



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EFEECTO DE FIBRAS DE ACERO EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGONES SIMPLES DE 21 MPA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Marlon José Sarango Pinzón
Wellington Wladimir Toapanta Andachi

TUTOR: Byron Iván Altamirano León

Quito - Ecuador
2022

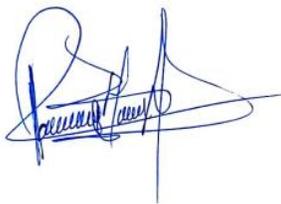
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Marlon José Sarango Pinzón con documento de identificación N° 1725470379 y Wellington Wladimir Toapanta Andachi con documento de identificación N° 1850756378; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 01 de agosto del 2022

Atentamente,



Marlon José Sarango Pinzón
1725470379



Wellington Wladimir Toapanta Andachi
1850756378

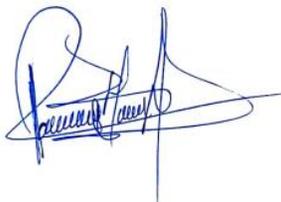
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Marlon José Sarango Pinzón con documento de identificación N° 1725470379 y Wellington Wladimir Toapanta Andachi con documento de identificación N° 1850756378; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Efecto de Fibras de Acero en Resistencia a Compresión, Flexión y Módulo de elasticidad en Hormigones Simples de 21 MPa”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de agosto del 2022

Atentamente,



Marlon José Sarango Pinzón
1725470379



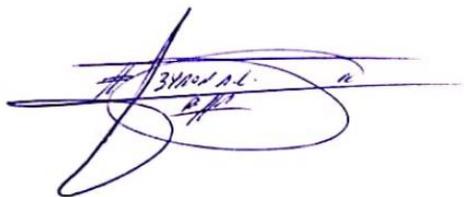
Wellington Wladimir Toapanta Andachi
1850756378

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Byron Iván Altamirano León con documento de identificación N° 1709301590, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EFECTO DE FIBRAS DE ACERO EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGONES SIMPLES DE 21 MPA, realizado por Marlon José Sarango Pinzón con documento de identificación N° 1725470379 y por Wellington Wladimir Toapanta Andachi con documento de identificación N° 1850756378, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de agosto del 2022

Atentamente,



Ing. Byron Iván Altamirano León, MSc.

1709301590

EFFECTO DE FIBRAS DE ACERO EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGONES SIMPLES DE 21 MPA

EFFECT OF STEEL FIBERS ON RESISTANCE TO COMPRESSION, BENDING AND MODULUS OF ELASTICITY IN SIMPLE CONCRETE OF 21 MPA

Marlon Sarango-Pinzón¹, Wellington Toapanta-Andachi²

Resumen

El presente artículo académico tiene como finalidad analizar los efectos de adicionar fibras de acero Dramix 3D a un hormigón simple que fue dosificado para una resistencia de 21 MPa. Las fibras de acero es un material poco conocido y no muy común en el mercado de la construcción por lo cual su adquisición no es fácil. Esta investigación está enfocada en tres parámetros que son parte de las propiedades mecánicas del hormigón, los cuales son: la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad. La metodología utilizada para este trabajo es netamente experimental, partiendo de una dosificación base, se fue adicionando distintas dosificaciones de fibras de acero en base al volumen total de hormigón. Los resultados obtenidos con las fibras de acero fueron analizados y comparados con los resultados obtenidos del hormigón base. A partir de los datos obtenidos se elaboró una correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura la cual es expuesta en una fórmula polinómica. Mediante la experimentación se logró llegar a la conclusión de que las fibras de acero ayudan a mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, por lo cual es recomendable el uso de estas fibras de acero. Todos los resultados serán expuestos a lo largo de este documento.

Abstract

This current academic article has aim to analyze the effects of adding steel fibers Dramix 3D to simple concrete that was dosified for a resistance of 21MPa. The steel fibers are a bit unknown and not so common in the construction trade that is why its acquisition is not easy. This research is focused on three parameters that are part of mechanical platform traits which are: compression resistance, flexion resistance and elasticity module. The methodology used for this work is neatly experimental, parting from a dosification base; it was added different steel-fiber dosification on base to the total platform volumen. The obtained results with the steel fibers were analyzed and compared with the base concrete obtained results. Parting from the obtained results it was elaborated a correlation between resistance and compression and the breaking module which is exposed on a polinomic formula. Through experimentation it was concluded that the steel fibers help to improve the concrete mechanical propertien , which is why the use of these steel fibers is recommended. All the results will be exposed all through this document.

¹ Estudiante de la carrera de ingeniería civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

² Estudiante de la carrera de ingeniería civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

Autor para correspondencia: wtoapantaa@est.ups.edu.ec, msarangop@est.ups.edu.ec

Palabras Clave: Dramix 3D, Fibras de acero, hormigón, Modulo de elasticidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión. **Keywords:** Dramix 3D, steel fibers, concrete, modulus of elasticity, compressive strength, flexural strength.

1. Introducción

En Ecuador el implemento de las fibras de acero Dramix 3D en las obras civiles va en aumento, con el fin de mejorar la calidad del hormigón un claro ejemplo del uso de estas fibras en el ecuador es la construcción de las dovelas del metro de Quito

El uso de las fibras de acero en el hormigón en los últimos años ha tenido una gran aceptación, se tiene investigaciones con resultados satisfactorios pues se obtuvieron mejoras en las propiedades físicas, mecánicas y en la durabilidad del hormigón [1]. Los estudios de las fibras de acero se pueden apreciar en el “ACI 544, 1R-96” normativa que cuenta con información del uso de fibras en el hormigón [2].

Este material se mezcla en el hormigón de manera fácil sin ayuda de personal especializado, dicho material trata de remplazar las mallas electrosoldadas y barras de acero, brindando al constructor una alternativa eficiente y rentable para la ejecución de proyectos, además una gran disminución de horas de trabajo para su colocación ayudando así a economizar el presupuesto y tiempo del proyecto [3].

Por otra parte, este material es utilizado en la construcción para pavimentos, túneles, viviendas, plataformas estructurales, puentes, hormigón sumergido [4]. Por lo tanto, el estudio de las fibras Dramix 3D como parte de reforzar al hormigón se vuelve atractivo debido a que se puede usar en muchos proyectos de ingeniería.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento a compresión, flexión y módulo de elasticidad con un hormigón simple de 21 MPA, con el fin de hacer un análisis comparativo entre un hormigón tradicional y un hormigón usando fibras de acero Dramix 3D.

Además, esta investigación aportara información de los efectos que tienen las fibras de acero en el hormigón a los profesionales que optan mejorar el desempeño estructural de sus proyectos.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales y características

2.1.1 Dramix 3D

Las fibras de acero Dramix 3D son fibras con alambre trefilado en frío de una alta resistencia, se caracteriza por tener pequeños dobleces en sus extremos con el objetivo de optimizar el anclaje en el hormigón [5]. En esta investigación el Dramix cuenta con una esbeltez (l/d) de 65, longitud de 35 mm, diámetro de 0.55 mm, el acero de color gris dando así su especificación 3D 65/35 BG [6].



Figura 1. Dramix 3D.



Figura 2. Dramix 3D previo al ensayo en laboratorio.

2.1.2 Cemento

El cemento empleado para el desarrollo del hormigón en esta investigación fue un Portland tipo 1 Holcim Gu, que es de uso general para la construcción el cual satisface las exigencias de la norma “NTE INEN 2380” [7].

2.1.3 Agregado Fino

Para que el material se defina como agregado fino debe pasar por el tamiz 3/8 (9.5mm) y por lo general pasa de forma completa por el tamiz No. 4 (4.75mm) y se retiene en el tamiz No. 200 (75um) se utilizó una arena azul no lavada de la cantera Holcim Pifo, con un módulo de finura de 2.98 [8]. Este material cumple con las normas “NTE INEN 698 – ASTM C136” [9].

2.1.4 Agregado Grueso

Para esta investigación se empleó el triturado de ½ pulgada obtenida de la cantera Holcim Pifo, en la ficha técnica lo podemos encontrar como piedra número 78 [10]. la cual cumple con los requerimientos de la norma “ NTE INEN 872-ASTM C33” [11].

2.2 Proceso para la elaboración del hormigón

2.2.1 Ensayo de laboratorio para una correcta dosificación

Se procedió hacer los respectivos ensayos de los materiales en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana de la carrera de ingeniería civil siguiendo las normativas que se indican en la tabla 1. Los resultados fueron verificados con la información proporcionada por Holcim Ecuador con el fin de comparar resultados dando así un mejor cálculo en la dosificación.

Tabla 1: Ensayos requeridos para dosificación.

Ensayos	Norma
Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso.	NTE INEN 696 Asocreto 2010
Determinación de la densidad, peso específico (densidad relativa) para árido fino, árido grueso	NTE INEN 856, 2010 NTE INEN 857, 2010
Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos	NTE INEN 858, 2010
Determinación del contenido total de humedad para árido fino y árido grueso	NTE INEN 862, 2011

2.2.2 Diseño de hormigón

En esta investigación se diseñó el hormigón patrón con el método ACI siguiendo los pasos necesarios como la elección de la resistencia, contenido de aire, contenido de agua, relación a/c, contenido de cemento, peso del agregado grueso, volúmenes absolutos (aire agua, cemento, pesos agregado grueso y fino), corrección de humedades, agua efectiva y finalmente proporción de diseño [12].

2.2.3 Elaboración del hormigón con fibras de acero Dramix 3D

Con la obtención de la dosificación procedemos a la mezcla manual para esto se utilizó una concretera al mismo tiempo nos ayudamos del “manual de laboratorio de ensayos de materiales” la cual se basa en la normativa técnica ecuatoriana [13].

De acuerdo al manual de laboratorio el proceso para la mezcla correcta del hormigón: agregar el agregado grueso, agregado fino, ¼ de agua esto con el fin de obtener la homogenización del grueso y fino, colocación de cemento, agregar los ¾ de agua y para finalizar agregamos las fibras Dramix 3D para una correcta homogenización final.

Para el agregado del Dramix 3D se definen diferentes proporciones de 0,2,5,10,15 kg/m³ la cual se colocó en el hormigón patrón para la realización de los diferentes especímenes.

En los diferentes Dosificaciones sin fibras y con sus respectivas proporciones de fibras Dramix 3D se realizará un ensayo de asentamiento con el fin de

visualizar si el asentamiento es diferente con la inclusión de las fibras, este proceso se realizó con la ayuda del cono de Abrams, colocando tres capas a 1/3 donde se varillo 25 veces por capa es muy importante enrazar la superficie del cono con la varilla finalmente se retiró el cono de Abrams de manera vertical en cinco segundo.

Siguiendo con el proceso se continuo con la elaboración de cilindros, se colocará el hormigón en tres capas a 1/3 con sus respectivos varillados, en cada capa se dio 15 golpes como indica la normativa, se elaboró 5 cilindros de hormigón sin la inclusión de fibras y con la inclusión de fibras con su respectiva proporción tres de los cilindros serán para el ensayo a compresión a una edad de 7, 14, 28 días y dos para el ensayo de módulo de elasticidad a una edad de 28 días como se indica en la tabla 2.

Tabla 2: Número de cilindros en base a las diferentes dosificaciones.

Dosificación	Cilindros ensayo a compresión	Cilindros ensayo módulo de elasticidad
0 kg/m ³	3 cilindros	2 cilindros
2 kg/m ³	3 cilindros	2 cilindros
5 kg/m ³	3 cilindros	2 cilindros
10 kg/m ³	3 cilindros	2 cilindros
15 kg/m ³	3 cilindros	2 cilindros

Para la elaboración de vigas se coloca hormigón en dos capas a 1/2 respectivamente se dio 60 varillados por capa y 15 golpes con el maso de goma por capa en estas vigas se realizarán ensayos a flexión a una edad de 28 días se elaboraron una viga por dosificación mostrada en la tabla 3.

Tabla 3: Numero de vigas en base a las diferentes dosificaciones.

Dosificación	Nº de vigas
0 kg/m ³	1 viga
2 kg/m ³	1 viga
5 kg/m ³	1 viga
10 kg/m ³	1 viga
15 kg/m ³	1 viga

Se enrazó los cilindros y vigas con la varilla lisa, para lograr una mayor uniformidad se utilizó una paleta de albañilería para lograr un mejor desempeño en los ensayos, posteriormente se colocan fundas con el objetivo de no perder humedad antes del desencofrado en 24 ± 4 horas luego de realizar el proceso de desencofrado colocar en una piscina de curado a una temperatura 23°C ± 2°C [13].

3. Resultados y Discusión

En esta sección se explicará los resultados finales de la investigación como la dosificación del hormigón patrón, resistencia a la compresión, flexión y módulo de elasticidad, con distintos especímenes con y sin la inclusión de Dramix 3D, también se explicará los resultados del módulo de rotura conseguida en el ensayo a flexión de vigas.

3.1 Dosificación patrón

Una vez realizados todos los ensayos necesarios, se dosifico el hormigón mediante el método ACI teniendo como resultado las cantidades mostradas en la tabla 4. Para la inclusión de las fibras de acero se calculó el volumen en m³ necesario para los especímenes a ensayar y se realizó una regla de tres simple para obtener las fibras de acero en función de la dosificación que se indican en la tabla 5.

Tabla 4: Dosificación del hormigón para una resistencia de 21 MPa.

Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (lt)
19.83	45	40.63	11.35

Tabla 5: Cantidad de fibras de acero Dramix 3D por m³ de hormigón.

Dosificación	Cantidad de Dramix 3D (kg)
0 kg/m ³	0
2 kg/m ³	0.09
5 kg/m ³	0.23
10 kg/m ³	0.47
15 kg/m ³	0.70

3.2 Asentamiento del hormigón

En la tabla 6 se resumen los diferentes asentamientos para cada dosificación estos resultados fueron tomado en cada dosificación con la ayuda de una regla metálica y un cono de Abrams como se indica en la figura 3.



Figura 3. asentamiento en el laboratorio de ingeniería civil.



Figura 4. Medición del asentamiento con la ayuda de una regla metálica.

Tabla 6: Resumen de los diferentes asentamientos en la investigación.

Fibras (kg/m ³)	Asentamiento (cm)
0	7
2	7
5	6.5
10	6
15	4.5

Los resultados reflejan que a medida que se aumenta las fibras de acero el asentamiento disminuye como se indica en la tabla 6, esto influye en la trabajabilidad, el hormigón con fibras de acero va ser menos trabajable.

3.3 Resistencia a compresión

En la tabla 7 se resume los resultados obtenidos en los ensayos a compresión en diferentes edades, con y sin la inclusión de fibras de acero, para la compresión de cilindros se tomó en cuenta la norma INEN 1573 [14].

Tabla 7: Resumen de resultados del ensayo resistencia a la compresión.

fibras (kg/cm ²)	Resistencia a los 7 días (kg/cm ²)	Resistencia a los 14 días (kg/cm ²)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
0	136.16	197.01	272.21
2	104.97	176.57	282.41
5	142.55	207.38	284.02
10	168.90	221.49	322.47
15	152.26	208.11	319.96

Se puede notar un incremento de la resistencia a la compresión, obteniendo una resistencia máxima en los ensayos realizados de 322.47 kg/cm² con la inclusión de fibras de 10 kg/m³, además se puede apreciar una vez llegado al punto más alto empieza a decrecer levemente con la inclusión de 15 kg/m³ de fibras de acero como si indica en la figura 5.

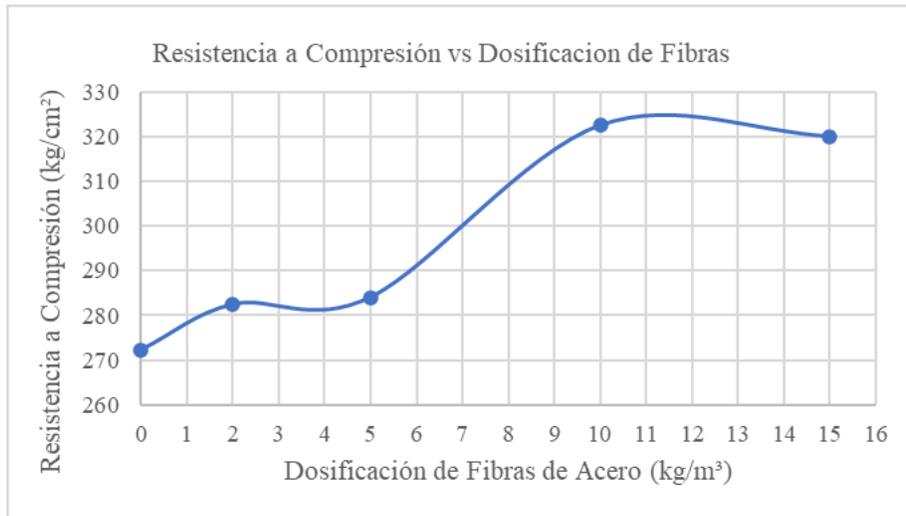


Figura 5. Resistencia a la compresión a los 28 días.

Se visualiza en la figura 2, que el punto más alto no se tiene con la dosificación de fibras en 10 kg/m³, sugiriendo que se debería realizar y ensayar más cilindros de hormigón con diferentes dosificaciones entre el 10 y 15 kg/m³ para obtener un punto óptimo así mismo mejores resultados en el ensayo a compresión [14].

En la figura 6 se muestra la falla típica que sufrieron los especímenes que se ensayaron al largo de la investigación, esta falla se notó en la mayoría de los especímenes comprimidos.



Figura 6. Falla típica en el ensayo a compresión.

3.4 Resistencia a la flexión

Para obtener la resistencia a la flexión se realizó con el cálculo de módulo de rotura en vigas rectangulares con una edad a los 28 días para cada dosificación propuesta, el ensayo se realizó en base a la norma INEN 2554 [15], y los resultados se evidencia en la tabla 8.

Tabla 8: Resumen de módulo de rotura.

Dosificación (kg/m ³)	Módulo de Rotura (kg/cm ²)
0	46.28
2	49.94
5	56.92
10	58.86
15	46.68

Con la inclusión de 10 kg/m³ de fibras de acero se obtuvo el mayor módulo de rotura el cual es de 58.86 kg/cm², realizando una comparación con respecto al módulo de rotura correspondiente al hormigón sin fibras de acero el cual es de 46,28, se determinó que tiene un incremento del 27.18% una respecto a la otra. A partir de la dosificación de 10 kg/m³ se evidencia un decrecimiento en el valor del módulo de rotura como ilustra en la figura 7.

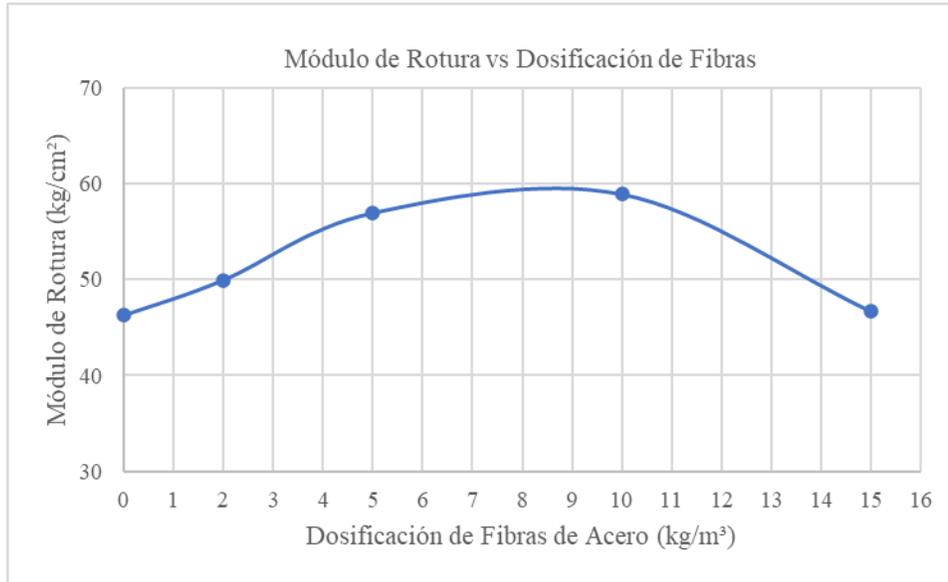


Figura 7. Modulo de rotura a los 28 días.

En la figura 8 se evidencia que la probeta de hormigón sin fibras durante el ensayo a flexión en el instante de llegar a su capacidad máxima la falla produjo la separación de la viga en dos partes, por otro lado, con la adición de fibras de acero se produce un anclaje entre la fibra de acero y el hormigón el cual no permite la separación de la viga como se ilustra en la figura 9.

Podemos notar que todas las vigas tienen una fractura dentro del tercio medio de la luz libre por lo cual para el cálculo del módulo de rotura se calculó como indica la norma INEN 2554 [15], los resultados se evidencian en la tabla 8.

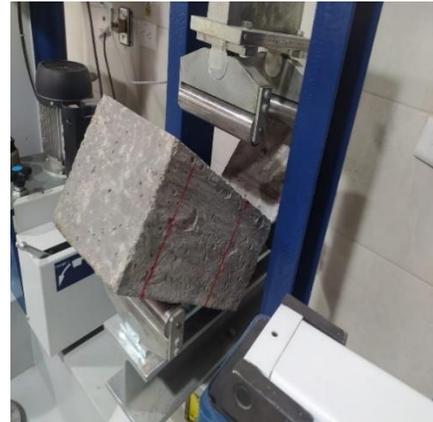


Figura 8. Ensayo a flexión sin fibras de acero.



Figura 9. Ensayo a flexión incluyendo fibras de acero.



Figura 10. Falla sin fibras de acero.



Figura 11. Falla con fibras de acero.

3.5 Correlación entre la resistencia a compresión y módulo de rotura

Se sabe que la relación de estas dos propiedades es directamente proporcional, a más resistencia a la compresión, también aumenta el módulo de rotura. Es así que se puede establecer una relación entre estos. Rivera [16] propone la formula (1) la cual se puede utilizar en casos que no exista suficientes ensayos a flexión, de tal manera que se compara un módulo de rotura teórico y un módulo de rotura experimental, como se presenta en la tabla 9.

$$MR = K * RC^{1/2} \quad (1)$$

Dónde:

MR = Módulo de rotura estimado (kg/cm²).

RC = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

K = Constante que va de 2 a 2,7.

Tabla 9: Comparación entre módulo de rotura experimental y módulo de rotura teórico.

Dosificación (kg/m ³)	f'c (kg/cm ²)	MR. Experimental (kg/cm ²)	MR. Teórico 2,7(f'c) ^{0,5} (kg/cm ²)
0	272.21	46.28	44.55
2	282.41	49.94	45.37
5	284.02	56.92	45.50
10	322.47	58.86	48.48
15	319.96	46.68	48.30

Los valores que se obtuvieron experimentalmente se asemejan a los valores obtenidos teóricamente, sin embargo, vale mencionar que los valores que más coinciden es el correspondiente a la dosificación sin fibras de acero, teniendo como valor experimental 46.28 kg/cm² y el valor teórico 44.55 kg/cm², por otro lado, los valores con la inclusión de fibras de acero que se obtuvieron experimentalmente no son muy semejantes a los obtenidos teóricamente.

Mediante los resultados obtenido en el laboratorio es posible proponer la ecuación (2) la cual relaciona la resistencia a la compresión y el módulo de rotura experimental, para esto se elaboró una gráfica de dispersión como se indita en la figura 12.

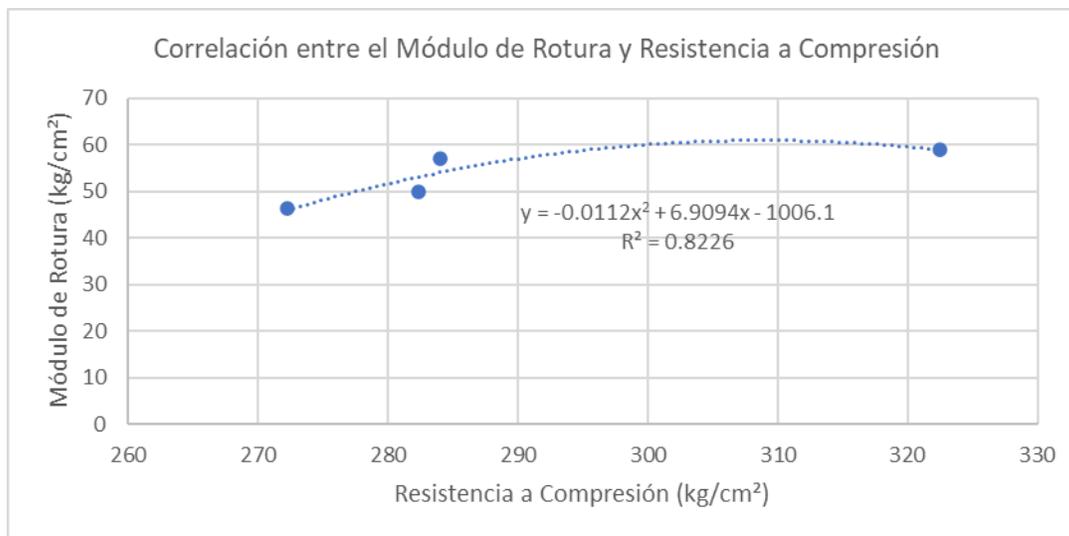


Figura 12. Correlación entre la resistencia a la compresión y módulo de rotura.

$$MR = -0.0112f'c^2 + 6.9094f'c - 1006.1 \quad (2)$$

MR = Módulo de rotura estimado (kg/cm²).

f'c = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

Se presenta una ecuación polinómica siendo esta la que más se ajusta a los datos obtenidos en el laboratorio, se despreció el valor correspondiente a la dosificación de 15 kg/m³ ya que este valor una vez llegado al punto máximo empieza a decrecer lo que implica una mala correlación.

3.6 Módulo de elasticidad

Para la determinación del módulo de elasticidad, una vez obtenido los resultados de los ensayos, se realizó la curva esfuerzo – deformación para cada dosificación, para los cálculos se utilizó como primer punto el esfuerzo correspondiente al 40% de la carga máxima con su respectiva deformación unitaria, y como segundo punto una deformación de 0.00005 con su respectivo esfuerzo, como indica la norma NTC 4025 [17] los resultados se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Resumen de resultados de módulo de elasticidad.

Dosificación (kg/m ³)	M. Elasticidad (MPa)
0	35850.72
2	36003.69
5	63022.32
10	65946.97
15	53736.89

Como se puede apreciar el módulo de elasticidad aumenta acorde se incrementa las fibras de acero, a lo largo de la investigación ha dado buenos resultados la dosificación de 10 kg/m³, con módulo de elasticidad de 65946.97 MPa. Esto ayuda a tener menores deflexiones y una mayor rigidez como expone Osorio [18].

4. Conclusiones

Se concluye que las fibras de acero tienen una influencia positiva en el hormigón, le otorga beneficios como mayor resistencia a la compresión, un mayor módulo de rotura y un mejor módulo de elasticidad, por lo cual es recomendable adicionar este material a la mezcla de hormigón.

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que este material puede ser empleado en elementos que estén bajo a compresión y flexión, obteniendo buenos resultados bajo estas sollicitaciones.

Al finalizar la investigación se concluyó que con cada dosificación las propiedades del hormigón van aumentando, pero cabe recalcar que los mejores resultados se obtuvieron con la dosificación de 10 kg/m³, coincidiendo con la dosificación recomendada en la ficha técnica por uno de los fabricantes de estas fibras en Ecuador, de tal manera se corrobora la información expuesta en la ficha técnica.

Al ensayar los testigos de hormigón se observó que las probetas presentaron mejores capacidades al momento de fallar, ya que la falla se presentó de una forma más dúctil y no de una forma explosiva como se da en el mayor de los casos. Verificando así que las fibras ayudan a un mejor anclaje entre partículas de hormigón.

Al aumentar las fibras de acero al hormigón, se ve afectada la trabajabilidad ya que esta disminuye, esto se evidencio al momento de realizar el ensayo del cono de Abrams para medir el asentamiento. El hormigón con las fibras de acero tuvo un menor asentamiento con respecto al hormigón sin fibras de acero, el asentamiento más bajo fue de 4.5 cm y este le correspondió al hormigón con 15kg/m³ de fibras de acero.

Al incorporar fibras de acero al hormigón aumenta el módulo de elasticidad, esto ayuda a evitar mayores deflexiones en el elemento.

Es importante continuar con las investigaciones del tema, con la finalidad de dar a conocer los beneficios de adicionar fibras de acero al hormigón, y de alguna manera promover el uso de este material, planteando así nuevos métodos y materiales que ayuden a mejorar la construcción de obras civiles.

Es importante analizar los beneficios técnicos contra los económicos, esta conclusión queda a criterio de los usuarios que deseen utilizar las fibras de acero.

Referencias

- [1] C. Julián, G. Giovanni, y A. William, «Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero», *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 14, n.º 3, pp. 435-450, jul. 2013, doi: 10.1016/S1405-7743(13)72256-X.
- [2] E. D. Bastidas Ñacato y J. M. Verdezoto Borja, «“Efecto de fibras naturales de Carludovica palmata (paja toquilla) en resistencia a compresión y flexión en hormigones simples de 21 MPA.”», 2021. Accedido: 8 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20267>
- [3] I. Alambrec, «Soluciones para la construcción». Bekaert, 2012.
- [4] I. Alambrec, «Catalogo de Dramix». NV Bekaert SA, 2012.
- [5] K. M. Carrera Orbe y D. E. Zea La Rochelle Rosero, «Evaluación de las propiedades mecánicas de la mezcla de hormigón y fibras de acero dramix 3d en diferentes dosificaciones para la aplicación en pavimentos rígidos, utilizando cemento puzolánico he y agregados de la planta Holcim Pifo-Quito», Proyecto de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2018. Accedido: 11 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/14620>
- [6] I. Alambrec, «Ficha Técnica Dramix 3D». 2012.
- [7] NTE INEN 2380, «Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos», Quito, 2011.
- [8] Holcim, «Agregados Finos Arena Azul Sacos», *Holcim Ecuador S.A.* <https://www.holcim.com.ec/agregados-finos-arena-azul-sacos> (accedido 11 de julio de 2022).

- [9] NTE INEN 696, «Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso», Quito, 2011.
- [10] «Agregados Gruesos Piedra # 78», *Holcim Ecuador S.A.*
<https://www.holcim.com.ec/agregados-piedra-78> (accedido 11 de julio de 2022).
- [11] NTE INEN 872, «Áridos. Para hormigón requisitos», Quito, 2011.
- [12] S. Huanca, «Diseño de Mezclas de Concreto», Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2006.
- [13] P. D. Fierro Quintana y S. A. Asitimbay Almeida, «Manual de laboratorio de ensayo de materiales para la construcción.», Proyecto de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2019. Accedido: 11 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17044>
- [14] NTE INEN 1573, «Hormigón de cemento hidráulico.determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilindros de hormigón de cemento hidráulico», Quito, 2010.
- [15] NTE INEN 2554, «Hormigón de cemento hidráulico.determinación de la resistencia a la flexión del hormigon (utilizando una viga simple con carga en los tercios.», Quito, 2011.
- [16] Di. Sanches de Gusman, *Tecnología del concreto y mortero*, Universidad del cauco. Colombia, 2013.
- [17] NTC 4025, «Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión», Bogota, 2006.
- [18] J. Osorio, «¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO?», *360 EN CONCRETO*, 3 de junio de 2022.
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/el-asticidad-del-concreto/> (accedido 19 de julio de 2022).