



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TEMA: MORTERO PARA REFUERZO DE MAMPOSTERÍA EN
VIVIENDAS INFORMALES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: MATÍAS RENATO CASTRO CASTILLO

DIRECTOR: ING. JAIME XAVIER NIETO CÁRDENAS

AZOGUES - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Matías Renato Castro Castillo portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0105456222**. Declaro ser el autor de la obra: "**Mortero para refuerzo de mampostería en viviendas informales**", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, 16 de noviembre de 2023

F: 

Matías Renato Castro Castillo

C.I. **0105456222**

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jaime Xavier Nieto Cárdenas Mgs.

DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Mortero para refuerzo de mampostería en viviendas informales**", realizado por: **Matías Renato Castro Castillo**, con documentos de identidad: **0105456222**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 16 de noviembre del 2023

JAIME
XAVIER
NIETO
CARDENAS

Firmado digitalmente por
JAIME XAVIER
NIETO CARDENAS
Fecha: 2023.11.16
17:07:57 -05'00'

ING. JAIME XAVIER NIETO CÁRDENAS

0104027826

DIRECTOR

Mortero para refuerzo de mampostería en viviendas informales Matías Renato Castro Castillo – Ing. Jaime Xavier Nieto Cárdenas, Mgs. Universidad Católica de Cuenca mrcastroc22@est.ucacue.edu.ec

RESUMEN

Este artículo se centra en la evaluación de la resistencia de morteros a tensión indirecta y compresión, simples y reforzados con diferentes porcentajes de fibra de acero. Esto con el fin de encontrar soluciones resistentes y económicas para reforzar viviendas informales, las mismas que cuentan con un alto grado de vulnerabilidad estructural. En primer lugar, se compara la resistencia a tensión indirecta y desplazamientos que soportan los morteros simples y los reforzados, donde se observa que los morteros reforzados ofrecen una mayor resistencia y capacidad a deformarse, mientras se varíe el porcentaje de fibra más, aumentan estas características. Después se compara la resistencia a compresión donde los morteros reforzados también presentan resultados adecuados. En cuanto a lo económico, el mortero reforzado presenta inconvenientes debido al costo de las fibras; en los porcentajes estudiados en este artículo (10,15,20 y 25%), no resulta tan llamativo el uso de morteros reforzados para vivienda informal, se recomienda realizar investigaciones similares con diferentes porcentajes de fibra.

Palabras clave: Mortero, fibra metálica, fuerza-desplazamiento, resistencia a compresión, fibra de acero, vivienda informal.

Mortar for Reinforcement of Masonry in Informal Housing

Matías Renato Castro Castillo – Jaime Xavier Nieto Cárdenas, Mag. Eng. Catholic University of Cuenca mrcastroc22@est.ucacue.edu.ec

ABSTRACT

This article focuses on assessing the resistance of mortars to indirect tension and compression, simple and reinforced with different percentages of steel fiber. The aim is to find resistant and cost-effective solutions to reinforce informal housing with a high degree of structural vulnerability. Firstly, the resistance to indirect tension and displacements supported by simple and reinforced mortars are compared; it is observed that reinforced mortars offer higher resistance and capacity to deform; the more the percentage of fiber is varied, the more these characteristics increase. Then, the compressive strength is compared, and reinforced mortars show satisfactory results. In terms of cost, reinforced mortar presents disadvantages due to the expense of fibers. In the percentages studied in this article (10,15,20 and 25%), reinforced mortar usage for informal housing does not seem so striking; it is recommended to conduct similar research with different percentages of fiber.

Keywords: Mortar, metallic fiber, strength-displacement, compressive strength, steel fiber, informal housing.

Introducción

La construcción informal es un fenómeno presente en todos los países de Latinoamérica, representando más del 50% del total de construcciones [1], principalmente caracterizado por la falta de cumplimiento de regulaciones y requisitos mínimos exigidos por las autoridades correspondientes en cada ciudad [2]. Estas viviendas suelen presentar deficiencias estructurales significativas, lo que las hace altamente vulnerables ante eventos sísmicos y condiciones climáticas extremas [3]. Reforzar la mampostería existente es una solución efectiva para aumentar la resistencia, durabilidad y estabilidad de dichas estructuras, garantizando así la seguridad de las personas [4].

Como componente de mamposterías no estructurales está el mortero, que es un material producto de la mezcla de cemento, agregado fino y aditivos, debido a su versatilidad tiene varios empleos en la construcción, donde se destaca su uso como pegante de bloques de mampostería, recubrimiento, enlucido de paredes y elementos estructurales [5]. Investigadores como Graham o Griffith han estudiado desde hace muchos años los morteros con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Una de las principales soluciones para mejorar dichas características es el uso de fibras y aditivos en la mezcla del mortero. Dichas fibras pueden clasificarse según su material, donde destacan las fibras de acero, vidrio, polipropileno y fibras naturales [6].

La utilización de fibras de acero como refuerzo para morteros se remonta a principios del siglo XX cuando Graham utilizó por primera vez estas fibras con el objetivo de aumentar la resistencia y durabilidad; más tarde en el año 1920 Griffith hizo la primera publicación científica sobre las características de estos morteros reforzados [7].

Las fibras de acero son elementos reforzantes utilizados en la construcción, en los morteros para mampostería se aplican a manera de filamentos de alta resistencia que, mezclados homogéneamente con el cemento, arena, y aditivos mejoran sus propiedades mecánicas [8]. Estas fibras están diseñadas para resistir las cargas de tensión y flexión en un mortero, de esta manera disminuye el riesgo de generar fisuras y agrietamientos en paredes bajo condiciones de carga. Además, mejora la resistencia del mortero siendo una excelente opción en construcciones donde se requiera mayor durabilidad y capacidad de carga [9].

Estudios recientes de mampostería no estructural reforzada con fibras metálicas han mostrado resultados bastante satisfactorios, donde se presenta un aumento en la rigidez en 2,4 veces con respecto a morteros reforzados con mallas electrosoldadas y 3,8 veces más con respecto a paredes sin refuerzo, es decir solo ladrillo. En cuanto a la resistencia el refuerzo con fibras es 67% mayor a un refuerzo únicamente de mortero simple, y en 6,5% respecto a un mortero reforzado con malla electrosoldada [10].

Esta investigación aborda dos análisis comparativos:

1. Comparación de las propiedades mecánicas (fuerza-desplazamiento) de un mortero simple y otro reforzado con fibra metálica (DRAMIX 3D), en 4 diferentes porcentajes de fibra con respecto al peso del cemento: 10%, 15%, 20% y 25%.
2. Comparación de las propiedades mecánicas (resistencia-costo) del mortero simple y los reforzados con fibra.

Dicho análisis comparativo proporciona la información necesaria para proponer el mejor porcentaje de fibra de acero, para aplicarlo como enlucido en viviendas informales, donde generalmente las paredes no tienen recubrimiento. De esta manera se pretende evitar el desprendimiento de bloques de mampostería durante un evento sísmico, para incrementar la integridad estructural de viviendas y la seguridad de las personas.

Materiales y métodos.

El estudio experimental consiste en poner a prueba un mortero comúnmente utilizado en vivienda informal con dosificación arena-cemento igual a 3:1. Dicho mortero será evaluado en su estado simple y con un refuerzo de fibra de acero de 10%, 15%, 20% y 25% en relación con el peso del cemento en la dosificación.

A continuación, se detalla el proceso de elaboración, normativas y fundamentos teóricos considerados:

- Previo a la dosificación del mortero se realizaron ensayos de granulometría, densidad y humedad del agregado fino y densidad del cemento.
- El ensayo de granulometría fina se basa en la norma ASTM C-136[11].
- Para la densidad del árido fino se utilizó la norma ASTM C128 [12].
- La densidad del cemento fue calculada en base a la norma ASTM C188 [13].
- La dosificación del mortero 3:1 está fundamentada en [14], se consideró una dosificación por volumen, siendo la dosificación más cercana a la realidad de la construcción informal.
- Para la elaboración de los especímenes de cilindros y cubos se realizó el mezclado de forma manual, replicando los métodos utilizados en viviendas informales.
- Se elaboraron 7 cilindros y 6 cubos de cada tipo de mortero para realizar el ensayo de tensión indirecta y compresión axial.
- Los ensayos de tensión indirecta se realizaron según la norma ASTM C496 [15]. Moldes cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, la velocidad de carga aplicada al ensayo es de 0.234 kgf/cm²/seg [15].
- Los ensayos de compresión se elaboraron según la norma ASTM C109 [16]. Moldes cúbicos de 50 mm por arista, con una velocidad de 2.5 kgf/cm²/seg [16].

Los materiales y equipos empleados en esta investigación se detallan a continuación:

- Agregado fino procedente del cantón Santa Isabel provincia del Azuay-Ecuador.
- Cemento tipo GU[17]
- Fibra metálica DRAMIX 3D de la empresa Ideal Alambrec-Bekaert [18].
- Moldes cúbicos y cilíndricos para vaciar el mortero.



- Prensa hidráulica para ensayos de tracción indirecta y de compresión Shimadzu serie Concrete 2000x.
- Herramienta menor como: balanzas, palas, carretillas, varillas de compactación, martillo de hule, vailejos.
- Frasco Le Cahtelier, cono de Abramhs.

Tabla 1. Materiales utilizados en la fabricación del mortero.

<p><i>Arena fina de Santa Isabel</i></p> 	<p><i>Cemento Guapán tipo GU</i></p> 
<p><i>Fibra Dramix 3D</i></p> 	<p><i>Fibra Dramix 3D</i></p> 

Fuente: [18]

Tabla 2. Herramientas utilizadas para los ensayos.

<p><i>Molde cilíndrico para el mortero</i></p> 	<p><i>Cono de Abramhs</i></p> 
--	---



Fuente: Autor.

- Se codificaron las muestras de los morteros con las siguientes denominaciones:

Tabla 3. Códigos de diferentes morteros.

Código	Descripción
TI.MS	Muestra cilíndrica de mortero simple
TI.M-10	Muestra cilíndrica de mortero con 10% de fibra
TI.M-15	Muestra cilíndrica de mortero con 15% de fibra
TI.M-20	Muestra cilíndrica de mortero con 20% de fibra
TI.M-25	Muestra cilíndrica de mortero con 25% de fibra
MS	Muestra cúbica de mortero simple
M-10	Muestra cúbica de mortero con 10% de fibra
M-15	Muestra cúbica de mortero con 15% de fibra
M-20	Muestra cúbica de mortero con 20% de fibra
M-25	Muestra cúbica de mortero con 25% de fibra

Fuente: Autor.

Proceso de elaboración de los especímenes: La fibra es una adición a la dosificación, mas no reemplazo de árido fino o cemento, es recomendable humectar la fibra antes de usarla y agregarla juntamente con el agregado fino previo a la adición del cemento y agua.

Figura 1. Mezclado de arena, cemento y agua con la fibra



Fuente: Autor.

Figura 2. Vaciado y desencofrado de los morteros.

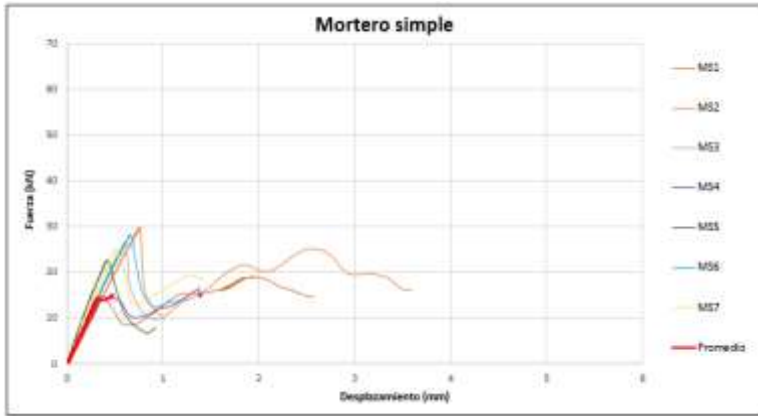


Fuente: Autor.

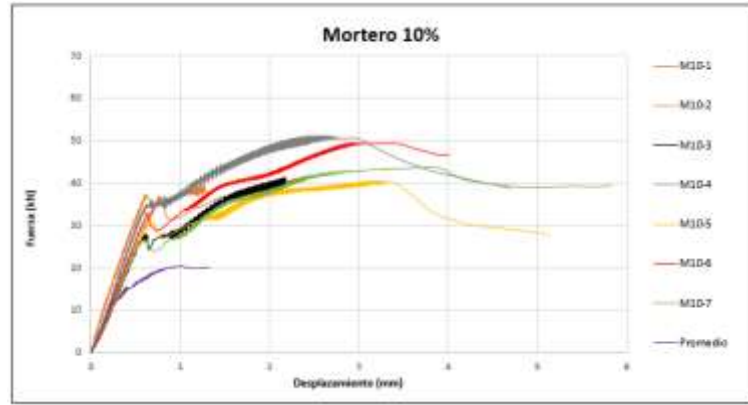
Resultados

Se presentan los resultados de la investigación:

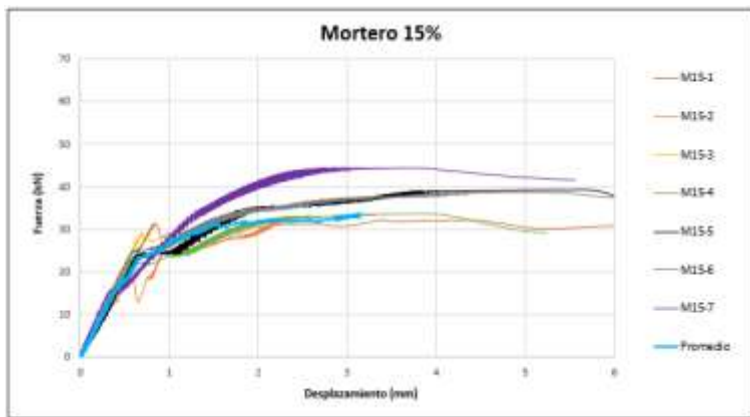
1. Módulo de finura de la arena: 2,797 cumpliendo con la normativa ASTM C 136 [11] estando dentro del rango establecido entre 2,3 y 3,1
2. La densidad del cemento obtenida con el ensayo con el frasco de Le Echtelier ASTM C188 [13], nos da un valor de 2,807.
3. La densidad relativa de la arena es de 2,3 calculado por el método del picnómetro ASTM C 128 [12].
4. Las curvas esfuerzo vs deformación y resistencias a compresión representadas a continuación en todas las gráficas, muestran los resultados obtenidos luego de las roturas en prensa aplicando ensayos de tensión indirecta y resistencia a compresión.
- 4.1 Resultados a tensión indirecta de los morteros: Las gráficas a, b, d, c, e; representan los resultados de los ensayos a tensión indirecta (curva fuerza-desplazamiento) en cilindros de cada dosificación de mortero.



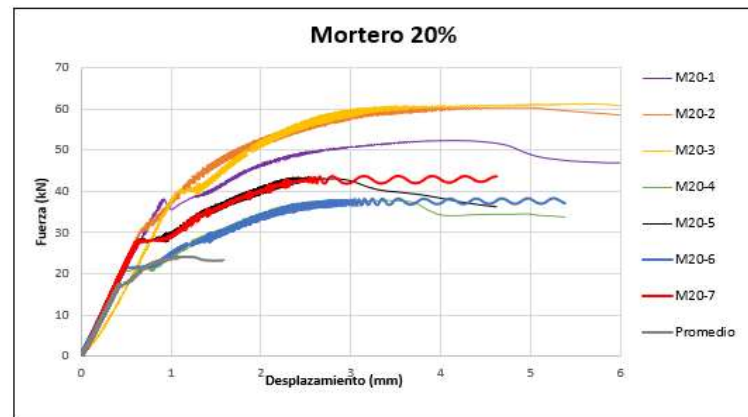
(a)



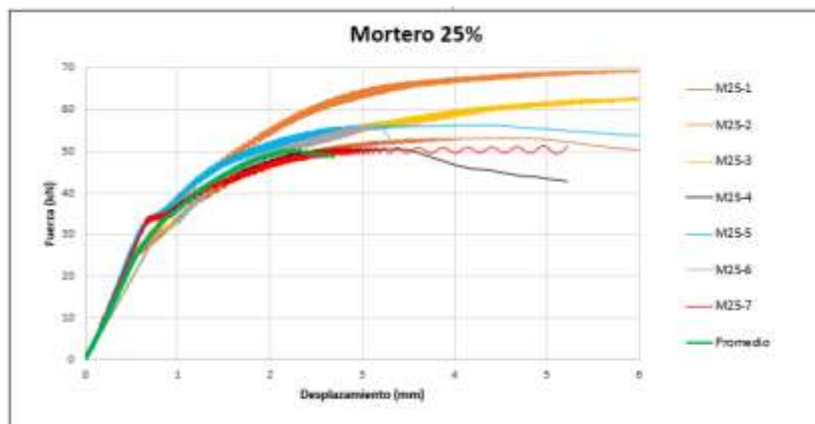
(b)



(c)



(d)

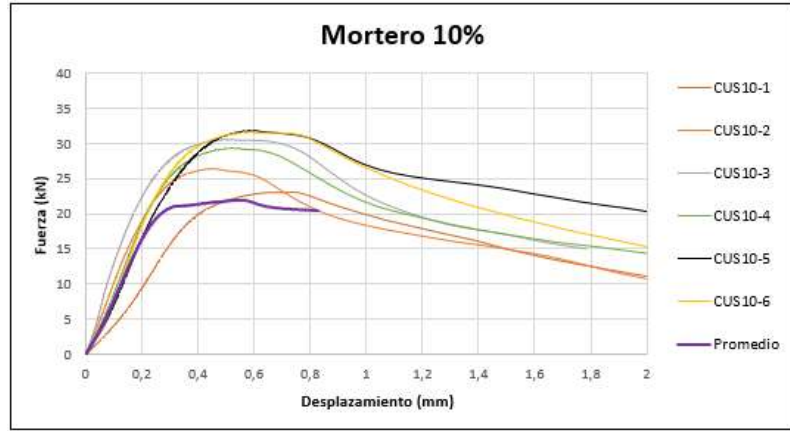


(e)

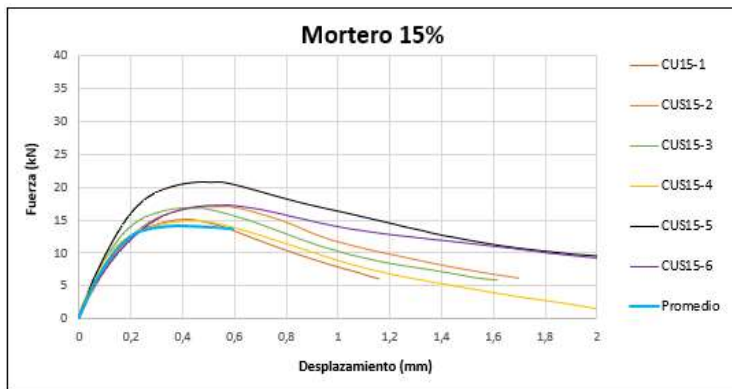
4.2 Resultados a compresión de los morteros: Las gráficas f, g, h, i, j; representan los resultados de los ensayos a compresión (curvas fuerza-desplazamiento) en cubos de cada dosificación de mortero.



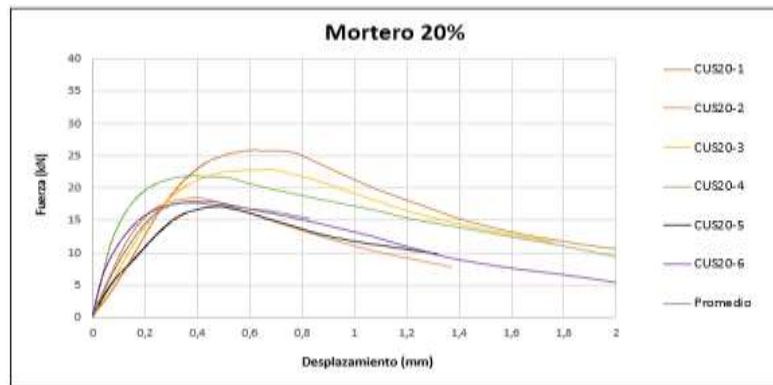
(f)



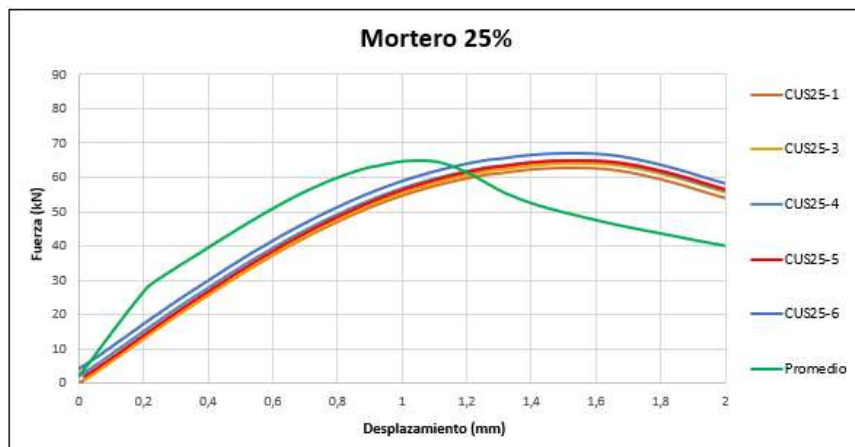
(g)



(h)

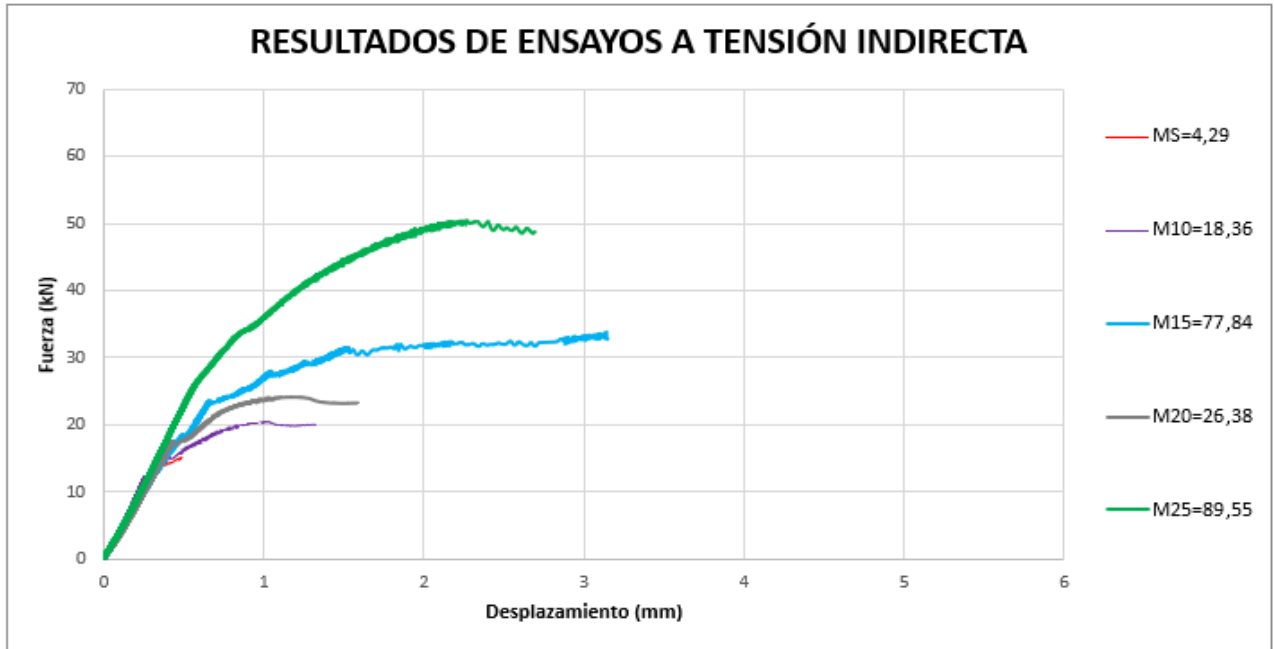


(i)

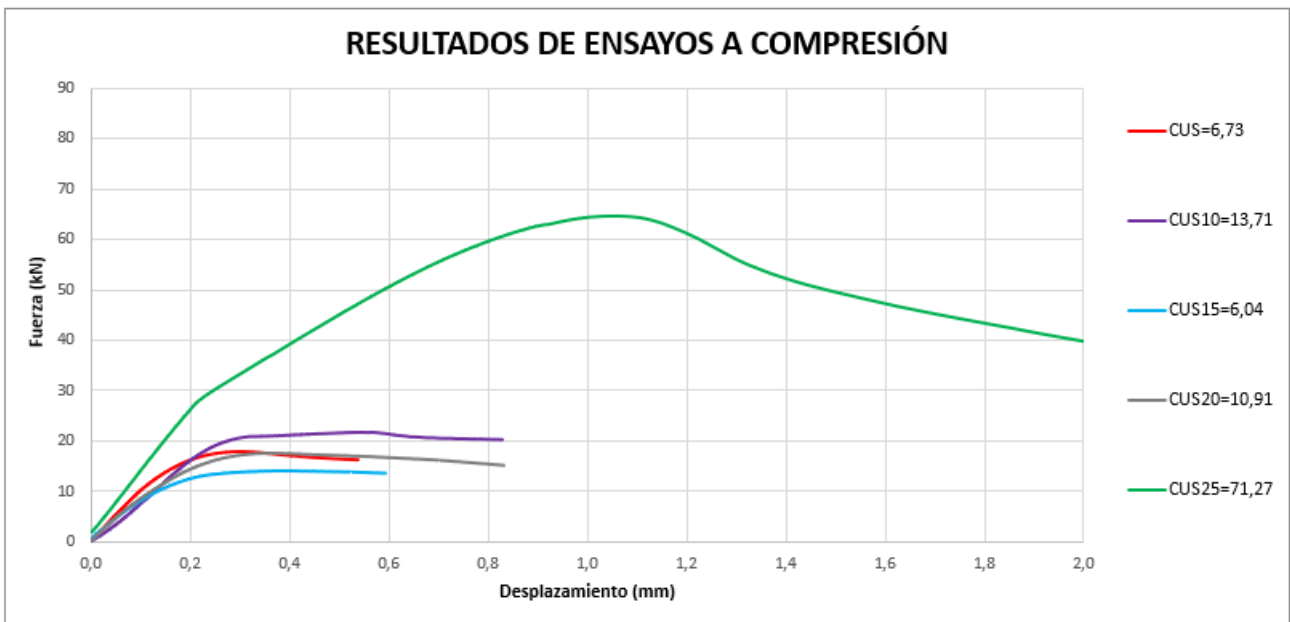


(j)

4.3 Gráficas de resumen: La gráfica k indica las curvas resumen de cada dosificación para tensión indirecta con moldes cilíndricos, así como el área bajo la curva de cada una, los datos se muestran en la leyenda. Así mismo la gráfica l indica las curvas resumen y área bajo la curva para ensayos de compresión en cubos de mortero.



(k)



(l)

Luego de analizar las curvas de ensayos a compresión y tensión indirecta de los diferentes tipos de morteros se puede notar lo siguiente:

- El espécimen de mortero que más resiste cargas a tensión indirecta corresponde al que tiene 25% de fibra en su dosificación con 50,36 kN de carga soportada.
 - El espécimen de mortero que mayor esfuerzo a compresión tiene corresponde al mortero con 25% de fibra en su dosificación, con un esfuerzo de 2.58 kN/cm².
 - En cuanto a quién presenta un máximo desplazamiento en ensayo de tensión indirecta es el mortero con 15% de fibra con 3,14 mm desplazados antes del fracaso del espécimen.
 - En ensayos a compresión el mortero simple muestra una respuesta muy similar a la de los morteros reforzados con 10% y 15% de fibra, por lo que adicionar estos porcentajes de fibra no representa cambios en resistencia a compresión.
 - En ensayos de tensión indirecta el mortero simple muestra una respuesta muy inferior a los morteros reforzados con fibra en cualquier proporción.
5. Análisis de resistencia vs costo por metro cúbico de cada mortero sin instalar: se realizó un análisis de precios unitarios considerando los costos reales actuales de los insumos en el mercado local.
- Cemento: \$ 0,16 por kg.
 - Fibra metálica: \$ 4,0 por kg.
 - Arena: \$ 0,01 por kg.
 - Agua: \$0,57 por m³.
 - Mano de obra: \$3,5 por hora.

Table 6. Tabla de resumen de comparación resistencia-costo

Mortero	Compresión kN/cm ²	Tensión indirecta kN	Costo por m ³ \$
Simple	0,93	29,8	110,9
10% fibra	1,07	47,72	335,54
15% fibra	0,603	43,55	447,86
20% fibra	1,11	55,41	560,18
25%	3,34	71,53	672

Source: Authors own creation.

La diferencia entre costos por metro cúbico de mortero se debe principalmente a la cantidad de fibra utilizada, esto debido a que el costo es elevado y actualmente no se consigue con facilidad en el entorno local.

Conclusiones

La investigación deja en claro el aumento de resistencia del mortero debido a las fibras de metal incluidas en su dosificación. Las revelaciones más importantes de los resultados obtenidos se detallan a continuación:

- En cuanto a la resistencia a tensión indirecta queda claro que mientras más fibra metálica se utilice mejores resultados obtenemos, tanto así que el mortero con 25% de fibra es 3,35 veces más resistente a la tensión indirecta que el mortero simple.
- En cuanto a desplazamientos el mortero con 15% de fibra adicionada tiene la capacidad de desplazarse 6,58 veces más que el mortero simple.
- Para el caso de esfuerzo de compresión el mortero que más resistió también es el que tiene 25% de fibra con 3,57 veces más resistencia que el mortero simple.
- Se nota en todos los casos, excepto en el mortero simple, como las fibras metálicas comienzan a trabajar incluso después de una primera falla en el mortero, empezando nuevamente a soportar más cargas, generándose las curvas características mostradas anteriormente.
- Aunque el mortero con 25% de fibra mejora considerablemente las propiedades del mortero, este tiene dos puntos negativos, primero la trabajabilidad de un mortero con tal porcentaje de fibra se vuelve molesto al momento del mezclado y aplicación, y en el aspecto económico un mortero con 25% de fibra es 6,02 veces más costoso que un mortero normal, esto debido al costo elevado de la fibra que por kilogramo es extremadamente más elevado, siendo 21 veces más costoso que el cemento.
- En los porcentajes de fibra estudiados no es recomendable utilizar este mortero como refuerzo para vivienda informales, esto debido al costo elevado de la fibra y la baja trabajabilidad del mortero, se recomienda probar con porcentajes de fibra menores a los estudiados en este artículo.

Bibliografía

- [1] Instituto Geofísico and Escuela Politécnica Nacional, "La informalidad en la construcción es el mayor riesgo en un terremoto.," Instituto Geofísico. Accessed: Mar. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/381-la-informalidad-en-la-construccion-es-el-mayor-riesgo-en-un-terremoto#:~:text=La%20construccion%20informal%20en%20el%20pa%C3%A9s%20es%20casi%20del%2070%25>.
- [2] F. Vergara-Perucich *et al.*, "Vivienda informal y las organizaciones territoriales en América Latina."
- [3] Samaniego Valeria, "En la construcción en Ecuador, la informalidad mata," Universidad del Azuay. Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available:

<https://www.uazuay.edu.ec/corresponsales-noticias/en-la-construccion-en-ecuador-la-informalidad-mata>

- [4] G. A. Gonzalez Abramowicz, "Estudio de durabilidad de paredes de mampostería reforzadas con mortero y fibras naturales y artificiales.," Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2015. Accessed: Mar. 27, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3584/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-115.pdf>
- [5] L. Roberto and Q. Rodríguez, "Estudio del comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibra de coco y modificado con óxido de hierro."
- [6] J. C. Castro Aguirre, "Las fibras de vidrio, acero y polipropileno en forma de hilachas, aplicadas como fibras de refuerzo en la elaboración de morteros de cemento.," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016. Accessed: Mar. 27, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23307/1/Tesis%201019%20-%20Castro%20Aguirre%20Julio%20C%3a9sar.pdf>
- [7] A. B. García, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN MORTEROS CON PROPIEDADES MEJORADAS DE DUCTILIDAD POR ADICIÓN DE FIBRAS DE VIDRIO, CARBONO Y BASALTO TESIS DOCTORAL," 2018.
- [8] Z. Marcalíková, L. Procházka, M. Pešata, J. Boháčová, and R. Čajka, "Comparison of material properties of steel fiber reinforced concrete with two types of steel fiber," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/549/1/012039.
- [9] H. D. Miller, A. Akbarnezhad, S. Mesgari, and S. J. Foster, "Performance of oxygen/argon plasma-treated steel fibres in cement mortar," *Cem Concr Compos*, vol. 97, pp. 24–32, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.12.015>.
- [10] X. Nieto-Cárdenas, C. Takeuchi, J. Carrillo, and C. Cobos, "Performance of non-structural masonry retrofitted with welded wire mesh and steel fibers under axial compression load," Mar. 2023.
- [11] ASTM International, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," 2015.
- [12] ASTM C128, "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate," 2023.
- [13] ASTM C188-17, "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement," Apr. 2023.
- [14] D. Sánchez de Guzmán, *Tecnología del Concreto y Mortero*.
- [15] ASTM C496-96, "Resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto," Pennsylvania, Aug. 2016.
- [16] ASTM C109, "Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando muestras de cubos de 2 pulgadas o 50 mm.," Pennsylvania, 2020. doi: 10.1520/C0109_C0109M-20.
- [17] F. G. Técnica Cemento Hidráulico Guapán Tipo, "Ficha técnica, descripción e información técnica del cemento hidráulico guapán tipo GU."
- [18] "DRAMIX 3D".

Matías Renato Castro Castillo portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0105456222** En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Mortero para refuerzo de mampostería en viviendas informales”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 16 de noviembre de 2023

F: 

Matías Renato Castro Castillo

C.I. **0105456222**