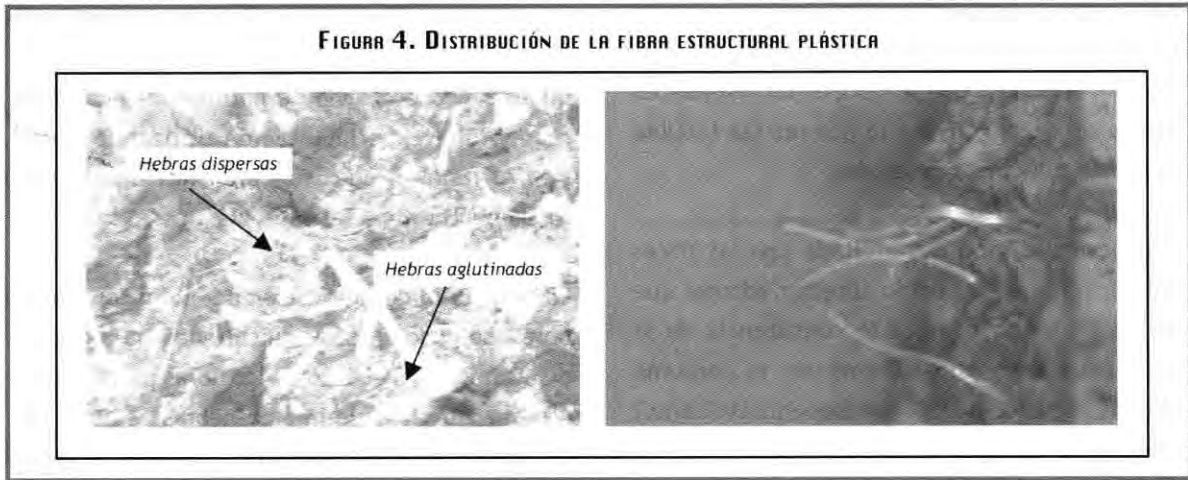
Continuando el diseño de hormigones especiales se realizó una experimentación utilizando fibras de tipo estructural que abarcaron dos tipos de fibras fundamentales: metálicas y plásticas.

En el proceso de fabricación del hormigón con estas fibras, se pudo apreciar dificultades en la dispersión de las fibras. En el caso de las fibras plásticas que se ofertan en forma de haz de hebras aglutinadas, se distribuyeron de esa manera en el área de la probeta, sin producirse la completa dispersión de las mismas, lo cual es posible apreciar en la Figura 4.

**FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE LA FIBRA LARGA DE POLIPROPILENO EN EL ÁREA DE LA PROBETA.**



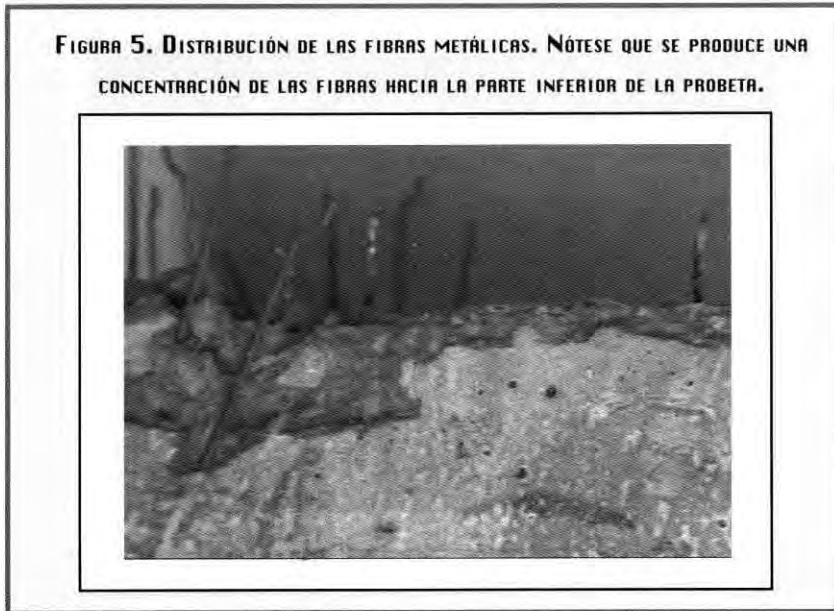
**FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE LA FIBRA ESTRUCTURAL PLÁSTICA**



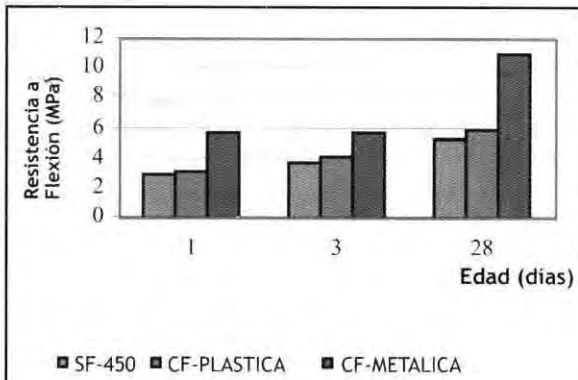
Por su parte en la fabricación de las probetas con fibras metálicas se produjo una afectación apreciable de las características plásticas del hormigón siendo necesario el incremento del porcentaje de aditivo. Se pudo apreciar que existe un porcentaje del total de fibras añadido que no se orientan en el sentido de la flexión, se observó además una dispersión adecuada de la fibra en toda la masa del hormigón; sin embargo, en algunas probetas existió la tendencia a agruparse en la zona inferior de la probeta (Figura 5) debido probablemente a problemas en la compactación de las probetas.

En los Gráficos 11, 12 y 13 se muestran los resultados alcanzados en la experimentación en el laboratorio. La fibra estructural plástica mostró un comportamiento por debajo de las fibras de polipropileno en cuanto a los valores de resistencia a la flexión y compresión. Sin embargo, incrementó notablemente la resistencia a la tracción en relación a los valores obtenidos con las fibras de polipropileno, alcanzándose valores similares a los obtenidos con las fibras metálicas (8 MPa).

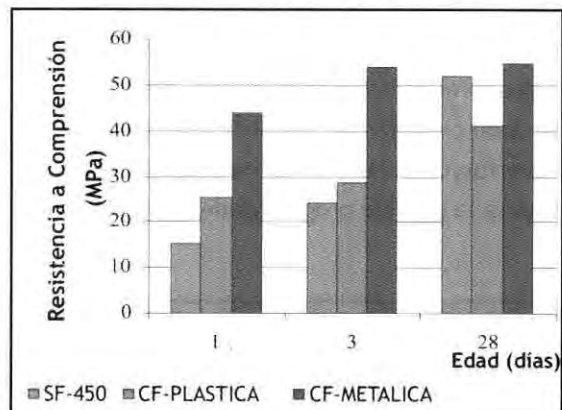
**FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DE LAS FIBRAS METÁLICAS. NÓTESE QUE SE PRODUCE UNA CONCENTRACIÓN DE LAS FIBRAS HACIA LA PARTE INFERIOR DE LA PROBETA.**



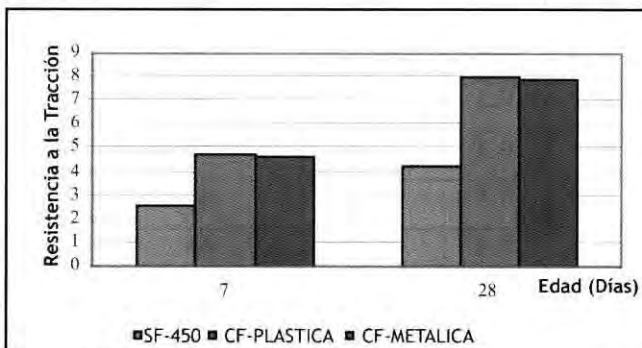
**GRÁFICO 11. EFECTO DE LAS FIBRAS ESTRUCTURALES EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PROBETAS DE 10x10x40CM**



**GRÁFICO 12. EFECTO DE LAS FIBRAS ESTRUCTURALES EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS DE 15x30CM.**



**GRÁFICO 13. EFECTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EMPLEANDO FIBRAS ESTRUCTURALES. ENSAYO BRASILEIRO.**



La fibra de acero proporcionó al hormigón una alta resistencia inicial (24 h) tanto a la flexión como a la compresión, del orden de 5.7 MPa y 43 MPa respectivamente y valores elevados de la resistencia a flexión a los 28 días (11 MPa), lo que muestra su trabajo como refuerzo del hormigón.

Los valores experimentales obtenidos con la fibra metálica permiten la posibilidad de reducir el espesor de la losa de pavimento a diseñar, lo que compensaría económicamente los costos del pavimento en caso de emplearse la fibra metálica.

#### INFLUENCIA DE LA FIBRA EN LA RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN

Junto a las investigaciones del comportamiento físico-mecánico del hormigón se realizaron mediciones del efecto de la fibra corta de polipropileno en la retracción del hormigón en estado fresco. Para este fin se elaboraron probetas de 30x30x5cm en moldes metálicos que fueron expuestas al medio ambiente, determinándose la pérdida progresiva del agua en el tiempo.

Para la medición de la retracción se midió el área del molde y posteriormente el área de la losa, la diferencia obtenida equivale a la retracción de la losa.

**TABLA 4. MEDICIONES DE RETRACCIÓN DE LA LOSA**

|                | MOLDE (CM <sup>2</sup> ) | LOSA (CM <sup>2</sup> ) | DIFERENCIA (CM <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| SIN FIBRA (SF) | 903                      | 894.01                  | 8.99                          |
| CON FIBRA (CF) | 906.01                   | 900.0                   | 6.01                          |

|   |                      |
|---|----------------------|
| DIFERENCIA ENTRE EL HORMIGÓN SF Y CF    | 2.98 CM <sup>2</sup> |
| BENEFICIO DE LA FIBRA EN LA RETRACCIÓN. | 33.0 %               |

De las mediciones realizadas se pudo observar una disminución en la retracción de la losa de hormigón elaborado con fibra, obteniéndose una reducción de la misma del orden del 33% con relación al hormigón sin fibra.

**TABLA 5. REGISTRO DE EXPOSICIÓN**

| HORA     | PESO (KG) |      |      |      | TEMP* (°C) | HUMEDAD * RELATIVA (%) |
|----------|-----------|------|------|------|------------|------------------------|
|          | SF        | DIF. | CF   | DIF. |            |                        |
| 10:00 am | 33.7      | 0    | 30.4 | 0    | 29.0       | 61                     |
| 11:00 am | 33.7      | 0    | 30.3 | 0.1  | 29.6       | 60                     |
| 12:00 m  | 33.6      | 0.1  | 30.3 | 0.2  | 29.9       | 59                     |
| 1:00 pm  | 33.6      | 0.1  | 30.2 | 0.3  | 30.0       | 60                     |
| 2:00 pm  | 33.5      | 0.2  | 30.1 | 0.3  | 30.2       | 59                     |
| 3:00 pm  | 33.4      | 0.3  | 30.0 | 0.4  | 29.8       | 63                     |
| 4:00 pm  | 33.4      | 0.3  | 30.0 | 0.4  | 29.0       | 66                     |

\*datos tomados de la estación casa blanca el jueves 12/4/2001 del instituto de meteorología



**TABLA 6. DATOS DE LA FUNDICIÓN DE LAS LOSAS.**

| Hora fundición | Tipo de losa        | Consistencia | Temperatura ambiente |
|----------------|---------------------|--------------|----------------------|
| 11:00 am       | Sin fibra           | 24.5         | 35 °C                |
| 11:45 am       | Fibra corta (19 mm) | 21.8         | 35 °C                |
| 9:30 am        | Fibra larga (50 mm) | 18.3         | 30 °C                |

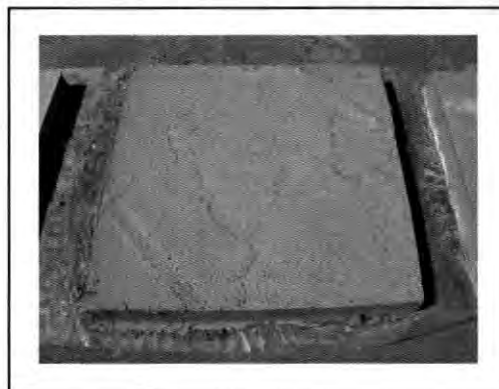
La pérdida por evaporación máxima obtenida al cabo de 6 horas de exposición resultó de 0,4Kg en un área de 0.09m<sup>2</sup> correspondiente al área de la probeta. Según el nomograma de la ACI 308-92 en sus recomendaciones prácticas para el curado del hormigón establece que el porcentaje máximo de pérdida de agua por evaporación admisible sin que se produzca fisura debe ser 1Kg/m<sup>2</sup>/hora. Si extrapolamos los datos obtenidos de las probetas a m<sup>2</sup>/hora obtenemos que la pérdida es de 0.7Kg/m<sup>2</sup>/h, lo que cumple los requisitos de fisura, lo cual se aprecia en la observación visual la no formación de fisuras plásticas por retracción.

En aras de verificar los resultados obtenidos en el laboratorio con relación al beneficio de las fibras en los procesos de fisura del hormigón, se programó una experimentación a mayor escala conformando losas de pavimentos de 1m<sup>2</sup> y 10cm de espesor.

Estas losas fueron realizadas bajo temperatura ambiente, característica de nuestras condiciones climáticas medidas en el área de fundición. En la Tabla 6 se muestran las características fundamentales de las losas.

En las losas realizadas sin ningún tratamiento (sin fibras, ni curado) se pudo observar fisuras a las 24 horas (Figura 6), sobre todo en las esquinas, producto probablemente de la alta fluidez apreciada en el hormigón, produciendo un exceso de pasta en la superficie, lo que unido a la alta temperatura ambiente produjo una rápida evaporación del agua superficial produciendo una fisura por contracción del hormigón.

**FIGURA 6. LOSA DE 1M<sup>2</sup> SIN FIBRAS NI CURADO PRESENTANDO FISURAS EN EL CENTRO Y EN LAS ESQUINAS.**



Las losas con adición de fibra de polipropileno no mostraron fisuras, apreciándose en la elaboración del hormigón una importante disminución en la laborabilidad del hormigón, representada por una reducción de la consistencia en el Cono de Abrams del orden del 11% para la fibra corta y del 25% para la fibra larga con relación a la consistencia obtenida antes de la adición de fibra.

Como conclusiones generales de esta parte se puede establecer que el empleo de las fibras evita la formación de fisuras que se producen en el pavimento sin tratamiento alguno; sin embargo, afectan notablemente la laborabilidad del hormigón, siendo en ocasiones necesario incrementar el contenido de aditivo.

## CONCLUSIONES

1. En los hormigones especiales con adición de fibras, las fibras de polipropileno corta no mostraron beneficio evidente en los parámetros de Resistencia Mecánicas de los hormigones de alta resistencia estudiados. Si embargo, produce beneficios apreciables en los procesos de fisuras de las losas de pavimento.
2. El aporte de las fibras de polipropileno corta, se comienza a apreciar en hormigones de resistencias del orden de los 40 MPa. Por lo que podría esperarse un beneficio mayor en las propiedades mecánicas de los hormigones de resistencias normales (25-30 MPa).
3. En los hormigones de alta resistencia estudiados ( $R'_{bk}=45$  MPa), el Tamaño óptimo de la fibra de polipropileno para obtención de beneficios en las resistencias mecánicas del hormigón, oscila entre 38 y 50mm.
4. La fibra estructural plástica no produjo beneficios importantes en las características mecánicas del hormigón, comportándose de manera similar a las fibras largas de polipropileno.
5. Las fibras metálicas incrementan notablemente las características mecánicas del hormigón, fundamentalmente en las primeras edades. Por lo que permitiría lograr reducciones importantes en el espesor de la losa del pavimento.
6. La adición de fibras, en general, afecta notablemente la consistencia del hormigón, por lo que requiere el incremento del porcentaje de aditivos súper plastificantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Herrera de la Rosa, Rosa. *Empleo de Losas delgadas de hormigón en la rehabilitación de pavimentos asfálticos. Tesis en opción al título académico de Master en Ingeniería vial*. ISPJAE, 2003.
- 8<sup>vo</sup> Congreso Mundial de Carreteras. Memorias. Lisboa. Portugal, 1998.
- ASOCRETO. *Rehabilitación de pavimentos asfálticos con sobrelosas de concreto. Guía Técnica de la Asociación Colombiana de productores de cemento*, 1999.
- Aguado, A; Agullo, L y Gettu, R. "Los hormigones de altas prestaciones en las infraestructuras viarias". Universidad politécnica de Cataluña. *Revista Cemento - Hormigón* 813. (2000).
- Carmona Malatesta, S; Vivianco Morales, J y Jarquera Delhadie, P. *Hormigones de altas prestaciones para pavimentos*.
- Simposio Internacional sobre materiais reforçados con fibras para construcao civil. Julio 1993.
- J. Dardare. « Contribution a` e` tude du comportement mécanique des betons renforcés avec des fibres de polypropylene ». Symposium 1975. Proceeding. Fibre reinforced cement and concrete.
- ACI 544 1R-82. State of the art report on fiber reinforced concrete.
- Bollati Pato, M; Witoszek Schults, B y Hernández Olivares, F. "Pavimentos de hormigón de altas prestaciones con fibras de polipropileno y caucho". *Revista Cemento - hormigón* 813. (2000).
- Soroushian Porviz, Mirza Faiz. "Plastic Shrinkage Cracking of Polypropylene Fiber Reinforced concrete". *ACI Materials Journal*. (1995).
- Laning Anne. "Primarily used to reduce shrinkage cracking, polypropylene, nylon, and polyester fibers offer other benefits as well". *Revista Concrete Construction*. (1992).
- Catálogos FIBERCON/ FIBRATEx - CRACK-STOP (SIKA).
- Catálogos PROMESH Fiber Systems for concrete reinforcement.
- Catálogos DRAMIX. Fibras de acero para refuerzo del hormigón.