



**3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**  
**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



**“EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE PLÁSTICO DE DESECHO”**

J.J. Armenta-Bojórquez, J.H. Castorena-González, J.A. Calderón-Guillén, J.L. Almaral Sánchez, C.R. Parra-Vega.

Universidad Autónoma de Sinaloa. Fuente de Poseidón y Prol. A. Flores S/N Fracc. Las Fuentes. C.P. 81223, Los Mochis, Sin., México.

**Resumen**

En este trabajo se utiliza el plástico de desecho en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico, para ello se determina el efecto que tiene la longitud de las fibras elaboradas con este material (PET) adicionadas al mismo. Las mezclas fueron evaluadas usando tres longitudes de fibras y en tres diferentes concentraciones en volumen, al concreto hidráulico reforzado con fibras de plástico de desecho (CRFPD) se le determina el revenimiento y peso volumétrico en estado fresco y se comparan las propiedades mecánicas obtenidas en estado endurecido (resistencia a la compresión, módulo de ruptura, módulo de elasticidad, tenacidad, resistencia al impacto) con el concreto simple. A pesar de la poca adherencia que presenta la fibra de plástico con el concreto, el tipo de falla presentado en el CRFPD fue dúctil a diferencia del tipo de falla colapsable que presenta el concreto sin fibra. La concentración y relación de aspecto de la fibra estará en función de su aplicación.

Palabras clave: concreto, fibras de plástico, PET, módulo de elasticidad, tenacidad, impacto.

**Summary**

In this work it uses the waste plastic for to improve the mechanical properties of the hydraulic concrete, for that the effect that has the longitude of the fibers elaborated with this material (PET) added to the same one is determined. The mixtures were evaluated using three longitudes of fibers and for three different concentrations in volume, to the hydraulic concrete reinforced with fibers of waste plastic (CRFWP) in fresh state is determined the slump test and volumetric weight and the mechanical properties obtained in hardened state (resistance to the compression, rupture module, module of elasticity, toughness, resistance to the impact) are compared with the simple concrete tests. In spite of the little adherence that presents the fiber of plastic with the concrete, the flaw type presented in the CRFWP was ductile contrary to the type of collapsible flaw that presents the concrete without fiber. The concentration and relationship of aspect of the fiber will be in function of its application.

Words key: concrete, fibers of plastic, PET, tension, rupture module, module of elasticity, toughness, impact.



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



### INTRODUCCION

El material manufacturado más usado en la industria de la construcción es el concreto hidráulico. Pero como todos los materiales, tiene algunas deficiencias en algunas aplicaciones particularmente en donde es sometido a cargas que producen esfuerzos de tensión, su casi nula resistencia hace que aparezcan grietas muy tempranamente. Un ejemplo es en la construcción de pavimentos [Mehta y Monteiro, 1998]. Para solventar estas deficiencias o mejorar alguna de sus propiedades, al concreto se le han adicionado otros materiales complementarios. El principal ha sido el acero de refuerzo continuo para incrementar su resistencia a la tensión en la mayoría de las estructuras. Más recientemente el uso de fibras cortas y aleatoriamente distribuidas en el concreto se han venido utilizando en aplicaciones como en pavimentos, pisos industriales y concreto lanzado principalmente. Siendo las de mayor uso para estas aplicaciones las fibras de acero. Las fibras sintéticas como las de polipropileno se utilizan básicamente para disminuir y controlar el agrietamiento por contracción plástica [ACI 544 1R, 1998].

El material empleado para la fabricación de las fibras utilizadas en este trabajo es el polímero de Tereftalato de Polietileno (PET por sus siglas en inglés). Este material se obtuvo de envases de plástico de desecho usados en refrescos comerciales. La fabricación se hizo completamente manual.

La utilización del plástico de desecho como materia prima de las fibras va dirigido a solventar el problema de la contaminación que originan los plásticos en el medio ambiente y que principalmente se debe al tiempo que la naturaleza emplea para absorber este tipo de materiales [GREENPEACE, 2002] y a su vez, buscar, con su incorporación en el concreto el mejoramiento de algunas de sus características para su aplicación en pavimentos. La selección del tipo de plástico se planteó desde dos puntos de vista, en primer lugar por la cantidad de material del que se puede disponer en el mercado del embalaje de los más diversos productos como parte de los residuos sólidos municipales y a juzgar por las estadísticas su disponibilidad continuará en aumento y, en segundo lugar por su resistencia a la tensión para su utilización como fibras en el concreto.

El objetivo de este trabajo es la evaluación del efecto que tienen las fibras de plástico de desecho sobre las propiedades del concreto tanto en su estado fresco como endurecido, haciendo un análisis comparativo entre el Concreto Reforzado con Fibras de Plástico de Desecho (CRFPD) con diferentes longitudes y concentraciones de fibras y el Concreto sin Fibra (Simple).

### MATERIALES Y METODOS

Se empleó cemento Pórtland Tipo I. El agregado fino usado fue arena natural con una densidad de 2.46 y un porcentaje de absorción del 3.57. El agregado grueso empleado fue el que se extrae del Río Fuerte, Sinaloa, México, con un tamaño máximo de 3/4", con una densidad específica de 2.68 y una absorción de 1.0 por ciento. El agua utilizada fue del sistema de suministro municipal.

#### Fibras

La producción de fibras se hizo en forma manual. La materia prima en su totalidad fueron envases de botellas de refresco de diferentes marcas, de dos litros y en menor porcentaje de dos y medio litros de capacidad de contenido. Se seleccionaron de este tamaño debido únicamente a la facilidad que presentan para ser medidas y cortadas y, además por su rendimiento.



**3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**  
**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



**Diseño de la mezcla**

En la Tabla 1 se indican las cantidades de cemento, agua y agregados utilizados en la mezcla diseñada como control para una resistencia a la compresión de 300 kg/cm<sup>2</sup> y Módulo de ruptura de 45 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 1 Diseño de mezcla de concreto/m<sup>3</sup>

Concepto	Cantidad	Unidad
Cemento	294	Kg
Agua	200	Lt
Agregado Grueso (grava)	945.28	Kg
Agregado Fino (arena)	915.72	Kg

**Mezclas**

En total se elaboraron nueve mezclas de prueba con diferentes combinaciones entre las variables a considerar, siendo estas: concentración (en volumen), longitud y la relación de aspecto de las fibras, además de la mezcla de concreto simple que permitió comparar los resultados obtenidos ver tabla 2. El área de la sección transversal de las fibras utilizadas fue el mismo y, por consiguiente, el diámetro equivalente es igual para todas las fibras

Tabla 2 Diseño del experimento

Mezcla	Contenido de Fibras (Porcentaje por volumen)	Longitud de las Fibras (cm.)	Diámetro Equivalente Promedio (cm.)	Relación de Aspecto
M 0 – 0	-	-	-	-
M 2 – 6	2	6	0.0703	85
M 3 – 6	3	6	0.0703	85
M 4 – 6	4	6	0.0703	85
M 2 – 5	2	5	0.0703	71
M 3 – 5	3	5	0.0703	71
M 4 – 5	4	5	0.0703	71
M 2 – 4	2	4	0.0703	57
M 3 – 4	3	4	0.0703	57
M 4 – 4	4	4	0.0703	57



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



Todas las mezclas fueron elaboradas en una revolvedora eléctrica con capacidad de un saco de cemento (ASTM C 192).

Al respecto se observó la adecuada incorporación de las fibras de forma aleatoria en toda la masa del concreto con el mismo procedimiento que se sigue en el mezclado del concreto simple.

### Tipos de especímenes

Vigas de 15 cm × 15 cm × 50 cm, para determinación de módulos de ruptura (ASTM C 78) y pruebas de tenacidad (ASTM C 1018) para los 28 días de edad. Especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura (15 cm × 30 cm), para resistencia a la compresión (ASTM C 39), módulos de elasticidad (ASTM C 469) y para pruebas de impactos (ACI 544.2R-96) estos cilindros se fabricaron para ser probados a los 28 días.

### Colado, Vibrado y Curado

Los procedimientos de colado, vibrado y curado para el concreto simple son aplicables al CRFPD. Los especímenes después de fabricados fueron cubiertos con bolsa de plástico para darles el curado inicial por 24 horas, posteriormente fueron desmoldados y colocados en una pila con agua al cual se le adiciono cal, a una temperatura de 24° C +- 2° C, permaneciendo allí hasta que fueron probados a los 28 días.

### Pruebas en el Concreto fresco.

Se registró el revenimiento de acuerdo a la Norma ASTM C 143 y el peso volumétrico en estado fresco siguiendo la Norma ASTM C 138.

### Pruebas en el Concreto endurecido

Los cilindros fueron probados a la resistencia a la compresión a los 28 días (3 especímenes por cada mezcla) de acuerdo a la Norma ASTM C 39, módulos de elasticidad según Norma ASTM C 469, la prueba de impactos se realizo a la edad de 28 días.

Las vigas fueron probadas (3 por cada mezcla) a la flexión por tensión (módulo de ruptura).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Para la mezcla de concreto sin fibras, el revenimiento es claramente mayor que para el CRFPD, disminuyendo en éste, conforme aumenta la concentración de fibras, Figura. 1 donde se puede notar la tendencia de disminución en el revenimiento conforme se incrementa el volumen de fibras, pero eso no fue motivo para afectar la trabajabilidad de las mezclas.

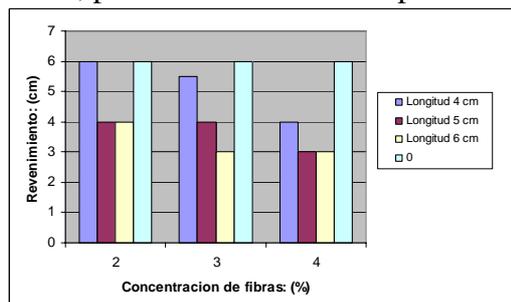


Figura 1. Revenimiento obtenido para diferentes concentraciones de fibra



**3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**  
**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



En lo que corresponde a la obtención del peso volumétrico podemos observar en los resultados, Tabla 3, que se nota una clara tendencia de diferencia entre el CRFPD y el simple, aunque podemos distinguir que a mayor concentración de fibra este valor tiende a disminuir, por el espacio que esta ocupa en la mezcla.

Tabla 3. Pesos Volumétricos del concreto

<b>Mezcla</b>	0 - 0	4 - 2	5 - 2	6 - 2	4 - 3
<b>Peso Volumétrico (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2453	2379	2460	2478	2420

<b>Mezcla</b>	5 - 3	6 - 3	4 - 4	5 - 4	6 - 4
<b>Peso Volumétrico (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2437	2383	2383	2381	2390

**CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

**Resistencia a la compresión**

En la Figura 2, donde se presentan los resultados de las muestras agrupadas por concentraciones iguales de fibra, se puede apreciar una ligera tendencia al decremento de la resistencia a la compresión con el incremento en la relación de aspecto de las fibras aunque se puede resaltar que para un mayor porcentaje de fibra existe un incremento de la resistencia del CRFPD hasta del 8%, comparada esta con la mezcla sin fibra.

Una de las características más importantes y significativas de esta prueba fue el modo de falla. Mientras que los especímenes de concreto simple presentaron una falla frágil, el CRFPD presentó una falla dúctil; esta ductilidad fue más evidente con las concentraciones mayores de fibras.

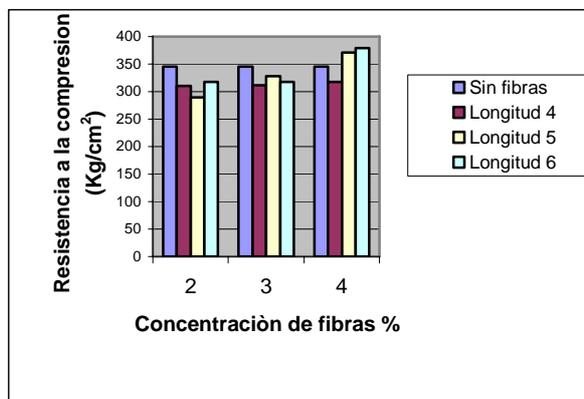


Figura 2. Resultados de la Resistencia a la compresión

El módulo de elasticidad del CRFPD fue ligeramente mayor al valor obtenido para el concreto simple, los resultados se presentan en la Figura 3. La diferencia en el módulo de elasticidad del CRFPD en relación con el concreto simple es en promedio del 13%.

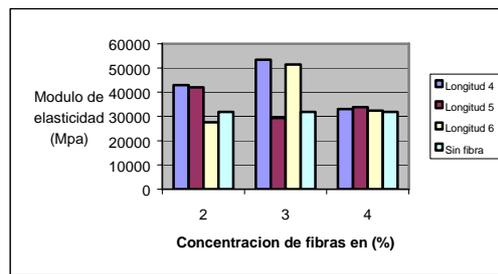


Figura 3. Valores obtenidos del Modulo de elasticidad

El módulo de ruptura del concreto simple es en ciertos casos menores que algunos de los especímenes de CRFPD y en otros mayor, esto puede deberse al alineamiento que las fibras retoman al momento de acomodarse en la zona de tensión, aunque las diferencias no son significativas, cuya variación fluctúa entre el 20% y el 10%.

La representación gráfica de estos resultados se muestra en la Figura 4 con los valores agrupados por iguales contenidos de fibra, donde se observa que a mayor concentración de fibra y mayor longitud de la misma los módulos de ruptura son más grandes.

La propiedad más importante del concreto al que se le adicionan fibras en el ámbito de los pavimentos es la tenacidad, el comportamiento que tiene la relación carga-deflexión, esto es, su capacidad para seguir tomando carga o absorber energía después del primer agrietamiento.

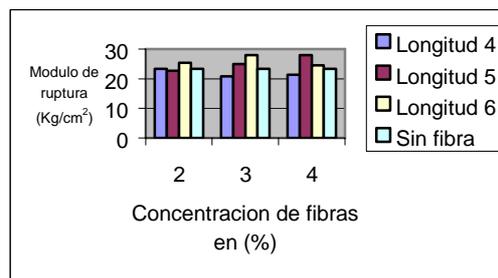


Figura 4. Valores del Modulo de Ruptura

En la Figura 5, se muestran las gráficas de las curvas representativas carga-deflexión para cada uno de las distintas combinaciones de las variables concentración y relación de aspecto de las fibras, obtenidas mediante la aplicación de la norma ASTM C 1018, con vigas prismáticas con carga en los tercios manteniendo el parámetro de velocidad de deformación constante. En este aspecto hay que recalcar que esperábamos que el comportamiento de las curvas carga-deformación se presentara con mayor intensidad, para de esa manera poder medir esta importante propiedad que es la resistencia post-agrietamiento y definirla por medio de los métodos establecidos en el marco de referencia. No fue posible establecerla ya que como se muestran en la citada figura después de haber aplicado la carga y llevar a la falla al espécimen, el extensómetro de la máquina empleada expreso para esta actividad no registraba ninguna lectura extra al respecto a pesar de que la viga mantenía su ductilidad, es decir seguía el registro de la deformación. La explicación a tal efecto se justifica en que las fibras por estar hechas de plástico y ser estas lisas, no conservan ninguna adherencia al concreto, por lo que no es factible que estas pudieran transmitir cierta carga al concreto en el momento de que esté llegando a la falla.

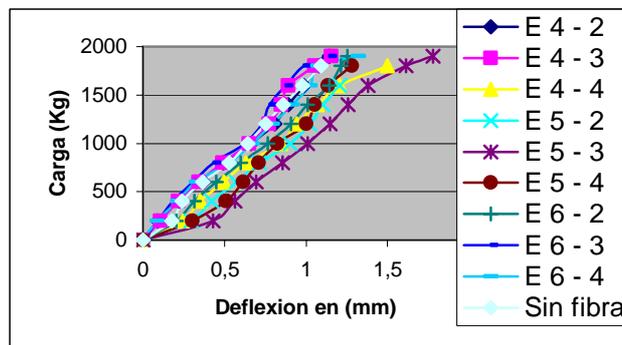


Figura 5. Gráficas de carga-deflexión (Tenacidad)

En la prueba de impactos, se puede señalar que el CRFPD tuvo más resistencia al impacto que el concreto simple, tanto a la primera grieta como a la falla total.

En la Figura 6, con los valores agrupados para iguales longitudes de fibra, se puede observar que entre mayor es la longitud de la fibras mayor es el número de golpes para llegar a que se produzca la primera grieta. Uno de los aspectos más sobresalientes de esta prueba es la resistencia a la falla posterior a que aparece la primera grieta, es decir, el número de golpes contados a partir de que aparece la primera y hasta que se produce la falla total, lo que identificamos como resistencia post-agrietamiento.

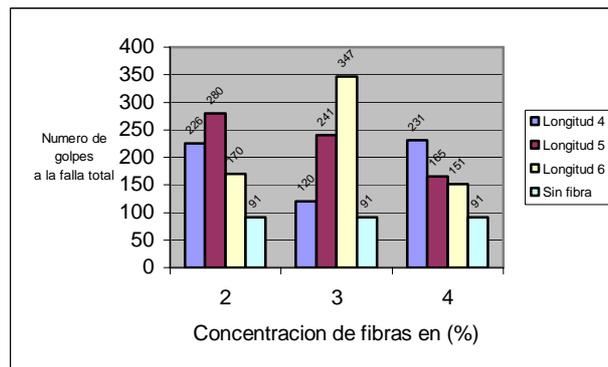


Figura 6. Resultados de la prueba de impactos antes y después de la primera grieta.

### CONCLUSIONES

- 1.- La trabajabilidad del concreto reforzado con fibras se redujo con la concentración de fibras y con la relación de aspecto, aún con la concentración de fibra más alta empleada el concreto puede ser manipulado con el equipo de mezclado y de consolidación que se utiliza con el concreto normal.
- 2.- La resistencia a la compresión simple fue menor en el concreto reforzado con fibras comparado con el concreto sin fibras, aumentando esta diferencia con la concentración de fibras, aunque esta diferencia es de aproximadamente el 8%, se pudo apreciar la ductilidad del compuesto, ya que a pesar de haber fallado los especímenes estos no se fracturaban completamente como sucedió con el concreto simple.
- 3.- El módulo de elasticidad del concreto reforzado con fibras fue ligeramente mayor al concreto simple en aproximadamente 13%, con tendencia a disminuir con el incremento en la concentración de fibras.
- 4.- El valor del módulo de ruptura en el concreto con fibras fue ligeramente mayor al del concreto simple aproximadamente en un 20% en promedio, con una ligera tendencia a aumentar con la relación de aspecto de la fibra.



**3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**  
**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



- 5.- La capacidad del concreto para absorber energía en la prueba de tensión por flexión, como lo muestra la prueba de tenacidad, no fue posible determinarla debido a la poca adherencia que presentan las fibras de plástico.
- 6.- En la prueba de impacto, la capacidad de absorber energía se incrementó de manera notable después de que en el concreto aparece la primera grieta con la concentración de fibras, siendo siempre mayor el número de golpes necesarios para ocasionar el mismo daño en el concreto con fibras que en el concreto simple.
- 7.- Respecto a definir cual concentración y relación de aspecto de la fibra es la que tiene mejores resultados está en función de la aplicación para la cuál se vaya a emplear. Para mejorar el comportamiento de tenacidad y de resistencia al impacto del concreto a mayor concentración de fibras y relación de aspecto estas características mejorarán, pero la trabajabilidad disminuirá con el incremento en la concentración y la relación de aspecto. Es decir, habrá que hacer una evaluación para el empleo específico que se le pretenda dar al concreto.

**Agradecimientos:** La realización del presente proyecto fue posible por el apoyo financiero de la Convocatoria 2007 del Programa de Fortalecimiento y Apoyo a Proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma de Sinaloa, así como a la empresa Concretos y Materiales S.A. de C.V.

**LITERATURA CITADA**

- Mehta P. K. y Monteiro P.J.M. “Concreto, Estructura, propiedades y materiales”, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC), 1998.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI Manual of Concrete Practice. Part 5, “State –of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete”. Reported by ACI Committee 544, (ACI 544.1R-96), 1998.
- Greenpeace, página en internet, [www.greenpeace.org.mx](http://www.greenpeace.org.mx), Agosto, 2002.
- American Society for Testing and Materials, Aggregates and Concrete, ASTM C192/C192 M-98, “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”, 1998.
- American Society for Testing and Materials, Aggregates and Concrete, ASTM C 39/C 39M – 99 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, 2000.
- American Society for Testing and Materials, Aggregates and Concrete, ASTM C 469 – 94, “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression”, 2000.
- American Society for Testing and Materials, Aggregates and Concrete, ASTM C1018 - 97 “Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)”, 2000.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI Manual of Concrete Practice. Part 5, “Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete”. Reported by ACI Committee 544, (ACI 544.2R-96), 1998.