

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO CIVIL E INGENIERA CIVIL**

**TEMA:**

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON**

**FIBRAS DE ALUMINIO RECICLADO**

**AUTORES:**

**ALEX WLADIMIR BONILLA SOLANO**

**ERIKA LIZETH LASCANO FERNÁNDEZ**

**TUTORA:**

**LUCERO MARISOL SERRATO ARIAS**

**Quito, julio del 2017**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Alex Wladimir Bonilla Solano, con documento de identificación N° 1723167548 y Erika Lizeth Lascano Fernández, con documento de identificación N° 0502940612, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO RECICLADO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil e Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Alex Wladimir Bonilla Solano  
Cédula: 1723167548



Nombre: Erika Lizeth Lascano Fernández  
Cédula: 0502940612

Fecha: Quito, julio del 2017

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Lucero Marisol Serrato Arias declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO RECICLADO, realizado por Alex Wladimir Bonilla Solano y Erika Lizeth Lascano Fernández, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2017



.....  
Atentamente

Lucero Marisol Serrato Arias

C.I: 1757028897

# **COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO RECICLADO**

## **MECHANICAL BEHAVIOR OF CONCRETE REINFORCED WITH RECYCLED ALUMINIUM FIBERS**

Alex Bonilla<sup>1</sup>, Erika Lascano<sup>2</sup>, Lucero Serrato<sup>3</sup>

### **Resumen**

En el presente trabajo de investigación se compara la resistencia a compresión y flexión de un hormigón ordinario contra un hormigón con fibras de aluminio incluido, exceptuando las fibras, el resto de los materiales fue igual para todos los hormigones. Se utilizaron dos tipos de fibra de aluminio y se variaron los porcentajes de inclusión de la fibra en 0.20%, 0.25%, 0.30% y 0.50%, con la finalidad de obtener el porcentaje óptimo de inclusión. Se fabricaron especímenes cilíndricos y vigas de las mezclas de hormigones para ensayar a compresión y flexión. Concluyéndose que, en ambos ensayos, se obtuvo un mejor desempeño del hormigón cuando se empleaba un 0.30% de fibra de aluminio reciclado. Consiguiéndose así, un hormigón con mejores prestaciones mecánicas que el hormigón convencional y, que, además incorpora en su composición un material reciclado y de alta generación en la industria ecuatoriana, como lo son las fibras de aluminio.

### **Abstract**

In the present work research, has the aim to compare the compression strength and the flexural behavior of an ordinary concrete vs a concrete with inclusions, with the exception of included fibers, the rest of materials employed were the same in all concretes prepared for this experiment. Two types of aluminum fibers were employed in several quantities of fiber inclusions: 0.20%, 0.25%, 0.30% and 0.50% with the objective to obtain the optimal fiber inclusion percentage. Specimens (cylinders and beams) of the different concrete mixtures were produced in order to be essayed for compression and flexural strength. With this experimental work, it was concluded that in both essays, concrete with 0.30% of recycled aluminum fibers included showed better strength. Likewise obtaining a concrete with better mechanical performance and besides, this concrete incorporates a recycled material produced in large quantities by Ecuadorian industries in its composition, such as aluminum fibers.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia : abonillas, elascano@est.ups.edu.ec

<sup>3</sup> Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental, Ingeniera Químico Farmacéutico Biológico, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, docente – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

***Palabras Clave:*** Aluminio reciclado, fibras, hormigón, resistencia a compresión, resistencia a flexión. ***Keywords:*** Recycled aluminum, fibers, concrete, compression strength, flexural strength.

## **1. Introducción**

La industria de la construcción ha jugado una parte trascendental en las transformaciones y desarrollo que el hombre ha alcanzado en el mundo. Sin embargo, en las últimas décadas se ha cobrado conciencia sobre el impacto ambiental que origina la incorrecta aplicación de las tecnologías usadas en muchas áreas especialmente en la de la construcción. Por lo tanto, se está concluyendo que resulta necesario realizar diversos cambios fundamentales que permitan equilibrar este impacto a medida que se va ampliando el conocimiento basado en la investigación sobre el comportamiento de nuevos materiales que revolucionen en el campo de la construcción sustentable.

El hormigón es un material primordial y de mayor utilización en el campo de la construcción, puesto que sus tecnologías de fabricación y de utilización tienen una repercusión directa en la vida útil de la obra en la que se utilice. Sin embargo, dichos procesos representan una acción depredadora en el medio ambiente, así lo definen O'Reilly, Bancroft y Rize [1] en su investigación sobre las tecnologías del concreto en su ciclo de vida, ya que para su elaboración se requiere principalmente, de materiales naturales no renovables extraídos del suelo y de cauces naturales.

En años recientes, la aplicación de un producto llamado 'hormigón verde', como bien lo han resumido Naik [2] y Kumar [3] en sus respectivas investigaciones, se ha popularizado en muchos países. Existen diferentes formas para obtener hormigones verdes, un claro ejemplo de ello, es la investigación de Turk [4], en la cual se hace una exhaustiva comparación entre tres hormigones verdes y uno convencional, mostrando diferentes

escenarios como la utilización de ceniza volante, de arena de fundición y escorias de acero. Se utilizó para ello la evaluación del impacto del ciclo de vida de estos materiales de construcción obteniendo beneficios ambientales referentes a las emisiones de CO<sub>2</sub> y eutroficación en la producción y utilización de estos hormigones verdes.

Este innovador hormigón puede ser producido utilizando materiales de desperdicio como uno de sus componentes, como es el caso de la introducción de fibras provenientes de materiales reciclados usadas con la finalidad de reforzar el hormigón tradicional.

Se sabe que, desde hace años la incorporación de fibras en hormigones de varias formas y tamaños procedentes de diferentes materiales, ha generado una impresionante evolución en el campo de la construcción alrededor del mundo, ya que se conoce que la aplicación de fibras en hormigones, no sólo ayudan a incrementar su capacidad de resistir cargas, sino que también extienden su vida útil de servicio, como lo establecen Zollo [5] y Brandt [6] en su análisis histórico del desarrollo de este material de construcción. No obstante, a partir de que algunas fibras fueron relacionadas con potenciales peligros para la salud y el medio ambiente, se inició la búsqueda de posibles sustitutos que le proporcionaran al hormigón propiedades favorables, además de ser competitivos en calidad y precio y amigables con el medio ambiente. El uso de materiales de desperdicio o reciclado puede ser considerado como sustentable, ya que al mismo tiempo que pueden reducir costos y materia prima, paralelamente se reduce su presencia en los basureros o vertederos de material de desperdicios disminuyendo así, la

contaminación que éstos generan al medio ambiente.

Tomando esto como referencia, aunado a las altas cantidades de aluminio que se generan en el país, alrededor de 19 mil toneladas al año [7], se ha propuesto estudiar hormigones reforzados con fibras de aluminio reciclado. Además de que es sabido que este metal se autoprotege mejor ante la corrosión si lo comparamos con el acero.

Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo de investigación es evaluar el comportamiento mecánico, específicamente resistencia a compresión y flexión, de hormigones reforzados con fibras de aluminio reciclado adicionadas en diferentes porcentajes.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Caracterización de los materiales para la elaboración de los hormigones

#### - Agregados

Los agregados utilizados para la presente investigación provienen de la cantera de la empresa de RIPCONCIV Cía. Ltda., ubicada en la parroquia de Pifo, por la carretera 28C Vía a Papallacta a la altura del Km. 4.

Para asegurar que el diseño de la mezcla de hormigón cumpla con las características de resistencia adecuada, los agregados fueron sometidos a ensayos minuciosos respetando las normas ecuatorianas INEN existentes, y normas ASTM, para comprobar su calidad y conocer sus propiedades físicas y mecánicas. Para ello se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

Ensayo	Norma
<b>Análisis granulométrico</b>	NTE INEN 696 (ASTM-C136)
<b>Peso unitario suelto y compactado</b>	NTE INEN 858 (ASTM-C29)
<b>Peso específico aparente</b>	Agregado fino: NTE INEN 856 (ASTM-C128) Agregado grueso: NTE INEN 857 (ASTM-C127)
<b>Capacidad de absorción</b>	Agregado fino: NTE INEN 856 (ASTM-C128) Agregado grueso: NTE INEN 857 (ASTM-C127)
<b>Contenido natural de humedad</b>	NTE INEN 862 (ASTM-C566-04)
<b>Porcentaje de abrasión</b>	NTE INEN 860 (ASTM-C131)

#### - Cemento

El cemento que se utilizó en la presente investigación es un portland tipo I de la marca Holcim de uso general (GU), el cual es un cemento hidráulico fabricado bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. La densidad del cemento Holcim Rocafuerte es de 3.0 g/cm<sup>3</sup>, valor tomado de su ficha técnica.

#### - Agua

Para la presente investigación se ha utilizado agua potable, limpia y con una temperatura entre 18 y 23°C.

#### - Fibras de aluminio reciclado

Las fibras fueron obtenidas a través del reciclaje del aluminio, adquirido mediante el acopio del residuo industrial o a su vez por la recolección de envases de bebidas enlatadas.

Para determinar la longitud y ancho de la fibra, se tomó como referencia comparativa los requerimientos establecidos por el ACI para fibra de acero, en donde se establece que la longitud mínima de la fibra deberá ser dos

veces el tamaño máximo del agregado grueso “ACI Comité 544. *Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.2R-89)*, American Concrete Institute”.

La fibra reciclada de tipo industrial, se obtuvo a través de la empresa CEDAL S.A., ubicada en la ciudad de Latacunga; esta fibra es producto de los residuos de trituración del aluminio estructural denominada como limalla. Para la utilización de esta fibra fue necesario realizar un tamizado mediante el tamiz N° 4 (4.75 mm) para su posterior lavado y secado al ambiente.

La fibra reciclada a partir de envases de bebidas, se obtuvo a través de recicladoras de la ciudad de Quito, para lo cual previamente se las lavó, eliminando así las impurezas adheridas, a continuación, se las cortó de manera que se consiguieron fibras de longitud = 60mm y ancho = 2mm, posteriormente se volvió a lavarlas para de esta manera eliminar las partículas de aluminio generadas por su cizallamiento y se las secó al ambiente.

## 2.2 Elaboración de la mezcla

El diseño de la mezcla se realizó mediante el Método del A.C.I (Instituto Americano del Hormigón) para una resistencia  $f'c = 24$  MPa, y su proceso de elaboración se efectuó de acuerdo a la norma NTE INEN 3124-ASTM-C192).

Se elaboraron probetas conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 1576 (ASTM C-31) para ser ensayadas a edades de 7, 14 y 28 días, utilizando cilindros y vigas normadas de dimensiones de 150x300 mm, 100x200 mm y 150x150x530 mm respectivamente, con

incorporación de distintos porcentajes de fibra (0%, 0.20%, 0.25%, 0.30% y 0.50%) con relación al volumen absoluto de la mezcla patrón.

## 2.3 Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón reforzado con fibras de aluminio reciclado

Se realizaron ensayos tanto en estado fresco mediante el cono de Abrams (revenimiento) de acuerdo a la norma NTE INEN 1578 (ASTM C-143), como en estado endurecido (ensayos de resistencia a compresión y resistencia a flexión) de acuerdo a las normas NTE INEN 1573 (ASTM C-39) y NTE INEN 2554 (ASTM C-78) respectivamente.

## 3. Resultados y discusión

En esta sección, se documentan los resultados del presente trabajo de investigación mediante dos etapas, las cuales se denominaron como: etapa preliminar y etapa definitiva.

### 3.1 Etapa preliminar

En esta etapa, se incluyó la caracterización de los agregados, la dosificación de la mezcla para un hormigón de resistencia de 24 MPa y el ensayo de 55 especímenes de hormigón reforzado con y sin fibras de aluminio reciclado en forma de cilindros de dimensiones variables normadas ( $D = 150$  mm,  $H = 300$  mm y  $D = 100$  mm,  $H = 200$  mm); 19 para hormigón convencional y 36 para hormigón reforzado con fibras de aluminio reciclado. Los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados se indican en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Caracterización de los agregados.

AGREGADO	ENSAYOS DE LABORATORIO							
	Análisis granulométrico		Pesos unitarios		Peso específico aparente	Capacidad de absorción	Contenido de humedad natural	Porcentaje de abrasión
	Tamaño (mm)	% que pasa	Suelto	Compactado				
<b>Grueso</b>	25.40	100						
	19.05	96						
	12.70	31	1.427	1.492	2.639	2.36%	1.23%	22%
	9.53	27	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>		(Variable)	
	4.75	1						
<b>Fino</b>	9.53	100						
	4.75	100						
	2.36	74						
	1.18	50						
	0.59	34	1.560	1.725	2.542	3.95%	1.5%	-
	0.30	23	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>		(Variable)	
	0.15	16						
	Módulo de finura							
	3.03							

La dosificación realizada mediante el método del ACI para una resistencia nominal del hormigón de 24 MPa con un asentamiento de 75 mm a 100 mm y empleando un tamaño máximo nominal del agregado de 19.05 mm se indica en la

Tabla 2. Cabe aclarar que la dosificación mostrada varió de acuerdo al contenido de humedad natural que presentaron los agregados, obtenido 24 horas previas a la realización de la mezcla.

**Tabla 2.** Dosificación para hormigón f'c= 24 MPa.

Material	Cantidad en (Kg) por cada m <sup>3</sup> de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en (kg) por saco de cemento de 50Kg
Cemento	396.98	1	50
Agregado Fino	789.94	1.99	99.5
Agregado Grueso	900.36	2.27	113.5
Agua	234.12	0.59	29.5

Para la selección del tipo, porcentaje y longitud de fibra de aluminio reciclado a utilizar, se realizó un sondeo con el fin de obtener un resultado óptimo ante la comparación de la resistencia a compresión a 28 días en relación con el

hormigón convencional y la adición de las distintas particularidades de la fibra, en donde los porcentajes de fibra fueron obtenidos respecto al volumen de la mezcla, a continuación en la Tabla 3 se muestran los resultados alcanzados.

**Tabla 3.** Selección de particularidad óptima.

Tipo de fibra de aluminio reciclado	Porcentaje de fibra	Longitud de fibra	Número de probetas ensayadas a 7, 14 y 28 días (3/edad)	Resistencia a compresión a 28 días en relación al hormigón convencional $f'_c = 24 \text{ MPa}$	Selección óptima
Estructural	0.25	N/A	9	18.84	X
Latas	0.25	30 mm	9	23.00	X
		60 mm	9	26.40	OK
		60 mm	9	24.66	X

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3, se obtuvo como punto de partida un porcentaje de 0.25% de fibras de aluminio provenientes de latas de envases de bebidas recicladas con una longitud de 60 mm. Adicionalmente, es importante destacar que la fibra de aluminio estructural reaccionó rápidamente al ser incorporada en la matriz del hormigón, puesto que cierta liberación de calor a través de burbujeo era observable al poco tiempo de haber iniciado la mezcla, e incluso durante su

curado. Este fenómeno se atribuye a que el aluminio es un elemento catalizador de muchas reacciones químicas, y considerando que la hidratación del cemento es una reacción exotérmica, esta propiedad se potencializó cuando se agregó aluminio estructural que estaba químicamente más disponible que el aluminio de las latas recicladas, seguramente, porque en estas últimas el material se encontraba pasivado. La Figura 1 muestra un acercamiento de las fibras de aluminio reciclado utilizadas.



(a)



(b)

**Figura 1.** Muestras de fibras de aluminio reciclado: (a) Estructural y (b) Latas.

### 3.2 Etapa definitiva

Una vez definida la dosificación del hormigón convencional y la particularidad óptima de la fibra a utilizarse, en esta etapa se realizó el ensayo de 70 especímenes (60

cilindros y 10 vigas), con adición de diferentes porcentajes de fibras de aluminio reciclado en relación al volumen de la mezcla, tal como se describe en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Dosificación de fibra de aluminio reciclado.

Tipo de espécimen	Porcentaje de fibra	Densidad de fibra	Volumen de espécimen	Número de especímenes	Cantidad de fibra en Kg
Cilindro	0.00	2.700 g/cm <sup>3</sup>	0.0055 m <sup>3</sup>	12	0.000
	0.20			12	0.356
	0.25			12	0.446
	0.30			12	0.535
	0.50			12	0.891
Viga	0.00	2.700 g/cm <sup>3</sup>	0.0120 m <sup>3</sup>	2	0.000
	0.20			2	0.130
	0.25			2	0.162
	0.30			2	0.194
	0.50			2	0.324

Los cilindros se ensayaron a edades de 7, 14 y 28 días y las vigas a los 28 días, con el propósito de evaluar y caracterizar sus propiedades físicas y mecánicas en estado fresco y endurecido respectivamente, lo que ayudará a identificar la influencia de la incorporación de diversas concentraciones de fibra dentro del hormigón, y así mismo se establecerá un porcentaje óptimo de fibra que contribuya con mejores respuestas y características. Adicionalmente, a los especímenes de hormigón se les realizó un proceso de

curado por sumersión en piscinas a temperaturas estandarizadas de 23° C ± 2° C como se establece en la norma NTE INEN 2528.

### 3.2.1) Ensayos en estado fresco

Las propiedades en estado fresco fueron evaluadas para cada porcentaje de fibra tal como se muestra en la Tabla 5 y Tabla 6, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma NTE INEN 1578 (ASTM C 143).

**Tabla 5.** Propiedades del hormigón fresco en cilindros.

Nº de probetas	Porcentaje de fibra de latas de aluminio reciclado	Trabajabilidad	Revenimiento (mm)	Homogeneidad
12	0.00	Media	80	Buena
12	0.20	Media	76	Buena
12	0.25	Media	70	Buena
12	0.30	Media	65	Buena
12	0.50	Baja	43	Media

**Tabla 6.** Propiedades del hormigón fresco en vigas.

Nº de probetas	Porcentaje de fibra de latas de aluminio reciclado	Trabajabilidad	Revenimiento (mm)	Homogeneidad
2	0.00	Media	83	Buena
2	0.20	Media	70	Buena
2	0.25	Media	70	Buena
2	0.30	Media	62	Buena
2	0.50	Baja	40	Media

Según los resultados mostrados en las Tablas 5 y 6, se pudo observar como la trabajabilidad en estado fresco de las mezclas medible a través del revenimiento, se ve considerablemente disminuida cuando aumenta el porcentaje de fibra de aluminio reciclado. Esto fue un comportamiento esperado ya que se conoce que debido al aumento de fibras la docilidad del hormigón va disminuyendo, puesto que el aumento en su concentración dificulta su dispersión y la fluidez de la mezcla.

### 3.2.2) Ensayos en estado endurecido

#### Resistencia a la compresión

Los ensayos de resistencia a compresión, se realizaron conforme a lo establecido en las normas NTE INEN 1573 (ASTM C 39), las cuales indican que se debe aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados a una velocidad establecida hasta que ocurra una falla parcial o total del espécimen tal como se indica en la Figura 2. En la Tabla 7 se resumen los resultados obtenidos en laboratorio.



(a)

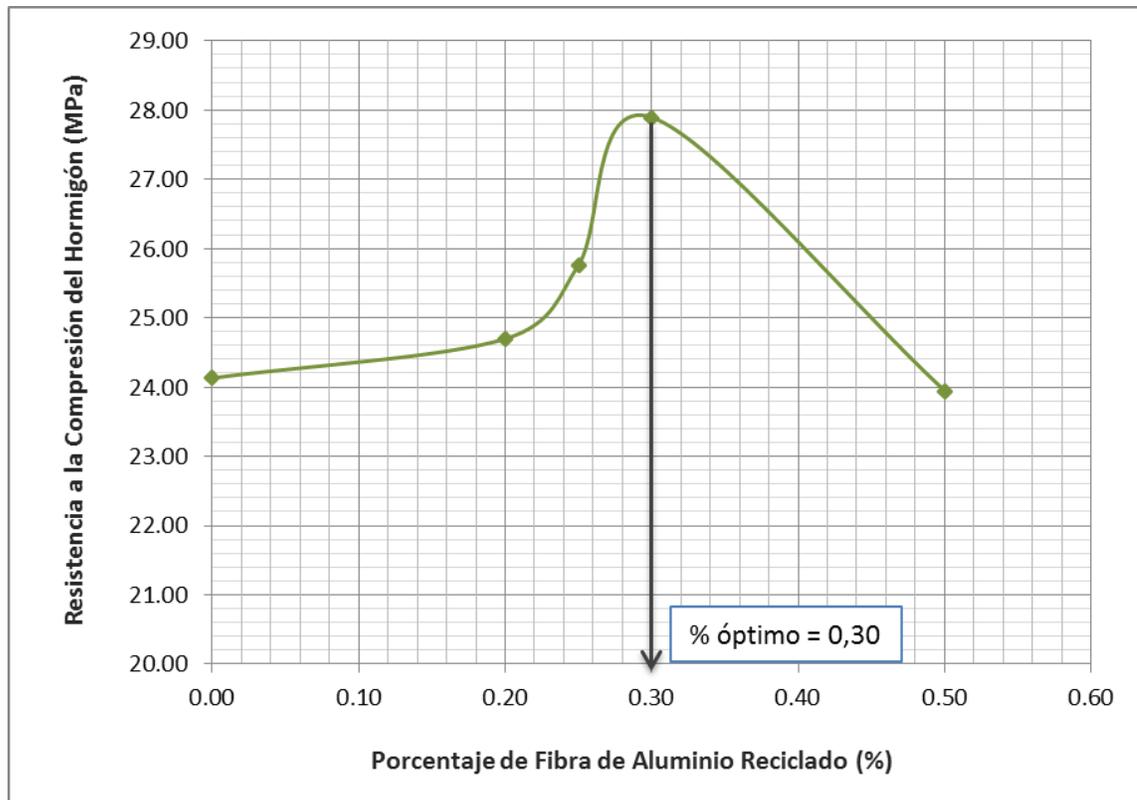
(b)

**Figura 2.** Rotura de cilindros después del ensayo a compresión: (a) Sin fibra y (b) Con fibra.

En la Figura 2 se puede evidenciar que los cilindros sin fibras presentan una rotura explosiva, lo que no ocurre en los cilindros con fibras, ya que la inclusión de éstas evita este tipo de rotura, produciéndose una mayor sujeción en su matriz.

**Tabla 7.** Resistencia a la compresión del hormigón con diferentes porcentajes de fibra.

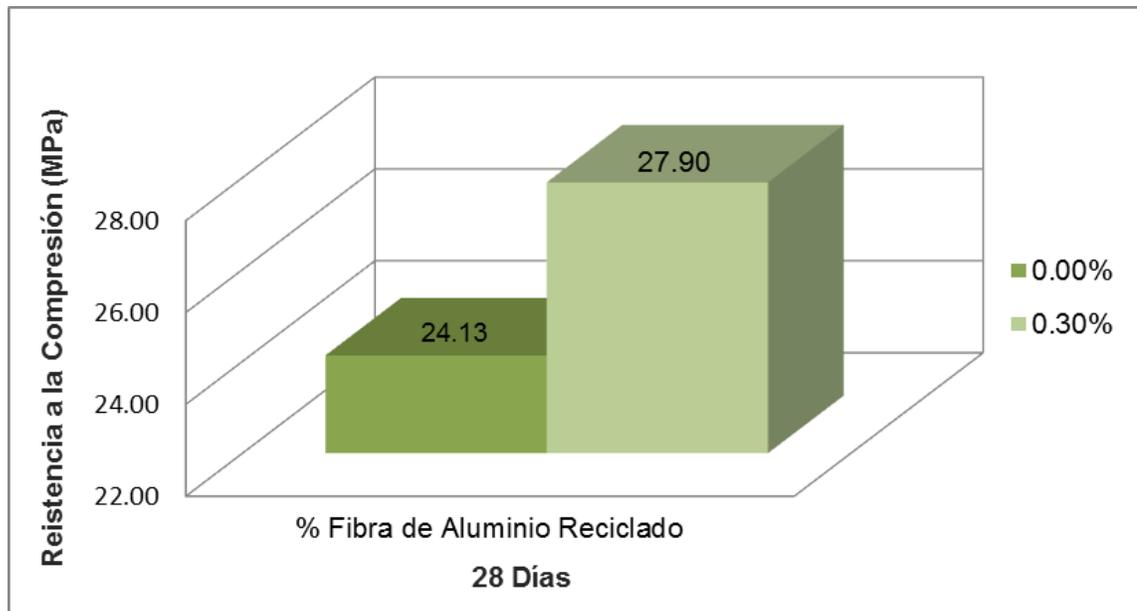
Identificación de probetas	Porcentaje de fibra de aluminio reciclado	Numero de probetas ensayadas	Edad (días)	Esfuerzo a compresión (MPa)	Valor obtenido (%)
H.S.F	0.00	3	7	15.58	64.93
		3	14	19.90	82.93
		6	28	24.13	100.55
A11	0.20	3	7	15.63	65.13
		3	14	20.25	84.39
		6	28	24.70	102.90
A12	0.25	3	7	16.51	68.80
		3	14	20.72	86.32
		6	28	25.77	107.35
A13	0.30	3	7	17.85	74.38
		3	14	21.82	90.91
		6	28	27.90	116.23
A14	0.50	3	7	15.36	64.00
		3	14	19.82	82.56
		6	28	23.95	99.77



**Figura 3.** Resistencia a la compresión del hormigón vs porcentaje de fibra de aluminio reciclado.

Una vez finalizados los ensayos de resistencia a compresión de los especímenes de hormigón para una resistencia de  $f'_c = 24$  MPa con diferentes concentraciones de fibra de aluminio reciclado, se obtiene la Figura 3, donde se puede observar que el porcentaje óptimo de fibra es de 0.30%, valor que presenta un

incremento considerable en la resistencia a compresión en comparación a la resistencia presentada en este estudio. Adicionalmente se puede observar que a medida que se aumenta la cantidad de fibra a partir de este porcentaje, la resistencia va decreciendo.



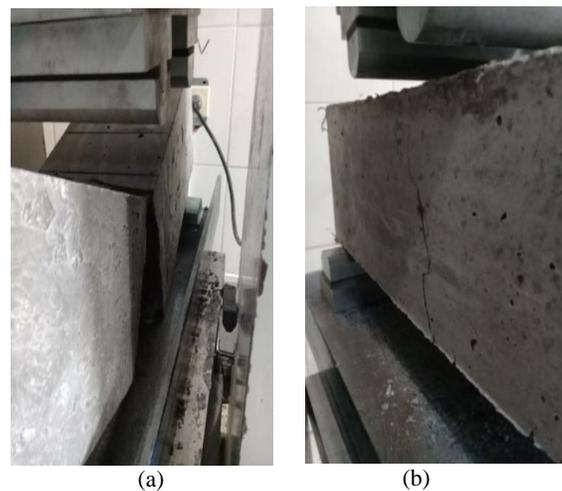
**Figura 4.** Comparación de la resistencia a la compresión entre cilindros de hormigón reforzados con (0.30%) de fibra de aluminio reciclado y hormigón convencional (sin fibras).

Al comparar los resultados obtenidos, en la Figura 4 se puede apreciar que el hormigón reforzado con 0.30% de concentración de fibra de aluminio reciclado demuestra un notable incremento de la resistencia a compresión en un 15.69% correspondiente a una resistencia de 27.90 MPa en comparación al hormigón convencional (Sin Fibra).

#### *Resistencia a la flexión*

Los ensayos de resistencia a flexión, se realizaron conforme a lo establecido en las normas NTE INEN 2554 (ASTM C 78), las cuales indican que se debe aplicar una carga continua a una velocidad constante en los tercios de la luz libre hasta que ocurra la rotura del espécimen

tal como se indica en la Figura 5. En la Tabla 8 se resume los resultados obtenidos en laboratorio.



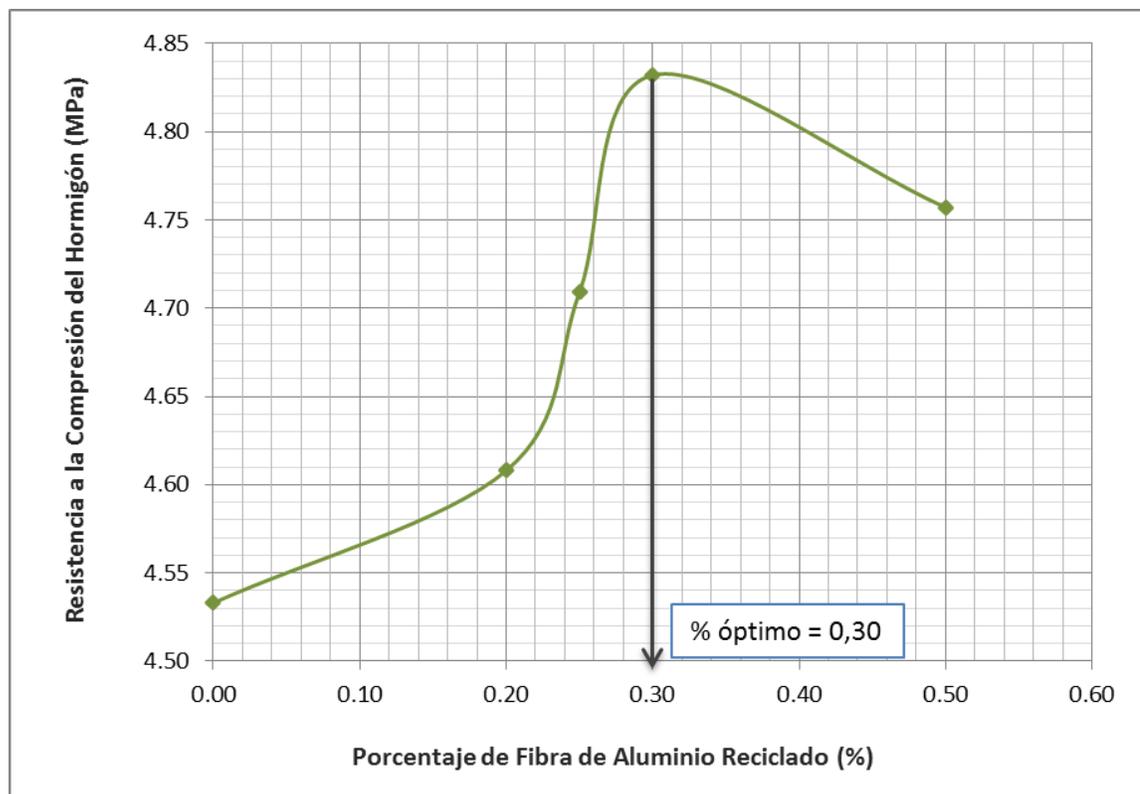
**Figura 5.** Rotura de vigas después del ensayo a flexión: (a) Sin fibra y (b) Con fibra.

En la Figura 5 se puede evidenciar que las vigas sin fibras presentan una rotura total del espécimen, en tanto que en las vigas con fibras la fisura no avanza bruscamente hacia arriba, existiendo aún una pequeña área sin fisurarse, esto se

produce debido a que las áreas que presentan fisuras se reducen a medida que la concentración de fibras aumenta puesto que éstas incrementan la capacidad de las vigas a deformarse.

**Tabla 8.** Resistencia a la flexión del hormigón con diferentes porcentajes de fibra con carga a los tercios de la luz.

Identificación de probetas	Porcentaje de fibra de aluminio reciclado	Número de probetas ensayadas	Edad (días)	Carga (KN)	Módulo de rotura (MPa)	Relación $MR/f'c$ (%)
H.S.F	0.00	2	28	33.35	4.53	18.78
Al V1	0.20	2	28	33.90	4.61	18.66
Al V2	0.25	2	28	34.65	4.71	18.28
Al V3	0.30	2	28	35.55	4.83	17.32
Al V4	0.50	2	28	35.00	4.76	19.86



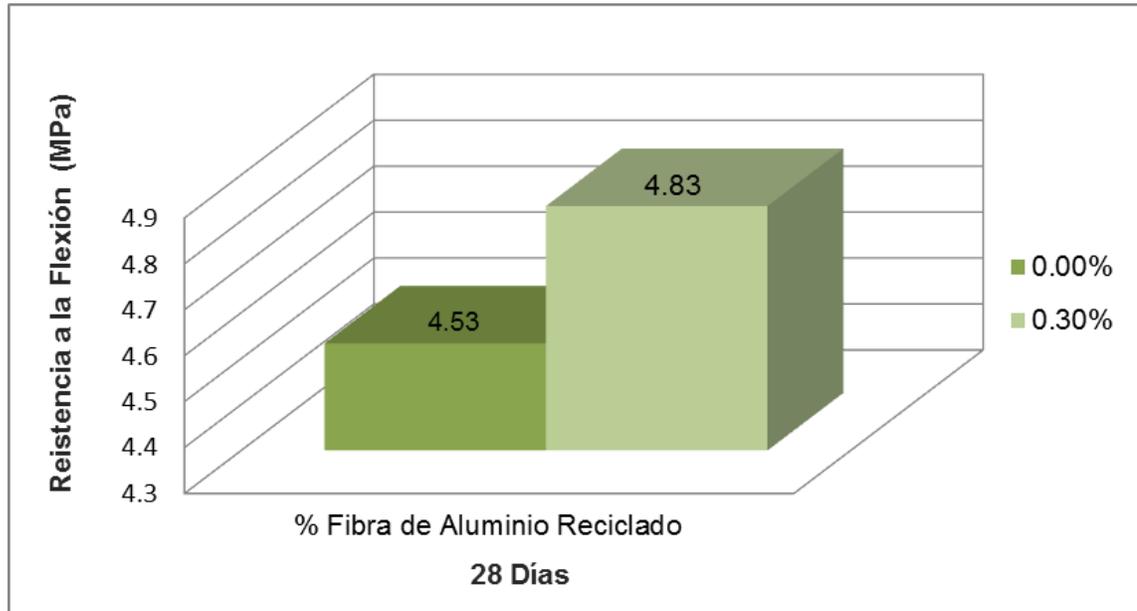
**Figura 6.** Resistencia a la flexión del hormigón vs porcentaje de fibra de aluminio reciclado.

Una vez finalizados los ensayos de resistencia a flexión de los especímenes de hormigón para una resistencia de  $f'c = 24$

MPa con diferentes concentraciones de fibra de aluminio reciclado, como se visualiza en la Figura 6 el porcentaje

óptimo de fibra es de 0.30%, valor que presenta un incremento considerable en la

resistencia a la flexión en comparación a la resistencia presentada en este estudio.



**Figura 7.** Comparación de la resistencia a flexión entre vigas de hormigón reforzados con (0.30%) de fibra de aluminio reciclado y hormigón convencional (sin fibras).

Al comparar los resultados obtenidos, en la Figura 7 se puede apreciar que el hormigón reforzado con 0.30% de concentración de fibra de aluminio reciclado demuestra un incremento de la resistencia a flexión en un 6.6% correspondiente a una resistencia de 4.83 MPa en comparación al hormigón convencional.

#### 4. Conclusiones

La inclusión de fibra de latas de aluminio reciclado influye de manera directa tanto en la trabajabilidad como en la consistencia de la mezcla de hormigón, esto se pudo observar a través de la disminución de su asentamiento en al menos 27 mm. Este fenómeno se produce debido a que las fibras proveen mayor cohesión entre las partículas del hormigón dándole mayor resistencia a la segregación. Tal efecto de unión es más

notorio cuando se incrementa el contenido de fibras.

Se pudo evidenciar que, para los hormigones sin fibra, en los ensayos de compresión se identifica una rotura brusca y explosiva después del inicio de fisuración, en tanto que en los hormigones con la presencia de fibras, éstos presentan la capacidad de controlar la fisuración evitando que se produzca el desprendimiento total del espécimen. De igual manera en los especímenes ensayados a flexión se evidenció que la incorporación de fibras contribuye en su capacidad a deformarse.

Las fibras de latas de aluminio reciclado incluidas en el hormigón convencional proporcionan un incremento considerable tanto en la resistencia a la compresión  $f'_c$  como en la resistencia a flexión, lo que se pudo evidenciar en los resultados finales obtenidos a la edad de

28 días de los especímenes ensayados. Es así como para los especímenes ensayados a compresión con un porcentaje óptimo de fibra de 0.30%, se obtuvo un incremento en la resistencia de 15.69% (27.90 MPa) en comparación con el hormigón convencional en donde se obtuvo una resistencia de 24.13 MPa, en tanto que para los especímenes ensayados a flexión con un porcentaje óptimo de fibra de 0.30%, se obtuvo un incremento en la resistencia a flexión de 6.6% (4.83 MPa) en comparación con el hormigón convencional en donde se obtuvo una resistencia a flexión de 4.53 MPa.

Cabe aclarar que, para la obtención del porcentaje óptimo de fibra de latas de aluminio reciclado, éste puede variar dependiendo del origen de los materiales, ya que las propiedades de éstos son diferentes, según el lugar de donde han sido obtenidos, por lo tanto, el diseño de la mezcla cambiaría al igual que la concentración de fibra a utilizarse.

## 5. Recomendaciones

Para futuras investigaciones que incluyan la adición de fibras de aluminio reciclado en hormigones, convendría realizar una variación en las características físicas de la fibra, pudiendo ser en longitud como en textura, ya que a partir de la presente investigación se ha podido constatar que a medida que la fibra aumenta su longitud, las características del hormigón se ven influenciadas, en tanto que al trabajar con una diferente textura, ésta podría proporcionar que su adherencia mejore al incorporarse en la mezcla de hormigón.

Debido a las propiedades físicas que presentó el hormigón reforzado con fibras de aluminio reciclado, puntualizándose en

su consistencia y trabajabilidad, es oportuna la realización de una mezcla de hormigón con fibras incorporadas que posea las mismas características en estado fresco con relación al hormigón convencional, de tal manera que a partir de ésta se pueda conocer si existe variación en su resistencia comparándose con la obtenida en el presente estudio.

## Referencias

- [1] V. O'Reilly, R. Bancroft y L. Ruiz "Las tecnologías del concreto en su ciclo vida" Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, A.C. Distrito Federal, México, pp. 98-103, 2010.
- [2] T. Naik, "Sustainability of Concrete Construction" ASCE vol. 13, pp. 98-103, 2008.
- [3] P. Kumar Mehta, "Greening of the concrete industry for sustainable development" Concrete International, pp. 22-28, 2002.
- [4] J. Turk, "Environmental evaluation of green concretes versus conventional concrete by means of LCA" Waste Management, vol. 45 pp. 194-205, 2015.
- [5] R. Zollo, "Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development" Cement and Concrete Composites, vol. 19, pp. 107-122, 1997.
- [6] A. Brandt, "Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering" Composite Structures, vol. 86, pp. 3-9, 2008.

- [7] J. A. Medina, “Estudio integral para la recuperación de chatarra de aluminio”  
Proyecto de titulación, Universidad  
Tecnológica Equinoccial, Quito,  
Ecuador. Jul. 2010.