

# INFLUENCIA DE FIBRAS METÁLICAS EN EL DISEÑO DE VIGAS Y LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SEGÚN LA NORMA ACI 318 Y 544,4R

## INFLUENCE OF METAL FIBERS ON THE DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BEAMS AND SLABS ACCORDING TO THE ACI STANDARD 318 AND 544.4R

ANTEZANA DEL GRANADO, L. B., MOJICA APARICIO, J. C.

### RESUMEN

La evaluación del hormigón armado reforzado de fibras en el diseño de vigas y losas según las normas ACI permiten conocer si la incorporación de fibras de acero en el hormigón puede conducir a mejoras significativas en sus propiedades mecánicas. Estudios previos han demostrado que el hormigón armado con fibras de acero exhibe una mayor resistencia a la tracción, una mayor capacidad de deformación antes de la falla y una mejor resistencia a la fatiga en comparación con el hormigón convencional reforzado con barras de acero. Antes de la preparación del hormigón, se llevó a cabo un estudio detallado de las propiedades de los áridos utilizados como agregados. Este estudio incluyó la evaluación de la granulometría, la densidad, la absorción de agua, con el fin de garantizar la calidad y la uniformidad de los materiales utilizados en la mezcla de hormigón. Se diseñaron tres mezclas de hormigón diferentes para este estudio: Hormigón Patrón H21: Se preparó una mezcla de hormigón patrón H21 siguiendo las proporciones estándar de cemento, áridos y aguas especificadas en las normativas locales. Hormigón Reforzado con Fibra de Acero, 30 kg/m<sup>3</sup>: Se dosificó una mezcla de hormigón similar al patrón H21, pero con la adición de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero y aditivo Euco®. Se preparó otra mezcla de hormigón con una dosificación más alta de fibras de acero, con 60 kg/m<sup>3</sup> y aditivo Euco®, con el objetivo de comparar su desempeño con la mezcla de 30 kg/m<sup>3</sup> y el hormigón convencional. Se prepararon probetas cilíndricas y vigas de hormigón de cada mezcla y se sometieron a pruebas de ruptura por compresión y Flexión de acuerdo con las normativas ACI correspondientes. Estas pruebas permitieron determinar la resistencia a la compresión del hormigón, el momento último y el cortante último en el caso de la viga mostraron aumentos significativos para el Hormigón H21, Armadura Longitudinal, fibras de acero, 30 kg/m<sup>3</sup> y aditivo Euco®.

### ABSTRACT

The evaluation of fiber-reinforced concrete in the design of beams and slabs according to ACI standards allows us to know if the incorporation of steel fibers in concrete can lead to significant improvements in its mechanical properties. Previous studies have shown that concrete reinforced with steel fibers exhibits higher tensile strength, higher deformation capacity before failure and better fatigue resistance compared to conventional concrete reinforced with steel bars. Before preparing the concrete, a detailed study of the properties of the aggregates used as aggregates was carried out. This study included the evaluation of granulometry, density, and water absorption, in order to guarantee the quality and uniformity of the materials used in the concrete mix. Three different concrete mixtures were designed for this study: H21 Pattern Concrete: An H21 pattern concrete mixture was prepared following the standard proportions of cement, aggregates and water specified in local regulations. Steel Fiber Reinforced Concrete, 30 kg/m<sup>3</sup>: A concrete mixture similar to pattern H21 was dosed, but with the addition of 30 kg/m<sup>3</sup> of steel fibers and Euco® additive. Another concrete mixture was prepared with a higher dosage of steel fibers, with 60 kg/m<sup>3</sup> and Euco® additive, with the objective of comparing its performance with the 30 kg/m<sup>3</sup> mixture and conventional concrete. Cylindrical specimens and concrete beams of each mixture were prepared and subjected to compression and flexural rupture tests in accordance with the corresponding ACI regulations. These tests allowed determining the compressive strength of the concrete, the ultimate moment and the ultimate shear in the case of the beam showed significant increases for H21 Concrete, Longitudinal Reinforcement, steel fibers, 30 kg/m<sup>3</sup> and Euco® additive.

### PALABRAS CLAVE

Hormigón Reforzado con Fibra de Acero,  
Losas,  
Vigas,  
Aditivo Euco 537®

### KEYWORDS

Steel Fiber,  
Reinforced Concrete,  
Slabs,  
Beams,  
Euco 537® Additive

## INTRODUCCIÓN

Las fibras no son un material nuevo o reciente. Se sabe que hace 4000 años ya se empleaban fibras como adición a un material para mejorar sus propiedades. Hay numerosos ejemplos a lo largo de la historia del uso de las fibras.

En el antiguo Egipto, se incluía paja a la mezcla de suelos para la conformación del adobe con el que fabricaban ladrillos para transferirle una mayor resistencia y, por lo tanto, una mejor manipulación después de la exposición al sol, evitando fisuras. Hasta hace unos años, se utilizaban los pelos de cabra o caballo para armar el yeso. Este tipo de fibras naturales se utilizaron hasta el año 1935, aproximadamente.

La razón de no continuar utilizándolas fue la invención de las fibras sintéticas. La aparición de este nuevo tipo de fibras se debe a Carothers, quien a finales del siglo XIX inventó la seda artificial. Sin embargo, fue a partir de 1935, con la producción de la primera fibra de nailon, cuando surgió una nueva etapa en el uso de fibras. Durante esos años se desarrolla el interés por copiar a las fibras naturales y cuya aplicación principal es la fabricación de tejidos.

Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía. Existen diferentes tipos de fibras para usar con el hormigón, en función de la materia prima para la cual están producidas y para los fines que se busca mejorar con su utilización.

Algunas de las fibras más utilizados en el rubro de la construcción: Fibras naturales (vegetales, etc.), fibras artificiales, fibras inorgánicas (metálicas, vidrio, carbono, cerámicas, etc.), fibras orgánicas (poliméricos sintéticos: polipropileno, polietileno, etc.) Las fibras incorporadas en el hormigón se utilizan como refuerzo para resistir los esfuerzos de tracción. Lo más común es añadir fibras sintéticas y metálicas que mejoran su comportamiento externo. Actualmente, se emplean principalmente en pavimentos, losas y revestimientos de túneles, donde las proporciones de área/volumen son mayores y se requiere un método de control de grietas superficiales.

El hormigón reforzado con fibras ha experimentado una gran evolución desde su aparición gracias a investigaciones realizadas en todo el mundo.

En la década de los 70 se comenzaron a utilizar en España hormigones reforzados con fibras en diversos ámbitos: pavimentación de tableros de puentes, pavimentos industriales, contenedores de puertos, revestimientos de túneles, prefabricados, etc. De entre estas aplicaciones, la de construcción de pavimentos y revestimientos de túneles con hormigón reforzado con fibras de acero, son las más exitosas en la actualidad. También cabe destacar su aplicación en el ámbito militar, utilizándose en pavimentación de carros de combate, hangares y recintos protegidos frente al impacto de metralla o proyectiles.

En el año 1971 en Estados Unidos de Norteamérica se hicieron los primeros estudios e investigaciones dirigidos al uso del hormigón consolidado con fibras, constituyéndose desde entonces como elementos indispensables en la construcción de pavimentos,

pisos industriales de alto desempeño, concretos lanzados para la estabilización de taludes, revestimiento de túneles, bóvedas, tuberías, etc.

Las fibras sintéticas presentan grandes prestaciones: elevado módulo de elasticidad, alta resistencia a tracción, poco peso, etc. Su principal aplicación en el campo de los materiales de construcción es el de control de la fisuración en hormigones y morteros. En algunos casos también se han empleado con el objetivo de reforzar hormigones frente a la acción de los impactos.

Las fibras metálicas que generalmente se utilizan para dosificar el hormigón son de bajo contenido de carbono. Se caracterizan geoméricamente por tener una dimensión predominante en la longitud en comparación con las demás dimensiones. Su superficie puede ser pareja y variar en forma, ya sea circular, rectangular u otra.

Axialmente, estas fibras pueden tener formas rectilíneas, dobladas o perfiladas, y se utilizan como refuerzo dentro de la masa del hormigón.

La fibra se caracteriza geoméricamente por su longitud,  $l$ , por su forma y por el diámetro equivalente,  $D$ . Además, se define la relación de aspecto  $\lambda = l/D$ , que representa la esbeltez de la fibra.

El módulo de elasticidad de la fibra de acero es diez veces mayor que el del hormigón, con una resistencia última a la tracción mayor de 345 MPa. Su adherencia es buena, sin embargo, algunas industrias la mejoran presentando los extremos conformados, ondulados, corrugados, aplastados, etc.

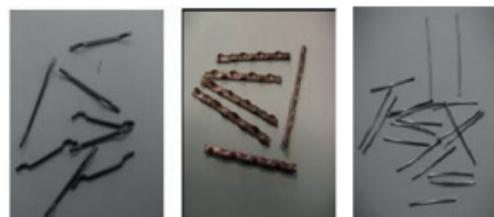
La fibra de acero tiene una elevada capacidad de deformación en rotura y se mezcla fácilmente durante la elaboración del hormigón. Su diámetro oscila entre 0,25 y 1,00 mm y su longitud varía entre 10 y 75 mm. La dosificación de la fibra de acero depende del tipo de estructura y de la incidencia de las cargas solicitantes, y generalmente oscila entre 20 y 160 kg/m<sup>3</sup>.

Tipo I: Fibras obtenidas por laminado o trefilado en frío (Alambre en frío).

Tipo II: Fibra obtenida por corte en láminas de acero (Laminados).

Tipo III: Fibra obtenida por raspado en caliente del acero (Fundidos).

Tipo IV: Fibra obtenida por otros procesos (Fresados).



Fibra Tipo I Tipo II Tipo III

Figura 1. Clasificación de las fibras de acero según su proceso de fabricación

## MÉTODOS Y MATERIALES

Dosificación del hormigón reforzado con fibras de acero.

Ensayos que se realizan al agregado fino:

Contenido total de agua de los áridos por secado. (ASTM C566)

Método para tamizar y determinar la granulometría. (ASTM C 136)

Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en agregados finos. (ASTM C 128)

Método para determinar la densidad aparente del agregado fino. (ASTM C 29)

Ensayos que se realizan al agregado grueso:

Contenido total de agua del árido grueso por secado. (ASTM C 566)

Método para tamizar y determinar la granulometría del agregado grueso. ASTM C 136

Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. (ASTM C127)

Método para determinar la densidad aparente de árido grueso. (ASTM C 29)

Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. (ASTM C 131)

Ensayos que se realizan al cemento:

Peso específico del cemento ASTM C188

Dosificación del hormigón mediante método ACI 211-1

Se usan tres tipos de hormigones:

Hormigón patrón H21. (sin fibras)

Hormigón H21 + fibras de acero (30 kg/m<sup>3</sup>) + aditivo Euco 537®.

Hormigón H21 + fibras de acero (60 kg/m<sup>3</sup>) + aditivo Euco 537®.

Selección del asentamiento.

Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla.

Selección de la relación agua/cemento.

Determinación de la cantidad de cemento.

Determinación del contenido del agregado grueso.

Determinación del contenido de agregado fino.

Ajuste de la mezcla por humedad de los agregados.

Ajuste de la cantidad de agua por aditivo.

Ensayo en el hormigón fresco:

Ensayo de docilidad del hormigón cono de Abrams. (ASTM C-143)

Elaboración y curado de probetas y vigas. (ASTM C-31)

Ensayos en el hormigón endurecido:

Ensayo a compresión.

Ensayo a flexión.

Diseño de los elementos de hormigón reforzado con fibra de acero.

Diseño de vigas de Hormigón Reforzado con Fibra Metálica.

Determinación del Momento Último.

Determinación del Cortante Último.

Diseño a Flexión y Corte de la sección de hormigón armado patrón, hormigón armado con 30 kg/m<sup>3</sup> fibras de acero y hormigón armado con 60 kg/m<sup>3</sup> fibras.

Determinación del Momento Último.

Determinación del Momento de fisuración.

Determinación del Cortante Último.

Diseño de losas de hormigón reforzado con fibras metálicas.

Diseño a Flexión de una losa de hormigón reforzado con fibras de acero de baja dosificación de Fibras - 30 Kg/m<sup>3</sup> (Hormigón + Fibra).

Diseño a Flexión de una losa de hormigón armado (Hormigón H21+ Armadura).

Diseño a Flexión de una losa de hormigón reforzado con fibras de acero de baja dosificación de Fibras - 30 Kg/m<sup>3</sup> (Hormigón + Fibra + Armadura).

Diseño a Flexión de una losa de hormigón reforzado con fibras de acero de alta dosificación de Fibras- 60 Kg/m<sup>3</sup> (Hormigón + Fibra).

Hormigón reforzado con fibras de acero de alta dosificación de Fibras- 60 Kg/m<sup>3</sup> (Hormigón + Fibra + Armadura).

## RESULTADOS

Las figuras 2 y 3 muestran las curvas gravimétricas de los áridos fino y grueso utilizados.

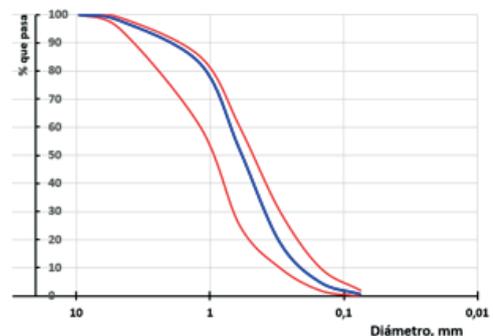


Figura 2. Curva granulométrica agregado fino

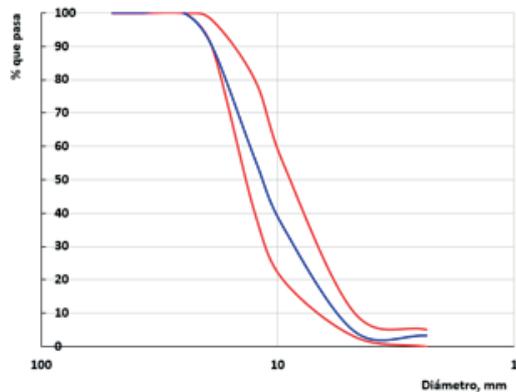


Figura 3. Curva granulométrica agregado grueso

En la tabla 1 se indican los resultados de los ensayos realizados a los áridos.

Tabla 1. Resultados de ensayos de áridos

Ensayo	Agregado fino	Agregado grueso
% de Humedad	2,25	0,4
Módulo finura	2,43	--
Densidad neta, kg/gr	2636,91	2681,92
Densidad real seca, kg/m	2572,40	2587,50
Densidad real saturada Superficialmente seca, kg/m	2596,86	2622,71
Absorción del agua, %	0,95	1,36
Peso unitario suelto gr/cm <sup>3</sup>	1,762	1,619
Peso unitario compactado gr/cm <sup>3</sup>	1,641	1,671
Pérdida de masa, %	--	29

En la tabla 2, se propone la dosificación para el hormigón H21 utilizada.

Tabla 2. Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de hormigón H-21

Material	Por peso		Relación	Por volumen	Para 50 litros	Para una bolsa de cemento
	Seco	Húmedo				
Cemento	385,00	385,00	1	0,127	19,3	50,0
Grava	1097,85	1102,24	2,86	0,409	55,1	143,1
Arena	641,46	655,89	1,70	0,243	32,8	85,2
Agua	200,00	202,20	0,53	0,202	10,1	26,3

En la tabla 3, se señalan las cantidades de fibra metálica y aditivo Euco 537® utilizada para los ensayos en probetas y vigas.

Tabla 3. Cantidades de fibra y aditivo agregado para la elaboración de probetas y vigas de ensayo

Tipo de hormigón	Cantidad de adición de fibra, kg	Cantidad de aditivo Euco 537®, kg
Hormigón H-21, fibras de acero, 30 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco®.	6.77	0.61
Hormigón H-21, fibras de acero, 60 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco®.	13.54	0.61

En la tabla 4, se muestra la dosificación para el hormigón H21 con aditivo Euco 537®.

Tabla 4. Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de Hormigón H-21, fibras de acero, 30 kg/m<sup>3</sup> y aditivo Euco®

Material	Por peso	
	Seco	Húmedo
Cemento	385,00	385,00
Grava	1097,85	1102,24
Arena	641,46	655,89
Agua	197,75	199,95
Aditivo Euco 537®	2,695	2,695

La tabla 5, exhibe la docilidad del hormigón cono de Abrams (ASTM C-143)

Tabla 5. Tabla de asentamiento del hormigón

Identificación	Altura del cono, cm	Asentamiento, cm
Hormigón patrón	12.09	7.91
Hormigón H-21, fibras de acero, 30 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco®.	10.28	9.72
Hormigón H-21, fibras de acero, 60 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco®.	9.88	10.12

En las figuras 4 y 5 se enseñan las curvas a compresión y flexión de Hormigón H21, fibras de acero y aditivo Euco 537®.

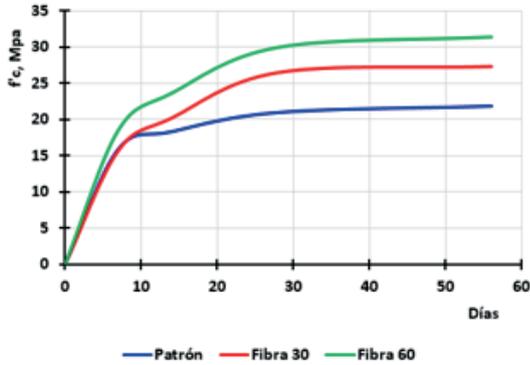


Figura 4. Curva a Compresión Hormigón H2-1, fibras de acero y aditivo Euco 537®

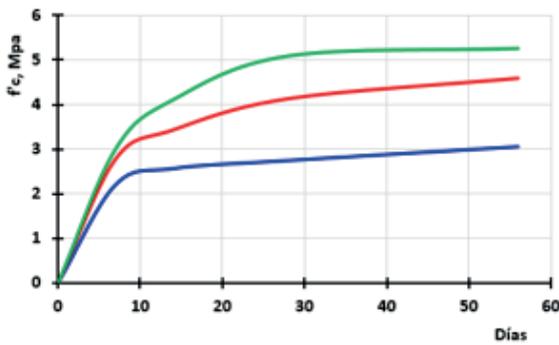


Figura 5. Curva a flexión Hormigón H-21, fibras de acero y aditivo Euco 537®

En la tabla 6, se registra los momentos obtenidos en el diseño de vigas

Tabla 6. Momentos obtenidos del diseño de vigas

Diseño	Momentos Últimos en Vigas, kN·m	Momento de fisuración en Vigas, kN·m	Cortante Último, kN
Hormigón patrón	--	1,827	--
Hormigón H-21, fibras de acero, 30 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco® (HRFA)	1,119	2,753	16,86
Hormigón H-21, fibras de acero, 60 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco®	1,420	3,387	19,810
Hormigón H-21 y Armadura Longitudinal	11,042	--	51,156

Tabla 6. Momentos obtenidos del diseño de vigas

Diseño	Momentos Últimos en Vigas, kN·m	Momento de fisuración en Vigas, kN·m	Cortante Último, kN
Hormigón H-21, Armadura Longitudinal, fibras de acero, 30 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco®	11,708	--	58,470
Hormigón H-21, Armadura Longitudinal, fibras de acero, 60 kg/m <sup>3</sup> y aditivo Euco®	12,052	--	60,998

En la tabla 7, muestra los momentos obtenidos en el diseño de losas.

Tabla 7. Momentos Últimos en Losas

Diseño	Momento, kN·m
Hormigón H21 +Armadura	36,121
Hormigón H21 + 30 kg/m <sup>3</sup>	27,884
Hormigón H21 + 60 kg/m <sup>3</sup>	35,383
Hormigón H21 +Armadura+ 30 kg/m <sup>3</sup>	62,873
Hormigón H21 +Armadura+ 60 kg/m <sup>3</sup>	70,209

## DISCUSIÓN

Los resultados de los ensayos de laboratorio mostraron un aumento del 33.66% en la resistencia a la flexión con la adición de 30 kg de fibra de acero y un aumento del 46.06% con 60 kg de fibra de acero. Además, se registró un incremento del 10.95 % con la dosificación de 30 kg de fibra de acero y un aumento del 27.55% en la resistencia a la compresión con la dosificación de 60 kg de fibra de acero. Estos resultados reflejan el impacto positivo de la incorporación de fibras de acero en las propiedades mecánicas del material, lo que se traduce en una mejora en la resistencia a la flexión y compresión.

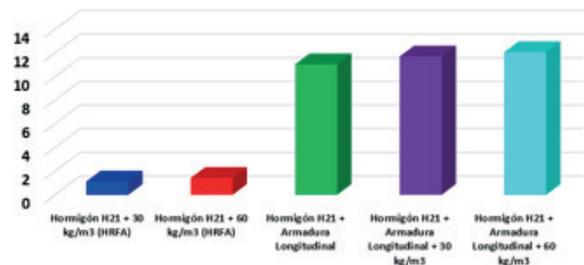


Figura 6. Resistencia del Mu en el diseño de vigas

Los resultados revelan un incremento del 8.38% en el momento último en el caso de la viga con armadura + 60 kg de fibra

metálica, y un aumento del 5.69% en el momento último en el caso de la viga con armadura + 30 kg de fibra metálica. Estos hallazgos indican un aumento en la capacidad de carga en momentos últimos.

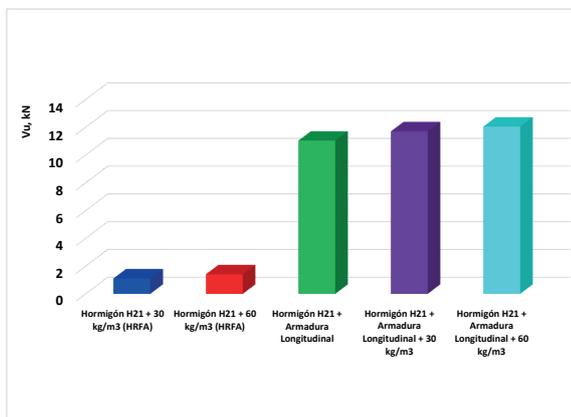


Figura 7. Resistencia del Mu en el diseño de losas

Además, es importante destacar que, en el caso de utilizar una losa con solo la dosificación de 60 kg de fibra, se obtiene un resultado muy similar al de la losa con solo armadura. Considerando esto, se puede concluir que en situaciones donde la Resistencia de Mu en el diseño de Vigas que emplea una losa con armadura mínima, la fibra podría ser una alternativa efectiva para reemplazar la armadura.

Para la viga de hormigón H21 + Armadura longitudinal + estribos + 60 kg de fibra de acero, se obtuvo un incremento del 16.13% y para el caso de la viga reforzada con 30 Kg de fibra de acero, el cortante último se incrementa un 12.51%. Estos incrementos en las resistencias al corte por la influencia de las fibras, en la dosificación de 60 kg y 30 kg, son resultados bastante satisfactorios. Se demuestra que las fibras de acero son una alternativa para incrementar la resistencia al corte en elementos de hormigón, principalmente para aquellos sectores críticos al corte, como las uniones de elementos estructurales (viga-columna), donde para resistir el cortante, se colocan tantos estribos de acero, que se presenta un congestionamiento de armaduras por corte.

En estos sectores se puede disminuir la colocación de los estribos y adicionar fibras de acero para el reemplazo parcial de los estribos y así aumentar la separación de los estribos y mejorar la ductilidad de la unión.

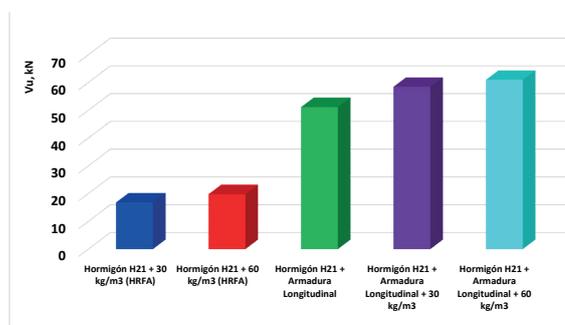


Figura 8. Incremento en la capacidad del Cortante Último

## REFERENCIAS

- ACI 318-08. (2008). REQUISITOS DEL CÓDIGO ACI 318-08 PARA CONSTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y COMENTARIOS. PUBLICACIÓN DE LA NORMA ACI.
- ACI 544.4R-88. (1988). CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO. PUBLICACIÓN DE LA NORMA ACI.
- GALLOVICH, A., ROSSI, B., PERRI, G., WINTERBERG, R., & PERRI, R. (2009). FIBRAS COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL PARA EL REFUERZO DEL HORMIGÓN. MANUAL TÉCNICO DE MACCAFERRI DO BRASIL LTDA.
- MÁRMOL SALAZAR, P. C. (2010). HORMIGONES CON FIBRAS DE ACERO – CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS (TESIS DE MAESTRÍA). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, MADRID, ESPAÑA.
- MARTÍNEZ ESCAMILLA, M. (2002). ANÁLISIS EN ROTURA DE PLACAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO (TESIS DE MAESTRÍA). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA, BARCELONA, ESPAÑA
- MOJICA APARICIO, J. C. (2011). INFLUENCIA DE LAS FIBRAS METÁLICAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN (TESIS DE MAESTRÍA). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA GABRIEL RENÉ MORENO.
- SOLA BERNA, E. (2012). SUSTITUCIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO POR HRFA EN FORJADOS CONVENCIONALES DE EDIFICACIÓN (TESIS DE LICENCIATURA). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA, ESCALA ARQUITECTURA DE BARCELONA, ESCALA ARQUITECTURA DEL VALLE, ESPAÑA.

CITA

