ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN CONCRETO TRADICIONAL CON ADICIÓN DE FIBRA DE CABELLO HUMANO

J. DUARTE-MONTES DE OCA¹, N. DÍAS-GONZÁLES², E. M. ALONSO-GUZMÁN²,
R. RUIZ-RUIZ², V. A. RAMÍREZ-CARRANZA¹.

¹ Pasante de ingeniería civil y Tesista, Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México 58040.

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

RESUMEN

Esta investigación buscó incrementar el comportamiento mecánico a compresión simple y a flexión de un concreto con la adición de fibras de cabello humano el cual es un residuo con propiedades resistentes que se puede aprovechar como adición en la elaboración de mezclas de concreto hidráulico y así mejorar las cualidades en pavimentos hidráulicos. Para la elaboración de especímenes se utilizó el método de diseño de mezclas ACI para la dosificación de los materiales, se curaron por inmersión hasta la edad de prueba. Las pruebas realizadas fueron, destructivas, compresión simple en cilindros y flexión en vigas. Las no destructivas son: velocidad de pulso ultrasónico y resistividad eléctrica. Los resultados son aceptables, aunque no aumento ninguna de las propiedades mecánicas del concreto podemos decir que aporta algo de elasticidad al concreto ya que observó una diferencia del 10% entre la testigo y la adición de cabello, lo cual indica que mejora el Módulo de Ruptura, reduce el agrietamiento de las losas de concreto y reduce el impacto ambiental.

Palabras clave: concreto; cabello; módulo de ruptura; agrietamiento.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los elementos más utilizados en el ámbito de la construcción y en la ingeniería civil, uno de los grandes problemas con él, es la generación de grietas las cuales van desde una apariencia desagradable, hasta fallas estructurales muy significativas, en la tarea por reducir estas grietas han surgido en el mercado diversos aditivos que prometen ayudar a este padecimiento en el concreto, uno de ellos son las fibras sintéticas ya sea en su tamaño micro o macro, generalmente de polipropileno 100% virgen, que establecen y conforman grupos únicos en un sistema sinérgico de gran desempeño para mejorar la resistencia al impacto, incrementar la resistencia a la fatiga, minimizar los efectos de contracción plástica y aumentar la vida útil.

Sin embargo, al ser un material plástico proveniente del petróleo una fuente agotable en nuestro planeta, genera un impacto en el consumo masivo de este recurso que se pudiera utilizar en aspectos de primera necesidad para el ser humano, es por ello que se planteó la alternativa de sustituirlo por fibras de cabello humano, que al ser un elemento que al cortarlo se convierte en desecho que generalmente termina en los depósitos de destino final sin darle ningún uso secundario, y al ser en cierta parte parecido a estas fibras de polipropileno, se estudió su comportamiento en conjunto con el concreto.

2. AGRIETAMIENTO DEL CONCRETO

Las investigaciones han demostrado que existen grietas muy finas en la interface entre el agregado grueso y la pasta de cemento, asociadas con la contracción y el movimiento térmico aun sin estar sometido a carga. Esto se debe a la inevitable diferencia en propiedades mecánicas entre el agregado grueso y la pasta de cemento hidratado.

Los microagrietamientos se han sugerido en un límite máximo de 0.1mm este es el tamaño más pequeño que se puede identificarse comúnmente a simple vista.

Estos microagrietamientos permanecen estables hasta aproximadamente 30% de la carga final, y entonces comienzan a aumentar en longitud, ancho y número. Esta es la propagación lenta del agrietamiento.

Una vez superado el 70% de la carga final se propagan grietas a través del agregado fino y la pasta cementante; ellas se enlazan con las grietas de adherencia, así llegamos a la etapa de rápida propagación del agrietamiento. El comienzo de esta corresponde a la deformación volumétrica y si se sostiene la carga puede producirse la falla con el tiempo.

Otro factor importante del agrietamiento, generalmente en losas de concreto hidráulico, es la temperatura debido a los gradientes térmicos a los que está sometido el concreto en servicio. El conocimiento de la expansión térmica del mismo cuando aumenta su temperatura requiere de un diseño de juntas de expansión y contracción para reducir su efecto sobre él.

La falla por fatiga generalmente inicia como una grieta que al estar sometida a cargas repetitivas constantemente comienza a aumentar de tamaño en todas direcciones hasta llevar a la falla del concreto.

3. MICROFIBRA PARA EL REFUERZO DE CONCRETO

Fibras de polipropileno 100% virgen, en forma de multifilamentos, de color blanco, cero absorción, conductividad térmica y eléctrica baja, resistente a la salinidad y al ácido, que actúan como refuerzo secundario en el concreto, con la finalidad principal de reducir los agrietamientos producidos por contracción plástica en concreto en estado fresco y por temperatura en estado endurecido, así como mejorar la resistencia al impacto, incrementar la resistencia a la fatiga y aumentar la vida útil.

Sus principales usos son en pisos industriales, pavimentos, plataformas, concreto lanzado, canales, túneles, tanques de agua, lagunas artificiales albercas y estabilización de taludes.

Algunas de sus ventajas es la de sustituir las mallas electrosoldadas, varillas pequeñas y fibras de acero, es anticorrosiva, antimagnética y 100% a prueba de álcalis. Facilita el manejo del concreto en obra, reduce el costo de colocación, transporte, manipulación. Incrementa la durabilidad del concreto, resistencia a la flexión y resistencia a la fatiga. En procesos de concreto lanzado, reduce el rebote y desgaste de equipos. Disminuye el agua de sangrado, ofrece una matriz de refuerzo tridimensional en comparación con el bidimensionamiento de la malla electrosoldada, reduce la segregación, fácil de usar, no se oxida y permanece estable durante toda la vida útil del concreto, se logra una superficie limpia y pulida libre de fibras superficiales.

Imagen 1. Muestra de microfibra de polipropileno.

4. CABELLO HUMANO

Formado por queratina, tan resistente como el acero, el cabello es sin embargo flexible como es permeable puede hincharse, es elástico y recobra fácilmente su forma inicial. Estas propiedades le son conferidas por su estructura formada por la cutícula constituida por tres capas escamosas de queratina que se recubren como las del pescado que forman una barrera contra las agresiones, por el córtex, aporta bajo las escamas lo esencial de estas propiedades resistencia, permeabilidad, elasticidad, están constituidas por macrofibrillas envueltas en la matriz, esta contiene queratina amorfa y melanina que es la responsable del color en el cabello, estas a su vez están compuestas por microfibrillas que contienen entre 5 a 11 protofibrillas que parecen cuerdas retorcidas de 2 o 3 filamentos y cada hebra en una cadena queratinica enrollada en sí misma, estas están interconectadas por uniones químicas o puentes q garantizan la cohesión de estas compleja estructura, que da al cabello se resistencia, el agua

es capaz de romper los puentes más débiles de hidrogeno y los salinos pero si secamos un cabello mojado esos puentes se reconstruyen nuevamente en la misma dirección. La presencia de puentes más sólidos, llevaran al cabello a su forma inicial. Lo que comprueba su elasticidad.

Imagen 2. Cabello humano utilizado en las pruebas.

5. PROCEDIMIENTO

Para la elaboración del concreto, se eligieron los materiales a utilizar; cemento CPC 30R-RS “Cemento Portland Compuesto, resistente 30 de resistencia rápida y resistente a los sulfatos” y agua potable de la llave. El material pétreo volcánico y triturado se obtuvo del banco de materiales “Roka” 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, % Humedad de Absorción, Densidad, Masa volumétrica Seca varillada, Masa volumétrica Seca Suelta, y Granulometría a los agregados pétreos. Al cemento se le realizaron pruebas de: Densidad y Tiempos de Fraguado, para verificar su reacción. Se verificó la potabilización del agua de acuerdo con el: Color, Sabor, Olor y pH.

El cabello humano se obtuvo de una peluquería local.

El concreto se diseñó de acuerdo al ACI (American Concrete Institute), con una relación agua/cemento de 0.54; se realizaron dos mezclas una tradicional como testigo y punto de comparación y la otra con la adición de fibras de cabello humano la cual se agregó en un 0.8% del peso del cemento y en estado fresco se le hicieron pruebas de revenimiento, para analizar su fluidez 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 12 moldes cilíndricos de 15cm de diámetro 30cm de alto y 12 vigas rectangulares 15cm de alto 15cm de ancho y 60cm de largo, se engrasaron y se ajustaron los tornillos de los moldes, se colaron las muestras y después de 24 horas se desmoldaron, para comenzar su curado por inmersión hasta cumplir la edad, para pruebas a compresión, tensión y flexión a edades de 7, 14 y 28 días en el caso de cilindros, en vigas a las edades de 14, 28 y 70 días.

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 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 (UPV), que consiste en determinar la velocidad (m/s) a la cual una onda sónica atraviesa un espécimen. Las pruebas destructivas fueron: compresión simple, tensión indirecta y módulo de ruptura; estas pruebas se realizaron con la prensa hidráulica, con la cual se obtiene la carga máxima de ruptura de los especímenes, de acuerdo con el área y tipo de prueba, para determinar su resistencia.

6. RESULTADOS

Se presentan los promedios de la caracterización de los materiales. Determinar los valores % de humedad de absorción, densidad, masa volumétrica seca suelta (MVSS), masa volumétrica seca varillada (MVSV), módulo de finura de la arena (MF) y tamaño máximo de la grava (TM) de lo cual resultó lo mostrado en la Tabla 1.

De acuerdo con lo analizado se observaron características adecuadas de los materiales, de acuerdo a la normativa vigente, módulo de finura dentro de normativa recomienda un MF de 2.3 a 3.2 unidades.

Tabla 1. Resultados de pruebas a los materiales pétreos y cementantes.

CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES						
MATERIAL	% H. ABSORCIÓN	DENSIDAD (g/cm ³)	MVSS (kg/cm ³)	MVSV (kg/cm ³)	MF (gr/gr)	TM (in)
Arena	4.04	2.506	1390.91	1525.45	2.69	
Grava	1.64	2.754	1492.45	1610.38		¾
Cemento		3.176	1490.00			

El revenimiento obtenido en promedio fue de 10cm en cada una de las mezclas elaboradas, lo cual indica que la adición de cabello humano no perjudica la fluidez de la mezcla.

En Resistividad eléctrica se muestran los resultados obtenidos en la figura 1 correspondiente a cilindros y figura 2 a vigas del concreto con y sin la adición de cabello humano, para determinar su riesgo a la corrosión.

Figura1. Resultados de resistividad eléctrica de los cilindros analizados a diferentes edades.

Figura2. Resultados de resistividad eléctrica de las vigas analizadas a diferentes edades.

Tabla 2. Parámetros de riesgo de corrosión.

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

Con respecto a la tabla 2. Se observa que la resistividad es muy baja y por tanto existe alto riesgo de corrosión ($P < 10 \text{ k ohm-cm}$).

Dentro de las pruebas no destructivas analizamos la de velocidad de pulso ultrasónico, la cual nos da un parámetro de la calidad de concreto obtenido.

Figura 3. Resultados de velocidad de pulso ultrasónico en cilindros a diferentes edades.

Figura 4. Resultados de velocidad de pulso ultrasónico en vigas a diferentes edades.

Tabla 3. Calidad del concreto con respecto a la velocidad de pulso ultrasónico.

CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO DE ACUERDO A LA VELOCIDAD ULTRASONICA	
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 general se puede observar que los valores obtenidos se encuentran dentro de una calidad BUENA. En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos de Esfuerzo de ruptura a compresión simple, f'_c en cilindros, comparado con lo especificado en la norma, con la finalidad de observar el comportamiento de la resistencia del concreto en % a distintas edades. Se observa que el concreto con fibra de cabello humano presenta una resistencia por debajo del concreto testigo y de lo señalado por la norma.

Figura 5. Resultados en porcentaje de la resistencia a la compresión.

El esfuerzo de ruptura a la flexión obtenido en vigas de concreto. Donde se determina la capacidad resistente del concreto a deformarse o módulo de ruptura (MR); el comportamiento de la mezcla fue muy similar durante los primeros ensayos, llegando a superar a la testigo a mitad de la edad, finalizando con una baja al finalizar las pruebas. De lo cual podemos observar que la fibra de cabello humano proporciona resistencia a la flexion a edades tempranas mientras que a edades tardías disminuye en aproximadamente un 10 %.

7. OBSERVACIONES

A pesar de los resultados un poco desalentadores en la práctica y pruebas de los especímenes se pudo observar que los especímenes presentaban una resistencia a ser deformados ya que al llegar la falla los bloques de concreto no se desprendían del todo y en algunos se pudo ver el cabello estirado evitando que se desprendiera.

8. CONCLUSIONES

Aunque las fibras de cabello humano no mejoran las propiedades mecánicas del concreto podemos observar que si aporta cierta cohesión y anclaje dentro del concreto y sus partículas, se observó también que donde se generaba una grieta al entrar en contacto con las fibras de cabello tardaba más en seguir avanzando lo que nos indica una ventaja en cuestión del agrietamiento inicial y lento que se presenta en edades tempranas del concreto además en esta propiedad puede ser satisfactoria para reducir el agrietamiento leve por fatiga.

9. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo al laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo UMSNH en esta investigación, por facilitar el uso de sus equipos e instalaciones, la asesoría y guía y el financiamiento de los recursos.

10. REFERENCIAS

- ACI 211.1-91 (), *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Reported by ACI Committee 211.
- Adam M.Neville (1995), “*Tecnología del Concreto*”. IMCIC.
- ASTM-C-128-01. *Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de los agregados finos*.
- 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.

- DURAR (2002). *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*, (CYTED). Pag. 92.
- NMX-C-030-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción -Agregados - Muestreo*.
- NMX-C-166-ONNCCE-2006. *Industria de la construcción – Agregados - Contenido total de humedad por secado método de prueba*.
- NMX-C-165-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción – Agregados Masa específica y absorción de agua del agregado fino - método de prueba*.
- NMX-C-164-ONNCCE-2002. *Industria de la construcción – Agregados- determinación de la masa específica y Absorción de agua del agregado grueso*.
- NMX-C-073-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción - agregados - masa volumétrica - método de prueba*.
- NMX-C-077-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción - agregados para concreto - análisis granulométrico - método de prueba*.
- NMX-C-152-ONNCCE-2010. *Industria de la construcción -Cementantes hidráulicos- Método de prueba Para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos*.
- NMX-C-059-ONNCCE-2010. *Industria de la construcción - determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (método de Vicat)*.
- NMX-C-122-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción – agua para concreto – especificaciones*.
- NMX-C-156-ONNCCE-2010. *Industria de la construcción-Concreto hidráulico-determinación del revenimiento en el concreto fresco*.
- NMX-C-159-ONNCCE-2004. *Industria de la construcción - Concreto -Elaboración y curado, en el laboratorio de especímenes*.