

Influencia de fibras naturales y sintéticas en la permeabilidad de morteros de cemento - arena, y cemento, cal y arena

Influence of natural and synthetic fibers on the permeability of cement mortars - sand, and, cement, lime and sand

Viera, Paulina; Morillo, Dayra; Parion, Jofre

 Paulina Viera

lviera@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador (Quito - Ecuador), Ecuador

 Dayra Morillo

dlmorillo@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

 Jofre Parion

jparion@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN: 1390-7042

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 13, núm. 1, 2022

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 22 Octubre 2021

Aprobación: 31 Enero 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/624/6242851007/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3410>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Cómo citar: Viera, P., Morillo, D. & Parion, J. (2022). Influencia de fibras naturales y sintéticas en la permeabilidad de morteros de cemento - arena, y cemento, cal y arena. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 59–71. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3410>

Resumen: Un problema común en las paredes de mampostería es la humedad. Los morteros de pega y enlucidos pueden actuar como una barrera impermeable, reduciendo costos en reparaciones futuras. Para determinar la influencia de las fibras sintéticas de polipropileno y naturales de cabuya (*Furcraea Andina*) (tratadas con parafina) en la permeabilidad de morteros. Se realizó el ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión (UNE-EN 12390-8) y el ensayo de velocidad de absorción capilar de agua (ASTM C 1585-04). Para lo cual se fabricaron morteros de (cemento y arena) y morteros de (cemento, cal y arena) con adiciones de fibras de polipropileno y cabuya de 12 mm, en porcentajes de: 0.15%, 0.3% y 0.5% del volumen de mortero. Se determinó que las fibras de polipropileno y cabuya incrementan la profundidad de penetración de agua bajo presión, más aún si el mortero contiene cal. Por otro lado, la adición de 0.15% fibras de polipropileno, 0.15% y 0.3% fibras de cabuya, disminuyen la absorción capilar en los morteros de (cemento y arena). De igual manera la adición de 0.3% fibras de cabuya disminuye la velocidad de absorción capilar de los morteros en una etapa inicial. Los morteros de cal tienden a absorber agua a una mayor velocidad en la etapa inicial, y en la etapa secundaria su velocidad de absorción disminuye en comparación a los morteros de (cemento y arena). Adicionalmente se realizó el ensayo de resistencia a la compresión simple a los 28 días. Todos los morteros superaron la resistencia de 5.2 MPa establecida por la norma NTE INEN 2518, para morteros tipo N. Los morteros con 0.3% fibras de cabuya, alcanzaron la mejor resistencia, los morteros de (cemento y arena) con 7.905 MPa y los morteros de (cemento, cal y arena) con 7.517 MPa.

Palabras clave: mortero, fibras, polipropileno, cabuya, permeabilidad, presión, absorción, resistencia a la compresión.

Abstract: A common problem in masonry walls is moisture. Glue and plaster mortars can act as an impermeable barrier, reducing costs in future repairs. To determine the influence of synthetic polypropylene and natural fibers of cabuya (*Furcraea Andina*) (treated with paraffin) on the permeability of mortars. The depth test of water penetration under pressure (UNE-EN 12390-8) and the capillary water absorption rate test (ASTM C 1585-04) were performed. For which mortars (cement and sand) and mortars (cement, lime and sand) were manufactured

with additions of polypropylene and cabuya fibers of 12 mm, in percentages of: 0.15%, 0.3% and 0.5% of the mortar volume. It was determined that polypropylene and cabuya fibers increase the depth of water penetration under pressure, even more so if the mortar contains lime. On the other hand, the addition of 0.15% polypropylene fibers, 0.15% and 0.3% cabuya fibers, decrease capillary absorption in the mortars (cement and sand). Similarly, the addition of 0.3% cabuya fibers decreases the capillary absorption rate of mortars at an initial stage. Lime mortars tend to absorb water at a higher rate in the initial stage, and in the secondary stage their absorption rate decreases compared to cement and sand mortars. Additionally, the simple compressive strength test was performed at 28 days. All mortars exceeded the resistance of 5.2 MPa established by the NTE INEN 2518 standard, for N-type mortars. The mortars with 0.3% cabuya fibers, reached the best resistance, the mortars (cement and sand) with 7.905 MPa and the mortars (cement, lime and sand) with 7.517 MPa.

Keywords: mortar, fibers, polypropylene, cabuya, permeability, pressure, absorption, compressive strength.

INTRODUCCIÓN

El mortero es un compuesto que está presente en la mayoría de los sistemas constructivos como material de pega, material de enlucidos o en forma de bloques (mampuestos). Según la Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED) del año 2019 realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en Ecuador el principal material en las paredes es el bloque con 64.9% y con 35.1% otros materiales (INEC, 2020). De acuerdo a datos de la encuesta del INEC del año 2015, donde se indica que las paredes son el 57.6% con bloque y el 41,4% con ladrillo, se puede deducir que el material más usado en la unión de mampuestos y enlucidos es el mortero de cemento y arena (Zaruma, 2018). Sin embargo, la norma NTE INEN 247 considera también el uso de cal como aglomerante para morteros. El estudio del mortero de cal resulta relevante debido a que es un material con menor energía embebida que los morteros de cemento y con características mecánicas suficientes para su uso en paredes no portantes de mampostería (Viera et al., 2019). Los morteros que contienen cal se consideran más sostenibles y contribuyen a la disminución de la huella de carbono reduciendo el impacto ambiental (Quirós, 2018).

Un problema recurrente en las paredes de bloque y mortero es la humedad, que afecta no solo a la estética de las viviendas y edificaciones, sino también a la salud de las personas que las habitan (Ardila, 2019; Pipiraite, 2017). Los daños causados por la humedad como desprendimientos, aparición de eflorescencias, etc., generan costos adicionales en reparaciones e implementación de métodos de impermeabilización. La reparación con mortero de características impermeables representa alrededor de 30% más que el levantado de la pared (Bolaños y Guamán, 2017; Jiménez, 2018; Zaruma, 2018). Las principales causas de humedad son la infiltración por capilaridad, efecto del ascenso de agua a través de las paredes y la condensación del aire por cambios de temperatura producto de la falta de ventilación cuando la temperatura interior es superior a la exterior (García et al., 2020; Vargas, 2017).

La absorción y paso de agua que se da a través de los morteros puede ser debido a gradientes de presión hidráulica o por efecto de tensiones capilares. Internamente, la permeabilidad de un mortero está relacionada a la naturaleza porosa del mismo, es decir el diámetro y distribución de poros interconectados que determina su estructura capilar, lo que influye de forma directa en el paso de agua a través de su matriz (González et al.,

2016; Jiménez, 2018). Por otro lado, en el proceso de endurecimiento, el mortero puede sufrir fisuraciones debido a la retracción plástica o térmica, las mismas que contribuyen a que exista mayor facilidad de absorción de agua (AFAM, 2018; Huamani y Solís, 2021). Una solución para reducir la absorción de agua y los problemas de humedad es el mejoramiento de la permeabilidad del mortero, mediante el uso de aditivos u otro tipo de material, obteniendo un mortero cuya cantidad de agua absorbida, sea menor en comparación con un mortero convencional, y que a la vez posea buenas características mecánicas (Girón y Ramírez, 2016; Leyva y Orbegoso, 2020). Existen investigaciones que fomentan el uso de fibras en morteros ya sean de cemento o también con adiciones de cal para mejorar sus características (Castro, 2016). Las fibras deben ser añadidas en porcentajes adecuados en relación al volumen del mortero, sin disminuir la trabajabilidad de la mezcla, y dando buenos resultados (Bustos, 2018). Se recomienda adicionar fibras del 0.1% al 1% en volumen, a esto se agrega que 12 mm es la longitud estándar de fibras recomendada. Cuando se utilizan fibras naturales se sugiere que reciban un tratamiento previo de adecuación (Bustos, 2018; Masaco, 2018; Ortega, 2019; Zambrano, 2016).

La presente investigación considera la adición de fibras sintéticas y naturales para determinar cómo actúan en el interior del mortero. Para esto se utilizaron procedimientos establecidos en normas nacionales (NTE INEN) y extranjeras (ASTM y la norma española UNE-EN 12390-8).

MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se detallan métodos y procedimientos para la fabricación de morteros de (cemento y arena), y morteros de (cemento, cal y arena), con adiciones de fibras sintéticas de polipropileno y naturales de cabuya previamente tratadas con parafina en concentraciones de 0.15%, 0.3% y 0.5% del volumen del mortero, con una longitud de fibra de 12 mm. También se determina la influencia de estas fibras en la permeabilidad de los morteros ya sea bajo presión de agua (UNE-EN 12390-8) o por capilaridad (ASTM C 1585-04).

Árido fino (arena)

El árido utilizado procede de la cantera Chaupi Chupa 1 ubicada en la parroquia Nayón, en la ciudad de Quito. Posee una densidad aparente de 1.55 g/cm³ (NTE INEN 858), densidad real 2.5 g/cm³ (NTE INEN 856), capacidad de absorción 2.9% (NTE INEN 856), contenido de humedad de 3.7% (NTE INEN 862), y la granulometría cumple con las especificaciones de límites de graduación para arena natural establecidos en la norma NTE INEN 2536 “Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos”.

También se realizó la determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino, siguiendo la norma NTE INEN 855 obteniendo una poca cantidad de materia orgánica en el árido, que no influye en las propiedades mecánicas de los morteros.

Cemento

Se utilizó el cemento Portland Puzolánico Tipo IP, denominado Selvalegre PLUS, mismo que cumple con las exigencias de la norma NTE INEN 490 y ASTM C 595 y viene en presentaciones de 50 kg por saco. Este cemento tiene una densidad real de 2.9 g/cm³ (NTE INEN 156) y una densidad aparente de 0.97 g/cm³ (NTE INEN 156; ASTM C 188)

Cal

Para fabricar los especímenes de mortero de cemento, cal y arena, se optó por la Cal T30, producto de la empresa INCOREG, ubicada en la ciudad de Riobamba. La Cal T30 es una cal hidratada (hidróxido de calcio), resultado de la hidratación de la cal viva, cuya fórmula química es $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Es un polvo muy fino y liviano de color blanco, puede tener una leve tonalidad crema. Esta cal tiene una densidad aparente de 0.65 g/cm³ (INCOREG, 2021).

Fibras de polipropileno

Se utilizó fibras de 12 mm FIBRATEX, diseñadas especialmente para morteros y hormigones, de la empresa TESPECON Tecnología Especializada para la Construcción Cía. Ltda., ubicada en la ciudad de Quito. La longitud estándar de las fibras sintéticas considerando espesores de la unión de mamposterías y enlucidos es de 12 mm (TESPECON, s.f.; Linares et al., 2021).

Fibras de cabuya (Furcraea Andina)

Las fibras de cabuya son procedentes de la ciudad de Otavalo. Son extraídas de la planta de penco, lavadas y secadas al aire, su longitud es de aproximadamente 70 cm. Para utilizarlas en la fabricación de los morteros tienen que pasar por un proceso previo de adecuación (Alarcón, 2018; Coudert, 2020; Masaco, 2018; Zambrano, 2016). Se Empezó por un desmembrado y corte manual de las fibras en 12 mm de longitud, posteriormente se realizó un tratamiento por inmersión en parafina diluida, para evitar que las fibras absorban el agua de la mezcla e impidan la hidratación completa del cemento y que al secarse se contraigan reduciendo la adherencia.

Dosificación

Para la dosificación de los morteros de estudio, se partió del diseño de una mezcla patrón para un mortero Tipo N de resistencia mínima 5.2 MPa establecido en la normativa NTE INEN 2518.

TABLA 1
Identificación para cada tipo de mortero

| Tipo | Identificación del mortero |
|------|--|
| T1 | patrón: cemento y arena (1 : 3) |
| T2 | cemento y arena + 0.15% fibras de polipropileno |
| T3 | cemento y arena + 0.3% fibras de polipropileno |
| T4 | cemento y arena + 0.5% fibras de polipropileno |
| T5 | cemento y arena + 0.15% fibras de cabuya |
| T6 | cemento y arena + 0.3% fibras de cabuya |
| T7 | cemento y arena + 0.5% fibras de cabuya |
| T8 | patrón: cemento, cal y arena (1 : ½ : 2 ¼) |
| T9 | cemento, cal y arena + 0.15% fibras de polipropileno |
| T10 | cemento, cal y arena + 0.3% fibras de polipropileno |
| T11 | cemento, cal y arena + 0.5% fibras de polipropileno |
| T12 | cemento, cal y arena + 0.15% fibras de cabuya |
| T13 | cemento, cal y arena + 0.3% fibras de cabuya |
| T14 | cemento, cal y arena + 0.5% fibras de cabuya |

El primer mortero patrón de cemento y arena, fue dosificado mediante la metodología de aplicación de ábacos con una relación cemento arena 1:3. El segundo mortero patrón de cemento, cal y arena en proporción de 1:½:2¼ para morteros tipo N, fue dosificado según el método volumétrico establecido en la normativa NTE INEN 2518. Finalmente, se determinó la masa de fibras de polipropileno y cabuya a añadirse en la mezcla de mortero según el porcentaje de 0.15%, 0.3% y 0.5% de concentración de fibras por m³ de mortero. Estos porcentajes parten de resultados de investigaciones anteriores (ACI, 2002; Bustos-García et al., 2018; Ordoñez et al., 2019) buscando mejorar resultados obtenidos.

Previo a la fabricación de los especímenes de mortero, se realizó la identificación correspondiente, como se indica en la Tabla 1.

Ensayos

La determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión (Fig. 1) se realizó siguiendo la metodología establecida en la norma española UNE-EN 12390-8. Inicialmente se estableció el tiempo y la presión de ensayo, en especímenes cilíndricos de mortero de diámetro: 10 cm, y altura: 20 cm. El procedimiento consistió en la aplicación de agua a presión controlada de 20 Psi en la cara inferior de los especímenes durante 12 horas, posteriormente se realizó el corte de los especímenes por la mitad para medir la profundidad máxima de penetración del agua en mm.



FIGURA 1
Profundidad de penetración de agua bajo presión



FIGURA 2
Velocidad de absorción capilar

La determinación de la velocidad de absorción capilar de agua (Fig. 2) se realizó siguiendo la metodología que establece la norma, ASTM C 1585-04. El ensayo se realizó en especímenes cúbicos de mortero de arista: 5 cm. Inicialmente se realizó el sellado de las 4 caras laterales y se determinó la masa inicial. El procedimiento

consistió en colocar una de las caras en contacto con el agua y calcular el incremento de la masa por succión capilar en función del tiempo.

La resistencia a la compresión simple (Fig. 3) se realizó mediante la metodología establecida por la norma NTE INEN 488. El procedimiento consistió en aplicar una carga progresiva en especímenes cúbicos de mortero de arista: 5 cm y determinar su resistencia máxima admisible a los 28 días.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Permeabilidad por penetración de agua bajo presión

La figura 4 muestra la permeabilidad para cada tipo de mortero, correspondiente al promedio de profundidad máxima de penetración de agua medida en mm, en cada espécimen de mortero.

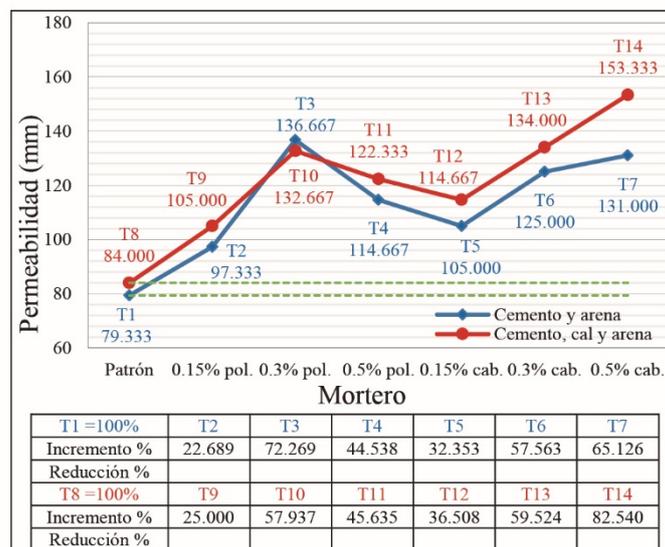


FIGURA 4
Permeabilidad por penetración de agua bajo presión

El mortero patrón T1 (cemento y arena), es el que tiene la menor profundidad de penetración de agua (79.333 mm), considerándose el menos permeable en comparación con todos los demás tipos de mortero.

Todos los morteros con adición de fibras presentan mayor permeabilidad que los morteros patrón T1 (cemento y arena) y T8 (cemento, cal y arena). Siendo los más críticos los morteros con adición del 0.3% fibras de polipropileno (T3 y T10) y 0.5% fibras de cabuya (T7 y T14).

Permeabilidad por absorción capilar de agua

La figura 5 muestra la absorción capilar de agua en cada tipo de mortero de acuerdo a la etapa.

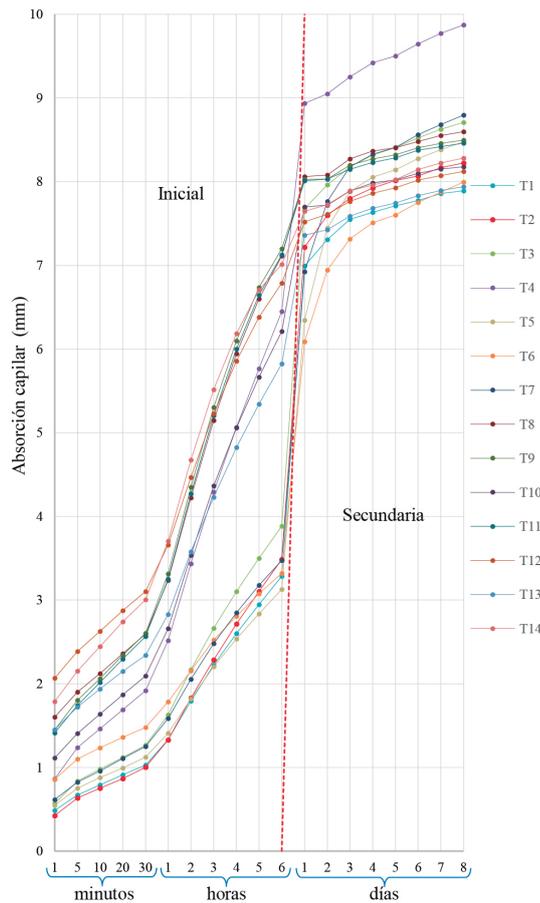


FIGURA 5
Absorción capilar

Los morteros que tienen menor absorción capilar en la etapa inicial son los morteros de cemento y arena T2 con 0.15% fibras de polipropileno y T5 con 0.15% fibras de cabuya, mientras que los morteros con mayor absorción capilar son los morteros de cemento, cal y arena, T12 con 0.15% fibras de cabuya y T14 con 0.5% fibras de cabuya.

El mortero que tiene menor absorción capilar en la etapa secundaria es el mortero de cemento y arena T6 con 0.3% fibras de cabuya, y el mortero con mayor absorción capilar es el mortero T4 también de cemento y arena con 0.5% fibras de polipropileno.

Con estos resultados, se puede establecer que la adición de fibras si reduce la permeabilidad por absorción capilar, a diferencia del primer ensayo realizado de permeabilidad bajo presión de agua, donde adicionar cualquier porcentaje de fibras no reduce la permeabilidad de los morteros.

La figura 6 y la figura 7 muestran la velocidad o el ritmo de absorción capilar de agua en cada tipo de mortero de acuerdo a la etapa, que se obtienen con las pendientes de las líneas que mejor se ajustan a los puntos de absorción capilar (mm) vs. tiempo^{1/2} (s^{1/2}).

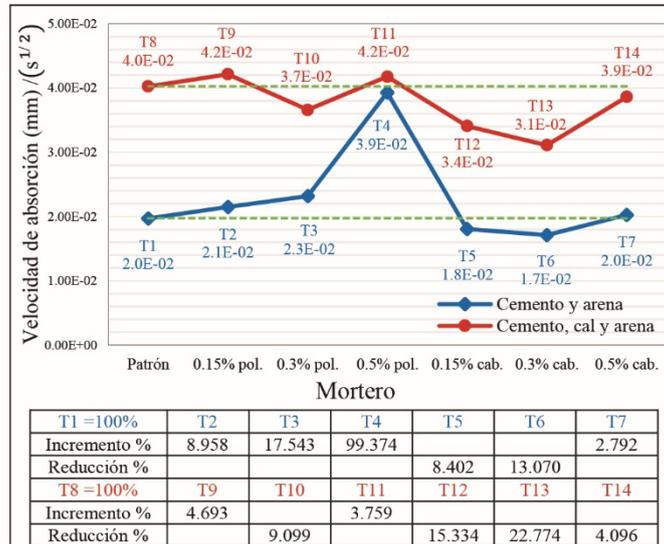


FIGURA 6
Velocidad de absorción capilar inicial

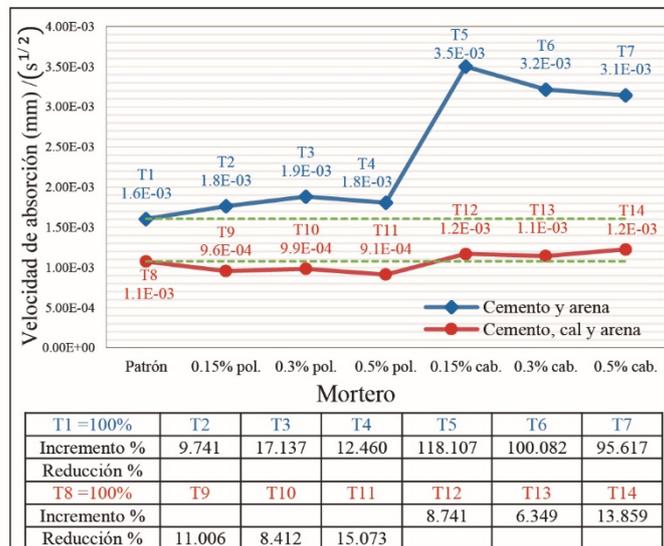


FIGURA 7
Velocidad de absorción capilar secundaria

En la etapa inicial, los morteros de cemento, cal y arena presentan mayores velocidades de absorción capilar a diferencia de los morteros de cemento y arena, entendiéndose que los morteros que contienen cal en una etapa inicial absorben agua a un ritmo más rápido. Los morteros de cemento y arena con adición de fibras de cabuya son los que tienen menor velocidad de absorción capilar. Por otro lado, los morteros de cemento,

cal y arena con adición de fibras de polipropileno en 0.15% y 0.5% son los que tienen mayor velocidad de absorción capilar inicial.

El mortero T6 (cemento y arena + 0.3% fibras de cabuya) presenta la menor velocidad de absorción inicial con una reducción del 13.07% en relación al mortero patrón T1 (cemento y arena), y el mortero T9 (cemento, cal y arena + 0.15% fibras de polipropileno) presenta la mayor velocidad de absorción inicial con un aumento del 4.693% en relación al mortero patrón T8 (cemento, cal y arena).

En la etapa secundaria, los morteros de cemento, cal y arena presentan menores velocidades de absorción capilar a diferencia de los morteros de cemento y arena. Por consiguiente, se deduce que la cal en una etapa inicial ayuda a absorber agua a un ritmo más rápido, y en una etapa secundaria al estar posiblemente cerca de la saturación su ritmo de absorción disminuye. Los morteros de cemento, cal y arena con adición de fibras de polipropileno son los que tienen menor velocidad de absorción capilar secundaria. Por otro lado, los morteros de cemento y arena con adición de fibras de cabuya son los que tienen mayor velocidad de absorción capilar secundaria.

El mortero T11 (cemento, cal y arena + 0.5% fibras de polipropileno) presenta la menor velocidad de absorción secundaria con una reducción del 15.073% en relación al mortero patrón T8, y el mortero T5 (cemento y arena + 0.15% fibras de cabuya) presenta la mayor velocidad de absorción secundaria con un aumento del 118.107% en relación al mortero patrón T1.

Resistencia a la compresión simple

La figura 8 muestra los resultados del ensayo de resistencia media a la compresión a los 28 días de los especímenes de mortero.

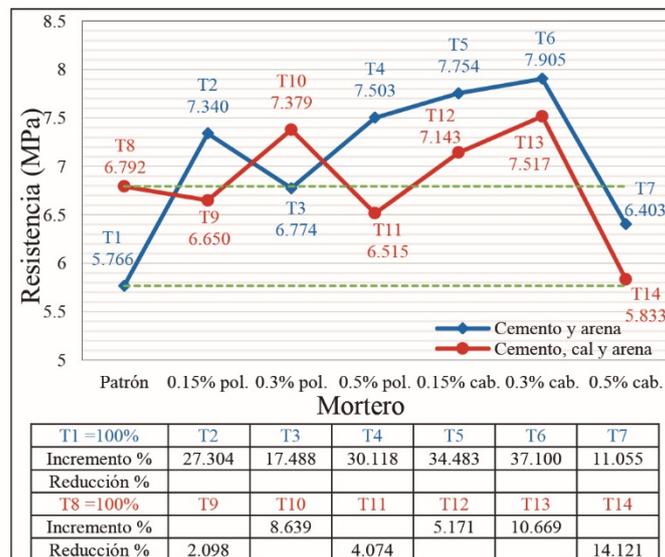


FIGURA 8
Resistencia a la compresión simple a los 28 días

Todos los morteros estudiados superan el valor de resistencia promedio (5.2 MPa) que establece la norma NTE INEN 2518 para el mortero tipo N (mortero multipropósito apropiado para enlucidos y paredes interiores).

Los morteros de cemento, cal y arena presentan mayor resistencia que la del mortero patrón T1 (cemento y arena), así mismo el mortero T1 con 5.766 MPa es el que presenta la menor resistencia.

Los morteros de cemento y arena con fibras de cabuya, y con 0.15% y 0.5% fibras de polipropileno presentan mayores resistencias.

De forma general se puede deducir que con 0.3% fibras de cabuya se alcanza la mejor resistencia tanto en los morteros de cemento y arena, como en los morteros de cemento, cal y arena. El mortero T6 (cemento y arena + 0.3% fibras de cabuya) presenta la mayor resistencia con un incremento del 37.1% en relación al mortero patrón T1.

CONCLUSIONES

Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión

De los resultados del ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión se puede concluir que, las fibras sintéticas de polipropileno, así como las fibras naturales de cabuya adicionadas a un mortero, influyen de forma directa en la permeabilidad volviendo al mortero más susceptible al paso del agua, es decir más permeable. Siendo los morteros con 0.3% fibras de polipropileno y 0.5% fibras de cabuya adicionadas los más permeables. En el mortero de cemento y arena, la adición de fibras de polipropileno aumenta su permeabilidad hasta en un 72.269%, y hasta en un 65.126% la adición de fibras de cabuya. Mientras que para el mortero de cemento, cal y arena se tiene que la permeabilidad aumenta hasta en un 57.937% con la adición de fibras de polipropileno, y en un 82.54% con la adición de fibras de cabuya.

Se puede establecer que, agregar cualquier tipo de fibra a un mortero, lo vuelve mucho más susceptible al paso del agua en condiciones de presión. El aumento de la permeabilidad puede deberse a que, al adicionar fibras a un mortero, también se incorpora aire que vuelve porosa la matriz cementante por donde el agua con una gradiente de presión ingresa fácilmente.

Tanto en el mortero de cemento y arena, así como en el mortero de cemento, cal y arena el grado de permeabilidad aumenta conforme aumenta el porcentaje de fibras de polipropileno añadidas de 0.15% y 0.3% y disminuye ligeramente en el último porcentaje de 0.5%.

Con la adición de 0.15%, 0.3% y 0.5% fibras de cabuya, tanto en el mortero de cemento y arena, así como en el de cemento, cal y arena, la permeabilidad aumenta conforme aumenta el porcentaje de fibras añadidas.

Los morteros de cemento, cal y arena tienen mayor permeabilidad que los morteros de cemento y arena, exceptuando el caso de adición del 0.3% fibras de polipropileno donde se da lo contrario.

El mortero patrón de cemento, cal y arena registra una profundidad de penetración de agua de 84 mm, 4.667 mm más que el mortero patrón de cemento y arena que registró 79.333 mm, lo que representa un 5.882% de aumento en la permeabilidad. En consecuencia, la cal tampoco contribuye a reducir la permeabilidad de un mortero.

Ensayo de velocidad de absorción capilar

De los resultados del ensayo de velocidad de absorción capilar de agua se puede concluir que, las fibras sintéticas de polipropileno, así como las fibras naturales de cabuya adicionadas a un mortero, influyen en la permeabilidad de los morteros volviéndolos menos o más susceptibles al paso del agua, conforme pasa el tiempo.

Los morteros de cemento, cal y arena tienen mayor absorción capilar que los morteros de cemento y arena en la etapa inicial. Los morteros de cemento y arena son los que presentan menor absorción capilar, con la adición de 0.15% fibras de polipropileno desde el minuto 1 hasta la hora 1, sin adición de fibras en la hora 2, con adición de 0.15% fibras de cabuya desde la hora 3 hasta la hora 6. En la etapa secundaria el mortero de cemento y arena con adición de fibras de polipropileno en 0.5% tiene mayor absorción capilar, del mismo

modo los morteros que presentan la menor absorción capilar son los morteros de cemento y arena, con la adición de 0.3% fibras de cabuya desde el día 1 hasta el día 6, sin adición de fibras desde el día 7 hasta el día 8.

En cuanto a la velocidad de absorción capilar, el mortero de cemento y arena con 0.3% fibras de cabuya es el menos permeable en la etapa inicial, y en la etapa secundaria el mortero de cemento, cal y arena con 0.5% fibras de polipropileno es el menos permeable. En la etapa inicial el mortero de cemento y arena, con adición de fibras de polipropileno aumenta su permeabilidad hasta un 99.374%, y disminuye su permeabilidad hasta un 13.07% con la adición de 0.3% fibras de cabuya, mientras que, para el mortero de cemento, cal y arena la permeabilidad disminuye hasta un 9.099% con la adición de 0.3% fibras de polipropileno, y hasta un 22.774% con la adición de fibras de cabuya. En la etapa secundaria el mortero de cemento y arena, con adición de fibras de polipropileno aumenta su permeabilidad hasta un 17.137%, y hasta en un 118.107% con la adición de 0.15% fibras de cabuya, mientras que, para el mortero de cemento, cal y arena la permeabilidad disminuye hasta un 15.073% con la adición de fibras de polipropileno, y aumenta su permeabilidad hasta un 13.859% con la adición de fibras de cabuya.

En la etapa inicial los morteros de cemento, cal y arena tienen mayores velocidades de absorción capilar que los morteros de cemento y arena.

El mortero patrón de cemento, cal y arena registra una velocidad de absorción capilar de agua de (4.0×10^{-2} mm/s^{1/2}), (2.0×10^{-2} mm/s^{1/2}) más que el mortero patrón de cemento y arena que registró (2.0×10^{-2} mm/s^{1/2}), lo que representa un 104.244% de aumento en la permeabilidad.

En cambio, en la etapa secundaria los morteros de cemento, cal y arena, tienen menores velocidades de absorción capilar, el mortero patrón de cemento, cal y arena registra una velocidad de absorción capilar de agua de (1.1×10^{-3} mm/s^{1/2}), (5.3×10^{-4} mm/s^{1/2}) menos que el mortero patrón de cemento y arena que registró (1.6×10^{-3} mm/s^{1/2}), lo que representa un 32.982% de disminución de la permeabilidad.

Por lo general los morteros de cal, absorben más agua a un ritmo más alto en la etapa inicial, y a partir de entonces al estar cerca de la saturación el ritmo de absorción disminuye considerablemente. Por otro lado, la adición de fibras de cabuya a pesar de tener un tratamiento previo a su utilización, en las primeras instancias de la etapa inicial influyen a una mayor absorción de agua en estos morteros, y desde entonces comienza a disminuir la absorción capilar.

Conclusiones generales

En los dos ensayos realizados, tanto en el ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión y en el ensayo de velocidad de absorción capilar de agua en los morteros se han obtenido resultados diferentes. En el ensayo de penetración de agua bajo presión, se determinó que la adición de fibras no contribuye a disminuir la permeabilidad de un mortero ya sea de (cemento y arena) o de (cemento, cal y arena), y también que la cal aumenta aún más la permeabilidad de un mortero. Por otro lado, en el ensayo de absorción capilar, se determinó que todos los morteros de (cemento, cal y arena) son más permeables que el mortero patrón de (cemento y arena), además, se constató que los morteros de (cemento y arena) con 0.15% fibras de polipropileno en un tiempo menor o igual a 1 hora, con 0.15% fibras de cabuya en un tiempo de 3 a 6 horas, y con 0.3% fibras de cabuya en un periodo de 1 a 6 días son menos permeables que el mortero patrón de (cemento y arena).

De acuerdo a estos resultados se puede deducir que el ensayo de absorción capilar es el más adecuado a realizarse en morteros que van a ser empleados como pega de mampostería y revestimiento de fachadas debido a que éste representa de mejor manera las condiciones reales en las que el mortero va a absorber agua durante su vida útil. Maya (1993) menciona que el método de ensayo en cada caso es aquel que mejor represente las condiciones reales a las que un elemento va a ser sometido, además la consideración del uso de ensayos de penetración de agua bajo presión para determinar la permeabilidad de hormigones o morteros, están destinados a aplicarse a hormigones de muy alta calidad.

Por otro lado, la adición de fibras de cabuya en 0.3% son las que más contribuyen a disminuir el ritmo o velocidad de absorción capilar inicial tanto en los morteros de (cemento y arena) como en los de (cemento, cal y arena), constatándose que en los morteros de cal existen mayores velocidades de absorción de agua. Mientras que la adición de fibras de polipropileno en 0.5% son las que más ayudan a la reducción de la velocidad de absorción capilar secundaria en los morteros de (cemento, cal y arena), esto quiere decir que una vez saturada la cal por sus características de retención de agua a partir de ese momento disminuye su ritmo de absorción capilar.

Ensayo de resistencia a la compresión simple

Añadir fibras sintéticas de polipropileno o fibras naturales de cabuya al mortero de (cemento y arena), aumenta la resistencia. En el mortero de (cemento, cal y arena) la adición de 0.3% fibras de polipropileno, 0.15% y 0.3% fibras de cabuya hacen que el mortero incremente su resistencia.

Todos los morteros de (cemento y arena) y los morteros de (cemento, cal y arena) superan la resistencia de 5.2 MPa que establece la normativa NTE INEN 2518 para morteros tipo N. Siendo el mortero patrón de (cemento y arena) con 5.766 MPa el menos resistente.

Los morteros con adición de 0.3% fibras de cabuya, son los que alcanzan la mejor resistencia tanto en los morteros de (cemento y arena) como en los morteros de (cemento, cal y arena), con 7.905 MPa y 7.517 MPa respectivamente.

REFERENCIAS

- Alarcón, V., 2018. *Determinación del contenido óptimo de fibra de cabuya para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$* (Tesis de grado). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25663>
- American Concrete Institute, 2002. *ACI 544.1R-96. Report on Fiber Reinforced Concrete*. Recuperado de <http://indiafiber.com/Files/ACI%20report.pdf>
- Ardila, J., 2019. *Estudio patológico por humedades en los muros exteriores e interiores en las casas que conforman el conjunto residencial Guazuca en el municipio de Guasca* (Tesis de grado). Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/20826>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero (AFAM), 2018. *Características de los Morteros. Construmática*. Recuperado de https://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_de_los_Morteros
- Bolaños, S., y Guamán, M., 2017. *Diseño de mortero resistente a patologías de eflorescencias en paredes de mampostería* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13522>
- Bustos, A., 2018. *Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto* (Tesis de doctorado). Recuperado de <https://oa.upm.es/54114/>
- Bustos-García, A., Cobo-Escamilla, A., González-Yunta, F., Moreno-Fernández, M., 2018. Influencia de la adición de fibras en las propiedades de los morteros de cal hidráulica. *DYNA*, 93(2). 228-232. <https://doi.org/10.6036/8495>
- Castro, J., 2016. *Las fibras de vidrio, acero y polipropileno en forma de hilachas, aplicadas como fibras de refuerzo en la elaboración de morteros de cemento* (Tesis de grado). Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23307>
- Coudert, L., 2020. *Influencia del tratamiento superficial de las fibras de fique en las propiedades mecánicas del compuesto fibra-matriz cementante* (Tesis de maestría). Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78742>
- García, K., García, K., Morales, M., y Pazmiño, E., 2020. *Control de humedades en mampostería*. Recuperado de <https://construccionuce.files.wordpress.com/2020/02/guicce81a-para-control-de-humedades-en-mamposterice81a.pdf>

- Girón, A., y Ramírez, F., 2016. *Impermeabilización de superficies en la construcción de edificios* (Tesis de grado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/4982>
- González, Á., Villanueva, P., Fernández, J. y Rubio, M., 2016. Análisis de la estructura porosa y ciclo de vida de morteros de reparación en base cemento con polímeros. *XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas (CINPAR 20016)*, 26/10/2016-29/10/2016, Oporto, Portugal. pp. 1-12. <https://oa.upm.es/46403/>
- Huamani, M., y Solís, S., 2021. *Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio – diciembre 2020* (Tesis de grado). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10434>
- INCOREG, 2021. *Productos: Hidróxido de calcio. INCOREG*. Recuperado de <https://www.incoreg.com/hidroxido-de-calcio>
- INEC, 2020. *Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED) 2019*. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2019/3.%202019_ENED_Boletin_tecnico.pdf
- Jiménez, M., 2018. *Patología de la construcción: Diagnóstico e intervención de humedades*. Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12494/5156>
- Leyva, J., y Orbegoso, A., 2020. *Estudio comparativo de los aditivos hidrófugos, por cristalización y bloqueadores de poros en la permeabilidad de morteros de cemento tipo I* (Tesis de grado). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/5981>
- Linares, J., Linares, D., Melgarejo, L., Campos, N., y Manturano, R., 2021. Influencia de adición de fibras de polipropileno al concreto. *19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. Recuperado de <https://laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/meta/FP211.html>
- Masaco, J., 2018. *Mortero de cemento y refuerzo de fibra vegetal de cabuya* (Tesis de grado). Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/22616/1/Masaco%20Pinta%20Jorge%20Ivan.pdf>
- Maya, E., 1993. Evaluación de la norma UNE 83309-1990 respecto a su aplicación para el control de la permeabilidad al agua del hormigón. *Revista de Edificación*, 13. <http://dadun.unav.edu/handle/10171/16525>
- Ordoñez, M., Arcos, J., Ibáñez, W., y Cazar, S., 2019. Caracterización del mortero compuesto con fibras de cabuya obtenidas en la ciudad de Riobamba. *Ciencia Digital*, 3 (3). Recuperado de <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/564>
- Ortega, A., 2019. Estudio del comportamiento mecánico de morteros modificados con fibras de aserrín bajo esfuerzos de compresión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37 (1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612019000100020
- Pipiraite, T., 2017. *Humedades en edificación. Estudio desde su origen hasta la actualidad, y aplicaciones contemporáneas* (Tesis de grado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/110842>
- Quirós, L., 2018. *Estudio del comportamiento mecánico del mortero reforzado con fibra de coco y modificado con óxido de hierro* (Tesis de grado). Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4228>
- Tecnología Especializada Para La Construcción (TESPECON), s.f. *Categoría de productos: EPS FIBRATEx*. Recuperado de <https://www.tespecon.com/product/eps-fibratex/>
- Vargas, G., 2017. *Diagnóstico, prevención y reparación en viviendas de albañilería con problemas de humedad en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa – Provincia Tacna – Departamento Tacna* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repository.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/346>
- Viera, P., Morales, L., y Monzó, J. M., 2019. Diseño y caracterización de un compuesto a base de cal, cemento y fibras naturales para edificaciones. *Memorias VII Congreso REDU*. Recuperado de https://issuu.com/yyachaytech/docs/redu2019_-_proyectos_completos
- Zambrano, A., 2016. *Estudio de las características físico-mecánicas de bloques de hormigón con fibra de cabuya* (Tesis de grado). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6935>
- Zaruma, L., 2018. *Mortero impermeable a base de plástico reciclado PET para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30238>