

Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado

Ing. Juan Carlos Moya MSc.¹ Ing. Luis Cando Lara.²

¹ Docente - Investigador, Coordinador Unidad de Titulación Carrera de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática
Universidad Central del Ecuador
Alejandro Valdez s/n y Av. La Gasca, Quito, D.M
e-mail: jmoya@uce.edu.ec juancmoya4@gmail.com

² Investigador, Carrera de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática
Universidad Central del Ecuador
Alejandro Valdez s/n y Av. La Gasca, Quito, D.M

Información del artículo

Recibido: Junio 2017 - Aceptado: Octubre 2018

Resumen

La presente investigación tiene la finalidad de proporcionar información técnica como alternativa al uso de productos comerciales, en el cual se comprobará si la utilización de fibras metálicas recicladas puede reemplazar a las fibras metálicas comerciales utilizándolas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Se usarán fibras metálicas recicladas producidas como desperdicios de la industria metalmeccánica, se analizarán las propiedades físicas y mecánicas de muestras de hormigón en estado fresco y endurecido en tres diferentes tipos de combinaciones: hormigón simple sin ningún tipo de refuerzo, hormigón con fibras metálicas comerciales y hormigón con fibras metálicas recicladas, de cada combinación se realizará ensayos de: compresión simple, tracción indirecta por el método Brasileño, ensayo a flexión y la determinación del módulo de elasticidad. En estado fresco se analizarán las propiedades físicas: consistencia, homogeneidad y trabajabilidad, permitiendo conocer con estos parámetros la facilidad o dificultad de realizar la mezcla de hormigón con cada tipo de fibras. En estado endurecido las propiedades a ser analizadas serán: compresión simple, tracción indirecta, flexión y módulo de elasticidad con esto se determinará el comportamiento de cada tipo de fibra ante las cargas de servicio.

Palabras clave: Hormigón con fibras metálicas, fibras metálicas comerciales, fibras metálicas recicladas, elaboración de mezclas de hormigón, compresión simple, tracción indirecta, flexión vigas, modulo de elasticidad

Abstract

This research has the purpose of providing technical information as an alternative to the use of commercial products, which will check if the use of recycled metal fibers can replace to commercial metal fibers using them to improve the concrete properties. It will use recycled metal fibers produced as waste from the metal-mechanical industry. The physical and mechanical properties of fresh and hardened concrete samples in three different types of combinations will be analyzed: plain concrete without any reinforcement, concrete with commercial metal fibers and concrete with recycled metal fibers. Tests of each combination of: simple compression, indirect tensile by the Brazilian method, flexural test and the determination of the modulus of elasticity will be carried out. In fresh state, it will analyze the physical properties: consistency, homogeneity and workability, allowing to know with these parameters the ease or difficulty of making mix concrete with each type of fibers. In hardened state properties to be analyzed will be: simple compression, indirect tensile, bending and modulus of elasticity, therefore it will determine the behavior of each type fiber taking account the service loads.

Keywords: Concrete con steel fibers, commercial metal fibers, recycled metal fibers, preparation of concrete mixtures, simple compression, indirect tensile, flexing beams, modulus of elasticity.

1. Introducción

La Ingeniería Civil es una profesión que abarca muchos campos de acción en los cuales se tiene que planificar, diseñar, administrar, gestionar, asesorar, investigar y ejecutar proyectos para el desarrollo de la sociedad (UCE, 2016). Dentro de estas actividades la investigación es base fundamental para **mejorar las características mecánicas de los materiales** que intervienen en los proyectos de infraestructura, buscando que sean más resistentes, menos pesados, más flexibles, o cumpliendo características específicas para cada condición planteada.

El tema central de esta investigación es el hormigón, el mismo que desde la antigüedad se ha desarrollado gracias al conocimiento empírico, según Nilson & Darwin (2001, pág. 1) el hormigón es considerado como un material de construcción universal del cual se ha logrado obtener un conocimiento científico en base a la investigación. La característica principal del hormigón es su elevada resistencia a esfuerzos de compresión y prácticamente baja resistencia a esfuerzos de tracción, por esta última condición al hormigón generalmente se le asocia con el acero de refuerzo para tener un material que pueda ser usado en diferentes condiciones.

En la actualidad existen materiales que se encargan en mejorar las propiedades del hormigón. **Esto se logra introduciendo en la matriz del mismo, productos de origen industrial como: fibras metálicas, fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de polietileno entre otras.** Existe un sinnúmero de materiales que se pueden utilizar para mejorar esta propiedad del hormigón pero la más usada y de la cual se tiene productos comerciales son las fibras metálicas.

Con el afán de contribuir al medio ambiente y a la vez mejorar las propiedades del hormigón, se busca emplear materiales alternativos que son caracterizados como desechos o desperdicios. En nuestro caso usar las fibras metálicas producida por los residuos de los talleres mecánicos del cual se puede visualizar un campo de acción muy amplio dentro de la construcción.

2. Planteamiento del problema

Desde la antigüedad los seres humanos trataron de resolver sus necesidades en base al ingenio, utilizando su conocimiento empírico, creando y mejorando sus materiales de tal manera que cumpliera con sus requerimientos. Una de las problemática dentro de la Ingeniería Civil se centra en mejorar las características de los materiales, buscando utilizarlos como alternativos a los ya conocidos.

Desde la aparición del hormigón hidráulico en el siglo XIX (Harmsen, 2002, pág. 1), se presentó un desarrollo constructivo a gran escala, siendo el material de construcción que más se ha desarrollado. Pues bien, el hormigón presenta propiedades favorables como: ser moldeable en su etapa de preparación, tener gran resistencia ante esfuerzos de compresión y ser un material relativamente económico (Ortega García, 1988, pág. 11), pero como todo material también tiene sus desventajas, y la más desfavorable es que conserva una baja capacidad de resistir esfuerzos de tracción, por lo que esa fragilidad se convirtió en una de las razones para empezar a buscar métodos de reforzarlo.

Debido al gran desarrollo de la industria metal mecánica, originado por el aumento de la producción y el incremento de procesos mecanizados, se observa que esta industria genera residuos metálicos con formas laminares, llamados comúnmente “virutas”.



Fotografía 1. Residuos de acero de la industria metalmecánica.

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Analizando un poco el origen de estos residuos se determina que estas virutas son obtenidas de

aceros de gran resistencia, superando incluso al acero de refuerzo convencional. Con estos puntos de vista nace la idea de analizar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado.

Para validar el uso de las fibras metálicas recicladas como refuerzo en el hormigón es necesario estudiar el comportamiento de las fibras en el proceso de mezclado y en el estado de cargas de servicio, comparando su comportamiento con las fibras comerciales para tener un punto de referencia del comportamiento de las fibras metálicas como material de refuerzo en el hormigón.

3. Justificación

3.1 Justificación teórica

Es de interés mundial y local mantener un medio ambiente en condiciones aptas para las futuras generaciones, es por esto que hoy en día se pretende desarrollar técnicas constructivas que motiven la utilización de materiales reciclados dentro de las infraestructuras civiles, generando de esta forma menor volumen de desperdicios sólidos y el costo de los elementos estructurales.

Una vez verificados los beneficios que traería en el desarrollo de la construcción el empleo de un hormigón especial utilizando los desperdicios metálicos, se considera de importancia proceder a realizar este proyecto de investigación de modo que sirva como empuje para futuras pruebas y análisis que ayuden a profundizar en el estudio de las fibras recicladas como refuerzo en el hormigón y de esta forma fijar conceptos capaces de justificar su uso.

3.2. Justificación práctica

Mediante la incorporación de fibras se pretende mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón en estado fresco y en estado endurecido, con la finalidad de ser empleados en obra, generando beneficios económicos al utilizar materiales que prácticamente son excluidos por la industria. Otro punto importante a destacar es minimizar la huella ambiental generada por los desperdicios metálicos que en el mejor de los casos terminan reciclados o caso contrario termi-

nan en botaderos de basura sin ningún tipo de control.

El presente proyecto de investigación dará bases técnicas, a partir de pruebas de laboratorio y análisis comparativos entre: hormigón sin fibras, hormigón con fibras metálicas comerciales y hormigón con fibras metálicas recicladas. Estas comparaciones establecerán las ventajas, desventajas y la forma de utilización de los hormigones reforzados con fibras de acero reciclados.

La utilización dentro del campo de la construcción se deberá llevar a cabo con un adecuado control de calidad tomando en cuenta las recomendaciones, desde el manejo y separación de las fibras recicladas hasta su dosificación y mezclado con los elementos constitutivos del hormigón, además hay que tener en cuentas las restricciones o inconvenientes de usar las fibras metálicas recicladas.

4. Antecedentes

Durante las tres últimas décadas se ha producido un gran desarrollo en la industria de la construcción, desarrollo que ha alcanzado, no solo a las técnicas de diseño y cálculo, sino también a la tecnología del hormigón y, por supuesto, al propio hormigón.

El hormigón reforzado con fibras (HRF), es un material compuesto por fibras (metálicas, plásticas, fibras de vidrio, entre otros.) embebidas y distribuidas en la matriz de hormigón. Hay una serie de factores como la geometría de las fibras, su distribución y su densidad en la masa de hormigón, que caracterizan las propiedades y el comportamiento final de la misma.

En la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Central del Ecuador se han realizado investigaciones a cerca de la aplicación de las diferentes tipos de fibras en la elaboración de hormigones y el correspondiente análisis sobre sus propiedades físico-mecánicas del mismo; de dichos estudios se cita el siguiente caso que se debe considerar como relevante:

En la investigación realizada durante el período febrero-agosto 2016 por los investigadores Saca & Lucero, en el estudio comparativo de las pro-

propiedades físico-mecánicas del hormigón al añadir fibras comerciales metálicas y sintéticas, se llega a la conclusión que el hormigón con fibras metálicas tiene mejores propiedades por cuanto es más ligero, más resistente y más económico que el hormigón con fibras sintéticas.

A partir de las ideas anteriormente expuestas, el propósito del presente estudio es conseguir un hormigón de baja densidad con una resistencia a la compresión por lo menos de 240 kg/cm^2 y a un bajo costo; con la finalidad de alcanzar estas características el hormigón elaborado con fibras de acero reciclado se debe saber responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la forma de las fibras de acero reciclado a utilizarse?
- ¿Qué cantidad de fibras es la apropiada para elaborar el hormigón?
- ¿Cómo se debe dosificar al hormigón para alcanzar los resultados deseados?
- ¿Qué propiedades físico-mecánicas se logran mejorar?

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado.

5.2 Objetivos específicos

- Definir los tipos de fibras comerciales y recicladas que van a emplearse en este estudio.
- Establecer el porcentaje óptimo de fibras para los diferentes estados de esfuerzos en el hormigón.
- Determinar las propiedades del hormigón elaborado con y sin fibras, tanto en estado fresco como endurecido

6. Fundamentación teórica

Las fibras son empleadas en aplicaciones estructurales en las cuales se requiere mejorar las características del hormigón como, **reducir las fisuras** que se generan por la retracción del hormigón, incremento en la durabilidad y reducción o sustitución del acero de refuerzo principalmente en la cara traccionada de los elementos sujetos a flexión.

La efectividad de las fibras está relacionada con la capacidad de dispersión, frecuencia de fibra y finura de éstas. Resulta obvio que en función de la dosificación, de las longitudes de fibra y de las propiedades de las mismas se confiere al hormigón propiedades distintas, de esta manera se acentúan más unas propiedades sobre otras en función de los distintos usos y aplicaciones del hormigón reforzado con fibras.

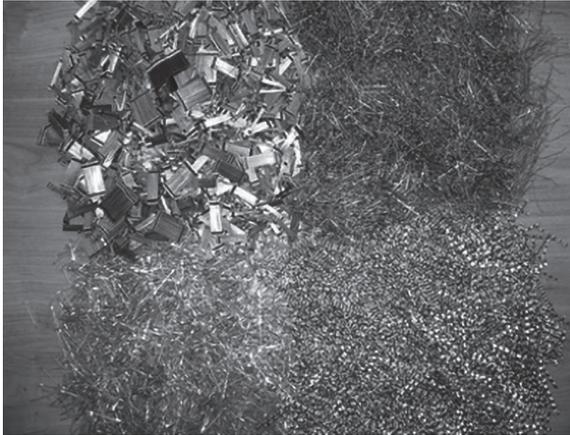
6.1 Fibras para hormigón

La norma ASTM C 1116 define a las fibras como: “Filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco”.

En el mercado existe una gran variedad de fibras elaboradas con diferentes tipos de materiales y sección transversal, desde hace mucho tiempo el uso de este tipo de hormigones ha representado una solución muy útil debido a que mejora las características del hormigón y lo convierten en un material que se puede acoplar a diferentes estados de servicio.

6.2 Fibras metálicas

Las fibras metálicas son filamentos de alambre de acero, deformados y cortados, que se adicionan al hormigón con el fin de mejorar sus propiedades, entre ellas: brindar mayor resistencia a la tracción, controlar la fisuración, mejora su tenacidad (energía total que se requiere para llevar a un elemento hasta la rotura), aumenta su resistencia al impacto (absorción de energía).



Fotografía 2. Fibras metálicas comerciales

Fuente: (LANZCO, 2016)

Comúnmente las fibras metálicas son fabricadas en base al estiramiento y corte de alambres de acero de diámetros típicos que van desde 0.25 a 0.76 mm. También existe la fibra de acero plana, producida por un proceso de laminado de alambres de acero, presentada en secciones transversales de 0.15 a 0.41 mm de espesor, por 0.25 a 0.90 mm de ancho.

Una fibra técnicamente más eficiente es la fibra de acero con extremos ensanchados de 0.15 a 0.30 mm de espesor, por 0.20 a 0.60 mm de ancho, debido a que proporcionan mayor adherencia, homogeneidad y trabajabilidad a la mezcla (Mármol Salazar, 2010).

Las aplicaciones del hormigón reforzado con fibras metálicas dependerán del servicio estructural que va a cumplir el elemento, en el cual se deberá aprovechar la fuerza de tracción estática y dinámica, las características de absorción de energía, tenacidad y resistencia a la fatiga.

Para aprovechar al máximo las propiedades de este material es necesario conocer la variedad de productos y sus usos.

Las propiedades que mejoran las fibras metálicas en el hormigón son:

- Mayor durabilidad del hormigón, debido a que las fibras de acero coadyuban a controlar la fisuración y evitan la propagación de grietas.

- Mejora muy notablemente la ductilidad del módulo de elasticidad del hormigón, evitando su fragilidad y aumentando la resistencia a flexotracción.
- Mayor resistencia a impactos y a esfuerzos repetitivos.
- Provee un refuerzo multidireccional.
- Reemplaza las mallas de refuerzo secundario con las fibras de acero.

6.3. Fibras metálicas recicladas

Las fibras metálicas recicladas son obtenidas de los desperdicios generados por la industria metal mecánica, específicamente por los tornos. El desperdicio generado (viruta metálica) es almacenado y colocado en lugares de acopio para posteriormente ser llevados a las recicladoras.



Fotografía 3. Virutas generadas por el torno.

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Debido al gran volumen que ocupan las fibras, los propietarios deben deshacerse rápidamente de estos residuos, en algunos de los casos al no existir ningún tipo de control les resulta fácil colocar en los depósitos de basura domésticos, terminando finalmente en los botaderos de basura o rellenos sanitarios sin ningún tipo de control. Cabe mencionar que los desechos metálicos son considerados como materiales peligrosos y necesitan un tratamiento específico.

Uno de los propósitos de esta investigación es aportar para lograr cumplir con el objetivo planetario de mitigar los efectos del calentamiento global, a reducir la huella ambiental generada por los desperdicios metálicos (virutas de acero), reutilizando este tipo de material en la fabricación de hormigón reduciendo así el volumen total de desperdicios. En el hormigón estas virutas cumplirán la función de mejorar las propiedades físicas y mecánicas.

6.3.1. Selección de las virutas para la investigación

La variedad de virutas metálicas depende en gran medida del tipo de acero y del tipo de desgaste que realice el torno, de este gran número de combinaciones es necesario determinar las fibras más adecuadas para realizar la investigación.

Como se pretende realizar una comparación con las fibras comerciales, nuestras fibras recicladas deben adoptar la forma de las fibras comerciales.

De toda la clasificación de las virutas de acero encontradas en los tornos se procederá a realizar una selección inicial, separando las virutas con similares formas y tamaños, esto se realizará para poder seleccionar las fibras que presentan mejores condiciones en el hormigón, las virutas se transforman a fibras cuando son cortadas en pedazos que permiten ser trabajados en el hormigón.

La facilidad de manipular las fibras está relacionada directamente con la forma de las fibras, las fibras laminares presentan mejor facilidad para ser manipuladas ya que pueden tener la longitud deseada sin modificar las características de la fibra, por otro lado las fibras en forma de zuncho también se pueden manipular pero tienen la dificultad que al estirarse no recuperan su forma original y se rompen con facilidad.

EDAD EN DÍAS	HORMIGÓN SIN FIBRAS	HORMIGÓN CON FIBRAS COMERCIALES	HORMIGÓN CON FIBRAS RECICLADAS
7	170.83	180.58	242.80
14	204.94	239.28	287.50
28	241.11	270.40	347.93



Fotografía 4. Fibras de acero recicladas óptimas

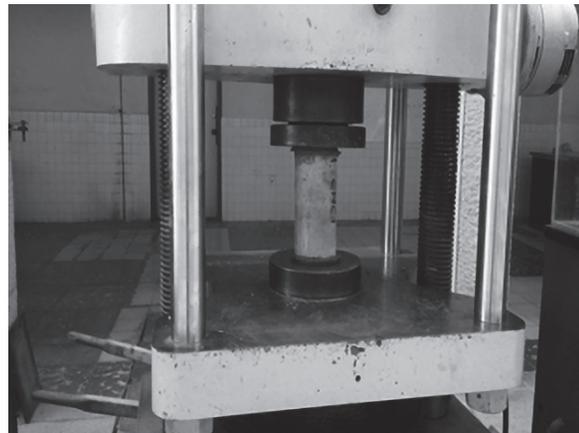
Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

7. Análisis e interpretación de los resultados

Para analizar las propiedades mecánicas del hormigón endurecido es necesario fabricar previamente probetas (cilindros, cubos y vigas) de prueba que serán ensayadas en cada una de las condiciones de carga (compresión, tracción, adherencia y flexión).

Para determinar las propiedades del hormigón endurecido las muestras de prueba deben haber pasado por un proceso de curado, para esta investigación los cilindros fueron curados sumergidos en agua y las vigas fueron curadas con su propia humedad (envueltas en una funda de plástico) a temperatura constante dentro de la cámara de humedad.

7.1 Resistencia a la compresión simple



Fotografía 5. Ensayo de compresión simple

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Tabla 1. Resistencia a la compresión simple

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

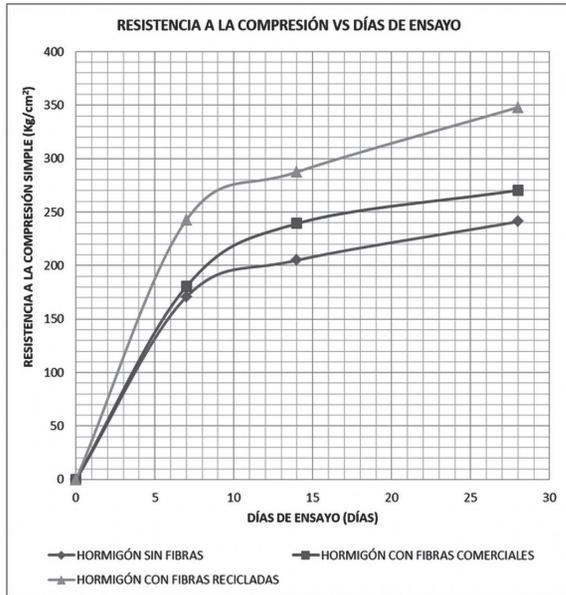


Gráfico 1. Curva Resistencia - Tiempo

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

7.2 Resistencia a la tracción indirecta



Fotografía 6. Ensayo brasileño

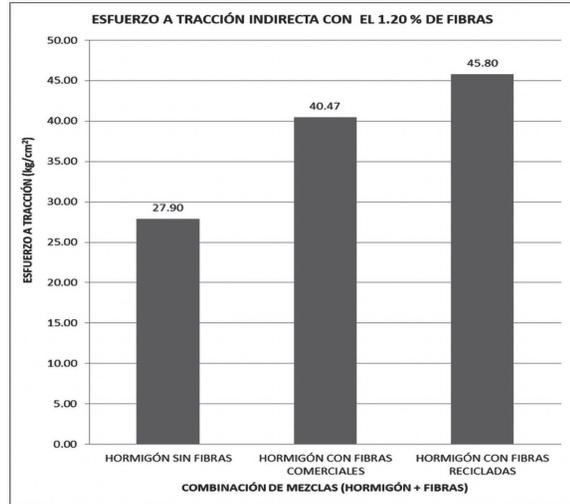
Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Tabla 2. Resistencia a la tracción indirecta

EDAD EN DÍAS	HORMIGÓN SIN FIBRAS	HORMIGÓN CON FIBRAS COMERCIALES	HORMIGÓN CON FIBRAS RECICLADAS
28	27.90	40.47	45.80

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Gráfico 2. Resistencia a la tracción indirecta



Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

7.3 Resistencia a la flexión



Fotografía 7. Ensayo a flexión en vigas

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Tabla 3. Resistencia a la flexión

EDAD EN DÍAS	HORMIGÓN SIN FIBRAS	HORMIGÓN CON FIBRAS COMERCIALES	HORMIGÓN CON FIBRAS RECICLADAS
28	36.66	51.86	48.97

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

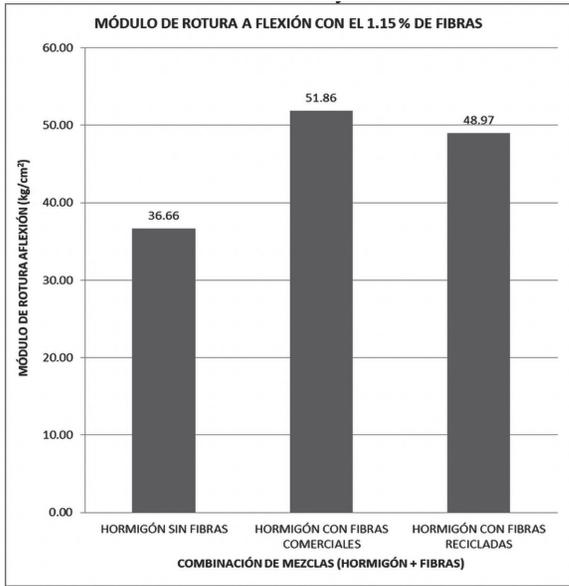


Gráfico 3. Resistencia a la flexión

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

7.4 Módulo de elasticidad



Fotografía 8. Ensayo de carga - deformación

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Tabla 4. Módulo de elasticidad

EDAD EN DÍAS	HORMIGÓN SIN FIBRAS	HORMIGÓN CON FIBRAS COMERCIALES	HORMIGÓN CON FIBRAS RECICLADAS
28	15880.16	16311.38	16905.91

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

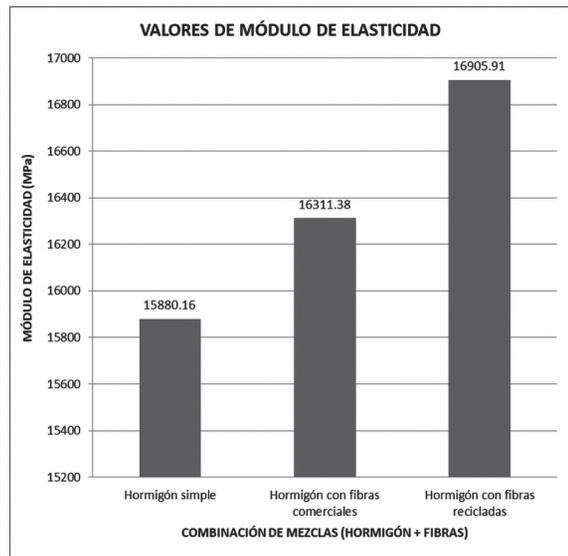


Gráfico 4. Módulo de elasticidad

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

7.5 Esfuerzo de adherencia hormigón - acero



Fotografía 9. Probetas prueba de adherencia

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

Tabla 5. Esfuerzo de adherencia

EDAD EN DÍAS	HORMIGÓN SIN FIBRAS	HORMIGÓN CON FIBRAS COMERCIALES	HORMIGÓN CON FIBRAS RECICLADAS
28	80.37	135.55	139.65

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

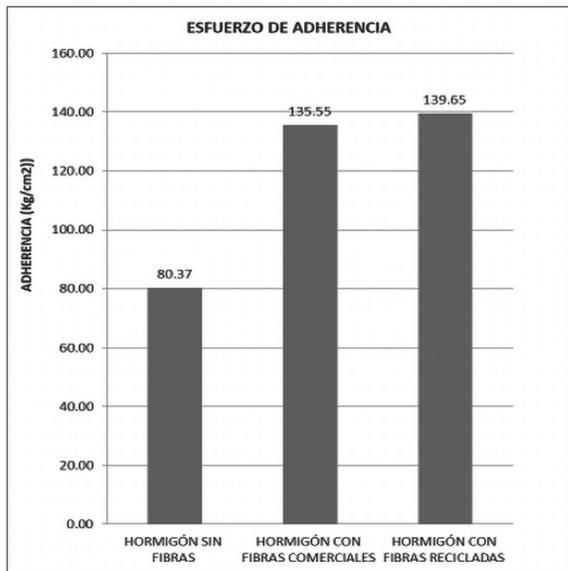


Gráfico 5. Esfuerzo de adherencia

Autores: Juan Carlos Moya / Luis Cando

8. Conclusiones

El hormigón es un elemento de gran utilidad en nuestro medio debido a su gran resistencia a la compresión, pero como todo material también tiene desventajas, para el hormigón el punto débil es soportar los esfuerzos de tracción y flexión.

Las fibras metálicas dentro de la masa de hormigón ayudan a reducir las fisuras por contracción, mejoran la resistencia a compresión simple, tracción indirecta y flexión.

Las fibras recicladas provienen de un proceso mecánico de desbaste realizado por el torno. Esta máquina desgasta el acero formando láminas delgadas conocidas como virutas, dependiendo del material y muchos otros factores referentes al manejo de la máquina se puede tener una gran diversidad de fibras.

En el mercado existe una gran variedad de fibras metálicas comerciales, cada tipo posee forma distinta y tiene un uso en particular, conocer las características de las fibras ayuda establecer la aplicación estructural que puede cumplir.

Tomando en cuenta la cantidad de fibras para cada esfuerzo (compresión, tracción, flexión y módulo de elasticidad), se puede determinar que para la compresión no es necesario una gran cantidad de

fibras debido a que es el hormigón el que absorbe la mayor cantidad del esfuerzo; mientras que el esfuerzo que más fibras requiere es el de tracción debido a que este esfuerzo actúa perpendicular a la carga y en este actúan las fibras directamente. Las industrias que elaboran fibras recomiendan la cantidad de fibras tomando en cuenta el esfuerzo más crítico (tracción)

La resistencia a la compresión simple a los 7, 14 y 28 días de edad muestra que se alcanzan mayores resistencias con las fibras metálicas recicladas aumentando un 30.70% más resistencia con respecto al hormigón simple y un 22.28% con respecto al hormigón con fibras metálicas comerciales.

La resistencia a tracción indirecta del hormigón a los 28 días muestra que se alcanza mayores valores con las fibras metálicas recicladas obteniendo un aumento del 39.08% con respecto al hormigón sin fibras y un 11.64% con respecto al hormigón con fibras metálicas comerciales, estos valores reflejan la gran importancia de las fibras cuando el hormigón es sometido a esfuerzos de tracción. La resistencia a la tracción está relacionada directamente con la adherencia de las fibras con la pasta del hormigón, las fibras recicladas alcanzan mayor resistencia debido a la forma de zuncho (espiral) y a la rugosidad que posee su superficie.

La resistencia a flexión, en las vigas ensayadas a los 28 días muestra que se alcanzan mayores módulos de ruptura con las fibras metálicas comerciales, obteniendo el 25.14% adicional al hormigón sin fibras y 5.90% con respecto al hormigón con fibras metálicas recicladas. En los ensayos efectuados se pudo verificar que las fibras metálicas no llegan a romperse y las vigas fallan cuando se ha perdido la adherencia entre las fibras y el hormigón.

En las sollicitaciones de carga por tracción y flexión las fibras soportan mayores esfuerzos, teniendo elementos con mayor tenacidad. Se considera como tenacidad a la energía total que se requiere consumir para llevar a un elemento hasta la rotura.

El análisis de las deformaciones para determinar el valor del módulo de elasticidad indica que las fibras metálicas recicladas tienen un mayor valor

de módulo de elasticidad y presentan un aumento del 4.46% con respecto al hormigón sin fibras y un 3.64% con respecto al hormigón con fibras metálicas comerciales.

Analizando la adherencia que existe entre el acero de refuerzo y el hormigón se observa que las fibras metálicas recicladas proporcionan mayor

confinamiento al hormigón y aumenta la fricción con el acero de refuerzo, necesitando de esta manera mayor carga para lograr desprender la varilla de acero del hormigón. El hormigón con fibras metálicas recicladas presentan un aumento del 42,45% con respecto al hormigón sin fibras y un aumento del 2.94 con respecto al hormigón con fibras comerciales.

9. Referencias bibliográficas

- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado* (Tercera edición). Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gamboa F. & Recalde A. (2015). *Bases de diseño para la construcción sostenible con mampostería de ladrillo tipo PET*.
- Jiménez Montoya, P., García Meseguer, Á., & Morán Cabré, F. (2000). *Hormigón armado*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Segerer, M. (09 de 11 de 2010). *El hormigón elaborado y su historia*. Obtenido de http://www.hormigonelaborado.com/archivos/presentacion_historia_del_hormigon-mar_del_plata.pdf
- Silva Tipantasig, L. G. (2014). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Ambato, Ecuador.
- NEC. (2015). Mampostería estructural, capítulo 10. Norma Ecuatoriana de la Construcción.