EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE PET

V. A. RAMIREZ CARRANZA¹, C. LARA GOMEZ², J. D. MONTES DE OCA²,
D. I. LÓPEZ GOMEZ², J. A. VELÁZQUEZ PEREZ²

¹ Posgrado de la Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México 58040.

² Cuerpo Académico Consolidado-147, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México 58040.

RESUMEN

Se caracterizó mecánicamente el concreto hidráulico elaborado con arena andesítica “Banco Joyitas”, grava basáltica triturada “Banco LA ROCA”, cemento CPO 30R RS BRA, Tipo IV, aditivo fibra de PET triturado en 0.8% del peso del cemento. La mezcla se diseñó mediante el método ACI, para un $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, revenimiento de 10 cm y TM del pétreo de $\frac{3}{4}$ ". Con la mezcla se prepararon probetas cilíndricas de 15cm de diámetro x 30cm de altura y vigas de 15cm x 15cm x 60cm, se realizaron pruebas destructivas (compresión simple, y módulo de ruptura) y no destructivas (Resistividad y Velocidad de Pulso Ultrasónico). Los resultados a 28 días fueron: disminuyendo de 1.4% del $f'c$ a compresión y en MR incremento 5.62% con la adición de fibra de pet.

Palabras clave: concreto; pet; resistencia; cemento; pétreos.

ABSTRACT

It is characterized mechanically hydraulic concrete made with andesitic sand "Joyitas Bank" crushed basalt gravel "bench the ROCK" CPO 30R RS BRA cement, Type IV, dehydrated fibers additive white cactus opuntia 0.8% by weight of cement. The mixture was designed using the ACI method, for $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, slump of 10 cm and TM of stone $\frac{3}{4}$ ". With the cylindrical specimens were prepared mixture of 15cm diameter x 30cm height and 15cm x 15cm beams x 60cm, destructive tests were performed (compressive stress, strain and modulus of rupture indirect) and nondestructive testing (resistivity and Ultrasonic Pulse Velocity). The results at 28 days were increase of 1.4% of $f'c$ to compression and 5.62% of MR for mixtures with cactus.

Keywords: concrete; pet; resistance; cement; stone.

1. INTRODUCCIÓN

El cemento es uno de los materiales con mayor producción en el mundo y con más empleo en la ingeniería civil (Cámara nacional del cemento 2013); pero debido a su elevado costo de producción y alta contaminación, se ha buscado un aditivo que mejore las características del concreto, que sea económico y que además minimice el impacto ambiental, una adición de características plástica derivada del petróleo y que pertenece al grupo de los materiales sintéticos denominados poliésteres;(PET). para esto se fabricaron varios especímenes de concreto con agregado grueso triturado y agregado fino volcánico, cemento CPO 30R RS BRA, agua y el aditivo de fibra de pet.

Con estos materiales se elaboró la mezcla de concreto y una vez alcanzada la edad de prueba, se obtuvieron resultados de compresión simple, módulo de ruptura, resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico.

Las propiedades de las fibras complementan al concreto de tal forma que, entre mayor es la resistividad menor es la porosidad del concreto y mayor su resistencia mecánica, en cambio, con la prueba de velocidad de pulso ultrasónico de acuerdo con los parámetros que especifica la norma NMX-C-275-ONNCCE, solo nos indica la calidad del concreto, de tal manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido se pueden estimar las propiedades elásticas del medio, mismas que se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material.

En cuanto a la compresión simple y flexión, son pruebas destructivas que determina la capacidad de carga tanto a compresión como a flexión en el concreto.

2. DISCUSIÓN Y DESARROLLO

2.1 Procedimiento experimental

Se eligieron los materiales a utilizar para el concreto; cemento portland CPC 30R RS “Cemento Portland Ordinario Resistente a los Sulfatos con Baja Reactividad Alkali-Agregado” y agua potable. Se obtuvieron aquellos componentes que no se tenían en el Laboratorio de Materiales de la UMSNH (lugar de experimentación); el aditivo de fibra PET se consiguió como producto comercial, mientras que el material pétreo se obtuvo (NMX-C-030-ONNCCE-2004) de los bancos de materiales “Joyitas” y “LA ROCA” en Morelia Michoacán, se llevó al laboratorio para realizar las pruebas pertinentes y determinar sus características mecánicas, con el propósito de obtener los datos necesarios para el diseño de mezclas. Se le realizaron pruebas de: % Humedad Actual (NMX-C-166-ONNCCE-2006), % Humedad de Absorción (NMX-C-165-ONNCCE-2004; NMX-C-164-ONNCCE-2002), Densidad⁷, Masa volumétrica Seca varillada (NMX-C-073-ONNCCE-2004), Masa volumétrica Seca Suelta (NMX-C-073-ONNCCE-2004), y Granulometría (NMX-C-077-ONNCCE-2004) a los agregados pétreos. Al cemento se le realizaron pruebas de: Densidad (NMX-C-152-ONNCCE-2010) y Tiempos de Fraguado (NMX-C-059-ONNCCE-2010), para verificar su reacción. Se verifico la potabilización del agua de acuerdo al: Color, Olor y pH (NMX-C-122-ONNCCE-2004).

El concreto se diseñó de acuerdo al ACI (American Concrete Institute, 2002), con una relación agua/cemento de 0.54; en estado fresco se le hicieron pruebas de revenimiento (NMX-C-156-ONNCCE-2010), para analizar su fluidez; después se agregó el aditivo de la fibra PET en un 0.8% del peso del cemento y se volvió a determinar el revenimiento con el fin de comparar y cumplir con lo especificado en el diseño de mezclas para un $f'c$ de 300 kg/cm², y elaborar los especímenes de ensayo. Se prepararon 10 moldes cilíndricos y 8 vigas rectangulares, se engrasaron y se ajustaron los tornillos de los moldes, se colaron las muestras y después de 24 horas se desmoldaron (NMX-C-159-ONNCCE-2004), para comenzar su curado por inmersión hasta cumplir la edad de prueba.

En esta investigación se fabricaron muestras cilíndricas de 15cm de diámetro x 30cm de altura y vigas prismáticas de 15cm x 15cm x 60cm. para pruebas a compresión y flexión a distintas edades.

Se elaboraron 10 especímenes cilíndricos (testigos) de concreto normal CPC 30R RS y 10 de concreto normal con fibra de PET al 0.8% del peso del cemento utilizado. Se les realizaron pruebas de compresión simple, a 7, 14, 28 días de edad, que son las edades en las que el concreto debe de alcanzar su resistencia al 100%, también se le realizaron resistividad y velocidad de pulso ultrasónico con el fin de monitorear el comportamiento de la resistencia a distintas edades, y la variación entre especímenes con y sin aditivo de fibra PET.

Se elaboraron 8 especímenes prismáticos (testigos) de concreto normal CPC 30R RS y 8 de concreto con fibra de PET en un 0.8% del peso del cemento utilizado. Se les realizaron pruebas de flexión, resistividad y velocidad de pulso ultrasónico a 7, 14, 28 y 70 días de edad, con el objeto de monitorear el comportamiento de la resistencia a distintas edades, y la variación entre vigas con y sin aditivo de fibra PET.

Una vez que se ha llegado a la edad de prueba se procedió a ensayar los especímenes mediante pruebas no destructivas y por último mediante las pruebas destructivas. Las pruebas no destructivas fueron: resistividad eléctrica (DURAR, 2002) que mide la resistencia que opone un espécimen húmedo (caso más desfavorable) al ser traspasado por una corriente eléctrica en Ohm-cm; y la prueba de velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C597-02, 2002) (UPV), empleando el equipo E48 marca CONTROLS que consiste en determinar la velocidad (m/s) a la cual una onda sónica atraviesa un espécimen. Las pruebas destructivas fueron: compresión simple (NMX-C-083-ONNCCE-2011), y módulo de ruptura (NMX-C-191-ONNCCE-2004); estas pruebas se realizaron con la maquina universal Forney²¹, con la cual se obtiene la carga máxima de ruptura de los especímenes, de acuerdo al área y tipo de prueba, para determinar su resistencia.

2.2 Resultados

En la Tabla 1 se presentan los resultados promedios de las características de los materiales. Obteniéndose los valores de % de humedad actual (NMX-C-166-ONNCCE-2006), % de humedad de absorción (NMX-C-165-ONNCCE-2004; NMX-C-164-ONNCCE-2002), densidad⁷, masa volumétrica seca suelta (NMX-C-073-ONNCCE-2004) (MVSS), masa volumétrica seca varillada (NMX-C-073-ONNCCE-2004) (MVSV), módulo de finura de la arena (NMX-C-077-ONNCCE-2004) (MF) y tamaño máximo de la grava (NMX-C-077-ONNCCE-2004) (TM).

Tabla 1. Características de los materiales usados.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES							
MATERIAL	% H. ACTUAL	% H. ABSORCIÓN	DENSIDAD (g/cm ³)	MVSS (kg/cm ³)	MVSV (kg/cm ³)	MF (gr/gr)	TM (in)
GRAVA	0.00	1.33%	2.64	1492.45	1610.38	-----	3/4 "
ARENA	0.00	3.51%	2.51	1390.91	1525.45	2.70	-----
CEMENTO	-----	-----	3.03	1490.00	-----	-----	-----

De acuerdo a lo analizado se observaron características adecuadas de los materiales, de acuerdo a las normativas vigentes.

En la tabla 2 se muestran los resultados de la prueba de revenimiento (NMX-C-156-ONNCCE-2010) en cada una de las mezclas elaboradas, con y sin el aditivo de fibra de PET. Obteniéndose un resultado de 9.0 cm en promedio, lo cual indica que el aditivo de fibra PET no perjudica la fluidez de la mezcla y además que los resultados están dentro del límite ± 3.5 que marca la norma.

Tabla 2. Revenimiento obtenido.

REVENIMIENTO DEL CONCRETO		
ELEMENTO	COLADA	REVENIMIENTO (cm)
Cilindro	1 C/C	10.5
Cilindro	2 C/C	9.0
Cilindro	4 C/C	8.5
Viga	5 S/C	10.0
Viga	6 C/C	9.0
Viga	7 C/C	8.5

En la figura 1 se muestra el comportamiento del concreto con y sin el aditivo de fibra PET opuntia, en pruebas de resistividad eléctrica (DURAR, 2002) para determinar su riesgo a la corrosión.

Figura 1. Potencial de resistividad a distintas edades del concreto.

De acuerdo a la figura se observa que la resistividad es muy baja en la primera edad y que en las dos últimas edades se disparó estando por encima del testigo concreto normal CPC 30R RS, por tanto, existe un bajo riesgo de corrosión ($P > 10 \text{ k ohm-cm}$).

En la tabla 3 se presentan los parámetros que establecen si existe o no riesgo de corrosión en el concreto (DURAR, 2002).

Tabla 3. Riesgo a la corrosión de acuerdo a la resistividad.

RIESGO DE CORROSIÓN	
$P > 200 \text{ K ohm-cm}$	Poco riesgo
$200 > P > 10 \text{ K ohm-cm}$	Riesgo moderado
$P < 10 \text{ K ohm-cm}$	Alto riesgo

En las figuras 2 y 3 se muestra la calidad del concreto que presentan los cilindros y vigas ensayados, obtenidos estos resultados mediante ondas de sonido que atraviesan el espécimen en un cierto tiempo y que dan origen a la velocidad ultrasónica (ASTM C597-02, 2002).

Figura 2. Calidad del concreto en cilindros con y sin fibra de PET.

Figura 3. Calidad del concreto en vigas con y sin fibra de PET.

En la tabla 4 se presentan los intervalos para calificar de manera tentativa al concreto ensayado (ASTM C597-02, 2002), obteniéndose un concreto bueno, de acuerdo a los resultados presentados en la gráfica 2 y 3.

Tabla 4. Clasificación del concreto.

CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO DE ACUERDO A LA VELOCIDAD ULTRASÓNICA	
Velocidad ultrasónica, V (m/s)	Clasificación del concreto
$V > 4\,575$	Excelente
$4\,575 > V > 3\,660$	Bueno
$3\,660 > V > 3\,050$	Cuestionable
$3\,050 > V > 2\,135$	Pobre
$V < 2\,135$	Muy pobre

En la figura 4 se presentan los resultados obtenidos de Esfuerzo de ruptura a compresión simple, f'_c en cilindros, comparado con lo especificado en la norma (NMX-C-083-ONNCCE-2011), con la finalidad de observar el comportamiento de la resistencia del concreto en % a distintas edades. A edades tempranas se observa que el concreto con fibra de PET presenta una resistencia por debajo del concreto testigo y de lo señalado por la norma, pero se ha diseñado pensando más en pavimentos rígidos.

Figura 4. Promedios de resistencia entre concretos con fibra de PET y sin fibra.

En la figura 5 muestra el esfuerzo de ruptura a la flexión obtenido en vigas de concreto. Aquí se determina la capacidad resistente del concreto a deformarse o módulo de ruptura (NMX-C-191-ONNCCE-2004) (MR); el comportamiento de las mezclas fue muy similar durante los ensayos, obteniéndose un ligero incremento en la mayoría de en los especímenes con aditivo de fibra PET.

Figura 5. Comparación de resistencia entre cilindros con y sin fibra de PET.

3. CONCLUSIONES

La adición de fibras como el PET al concreto disminuye el comportamiento mecánico de los elementos colados, a compresión en un 1.4% a edades tempranas, y a flexión incremento su comportamiento mecánico en un 5.62% a los 28 días de edad, respecto a los especímenes testigo; se observó que esta incorporación mejora las características físicas de la mezcla reduciendo la segregación, mejora la

trabajabilidad, aumenta la cohesión entre la pasta y agregados, mientras que el fraguado se comportó de forma normal. Es importante resaltar que a edades tempranas los especímenes testigos tuvieron en promedio mayor resistencia a esfuerzos destructivos, sin embargo, al aumentar la edad de prueba, el comportamiento de las muestras fue cambiando rápidamente, obteniéndose así resistencias superiores en las probetas que contenían el aditivo de fibra PET.

Es importante mencionar que la investigación se ha hecho pensando en los pavimentos rígidos, de tal forma que mi módulo de ruptura (MR) del concreto con adición de fibra PET mejora considerablemente las características físico-mecánicas del concreto convencional, esto para edades tempranas las cuales fueron analizadas a 14, 28 y 70 días, con esto se concluye que es aceptable la utilización de la fibra PET para fines de incrementar la resistencia del concreto convencional y disminuir la contaminación ambiental reciclando los residuos sólidos “PET”.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el soporte técnico del personal del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Así como la adquisición del cemento empleado en esta investigación, proporcionado por tolteca “CEMEX”, por medio del M.I. Noel Díaz González.

5. BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute (2002), *ACI 211.1-91 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Reported by ACI Committee 211.
- American Concrete Institute (--), *ASTM-C-496-96 Método de ensayo para determinar la resistencia a tensión indirecta de cilindros de concreto*.
- ASTM International. (2001). *C128-01e1 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/C0128-01E01>
- ASTM International. (2002). *ASTM C597-02 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/C0597-02>
- Cámara nacional del cemento (2013): <http://www.canacem.org.mx/presentacion2.pdf> [citado 4 de febrero de 2013].
- Durar, (2002). *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*, (CYTED). Pag. 92.
- Navarro Sánchez, L. M. Martínez Molina, W., Espinoza Mandujano, J. A. (--), *Análisis de Materiales*; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Facultad de Ingeniería Civil, Laboratorio de Materiales del Departamento de Materiales. Pág. 19.
- ONNCCE S. C. (2004), *NMX-C-030-ONNCCE-2004. Industria de la construcción -Agregados - Muestreo*.
- ONNCCE S. C. (2006), *NMX-C-166-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Agregados - Contenido total de humedad por secado método de prueba*.
- ONNCCE S. C. (2004), *NMX-C-165-ONNCCE-2004. Industria de la construcción – Agregados Masa específica y absorción de agua del agregado fino - método de prueba*.
- ONNCCE S. C. (2002), *NMX-C-164-ONNCCE-2002. Industria de la construcción – Agregados-determinación de la masa específica y Absorción de agua del agregado grueso*.
- ONNCCE S. C. (2004), *NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la construcción - agregados - masa volumétrica - método de prueba*.
- ONNCCE S. C. (2004), *NMX-C-077-ONNCCE-2004. Industria de la construcción - agregados para concreto - análisis granulométrico - método de prueba*.

- ONNCCE S. C. (2010), *NMX-C-152-ONNCCE-2010. Industria de la construcción -Cementantes hidráulicos- Método de prueba Para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos.*
- ONNCCE S. C. (2010), *NMX-C-059-ONNCCE-2010. Industria de la construcción - determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (método de Vicat).*
- ONNCCE S. C. (2004), *NMX-C-122-ONNCCE-2004. Industria de la construcción – agua para concreto – especificaciones.*
- ONNCCE S. C. (2010), *NMX-C-156-ONNCCE-2010. Industria de la construcción-Concreto hidráulico-determinación del revenimiento en el concreto fresco.*
- ONNCCE S. C. (2004), *NMX-C-159-ONNCCE-2004. Industria de la construcción - Concreto - Elaboración y curado, en el laboratorio de especímenes.*
- ONNCCE S. C. (2011), *NMX-C-083-ONNCCE-2011. Industria de la construcción -Concreto - Determinación de la resistencia la compresión de cilindros de concreto.*
- Torres Acosta, A.A., Martínez Molina, W., Lomelí González M. G., Pérez Gallardo A. (2010), *Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto*, Publicación Técnica No. 328, Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, pp 1-90.