



12-14 de Noviembre del 2012  
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

## LA MORFOLOGÍA DE LOS PÉTREOS GRUESOS TRITURADOS Y SU INFLUENCIA EN MATRICES CERÁMICAS DE CEMENTO PÓRTLAND BAJO SOLICITACIONES DE FLEXIÓN. CASO DE COMPARACIÓN CON ADICIÓN DE FIBRAS DESHIDRATADAS DE CACTUS OPUNTIA BLANCO.

N. Díaz González<sup>1</sup>, W. Martínez Molina<sup>2</sup>, E. M. Alonso Guzmán<sup>2</sup>, C. Lara Gómez<sup>2</sup>, H. L. Chávez García<sup>2</sup>, A. L. del Valle Moreno<sup>3</sup>, A. A. Torres Acosta<sup>3</sup>, F. A. Velasco Ávalos<sup>2</sup>, J. A. Guzmán Torres<sup>1</sup>, y M. Mondragón Ornelas<sup>1</sup>

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; 3. Instituto Mexicano del Transporte. km 12 Carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, Qro. 76703.

### RESUMEN

Se caracterizó mecánicamente el concreto hidráulico elaborado con arena andesítica "Banco Joyitas"; grava basáltica triturada "Banco SUPRA"; cemento CPO 30R RS BRA, Tipo IV; aditivo fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco en 2% del peso del cemento. La mezcla se diseñó mediante el método ACI, para un  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , revenimiento de 10 cm y TM del pétreo de  $\frac{3}{4}$ ". Con la mezcla se prepararon probetas cilíndricas de 10cm de diámetro x 20cm de altura y vigas de 15cm x 15cm x 60cm, se realizaron pruebas destructivas (compresión simple, tensión indirecta y módulo de ruptura) y no destructivas (Resistividad y Velocidad de Pulso Ultrasónico). Los resultados a 28 días fueron: incremento de 11.43% del  $f'c$  a compresión y 3.78% del MR para mezclas con cactus.

**Palabras clave:** concreto, cactus, cemento, pétreos, resistencia.

### ABSTRACT

It is characterized mechanically hydraulic concrete made with andesitic sand "Joyitas Quarry"; crushed basalt gravel "SUPRA Quarry"; CPO 30R RS BRA cement, Type IV; additive white cactus opuntia dehydrated fibers 2% by weight of cement. The mixture was designed using the ACI method, for  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , slump of 10 cm and TM of gravel  $\frac{3}{4}$ ". With the mixture we prepared cylindrical specimens of 10cm diameter x 20cm height and 15cm x 15cm x 60cm beams, destructive tests were performed (compressive stress, indirect tensile and modulus of rupture) and nondestructive testing (resistivity and Ultrasonic Pulse Velocity). The results at 28 days were increase of 11.43% of  $f'c$  to compression and 3.78% of MR for mixtures with cactus.

**Keywords:** concrete, cactus, cement, stone, strength.

## INTRODUCCIÓN

El cemento es uno de los materiales más producido en el mundo y con más empleo en la ingeniería civil<sup>1</sup>; pero debido a su alto costo de producción y alta contaminación, se busca una nueva opción de un cementante, que mejore las características del concreto y que además sea económico, es decir, un aditivo de características naturales como lo es la fibra deshidratada de nopal o cactus opuntia; se realizaron varios especímenes de concreto con agregado grueso triturado y agregado fino volcánico, cemento CPO 30R RS BRA, agua y el aditivo de fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco de pureza comestible. Las fibras protegen el acero e incrementan la resistencia mecánica del concreto, al formar nuevas especies conocidas como weddellite y wewhellita<sup>2</sup>. Con estos materiales se elaboró la mezcla de concreto y una vez alcanzada la edad de prueba, se obtuvieron resultados de compresión simple, tensión indirecta, módulo de ruptura, resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Primeramente se eligieron los materiales a utilizar para el concreto; el cemento que se utilizó en esta investigación fue un cemento CPO 30R RS BRA “Cemento Portland Ordinario” Resistente a los Sulfatos con Baja Reactividad Alcali Agregado y el agua utilizada fue potable de la red local de distribución, hecho esto, se determinó la forma de obtener aquellos componentes que no se tenían en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Rúelas” de la Facultad de Ingeniería Civil, UMSNH (lugar de experimentación). El aditivo de cactus se consiguió en una tienda naturista, mientras que el material pétreo fue obtenido<sup>3</sup> de los bancos de materiales “Joyitas” y “SUPRA” respectivamente, después este material pétreo se trajo al laboratorio donde se preparó para realizarle los análisis pertinentes, y así poder determinar sus propiedades y características mecánicas, con el propósito de cumplir las normas y obtener los datos necesarios para el diseño de mezclas empleado.

A los agregados pétreos se le realizaron pruebas de % Humedad Actual<sup>4</sup>, % de Humedad de Absorción<sup>5,6</sup>, Densidad<sup>7</sup>, Masa Volumétrica Seca Varillada<sup>8</sup>, Masa Volumétrica Seca Suelta<sup>8</sup>, Granulometría<sup>9</sup>, entre otras pruebas no requeridas pero muy importantes para determinar la calidad del agregado. Al cemento utilizado se le realizaron pruebas de Densidad<sup>10</sup> y Tiempos de Fraguado<sup>11</sup>, para poder observar sus características y verificar que cumpla con la norma. Al agua se le realizaron análisis como Color, Sabor, Olor y pH de acuerdo a la norma NMX-C-122-ONNCCE-2004<sup>12</sup>, para garantizar su pureza y proceder.

Al concreto fresco se le hicieron pruebas de revenimiento, para garantizar el diseño de la mezcla mediante el método ACI (American Concrete Institute)<sup>13</sup>. Después se le agregó el aditivo de fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco en un 2% del peso del cemento y se volvió a determinar el revenimiento con el fin de cumplir con lo especificado en el diseño de mezclas ACI para un  $f'c$  de 250 kg/cm<sup>2</sup>, y así elaborar los especímenes de prueba.

Cuantificado el revenimiento se prepararon 35 moldes cilíndricos y 9 vigas rectangulares, con base en la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004<sup>14</sup>, que establece los procedimientos para elaborar y curar en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión y flexión; se engrasaron y se ajustaron los tornillos de los moldes, se elaboraron las muestras y después de 24 horas se desmoldaron, para comenzar su curado por inmersión hasta cumplir la edad de prueba.

En esta investigación se realizaron cuatro coladas para elaboración de cilindros de 10cm de diámetro x 20cm de altura, donde solamente una de estas no contaba con el aditivo y tres coladas

para elaboración vigas donde una de éstas no contaba con el aditivo. Los especímenes que no contaban con el aditivo sirvieron como testigos para compararlos con los especímenes experimentales, para pruebas a compresión, tensión y flexión a distintas edades.

Se elaboraron 139 cilindros los cuales fueron 35 de concreto normal CPO 30R RS BRA, en condiciones normales, y 104 cilindros con el mismo tipo de cemento y agregados, pero adicionados con fibra de cactus opuntia en un 2% del peso del cemento utilizado. Del total de los cilindros se probaron 25 especímenes de concreto normal y 59 especímenes de concreto con fibra de cactus. Las pruebas de compresión simple, tensión indirecta y resistividad; fueron realizadas a 3, 7, 14, 28 y 40 días de edad, con el fin de monitorear el comportamiento de la resistencia a distintas edades, y la variación entre especímenes con y sin aditivo de cactus.

Se realizaron 27 vigas las cuales fueron 9 de concreto normal CPO 30R RS BRA, en condiciones normales, y 18 vigas con el mismo tipo de cemento y agregados pero adicionadas con fibra de cactus opuntia en un 2% del peso del cemento utilizado. Del total de las vigas se probaron 5 especímenes de concreto normal y 11 especímenes de concreto con fibra de cactus. Las vigas con cactus y sin cactus fueron probadas a flexión, resistividad y velocidad de pulso ultrasónico a 7, 14, 28 y 40 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 cactus.

Los especímenes no se deben mover del sitio de colado al término de su elaboración, sino hasta la fecha de descimbrado (24 horas después). La temperatura apropiada para el fraguado inicial del concreto en el molde es de 17°C durante las primeras 24 horas.

Una vez que se ha llegado a la edad de prueba se procedió a analizar los especímenes mediante las pruebas no destructivas y por último mediante las pruebas destructivas. Las pruebas no destructivas fueron: resistividad eléctrica (publicación técnica No. 328 de la IMT<sup>15</sup>) este instrumento mide la resistencia que opone un espécimen húmedo al ser traspasado por una corriente eléctrica en Ohms/cm; y la prueba de velocidad de pulso ultrasónico (UPV) empleando un equipo E49 marca CONTROLS (norma ASTM C 597-02, 2003<sup>16</sup>) que consiste en determinar la velocidad (m/seg) a la cual una onda sónica atraviesa un espécimen. Las pruebas destructivas fueron: compresión simple (NMX-C-083-ONNCCE<sup>17</sup>), tensión indirecta (ASTM C 496-96<sup>18</sup>) y módulo de ruptura (NMX-C-191-ONNCCE-2004<sup>19</sup>); estas pruebas se realizaron con la máquina universal Forney<sup>20</sup>, capacidad de 150 ton, la cual aplica carga constante a los especímenes hasta la ruptura.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados promedios de las características de los materiales. Obteniéndose los valores de % de humedad actual, % de humedad de absorción y densidad de acuerdo a las normas NMX-C-166-ONNCCE-2006, NMX-C-165-ONNCCE-2004, ASTM C 128-01 y NMX-C-083-ONNCCE; PVSS y PVSV de acuerdo a la norma NMX-073-ONNCCE-2004; MF y TM de acuerdo a la norma NMX-077-1997-ONNCCE.

**Tabla 1. Características de los materiales usados.**  
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

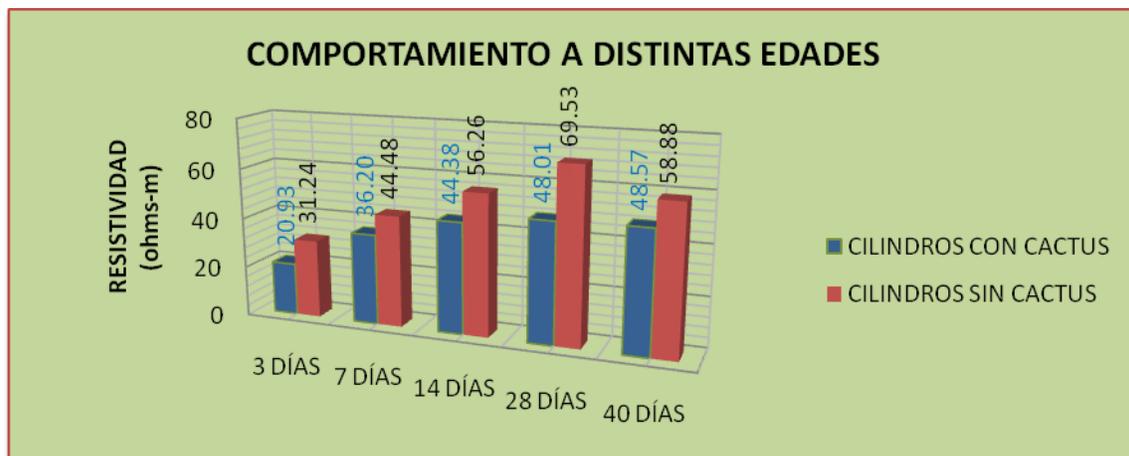
MATERIAL	% H. ACTUAL	% H. ABSORCIÓN	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	PVSS (kg/cm <sup>3</sup> )	PVSV (kg/cm <sup>3</sup> )	MF	TM
Arena	1.88	4.91	2.320	1205.15	1332.00	3.39	
Grava	1.21	2.41	2.710	1381.60	1506.60		3/4"
Cemento			3.176	1490.00			

En la tabla 2 se muestran los resultados de la prueba de revenimiento en cada una de las mezclas elaboradas, con y sin el aditivo de fibra de cactus (NMX-C-156-ONNCCE-2010). Obteniéndose un resultado de 9.0 cm en promedio.

**Tabla 2. Revenimiento obtenido.**

ELEMENTO	COLADA	REVENIMIENTO (cm)
Cilindro	1 C/C	10.5
Cilindro	2 C/C	9.0
Cilindro	3 S/C	8.5
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 cactus opuntia, bajo la sollicitación de las pruebas de resistividad eléctrica para determinar su riesgo a la corrosión según la publicación técnica No. 328 de la SCT.



**Figura 1. Resistividad a distintas edades del concreto.**

En la tabla 3 se presentan los parámetros que establecen si existe o no riesgo de corrosión en el concreto (definida por el manual de CONTROLS). De acuerdo a los resultados presentados en la gráfica 1, se observa alto riesgo.

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

Riesgo de corrosión	
$P > 200$ K ohms- cm	Poco riesgo
$200 > P > 10$ K ohms- cm	Riesgo moderado
$P < 10$ K ohms- cm	<b>Alto riesgo</b>

En las figuras 2 y 3 se muestra la calidad del concreto que presentan los cilindros y vigas analizados, obtenidos estos resultados mediante ondas de sonido, siguiendo la norma ASTM C 597-02, 2003.

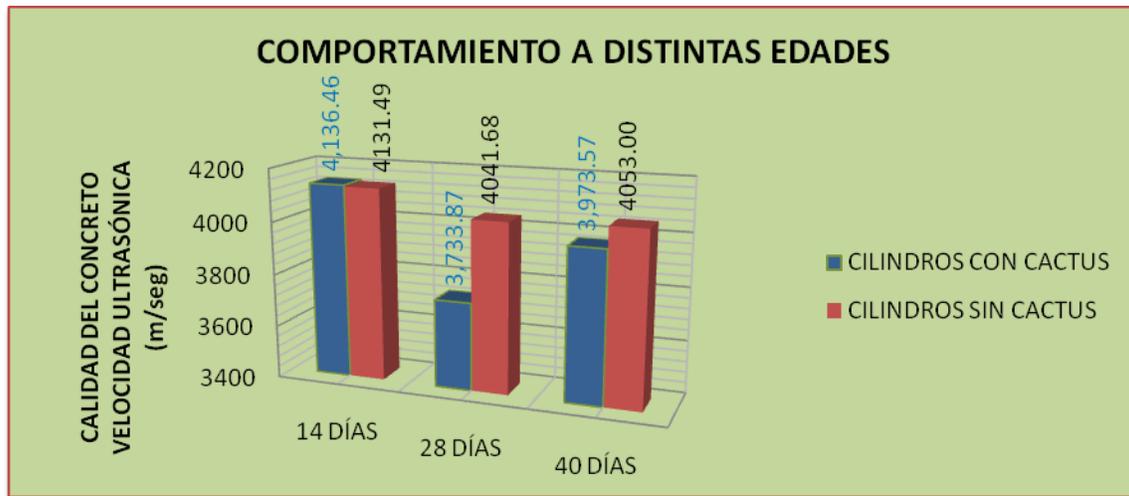


Figura 2. Calidad del concreto en cilindros.

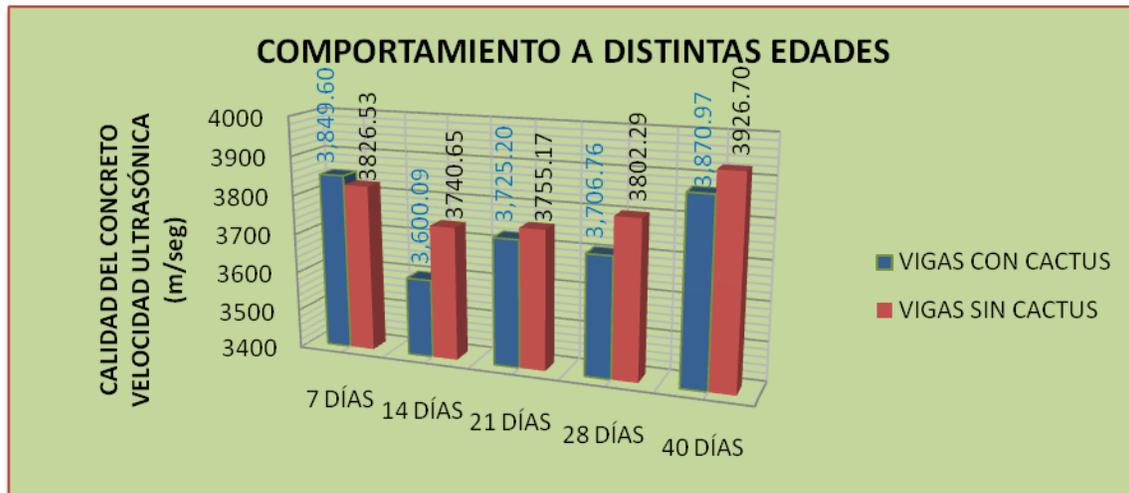


Figura 3. Calidad del concreto en vigas.

En la tabla 4 se presentan los rangos para calificar de manera tentativa al concreto analizado (definida por Malhotra en 1985), de acuerdo a los resultados presentados en las gráficas 2 y 3.

**Tabla 4. Clasificación del concreto de acuerdo a la velocidad ultrasónica.**

Velocidad ultrasónica, V (m/s)	Clasificación del concreto
$V > 4\ 575$	Excelente
$4\ 575 > V > 3\ 660$	<b>Bueno</b>
$3\ 660 > V > 3\ 050$	Cuestionable
$3\ 050 > V > 2\ 135$	Pobre
$V < 2\ 135$	Muy pobre

En la figura 4 se presentan los resultados de Esfuerzo de ruptura a compresión simple,  $f'_c$  en cilindros. Para poder observar el comportamiento del concreto se hace una comparativa con la

norma NMX-C-083-ONNCCE-2002, esto expresado en % de resistencia a la compresión a distintos días. Realizando la prueba de acuerdo a la norma NMX-C-109-ONNCCE-2004.

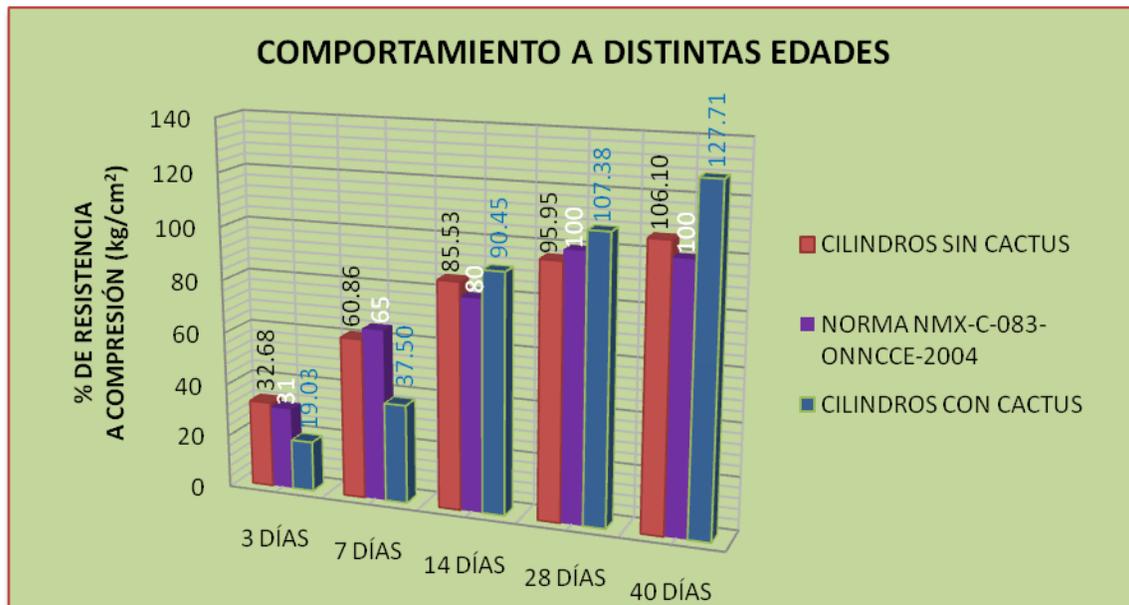


Figura 4. Promedios de resistencia entre concretos con cactus y sin cactus de acuerdo a la Norma NMX-C-083-ONNCCE-2004.

En la figura 5 se presenta el esfuerzo de ruptura a la tensión indirecta obtenido en cilindros. Esta resistencia ayuda a determinar cómo falla el concreto, (falla de matriz cementicia o falla de agregados) Realizando la prueba de acuerdo a la norma ASTM C 496-96.

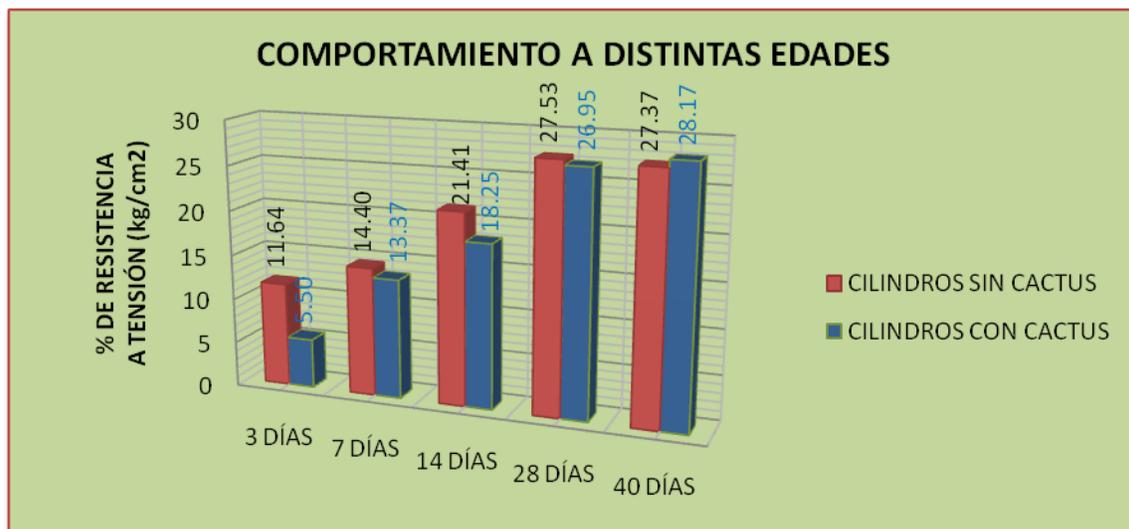


Figura 5. Comparación de resistencia entre cilindros con cactus y sin cactus.

Por último en la figura 6 se muestra el esfuerzo de ruptura a la flexión obtenido en vigas de concreto. Aquí se determina la capacidad del concreto de deformarse, es decir, la resistencia a la tensión o modulo de ruptura (MR) De acuerdo con la norma NMX-C-091-ONNCCE-2004.

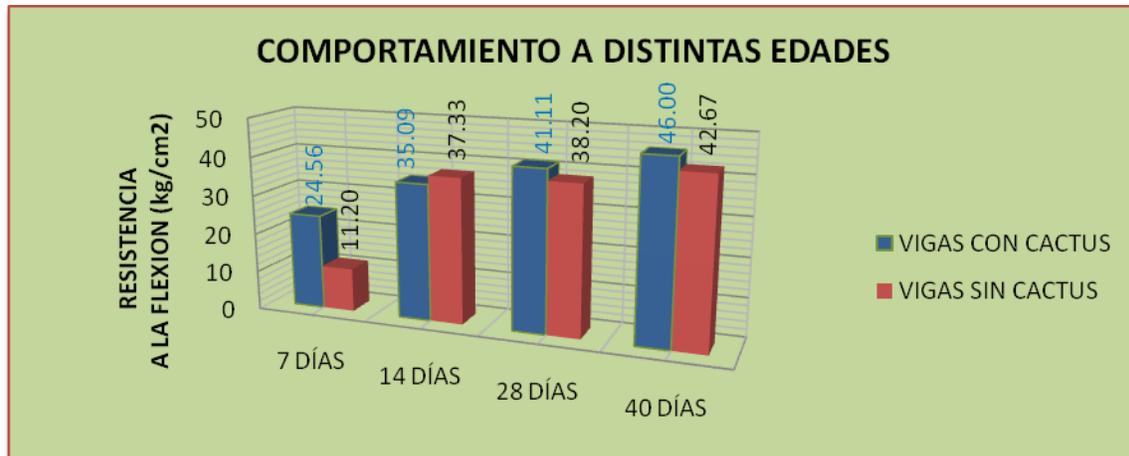


Figura 6. Comparación de resistencia a la flexión entre vigas con cactus y sin cactus.

## CONCLUSIONES

La adición de cactus al concreto beneficia el comportamiento mecánico de los elementos colados, al incrementar la resistencia a compresión en un 11.43% y a flexión en un 3.78%, respecto a los especímenes testigo; se observó que esta incorporación mejora las características físicas de la mezcla reduciendo la segregación, mejora la manejabilidad, aumenta la cohesión entre la pasta y agregados, retarda el fraguado y además, hay evidencia de que puede evitar la corrosión y servir como aislante del agua (estos dos últimos aspectos aún siguen en investigación). 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 probetas fue cambiando rápidamente, obteniéndose así resistencias superiores en las probetas que contenían el aditivo de cactus y aún en la actualidad sigue incrementándose esta diferencia entre una mezcla y otra.

Relacionando la resistencia a compresión ( $f'_c=268.46 \text{ kg/cm}^2$  del concreto con aditivo y  $f'_c=239.88 \text{ kg/cm}^2$  del concreto sin aditivo) a 28 días con respecto a la resistencia a tensión indirecta ( $f_t$ ) y al Módulo de ruptura (MR), se obtiene que el  $f_t=10.02\%f'_c$  y el  $MR=15.31\%f'_c$  para cilindros con cactus y  $f_t=11.48\%f'_c$  y el  $MR=15.92\%f'_c$  para cilindros sin cactus; que son porcentajes superiores a los encontrados para agregados redondeados<sup>21</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Y del proyecto de REDES SEP PROMEP Red Temática Promep para la Conservación de Materiales de Interés Histórico y Artístico, 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.

El cemento empleado en esta investigación fue proporcionado por Holcim, APASCO, por medio del Ing. Víctor Manuel Chávez del Valle.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] <http://nabataea.net/cement.html>, consulta 04 Marzo 2012.

- [2]<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC148931/>, consulta 04 Marzo 2012; Torres Acosta Andrés Antonio, Martínez Molina Wilfrido, Lomelí González María Guadalupe, Pérez Gallardo Alejandro, 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, 90 p.
- [3]NMX-C-030-ONNCCE-2004 Industria de la construcción -Agregados - Muestreo.
- [4]NMX-C-166-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Agregados - Contenido total de humedad por secado método de prueba.
- [5]NMX-C-165-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados Masa específica y absorción de agua del agregado fino - método de prueba.
- [6]NMX-C-164-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados- determinación de la masa específica y Absorción de agua del agregado grueso.
- [7]ASTM C 128-01 Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de los agregados finos.
- [8]NMX-C-073-ONNCCE-2004 Industria de la construcción - agregados - masa volumétrica - método de prueba.
- [9]NMX-C-077-1997-ONNCCE Industria de la construcción - agregados para concreto - análisis granulométrico - método de prueba.
- [10]NMX-C-152-ONNCCE-2010. Industria de la construcción -Cementantes hidráulicos- Método de prueba Para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos.
- [11]NMX-C-059-1997-ONNCCE Industria de la construcción - determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (método de Vicat).
- [12]NMX-C-122-2004-ONNCCE. Industria de la construcción – agua para concreto – especificaciones.
- [13]Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) Reported by ACI Committee 211.
- [14]NMX-C-159-2004-ONNCCE Industria de la construcción - Concreto -Elaboración y curado, en el laboratorio de especímenes.
- [15]Torres Acosta Andrés Antonio, Martínez Molina Wilfrido, Lomelí González María Guadalupe, Pérez Gallardo Alejandro, 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.
- [16]ASTM Test Designation C 597-02, 2003, Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, West Conshohocken, PA.
- [17]NMX-C-083-ONNCCE Industria de la construcción -Concreto - Determinación de la resistencia la compresión de cilindros de concreto.
- [18]ASTM C 496-96 Método de ensayo para determinar la resistencia a tensión indirecta de cilindros de concreto
- [19]NMX-C-191-ONNCCE-2004 Industria de la construcción - Concreto -Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro
- [20]ANÁLISIS DE MATERIALES; Luis Manuel Navarro Sánchez, Wilfrido Martínez Molina y José Antonio Espinoza Mandujano, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Facultad de Ingeniería Civil, Laboratorio de Materiales del Departamento de Materiales. Pág. 19.
- [21]Guzmán Torres José Alberto, 2011, “Solicitaciones mecánicas estáticas y dinámicas a concreto hidráulico simple elaborado con agregados pétreos redondeados y adicionados con fibras deshidratadas de cactus opuntia” Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.