

Artículo de Investigación

## **Análisis del efecto tamaño en el comportamiento a flexión de elementos de hormigón reforzados con fibras plásticas**

*Analysis of the size effect on the flexural behavior of concrete elements reinforced with plastic fibers*

Wladimir Ramírez<sup>1</sup>, Margarita Mayacela<sup>2</sup>, Evelin Quishpe<sup>3</sup>, Bryan Pastuña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 180207;

<sup>2</sup>Dirección de investigación y desarrollo, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 180207;

<sup>3</sup>Departamento de Adquisición de Materiales, China CAMC Engineering Co. Ltd, Ecuador, 170201;

cm.mayacela@uta.edu.ec; gabriela\_qq@hotmail.com; alexanderbrayan769@gmail.com

\*Correspondencia: wj.ramirez@uta.edu.ec

**Citación:** Ramírez, W.; Mayacela, M.; Quishpe, E. & Pastuña, B., (2024). Análisis del efecto tamaño en el comportamiento a flexión de elementos de hormigón reforzados con fibras plásticas. *Novasinergia*. 7(2). 151-163.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.14.09>

Recibido: 10 octubre 2023

Aceptado: 27 enero 2024

Publicado: 03 julio 2024

Novasinergia  
ISSN: 2631-2654

**Resumen:** La influencia del efecto tamaño en las propiedades mecánicas del hormigón es una interrogante estudiada hace varias décadas, sin embargo, las investigaciones no permiten tener una idea clara de cómo este fenómeno afecta en las propiedades mecánicas de hormigones reforzados con fibras. La presente investigación describe la influencia del efecto tamaño en el comportamiento a flexión de hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Para el análisis se diseñó hormigón simple reforzado con macro fibras sintéticas de polipropileno (HRFP) con 3 y 6 kg/m<sup>3</sup> de fibras. Se elaboraron probetas prismáticas tipo vigas con tres tamaños diferente 100x100x350 mm, 100x200x650 mm y 100x300x950 mm, mismas que se ensayaron a flexión en 4 puntos. Se realizaron gráficas esfuerzo vs deflexión y se calculó el coeficiente de orientación en el plano de fractura. Los resultados indican que tanto la resistencia máxima alcanzada en el límite de proporcionalidad como las resistencias residuales post fisuración disminuyen al aumentar el tamaño de la probeta, demostrando la influencia del efecto tamaño.

**Palabras clave:** Coeficiente de orientación, Ductilidad, Efecto tamaño, Hormigón reforzado con fibras, Tracción por flexión.

**Abstract:** *The influence of the size effect on the mechanical properties of concrete is a question studied several decades ago, however, research does not allow us to have a clear idea of how this phenomenon affects the mechanical properties of fiber-reinforced concrete. The present investigation describes the influence of the size effect on the flexural behavior of concrete reinforced with polypropylene fibers. For the analysis, simple concrete reinforced with macro synthetic polypropylene fibers (HRFP) with 3 and 6 kg/m<sup>3</sup> of fibers was designed. Prismatic beam-type specimens were made with three different sizes: 100x100x350 mm, 100x200x650 mm and 100x300x950 mm, which were tested in 4-point bending. Stress vs. deflection graphs were made and the orientation coefficient in the fracture plane was calculated. The results indicate that both the maximum resistance reached at the limit of proportionality and the post-cracking residual resistance decrease with increasing specimen size, demonstrating the influence of the size effect.*

**Keywords:** Orientation coefficient, Ductility, Size effect, Fiber reinforced concrete, bending tensile strength.



**Copyright:** 2024 derechos otorgados por los autores a Novasinergia.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

El hormigón es uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción, su comportamiento es el de un material cuasi frágil, está constituido por agregados gruesos, finos, agua y cemento en proporciones estudiadas para cumplir con requerimientos solicitados (Du & Jin, 2020; Vega et al., 2018). Este se destaca por una sobresaliente resistencia a compresión, sin embargo, la capacidad para resistir esfuerzos a tracción es baja (Cifuentes Bulté, 2010; Yoo et al., 2017). Frente a esta limitación, la adición de fibras sintéticas en la matriz de hormigón ha surgido como un procedimiento innovador que permite reducir el refuerzo de barras utilizado tradicionalmente (García Alberty, 2015). Independientemente del material de fibra utilizado, la eficacia del refuerzo depende de las propiedades de interfaz entre la fibra y la pasta de cemento, el procedimiento de colado y la relación entre la longitud de fibra y el tamaño del molde (Alberti, Enfedaque, & Gálvez, 2016).

Junto con la aparición de esta tecnología de hormigón, interrogantes como su desempeño frente al efecto tamaño también se presentaron. Se conoce como efecto tamaño al fenómeno por el cual la resistencia nominal de un elemento de concreto disminuye conforme aumenta el tamaño del espécimen analizado. Este comportamiento se atribuye a la heterogeneidad, no-linealidad mecánica de los materiales de concreto y la interacción entre ellos al ser evaluados bajo distintos tipos de carga (Bažant et al., 2004; Du & Jin, 2020).

Este fenómeno es relevante cuando se pretende interpretar el comportamiento de estructuras reales a través de pequeños prototipos de escala reducida, utilizados por personal laboratorista (Ghasemi et al., 2018). Si bien el estudio de este fenómeno data de hace varias décadas, la mayor parte de investigaciones han enfocado el análisis del efecto tamaño a muestras de hormigón simple sometidas a compresión (Aragón Matamoros & Navas Carro, 2015; Guzmán & Gallardo, 1997), hormigón simple sometido a tracción (Akram, 2021) u hormigones con diferentes tamaños de agregados y dosificaciones (Bažant, 1984; Escobar-Hurtado et al., 2023). Para el hormigón reforzado con fibras las investigaciones son escasas y no permiten tener una idea clara de sus consecuencias tanto en las propiedades mecánicas que dependen de la matriz de hormigón, como en aquellas propiedades que dependen de las fibras agregadas (resistencias post fisuración) (Alberti et al., 2016; Mahmud et al., 2013; Medina & Cifuentes, 2007; Noghabai, 2000).

La presente investigación tuvo como objetivo principal ampliar el conocimiento científico sobre el contexto experimental que envuelve el efecto tamaño para elementos de hormigón reforzados con fibras plásticas; para el desarrollo de la misma se analizó la distribución de fibras a través del coeficiente de orientación y el efecto tamaño por medio de ensayos a flexión en probetas prismáticas. La metodología utilizada fue de tipo experimental por que se analizó esfuerzos y deflexiones obtenidos a partir del ensayo a flexión con carga en los tercios de probetas prismáticas (vigas) de 3 tamaños distintos y un ancho fijo para todas ellas. Se utilizó hormigón con una resistencia a la compresión de 240 kg/cm<sup>2</sup>, con dosificaciones de 3 y 6 kg/m<sup>3</sup> de macro fibras sintéticas de polipropileno. Los resultados indican que el coeficiente de orientación toma diferentes valores a lo ancho y alto de la sección transversal, mismo que se ve afectado por diferentes factores como la forma del

vertido, la compactación, el efecto pared, entre otros. Se identificó que la resistencia máxima alcanzada en el límite de proporcionalidad y las resistencias residuales post fisuración disminuyen considerablemente al aumentar el tamaño de la probeta, concluyendo que existe influencia del efecto tamaño en las propiedades que son gobernadas por la matriz de hormigón, así como en las propiedades gobernadas por las fibras.

## 2. Metodología

### 2.1. Materiales

Se elaboró hormigón de consistencia fluida (15 cm de asentamiento) reforzado con 3 y 6 kg/m<sup>3</sup> de macro fibras sintéticas de polipropileno de 5 cm de longitud. La dosificación de material se calculó por el método de densidad óptima para 240 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión. Además, se utilizó plastificante Sika Plastocrete dosificado al 0.5% del peso del cemento con el fin de mejorar la trabajabilidad de la mezcla, las cantidades de cada componente se indican en la Tabla 1.

Se utilizó cemento portland tipo GU con densidad real de 3.075 kg/dm<sup>3</sup>, arena de 2.467 kg/dm<sup>3</sup> con módulo de finura de 2.64, ripio triturado de 2.610 kg/dm<sup>3</sup> con un tamaño nominal máximo de 19 mm. Las características de las fibras utilizadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1: Dosificación para hormigón fluido de 240 kg/cm<sup>2</sup>

Material	Cantidad en kg por m <sup>3</sup> de concreto	Dosificación al peso
Agua	196.42	0.560
Cemento	350.75	1.000
Arena	833.51	2.300
Ripio	917.81	2.530
Plastificante	1.89	0.005
Fibra (3 kg/m <sup>3</sup> )	3.00	-
Fibra (6 kg/m <sup>3</sup> )	6.00	-

Tabla 2: Características de fibras usadas

Tipo de fibra	Fibras de polipropileno
Longitud (mm)	50
Forma de fibra	Recta
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.91 (±0.01%)
Resistencia a tracción (MPa)	≥ 500
Módulo de elasticidad (MPa)	≥ 5000
Alargamiento a la rotura (%)	≥ 20
Estructura de la superficie	Rugosa

Las probetas prismáticas se elaboraron siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C 31 (American Society for Testing and Materials, 2019a) y la norma NTE INEN 3063 (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016).

Para el análisis experimental se definieron tres tamaños de probetas 100x100x350 mm, 100x200x650 mm y 100x300x950 mm siguiendo las recomendaciones dimensionales de la norma ASTM C1609 (ASTM, 2019b), las medidas de cada tamaño se resumen en la Tabla 3. La denominación H0 indica las probetas sin fibras, H3 son las probetas con 3 Kg/m<sup>3</sup> de fibras y H6 son las probetas con 6 Kg/m<sup>3</sup>, el número 100,200 y 300 hace referencia a la altura de cada probeta.

Para todas las probetas excepto la grande con 6 Kg/m<sup>3</sup> de fibras (H6-300), el hormigón se vertió usando los moldes con su dimensión D en sentido vertical, para la probeta grande con 6 Kg/m<sup>3</sup> de fibras el hormigón se vertió usando su dimensión D en sentido horizontal como se muestra en la Figura 1.

Tabla 3: Características dimensionales de vigas

Dosificación de fibras	Dimensiones (mm)				Denominación
	Ancho	Altura	Longitud	Número de Probetas	
0 kg/m <sup>3</sup>	100	100	350	3	H0-100mm
	100	200	650	3	H0-200mm
	100	300	950	3	H0-300mm
3 kg/m <sup>3</sup>	100	100	350	3	H3-100mm
	100	200	650	3	H3-200mm
	100	300	950	3	H3-300mm
6 kg/m <sup>3</sup>	100	100	350	3	H6-100mm
	100	200	650	3	H6-200mm
	100	300	950	3	H6-300mm

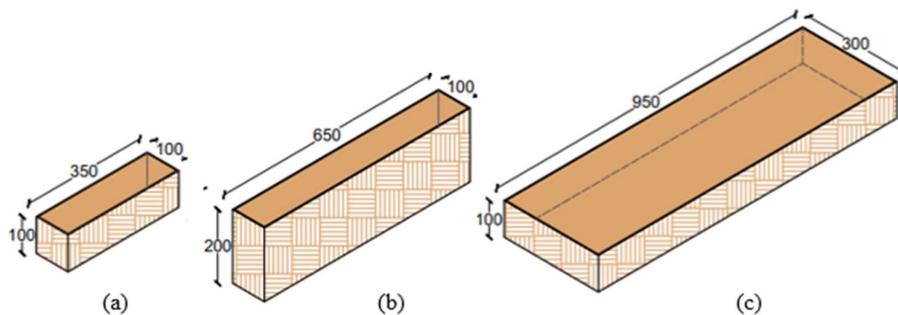


Figura 1: Moldes para el vertido de hormigón en probetas (a) H0-100, H3-100 y H6-100 (b) H0-200, H3-200 y H6-200 (c) H0-300, H3-300 y H6-300.

## 2.2. Ensayo a flexión

Cada probeta fue ensayada a flexión en cuatro puntos, la carga se aplicó a los tercios del claro de la viga medidos a partir de la altura de la probeta como lo recomienda la norma ASTM C 78 (ASTM, 2010) y como se muestra en la Figura 2.

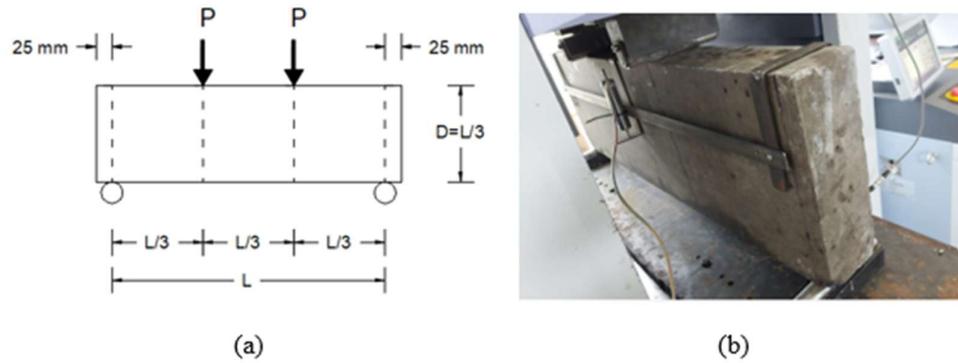


Figura 2: (a) Esquema ensayo a flexión (b) ensayo a flexión de probeta grande, esquema adaptado de (American Society for Testing and Materials, 2010)

Para realizar el ensayo se utilizó una máquina universal modelo Concreto 2000X con una capacidad de 2000 kN. Se mantuvo una velocidad de carga constante de 0.15 mm/min durante todo el ensayo. La deflexión de las probetas se midió a través de dos extensómetros electrónicos de marca Shinko Electric DT-58-8P ubicados a los costados de los especímenes. Todas las vigas fueron almacenadas en una cámara de curado hasta el momento de su ensayo. Para obtener la resistencia a la compresión se elaboraron seis cilindros de dimensiones 150x300 mm por cada dosificación de fibras, conforme lo recomienda la norma ASTM C 39 (ASTM, 2017), los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resistencia a la compresión en los diferentes tipos de hormigón utilizados

Dosificación de fibras	f'c (MPa)
0 kg/m <sup>3</sup>	25.04
3 kg/m <sup>3</sup>	25.25
6 kg/m <sup>3</sup>	25.38

### 2.3. Conteo de fibras y coeficiente de orientación

El coeficiente de orientación es un valor que relaciona la posición que toman las fibras en la matriz de la sección de hormigón luego de ser vertidas en el molde del elemento utilizado, este factor toma el valor de 1 si todas las fibras se encuentran alineadas paralelamente con la dirección de tracción (Bentur & Mindess, 1990). Su cálculo se basa en relacionar el número de fibras efectivas contadas en el plano de fractura (n) frente a un número teórico calculado (th) (Alberti et al., 2016), como se muestra en la Ecuación (1):

$$\theta = \frac{n}{th} \quad (1)$$

Hay diferentes tipos de fallos de fibra que pueden aparecer en la cara de fractura, entre ellos: fibra rota; en la que se evidencia una falla por tracción, fibra que ha fallado por deslizamiento, en la que no existió cohesión entre la matriz de hormigón y las fibras, fibra con ubicación irregular o mal situada, es la que no aporta con resistencia a tracción (Vega et al., 2018).

Para iniciar con este cálculo se debe dividir la sección de la probeta en zonas con proporciones similares teniendo en cuenta el efecto pared del molde, puesto que este presenta condiciones de entorno que no permiten que las fibras se muevan libremente y tomen una posición paralela al plano de la pared del molde (Dupont & Vandewalle, 2005; Martinie & Roussel, 2011). La zona de influencia del efecto pared se tomó como la mitad de la longitud de la fibra medida desde el borde del encofrado o molde. La presente investigación utilizó fibras de polipropileno con 50 mm de longitud, el ancho del efecto pared fue de 25 mm. En la Figura 3 se muestra el esquema de mallado para conteo de fibras.

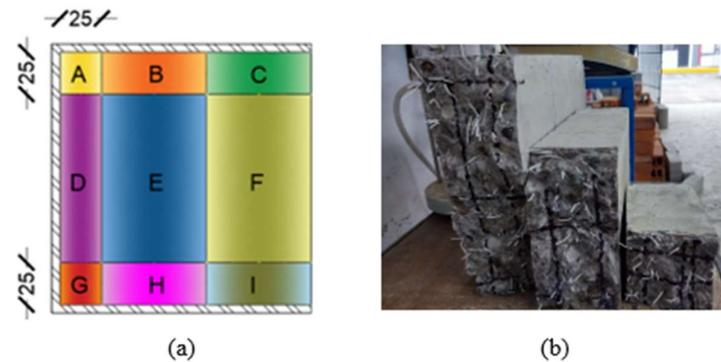


Figura 3: (a) Áreas para conteo de fibras (b) Áreas en probetas de distinto tamaño

### 3. Resultados

#### 3.1. Ensayos de flexión

Los resultados de los ensayos a flexión en las probetas prismáticas se muestran en este apartado, como se observa en las Figuras 4,5 y 6 se construyeron curvas esfuerzo vs deflexión para analizar la influencia de la adición de fibras en la matriz de hormigón y posteriormente estudiar el fenómeno del efecto tamaño.

Si observamos la Figura 4, las probetas elaboradas con hormigón simple, sin refuerzo de fibras presentaron una falla frágil en todos los tamaños evaluados. Se observó también que la deflexión en el punto de rotura de las probetas H0-300 fue de 0.08 mm, en las H0-200 fue 0.05 mm y en las H0-100 0.04 mm valores consistentes con las deflexiones propuestas en la norma ASTM C1609 (ASTM, 2019b).

La Figura 5 muestra la curva característica esfuerzo vs deflexión obtenida para cada tamaño de probeta elaborada con 3 kg/m<sup>3</sup> de fibra. Se observa que una vez alcanzado el esfuerzo en el límite de proporcionalidad (flop) que representa la resistencia máxima que soporta el hormigón, la capacidad de resistir decrece hasta que nuevamente es retomada por las fibras, evidenciándose un comportamiento de ablandamiento propio de una dosificación con cantidades bajas de fibras (Paniagua Murillo & Villalobos Ramírez, 2020).

La Figura 6 muestra la curva esfuerzo vs deflexión para las probetas de hormigón con 6 kg/m<sup>3</sup> de fibras, se observa que la tenacidad y resistencia residual de las probetas H6-100 son inferiores en comparación a las H6-200 y H6-300 en las que se evidencia un comportamiento similar.

En las Figuras 5 y 6 podemos observar que las deflexiones para el hormigón con fibras se registraron hasta los 10 mm, si relacionamos este valor con la deflexión en el punto de rotura para las probetas de hormigón sin fibras, podemos indicar que el uso de fibras permitió alcanzar deflexiones que son entre 125 y 250 veces mayores, lo que a su vez es un indicativo del aumento de la ductilidad.

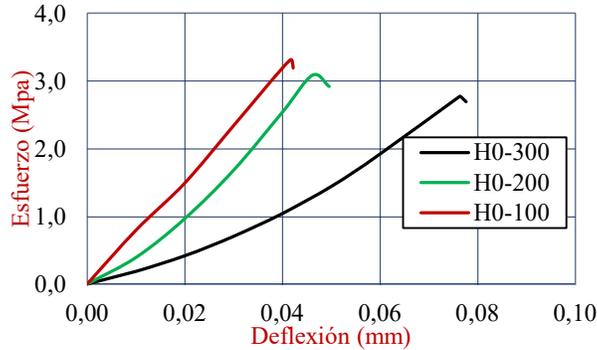


Figura 4: Curvas promedio esfuerzo vs deflexión para probetas con alturas 300 mm, 200 mm y 100 mm de hormigón sin fibras

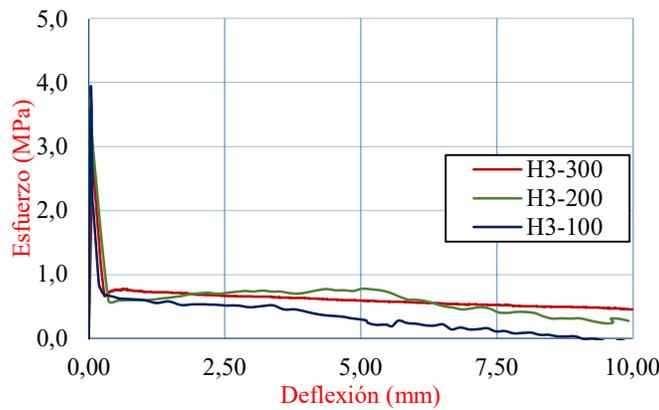


Figura 5: Curvas promedio esfuerzo vs deflexión para probetas de hormigón con 3kg/m3 de fibras y alturas de 300 mm, 200 mm y 100 mm.

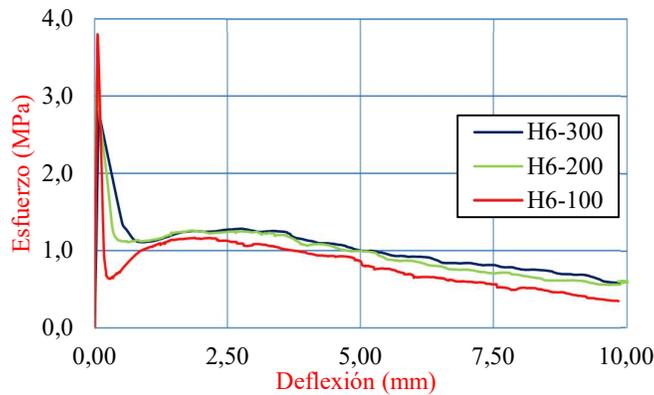


Figura 6: Curvas promedio esfuerzo vs deflexión para probetas de hormigón con 6 kg/m3 de fibras y alturas 300 mm, 200 mm y 100 mm.

### 3.2. *Conteo de fibras*

Como se observa en la Tabla 5, el coeficiente de orientación ponderado ( $\theta$ ) para probetas H3-100 dosificadas con 3 kg/m<sup>3</sup> es de 0.38, 0.34 en las H3-200 y 0.40 en las H3-300. Así mismo, para las vigas que contiene 6 kg/m<sup>3</sup> se obtuvo un coeficiente de orientación ( $\theta$ ) de 0.44 en las H6-100, 0.35 en las H6-200 y 0.37 en las H6-300.

Tabla 5: Coeficiente de orientación de fibras para las probetas ensayadas

Dosificación	Coeficiente de orientación ( $\theta$ )		
	D=100 mm	D=200 mm	D=300 mm
	100x100x350 mm	100x200x650 mm	100x300x950 mm
3 kg/m <sup>3</sup>	0.38	0.34	0.40
6 kg/m <sup>3</sup>	0.44	0.35	0.37

## 4. **Discusión**

### 4.1. *Coeficiente de orientación ( $\theta$ )*

En la Tabla 5 se aprecia que el coeficiente de orientación varía desde de 0.34 para la dosificación de 3kg/m<sup>3</sup> hasta 0.44 para la dosificación de 6 kg/m<sup>3</sup> en ambos casos son inferiores a los propuestos por otras investigaciones (Andries et al., 2015; Monetti, 2011). La diferencia en los valores del coeficiente de orientación entre las probetas H3-300 y las H3-100 es del 5%, existiendo un mayor coeficiente ( $\theta$ ) en las probetas H3-300. Sin embargo, en las probetas dosificadas con 6 kg/m<sup>3</sup> de fibra, el coeficiente ( $\theta$ ) registra un comportamiento opuesto, existiendo una disminución del 16 % entre las probetas H6-300 y las H6-100, siendo mayor en las probetas H6-100. Esto se explica en función de varios factores, como son: el tamaño de la probeta, la manejabilidad de la mezcla de hormigón al añadir fibras y la forma de compactación, factores que igualmente afectaron los resultados de otras investigaciones (Martinie et al., 2015; Sarmiento et al., 2012). Como se observa en la Figura 1, la mayoría de las probetas de 3 y 6 kg/m<sup>3</sup> de fibras se construyeron con la dimensión D (100, 200, 300 mm) del molde en sentido vertical , al momento de compactar la mezcla las fibras por su baja densidad se ubican en la parte inferior de la probeta, tomando una mejor posición para contrarrestar la carga aplicada durante el ensayo, en el caso de las probetas H6-300 (D=300 mm) con 6 kg/m<sup>3</sup> de fibras estas se construyeron con la dimensión D en sentido horizontal lo que provocó que las fibras ocupen una peor posición y distribución dentro del elemento, reflejándose en la reducción del coeficiente de orientación . Resultados similares se obtuvieron en la investigación realizada por (Alberti et al, 2016) en la que se compararon la distribución de fibras al verter hormigón fluido compactado mediante vibración en moldes de tamaño estándar (150x150x600 mm) y moldes con el triple de altura (450x150x600 mm).

### 4.2. *Efecto tamaño*

En la Figura 7 se presentan gráficas comparativas entre el esfuerzo de tensión en el límite de proporcionalidad flopp, las resistencias residuales fr1, fr3, frem y la altura D de las

probetas ensayadas. El esfuerzo flop se obtuvo como el máximo valor de la resistencia en la zona gobernada por el hormigón, frem es el máximo esfuerzo alcanzado post-fisuración, mientras que los esfuerzos fr1 y fr3 se calcularon a una deflexión de 0.5 mm y 2.5 mm respectivamente.

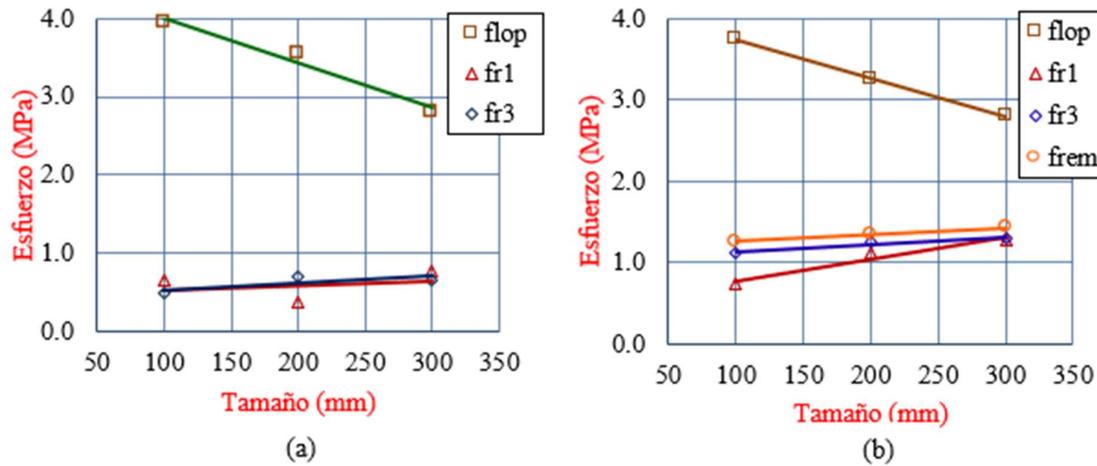


Figura 7: Resistencias flop, fr1, fr2 y frem vs tamaño de probeta para dosificaciones de (a) 3 kg/m³ y (b) 6 kg/m³ de fibras

La resistencia máxima alcanzada en la zona gobernada por el hormigón (flop) disminuye conforme la altura del espécimen aumenta, independientemente de la dosificación analizada, esto se puede observar en las Figuras 5 y 6 y se detalla con más énfasis en la Figura 7. En el caso de las probetas dosificadas con 3kg/m³ de fibras, se presencia una decadencia de esfuerzos del 40.56 % entre los especímenes grandes (H3-300) y pequeños (H3-100), mientras que en aquellas dosificadas con 6 kg/m³ la resistencia disminuye un 34%. Los resultados obtenidos son similares a los de otras investigaciones donde existió hasta un 42.85% de disminución para resistencia del límite de proporcionalidad (flop) causada por el efecto tamaño (Ghasemi et al., 2018; Medina & Cifuentes, 2007; Vega et al., 2018).

Al analizar las resistencias residuales se observa que este comportamiento no se mantiene, al contrario, el esfuerzo toma una línea de tendencia progresiva, es decir aumenta a medida que el tamaño de la probeta lo hace. En esta parte el fenómeno del efecto tamaño no es evidente y es necesario desacoplarlo con respecto al coeficiente de orientación presentado en la Tabla 5.

El coeficiente de orientación ( $\theta$ ) está directamente relacionado con el número de fibras efectivas contabilizadas en el plano de fractura de la sección de hormigón (Alberti et al, 2016), por este motivo se relacionó los esfuerzos residuales con el número de fibras presentes en la cara de fracturación de las probetas ensayadas, como se muestra en la Figura 8, con el fin de poder comparar las resistencias bajo un mismo número de fibras se procedió a extender las líneas de tendencia creadas, como se observa en la Figura 9.

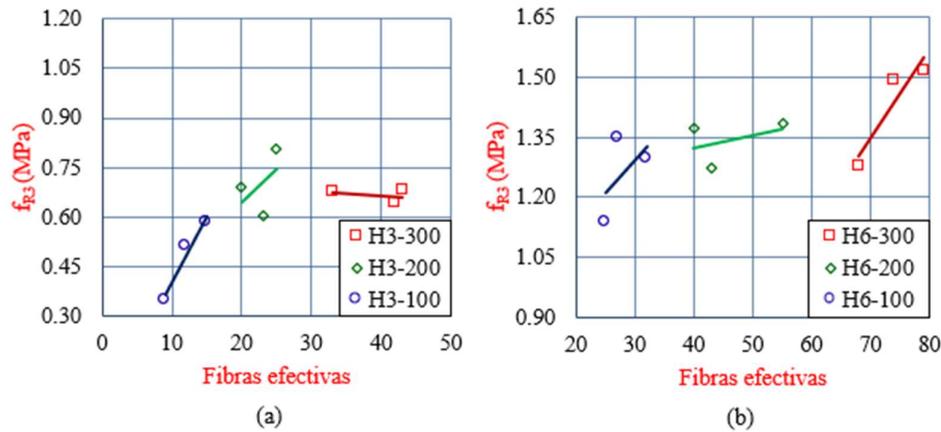


Figura 8: Resistencias residuales vs número de fibras para cada tamaño de probeta (a)esfuerzo fr3 hormigón con 3 kg/m<sup>3</sup> y (b) fr3 en hormigón con 6 kg/m<sup>3</sup>.

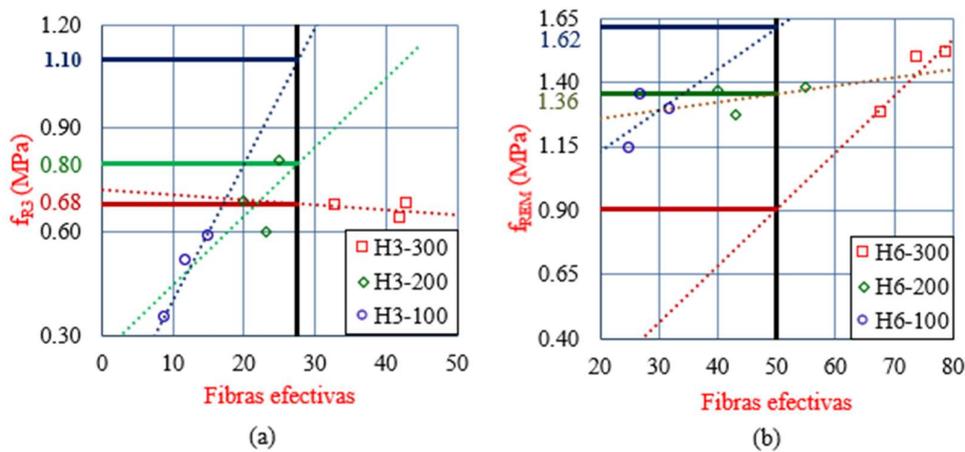


Figura 9: Esquema de la tendencia lineal resistencia residual vs número de fibras para cada tamaño de probeta (a) esfuerzo fr3 en hormigón con 3 kg/m<sup>3</sup> y (b) esfuerzo frem en hormigón con 6 kg/m<sup>3</sup>.

Se aprecia que tras desacoplar el número de fibras presente en la cara de fractura por tamaño de probeta y al relacionarlo con el esfuerzo obtenido, existen variaciones en la resistencia al ser comparadas bajo un mismo número de fibras, de manera general las resistencias de las probetas grandes (H3-300 y H6-300) son menores a las resistencias de las probetas (H3-100 y H6-100), demostrando la influencia del efecto tamaño en la zona del comportamiento a flexión gobernado por las fibras. Este comportamiento se presenta en las dos dosificaciones de hormigón reforzado con fibras analizadas. Resultados similares se obtuvieron en investigaciones como (Alberti et al., 2022; Noghabai, 2000; Vega et al., 2018).

## 5. Conclusiones

El comportamiento a flexión del hormigón reforzado con fibras plásticas, mejora con el incremento de la fracción volumétrica, dado que entre mayor sea esta, las resistencias residuales post fisuración incrementan, agregando al hormigón mayor ductilidad y tenacidad.

Se analizó el efecto tamaño en el comportamiento a flexión, concluyéndose que este fenómeno es evidente en la zona gobernada por el hormigón (flop), puesto que se presentan

reducciones de resistencia de hasta del 40.56 % al comparar las probetas de mayor altura con respecto a las más pequeñas.

Se desacopló la distribución de fibras efectivas contabilizadas en el plano de fractura y se obtuvo que para un mismo número de fibras el esfuerzo registrado en las probetas grandes disminuye al compararlo con las probetas pequeñas. Se concluyó que el fenómeno del efecto tamaño también afecta a la zona gobernada por el comportamiento de las fibras.

### Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Ramírez, W.	Mayacela, M.	Quishpe, E.	Pastuña, B.
Conceptualización				
Análisis formal				
Investigación				
Metodología				
Recursos				
Validación				
Redacción – revisión y edición				

### Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés de naturaleza alguna en la presente investigación.

### Agradecimiento

Esta investigación fue financiada por la Universidad Técnica de Ambato, Dirección de Investigación y Desarrollo, Proyecto de Investigación PFICM27 “Aplicación de vibración ambiental para el estudio de la frecuencia natural de estructuras de edificación de hormigón armado existentes en la zona urbana del cantón Latacunga”.

### Referencias

Akram, A. (2021). Size effect at testing strength properties of concrete. *Budownictwo i Architektura*, 20(4), 37–46.

Alberti, M. G., Enfedaque, A., & Gálvez, J. C. (2016). Fracture mechanics of polyolefin fibre reinforced concrete: Study of the influence of the concrete properties, casting procedures, the fibre length and specimen size. *Engineering Fracture Mechanics*, 154, 225–244. <https://doi.org/10.1016/J.ENGFRACMECH.2015.12.032>

Alberti, M. G., Enfedaque, A., Gálvez, J. C., & Agrawal, V. (2016). Fibre distribution and orientation of macro-synthetic polyolefin fibre reinforced concrete elements. *Construction and Building Materials*, 122, 505–517. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.06.083>

- Alberti, M. G., Gálvez, J. C., Enfedaque, A., Picazo, A., & Ramírez, W. J. (2022). Mixed mode fracture of polyolefin fibre reinforced concrete. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 122, 103560. <https://doi.org/10.1016/J.TAFMEC.2022.103560>
- American Society for Testing and Materials. (2010). *ASTM C78-09 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. Recuperado de: <https://www.astm.org/standards/c78>
- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM C39/C39M Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Recuperado de: [https://www.astm.org/c0039\\_c0039m-03.html](https://www.astm.org/c0039_c0039m-03.html)
- American Society for Testing and Materials. (2019a). ASTM C31 / C31M Standard Test Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. In *American Society for Testing and Materials*. Recuperado de: <https://www.astm.org/astm-tpt-167.html>
- American Society for Testing and Materials. (2019b). *ASTM C1609/C1609M Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)*. Recuperado de: [https://www.astm.org/c1609\\_c1609m-12.html](https://www.astm.org/c1609_c1609m-12.html)
- Andries, J., Itterbeeck, P., Vandewalle, L., & Van Gysel, A. (mayo de 2015). Influence of concrete flow on spatial distribution and orientation of fibres in steel fibre reinforced self-compacting concrete. In *fib symposium*, Copenhagen, Denmark.
- Aragón Matamoros, D. J., & Navas Carro, A. (2015). Medición de la resistencia a la compresión del concreto mediante cilindros de 100 por 200 mm y de 150 por 300 mm para el control de calidad de obras. *Infraestructura Vial*, (25). <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/13599>.
- Bažant, Z. P. (1984). Size Effect in Blunt Fracture: Concrete, Rock, Metal. *Journal of Engineering Mechanics*, 110(4), 518–535. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(1984\)110:4\(518\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1984)110:4(518))
- Bažant, Z. P., G Barr, B. I., de Borst, R., Burtscher, S., Buyukozturk, O., Carol, I., Carpinteri, A., Chiaia, B., Dempsey, J. P., Elices, M., Ferro, G., Gettu, R., Gopalaratnam, V. S., Huet, C., Jirásek, M., McCabe, S. L., Mihashi, H., Nematí, K. M., Planas, J., ... Xi, Y. (2004). Quasibrittle fracture scaling and size effect. *Materials and Structures*, (37), 547–568.
- Bentur, A., & Mindess, S. (1990). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*, 2nd ed. Taylor and Francis Group. Florida.
- Cifuentes Bulté, H. (2010). *Análisis del comportamiento en fractura y del efecto de borde en hormigones de altas prestaciones reforzados con fibras de polipropileno* (tesis doctoral). Universidad de Sevilla. España.
- Du, X., & Jin, L. (2021). *Effect in Concrete Materials and Structures*. Springer Singapore.
- Dupont, D., & Vandewalle, L. (2005). Distribution of steel fibres in rectangular sections. *Cement and Concrete Composites*, 27(3), 391–398. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2004.03.005>
- Escobar-Hurtado, J. S., Guerra-Mera, J. C., & Eguez-Álava, H. E. (2023). Tamaño máximo del agregado y su influencia en la porosidad de un hormigón elaborado con fibra de vidrio. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. 6(11), 2–17. <https://doi.org/10.46296/IG.V6I11EDESPMAYO.0095>
- Ghasemi, M., Ghasemi, M. R., & Mousavi, S. R. (2018). Investigating the effects of maximum aggregate size on self-compacting steel fiber reinforced concrete fracture parameters. *Construction and Building Materials*, 162, 674–682. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.141>
- Guzmán, E., & Gallardo, R. (1997). Comparación de resultados de resistencias a compresión del hormigón empleando cilindros de dimensiones no estandarizadas. *Ingeniería e Investigación*, 38, 41-55.
- Mahmud, G. H., Yang, Z., & Hassan, A. M. T. (2013). Experimental and numerical studies of size effects of Ultra High Performance Steel Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC) beams. *Construction and Building Materials*, 48, 1027–1034. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.07.061>
- García Alberty, M. (2015). *Polyolefin fibre-reinforced concrete: from meterial behaviour to numerical and design considerations* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

- Martinie, L., Lataste, J.-F., & Roussel, N. (2015). Fiber orientation during casting of UHPFRC: electrical resistivity measurements, image analysis and numerical simulations. *Materials and Structures*, 48(4), 947–957. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0205-3>
- Martinie, L., & Roussel, N. (2011). Simple tools for fiber orientation prediction in industrial practice. *Cement and Concrete Research*, 41(10), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2011.05.008>
- Medina, F., & Cifuentes, H. (2007). Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Influencia de la ductilidad de la fibra sobre la fragilidad y el efecto tamaño. *Anales de La Mecánica de Fractura*, 1, 215-220.
- Noghabai, K. (2000). Beams of Fibrous Concrete in Shear and Bending: Experiment and Model. *Journal of Structural Engineering*, 126(2), 243–251. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2000\)126:2\(243\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2000)126:2(243))
- Paniagua Murillo, K. J., & Villalobos Ramírez, F. I. (2020). Evaluación de una modificación en la norma ASTM C1609 para el estudio de concreto reforzado con fibras sintéticas sometido a flexión. *Métodos y Materiales*, 10, 1–11. <https://doi.org/10.15517/MYM.V10I0.38567>
- Sarmiento, E., Zirgulis, G., Sanbakk, S., & Geiker, M. (septiembre de 2012). Influence of concrete flow on fibre distribution, orientation and mechanical properties of fibre reinforced concrete. *Con 8th RILEM International Symposium of Fibre Reinforced Concrete*. Guimaraes, Portugal
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). *NTE INEN 3063 Hormigón con Fibras de Acero. Determinación de la Resistencia a la Tracción por Flexión (Límite de Proporcionalidad (lop), Resistencia Residual)*. Recuperado de: <https://1library.co/document/q5mx4oww-nte-inen.html>
- Vega, A., Gálvez, J., & García, M. (2018). *Estudio del efecto de tamaño en el comportamiento en flexión de elementos de hormigón reforzado con fibras de poliolefina* (tesis de maestría). Universidad Politécnica De Madrid. Madrid, España.
- Yoo, D. Y., Kim, S., Park, G. J., Park, J. J., & Kim, S. W. (2017). Effects of fiber shape, aspect ratio, and volume fraction on flexural behavior of ultra-high-performance fiber-reinforced cement composites. *Composite Structures*, 174, 375–388. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.04.069>
- Monetti, D., Torrijos, M., Giaccio, G., & Zerbino, G. M. (2011). *Respuesta post fisuración de hormigones reforzados con fibras*. I Jornadas de Investigación y Transferencia de la Facultad de Ingeniería. La Plata, Argentina.