

Physical-Mechanical Analysis of Mortars made by Replacing Water with Homemade Waterproofing based on Burnt Oil and Lime at 10% and 20%

Jhefer Esmit Díaz Melchor¹  David Eloy Ordoñez Bringas² 

¹Universidad privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, N00372209@upn.pe

²Universidad privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, david.ordonez@upn.edu.pe

Abstract- *The objective of this study was to analyze the physical and mechanical properties of mortars produced by partially replacing water with a homemade waterproofing agent, in proportion of 10% and 20%. Three types of mortar (0%, 10%, and 20%) were prepared and evaluated through tests of water absorption, capillary action, and compressive strength. The results show that the mixtures with 10% and 20% exhibit lower absorption and capillarity values compared to conventional mortar, as well as higher compressive strength values, with the mortar containing 20% reaching a value of 236.36 kg/cm². Statistical analysis using ANOVA, Levene's test, and Tukey's HSD test confirmed the existence of significant differences among the evaluated groups. However, it is important to note that experimental design involved simultaneous variation in the water-to-cement ratio; therefore, the results should be interpreted as the combined effect of the variables and cannot be attributed exclusively to the waterproofing agent. In conclusion, the mixtures with the highest substitute percentage exhibit favorable behavior in terms of physical-mechanical performance; however, it is recommended that future research maintain a constant water-to-cement ratio and incorporate durability tests to more accurately evaluate the influence of the additive on the mortar.*

Keywords-- Mortar, Waterproofing additive, Compressive strength, Capillary absorption, Sustainable construction

Análisis Físico - Mecánico de Morteros elaborados al Remplazar Agua por Impermeabilizante Casero a base de Aceite Quemado y Cal al 10 % y 20 %

Jhefer Esmit Díaz Melchor¹  David Eloy Ordoñez Bringas² 

¹Universidad privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, N00372209@upn.pe

²Universidad privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, david.ordonez@upn.edu.pe

Resumen- La presente investigación tuvo como objetivo analizar las propiedades físico-mecánicas de morteros elaborados mediante el reemplazo parcial del agua por un impermeabilizante casero, en proporciones del 10 % y 20 %. Se elaboraron tres tipos de mortero (0 %, 10 % y 20 %) y se evaluaron mediante ensayos de absorción, capilaridad y resistencia a la compresión. Los resultados muestran que las mezclas con 10 % y 20 % presentan menores valores de absorción y capilaridad en comparación con el mortero convencional, así como mayores valores de resistencia a la compresión, alcanzando el mortero con 20 % un valor de 236,36 kg/cm². El análisis estadístico mediante ANOVA, prueba de Levene y test de Tukey HSD confirmó la existencia de diferencias significativas entre los grupos evaluados. No obstante, es importante señalar que el diseño experimental implicó la variación simultánea de la relación agua/cemento, por lo que los resultados deben interpretarse como el efecto combinado de las variables y no pueden atribuirse exclusivamente al impermeabilizante. En conclusión, las mezclas con mayor porcentaje de sustitución muestran un comportamiento favorable en términos de desempeño físico-mecánico; sin embargo, se recomienda que futuras investigaciones mantengan constante la relación agua/cemento e incorporen ensayos de durabilidad para evaluar de manera más precisa la influencia del aditivo en el mortero.

Palabras clave-- Mortero, aditivo impermeabilizante, resistencia a la compresión, absorción capilar, construcción sustentable.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enmarca en el contexto actual de la construcción sostenible, donde se promueve el desarrollo de materiales eficientes, económicamente viables y con menor impacto ambiental. El mortero, como uno de los materiales más utilizados en las obras civiles, requiere mejoras continuas en su composición para responder a exigencias técnicas relacionadas con la resistencia mecánica, la durabilidad y la impermeabilidad, especialmente en zonas con alta humedad o exposición constante al agua; en este sentido, el estudio propone evaluar alternativas no convencionales que permitan

optimizar el desempeño del mortero sin incrementar significativamente los costos ni el impacto ambiental, contribuyendo así al avance de soluciones constructivas sostenibles acordes con las tendencias actuales del sector.

El desarrollo de materiales innovadores para la construcción se ha orientado hacia la adopción de criterios de sostenibilidad y al mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas, consolidándose como una prioridad dentro del campo de la ingeniería civil. En este contexto, el mortero, al constituir uno de los materiales más empleados en la edificación, ha sido objeto de múltiples estudios enfocados en la optimización de su formulación convencional mediante la incorporación de aditivos o la sustitución parcial de algunos de sus componentes. Estas modificaciones tienen como objetivo mejorar su desempeño, particularmente bajo condiciones de exposición a la humedad, donde la impermeabilidad y la durabilidad se consideran factores clave para garantizar un comportamiento adecuado y una mayor vida útil de las estructuras [1]

El mismo sentido, la utilización de impermeabilizantes caseros elaborados a partir de materiales naturales o reciclados, estos pueden ser nejayote o emulsiones de aceite usados ha ganado relevancia en el tema económico y ecológico [2]. Estos compuestos han mostrado comportamientos eficientes en la impermeabilización superficial y estructural del mortero sin comprometer las propiedades mecánicas, en el caso del uso de aditivo impermeabilizantes ha sido respaldado por empresas del mismo rubro [3], donde documentan que los productos pueden mejorar la cohesión y la resistencia al paso de agua en las mezclas del mortero [4]

En el marco de esta investigación, la sustitución parcial del agua por impermeabilizantes de elaboración casera, en proporciones del 10 % y 20 %, genera diversos cuestionamientos en torno a su incidencia sobre el comportamiento del mortero y sus propiedades físico-mecánicas. Específicamente, se analizó el impacto de dicha sustitución en la resistencia a la compresión, la densidad, la porosidad y la durabilidad del material, considerando su desempeño frente a ambientes agresivos y bajo condiciones de exposición a la humedad [5]

La cal, por su parte, desempeña un papel crucial en los morteros esto se debe a que es un material inorgánico compuesto principalmente por óxido de calcio (CaO) y, en su forma hidratada, por hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), derivados de la calcinación de la piedra caliza y su composición puede incluir impurezas como óxidos de magnesio, sílice y hierro, que influyen en su comportamiento fisicoquímico al hidratarse.

La cal reacciona exotérmicamente formando una pasta que, al exponerse al CO_2 del aire, se carbonata y endurece. Estas propiedades la hacen útil en la construcción, el tratamiento de aguas y la corrección de suelos, brindando mejoras tanto en la mezcla en estado fresco como en estado endurecido su uso permite aumentar el contacto entre las partículas del agregado fino, evitando la contracción durante el proceso de secado, además, a través de los años, los morteros de cal inician su proceso de carbonatación, absorbiendo el dióxido de carbono del ambiente, produciendo un auto sellado de las micro fisuras existentes.

Diversos estudios recientes han explorado el impacto del reemplazo parcial del agua por aditivos impermeabilizantes en la formulación de morteros, mostrando mejoras en la resistencia a la compresión, disminución de la porosidad y menor absorción de agua. Por ejemplo, La investigación [6] señaló que la inclusión de impermeabilizantes líquidos puede reducir hasta en un 22,33 % la absorción capilar del mortero, además de mejorar su resistencia mecánica en un 8 %.

En su investigación [7] la sustitución parcial del agregado fino por ladrillo triturado en un 10% y 15% demostrando una resistencia a la compresión del mortero, alcanzando un 17,8% y 16,09%, en el caso del dióxido de titanio (TiO_2) demostró un 9% en mejoras en las propiedades mecánicas y autolimpiables del mortero.

En tanto, en la investigación [8] hubo reducción de aditivos en absorción en un 22,33% aumentando la resistencia a la compresión en un 8%. Estas mejoras sirvieron para la durabilidad y eficiencia de las construcciones.

Luego de analizar diversos estudios, se ha evidenciado que la incorporación de materiales reciclados en mezclas de mortero mejora sus propiedades físicas y mecánicas, especialmente la resistencia a la compresión, flexión y tracción. En este contexto, el uso de materiales alternativos derivados de residuos representa una estrategia viable no solo para optimizar el desempeño mecánico, sino también para contribuir a la sostenibilidad ambiental mediante la reutilización de desechos.

La presente investigación se enfocó en evaluar el efecto del reemplazo parcial del agua por un impermeabilizante de elaboración casera, en proporciones del 10 % y 20 %, en la fabricación de mortero, mediante el análisis de las propiedades físicas y mecánicas resultantes, tales como la resistencia a la compresión, la absorción de agua y la trabajabilidad. En este contexto, se planteó la siguiente interrogante de investigación: ¿cuál es el efecto del reemplazo parcial del agua por impermeabilizante casero, en proporciones del 10 % y 20 %, sobre las propiedades físico-mecánicas del mortero?

La presente investigación tuvo como objetivo principal, analizar las propiedades físico - mecánicas de los morteros

elaborados al reemplazar el agua por impermeabilizante casero en proporciones del 10% y 20% con el fin de evaluar su viabilidad.

La pregunta de investigación condujo al planteamiento de la hipótesis según la cual el reemplazo parcial del agua por impermeabilizante casero, en proporciones del 10 % y 20 %, mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del mortero, especialmente en lo referente a la resistencia a la compresión y a la absorción de agua.

En la búsqueda de antecedentes para esta investigación, se realizó una revisión sistemática en base de datos científicas reconocidas como Science Direct, Scopus y Web of Science, así como repositorios académicos en universidades nacionales y privadas, como el propósito de analizar y documentar el análisis físico- mecánico donde permitirá determinar las modificaciones de los morteros incluso mejorando las propiedades técnicas frente a lo tradicional donde el estudio se plantea como un análisis exploratorio del comportamiento de morteros modificados, considerando las limitaciones del diseño experimental.

II. MATERIALES y MÉTODOS

Los materiales e instrumento se enfocaron en la elaboración del uso de cemento, arena gruesa de río y agua potable.

Para la recolección de datos se empleó clinker, un material artificial compuesto principalmente por silicatos de calcio, obtenido a partir de materias primas calcáreas y correctores de sílice, alúmina y hierro, mediante un proceso de calcinación a temperaturas cercanas a 1723,15 K. Este tipo de cemento sigue los requisitos de la Norma Técnica Peruana 334,082 [9] y de la ASTM C 1157 [10]. Es un cemento diseñado para ser usado en construcciones generales y cuando ninguna característica especial es requerida [11]

Para el impermeabilizante casero se usó una relación de 1:1 entre la cal apagada (hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y el aceite quemado de motor proveniente de desechos automotrices, utilizando 500 g de cada componente, los cuales fueron mezclados hasta obtener una sustancia homogénea. La cal apagada actúa como material ligante, contribuyendo a la cohesión y reducción de la porosidad, mientras que el aceite quemado cumple una función hidrofugante, disminuyendo la absorción de humedad y la penetración de agentes externos, asimismo, se utilizó arena de río como agregado fino debido a su adecuada granulometría y forma redondeada, lo que favorece la compactación de la mezcla y reduce los vacíos internos. Estas características permiten explicar el incremento de la resistencia del material, al generar una estructura más densa y con mejor distribución de esfuerzos.

TABLA 1
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

PROPIEDADES	VALORES
Densidad Cemento (g/cm^3)	3,10
Módulo de finura Arena	3,58981
Densidad Arena (g/cm^3)	2.55
Densidad del Aceite Quemado (g/cm^3)	0.92
pH del Aceite Quemado	7.4

TABLA 2
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

PROPIEDADES	VALORES
Resistencia kg/cm ²	210
Consistencia de la mezcla	130%
Relación (A/C)	0,725
k	0,27
b	0,2961
n	3,336

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA PARA MORTERO

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento (kg/m ³)	424,481
Arena (kg/m ³)	1416,089
Agua (L/m ³)	307,753

Para la presente investigación se reemplazó el impermeabilizante en porcentaje de 10% y 20% en morteros, la cual se representa en la Tabla 4:

TABLA 4
CANTIDAD DE MATERIAL SIN CONSIDERAR EL DESPERDICIO

DISEÑO DE MEZCLA			
Contenido de materiales para 5 especímenes cúbicos de 5 cm de lado			
Material	0%	10%	20%
Cemento (g)	265	265	265
Arena (g)	885	885	885
Agua (ml)	192	173	154
Impermeabilizante (g)	0	19	38
Relación (A/C)	0,725	0,653	0,581

Para la elaboración de los 15 especímenes de mortero (5 por cada porcentaje de reemplazo: 0%, 10% y 20%), se consideró un incremento del 20% en la cantidad de materiales con la finalidad de compensar posibles pérdidas durante el proceso de mezclado.

Los materiales (cemento, arena, agua e impermeabilizante) fueron dosificados de acuerdo con las cantidades indicadas en la Tabla 4 y pesados utilizando una balanza con precisión de $\pm 0,1$ g.

Inicialmente se incorporaron los componentes (cal apaga y aceite quemado) en una botella (recipiente) y mezclaron de forma gradual en tiempo de 5 minutos hasta obtener la homogeneidad de la mezcla, esto se realizó a temperatura ambiente de aproximadamente 18°C.

Posteriormente, se realizó el mezclado en seco del cemento y la arena hasta obtener una distribución homogénea.

Luego, se incorporó el agua correspondiente a cada dosificación y se continuó con el mezclado hasta lograr una consistencia uniforme. Finalmente, se añadió el impermeabilizante casero en las proporciones establecidas

(10% y 20%), integrándolo completamente en la mezcla hasta obtener una masa homogénea.

La mezcla fresca fue colocada en moldes cúbicos de vidrio en dos capas. Cada capa fue compactada mediante 32 golpes utilizando una varilla compactadora, distribuidos de manera uniforme sobre la superficie, siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C109, la segunda capa se colocó inmediatamente después de la compactación de la primera, repitiendo el mismo procedimiento.

Finalmente se realizó el enrasado de la superficie para eliminar el exceso de material y se dejaron los especímenes en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente transcurrido este tiempo, los moldes fueron retirados y los especímenes se sometieron a un proceso de curado durante 28 días en condiciones controladas antes de la realización de los ensayos.

De: La norma ASTM 109.

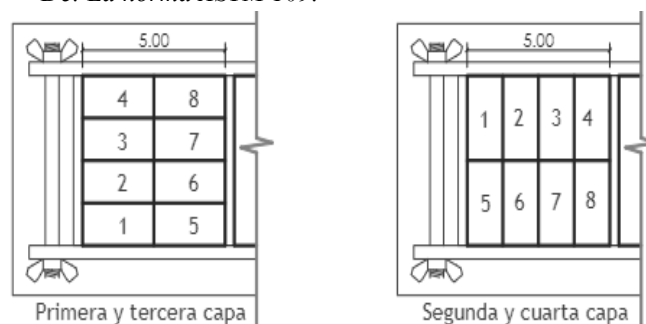


Fig. 1 Orden de apisonado

Los apisonados por cada capa se realizan en una dirección perpendicular a los de la anterior, la presión del compactador (13mm * 16 mm * 150 mm) según NTP 334.003:2002 - ASTM [12] C 230. Una vez que se realizó el apisonado, se termina de llenar los moldes y se repite el paso anterior, al culminar se enrasa y se deja fraguar 24 horas. Como ultimo procedimiento se desmolda y se deja un tiempo de curado de 28 días.

Obtención del cemento

Cemento Sol Portland, Tipo I, de la Ferretería Bianchi. Abierto. Jr. Silva Santisteban 424

Determinar densidad

Para la determinación de la densidad relativa (también conocida como gravedad específica) y la absorción del agregado fino, se utilizó el Protocolo 03: Método de prueba estándar para Densidad Relativa y Absorción de agregado fino según la norma ASTM C128-15 [13]. Esta norma fue seleccionada porque forma parte de los protocolos establecidos por la Universidad, los cuales guían y estandarizan los procedimientos de laboratorio. En ese sentido, para el cálculo de la densidad también se aplicó esta misma norma, garantizando así la uniformidad y validez de los resultados obtenidos en la presente investigación.

2.1. Procedimiento para la obtención de datos

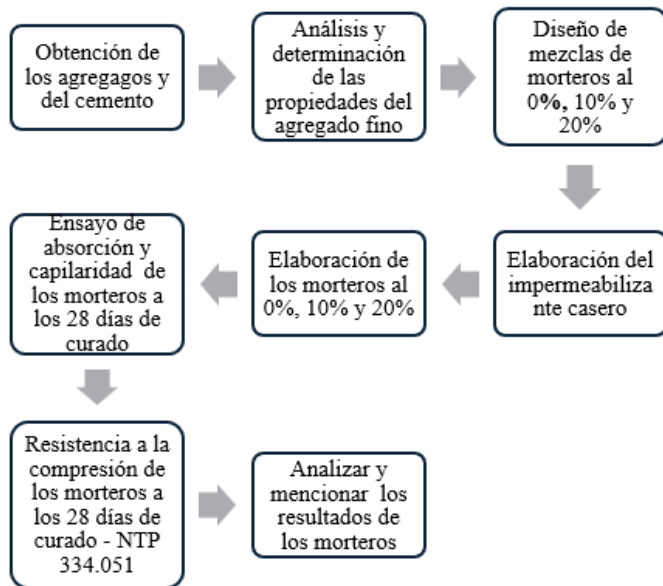


Fig. 2 Flujoograma

Granulometría

Antes de empezar los otros tres ensayos, en la figura 2 se puede observar que la arena utilizada fue adecuada por la curva de granulometría es perfectamente utilizada en el uso granulométrico. Fuente: NTP 400.037.

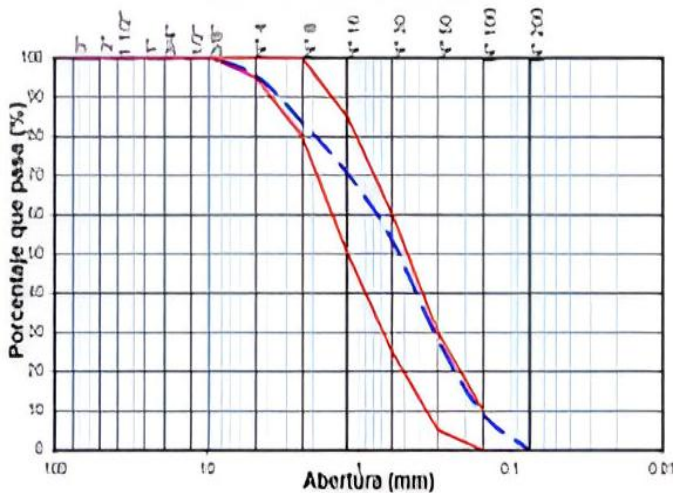


Fig. 3 Curva Granulométrica

El primer ensayo realizado, es el de absorción, ya que después del curado se consigue el peso saturado de los especímenes, y en el caso del peso seco se esperó tres días (NTP 334.050:2015) [14]:

$$W\% = \frac{W_{sat}(gr) - W_{sec}(gr)}{W_{sec}(gr)} * 100. \quad (1)$$

El segundo ensayo, es de capilaridad, donde se debe trazar una línea en la base con una altura de un centímetro, luego se

los deja en agua durante 3 horas, de manera que el agua llegue al borde la línea, una vez pasado el tiempo se tomó la altura del fleco capilar y se tomó el peso de agua absorbida (NTP 334.053:2015) [15]:

$$C = \frac{W_{Abs}(gr) * t(min)}{A_{fc}(cm^2)}. \quad (2)$$

El último ensayo realizado es el de resistencia a la compresión realizado con la prensa mecánica de la Universidad Privada del Norte en donde se tomaron los datos de la carga ejercida a los morteros para hallar el esfuerzo y de igual manera la variación dimensional para hallar su deformación, y así formar la curva de deformación.

El esfuerzo representa la carga que ejerce la prensa mecánica en la cara superior del mortero, la cual se expresa con la siguiente formula:

$$Esfuerzo (\sigma) = \frac{kg * f}{A_{cs}(cm^2)}. \quad (3)$$

En la deformación se toma los valores del deformímetro y la longitud o altura inicial del mortero y se evalúa con la siguiente formula:

$$Deformación (\epsilon) = \frac{\Delta L (mm)}{L_0 (mm)}. \quad (4)$$

2.2. Procedimiento para el análisis de datos

Los criterios estadísticos para evaluar la confiabilidad de los datos obtenidos se organizaron en tablas, lo que permitió una adecuada cuantificación y comparación de los resultados experimentales con la muestra de control (0%) y con antecedentes reportados en la literatura científica. Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los grupos de morteros (0%, 10% y 20% con impermeabilizante casero), se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor.

Asimismo, se empleó la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de varianzas, asegurando el cumplimiento de los supuestos del ANOVA posteriormente, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey HSD para identificar entre qué grupos se presentaban diferencias estadísticamente significativas, considerando un nivel de confianza del 95%.

No obstante, es importante precisar que el diseño experimental implicó la modificación simultánea de dos variables: la incorporación del impermeabilizante casero y la reducción del contenido de agua en la mezcla, lo que generó variaciones en la relación agua/cemento (a/c) entre los tratamientos evaluados. En ese sentido, si bien el análisis estadístico permite identificar diferencias significativas entre los grupos, estas no pueden atribuirse de manera exclusiva al efecto del impermeabilizante, ya que también están influenciadas por cambios en la dosificación del agua.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos deben interpretarse como el efecto combinado de ambas variables, lo cual constituye una limitación metodológica del estudio y restringe el

establecimiento de relaciones causales directas y se reconoce que el diseño experimental no permitió aislar el efecto individual del impermeabilizante, por lo que se recomienda que futuras investigaciones mantengan constante la relación agua/cemento para evaluar de manera independiente la influencia del aditivo sobre las propiedades físico-mecánicas del mortero.

3.1. Contenido de Absorción

En cuanto al contenido de absorción, con la ayuda de la prueba de Anova se lograron identificar los niveles de impermeabilidad respecto al mortero convencional.

En la figura 4 luego de aplicar Anova para indicar las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), y el test de Tukey confirmó que tanto el 10% como el 20% presentan mejoras significativas en impermeabilidad respecto al mortero convencional (0%).

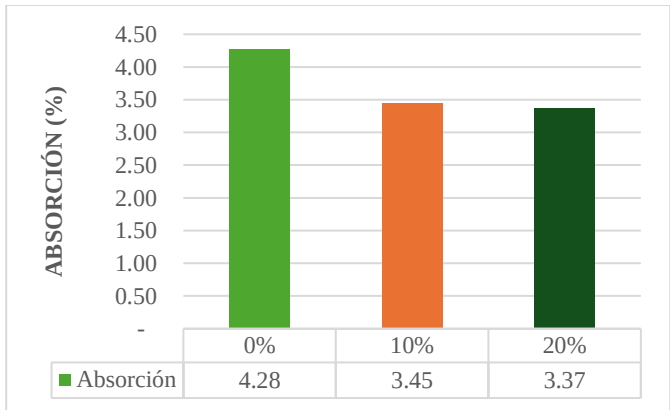


Fig. 4 Contenido de absorción de acuerdo con los morteros de 10% y 20%, comparados con un mortero 0%

Según los resultados obtenidos las mezclas con 10% y 20% presentan menores valores de absorción en comparación con el mortero convencional (0%) a su vez se observa unas tendencias decrecientes en la absorción a medida que aumenta el porcentaje de sustitución

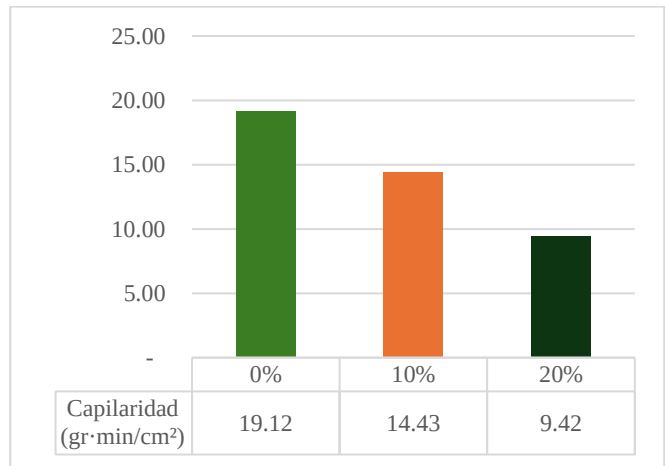


Fig. 5 Ensayo de capilaridad

En relación con el ensayo de capilaridad, el mortero convencional (0%) y el mortero con 10% presentan valores similares, con un promedio de 14,43 g·min/cm². En contraste, el mortero con 20% presenta un valor menor, registrando 9,42 g·min/cm², estos resultados evidencian diferencias en el comportamiento de absorción capilar entre las mezclas evaluadas en comparación con el mortero modificado con un 20% de impermeabilizante casero muestra una reducción notable en la capilaridad, descendiendo a 9,42 g·min/cm², la disminución evidencia una mejora sustancial en el comportamiento frente al ingreso de humedad, lo cual se traduce en una menor porosidad conectada y, por consiguiente, en una mayor resistencia a la penetración del agua.

Estos hallazgos permiten inferir que solo a partir de una proporción del 20% se logra una modificación estructural efectiva en la red capilar del mortero, convirtiéndolo en una alternativa más viable en términos de impermeabilidad para condiciones expuestas a la humedad.

3.2. Resistencia a la compresión

En el ensayo se encontró que el mortero 20% presentó la mayor resistencia, mientras que el mortero con 0% de impermeabilizante tuvo la menor. El mortero con 10% mostró una resistencia intermedia.

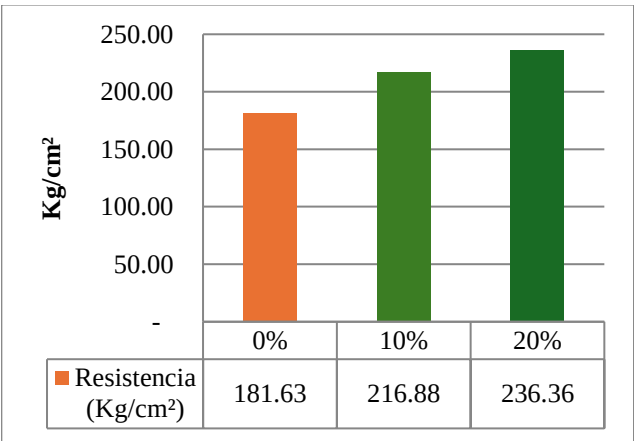


Fig. 6 Contenido de resistencia de acuerdo con los morteros de 10% y 20%, comparados con un mortero patrón

La figura 6 muestra los valores promedio de resistencia a la compresión obtenidos para los morteros con distintas proporciones de impermeabilizante casero donde se observa que el mortero convencional 0% alcanzó una resistencia de 181,63 kg/cm², mientras que el mortero con 10% de impermeabilizante presentó una resistencia superior, de 216,88 kg/cm², lo que evidencia un efecto positivo del aditivo en esta proporción a su vez, el mortero con 20% de impermeabilizante obtuvo el valor más alto, con 236,36 kg/cm², consolidándose como la mezcla con mejor desempeño mecánico entre las tres analizadas.

Estos resultados muestran que el mortero con 20% presenta la mayor resistencia a la compresión, seguido del mortero con 10% y finalmente el mortero convencional (0%) sin embargo se observa una tendencia creciente en los valores de resistencia

conforme aumenta el porcentaje de sustitución en las mezclas evaluadas.

Finalmente, los resultados muestran variaciones en las propiedades físico-mecánicas de los morteros en función de la composición de las mezclas por eso es importante señalar que los resultados describen el comportamiento observado y su interpretación y explicación se desarrollan en la sección de discusión.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian diferencias en el comportamiento físico-mecánico de los morteros evaluados, particularmente en la absorción de agua, la capilaridad y la resistencia a la compresión estas variaciones se presentan en función de la composición de las mezclas, observándose que las dosificaciones con 10% y 20% muestran valores distintos respecto al mortero convencional. En relación con la absorción de agua, se observó una disminución en las mezclas con mayor porcentaje de sustitución estos comportamientos son consistentes con lo reportado en estudios previos [6], [8], donde se evidencian reducciones en la absorción capilar al incorporar aditivos en la matriz del mortero, sin embargo, a diferencia de dichas investigaciones, en el presente estudio no se mantuvo constante la relación agua/cemento, lo que limita la comparación directa de los resultados.

Respecto a la capilaridad, los resultados muestran que la mezcla con 20% presenta valores menores en comparación con las otras dosificaciones, lo que indica una variación en el comportamiento de absorción capilar del material por lo tanto este comportamiento ha sido asociado en la literatura con modificaciones en la estructura interna del mortero; no obstante, en este caso no es posible aislar el efecto del impermeabilizante debido a la variación simultánea en la cantidad de agua.

En cuanto a la resistencia a la compresión, se observó una tendencia creciente en los valores conforme aumenta el porcentaje de sustitución por lo que se puede indicar que este asociado tanto a la incorporación del impermeabilizante como a la reducción de la relación agua/cemento, la cual influye directamente en la densificación de la matriz del mortero, no es posible atribuir de manera exclusiva el incremento de la resistencia al efecto del impermeabilizante.

Desde una perspectiva técnica, la interacción entre los componentes de la mezcla, como la cal y el aceite quemado, podría influir en la cohesión interna del material y en la reducción de vacíos; sin embargo, estos efectos deben interpretarse con cautela debido a las limitaciones del diseño experimental.

Asimismo, es importante señalar que el estudio presenta limitaciones metodológicas, debido a que no se controló de manera independiente la relación agua/cemento en los distintos tratamientos esto implica que los resultados obtenidos corresponden al efecto combinado de las variables evaluadas, lo cual restringe la posibilidad de establecer relaciones causales directas. Por otro lado, no se evaluaron propiedades relacionadas con la durabilidad a largo plazo, como la posible lixiviación de hidrocarburos o la degradación química del

material debido al uso de aceite quemado este aspecto representa una limitación relevante desde el punto de vista ambiental, ya que podría implicar riesgos de contaminación. En consecuencia, se recomienda que futuras investigaciones incluyan ensayos de durabilidad y análisis de impacto ambiental.

Por lo tanto, los resultados permiten identificar un comportamiento favorable en las mezclas con mayor porcentaje de sustitución; sin embargo, estos deben interpretarse considerando las limitaciones del estudio, por lo que su aplicabilidad debe ser evaluada en función de condiciones experimentales más controladas.

Finalmente, no se evaluaron propiedades relacionadas con la durabilidad a largo plazo, como la posible lixiviación de hidrocarburos o la degradación química del material debido al uso de aceite quemado este aspecto representa una limitación relevante desde el punto de vista ambiental, ya que podría implicar riesgos de contaminación y se recomienda que futuras investigaciones incluyan ensayos de durabilidad y análisis de impacto ambiental para validar su uso en aplicaciones sostenibles.

V. CONCLUSIONES

- Se concluyó que la mezcla con 20% de impermeabilizante presentó mayor resistencia a la compresión en comparación con el mortero convencional (0%) y la dosificación del 10% por lo tanto este resultado debe interpretarse considerando que también existió una disminución en la relación agua/cemento, por lo que no es posible atribuir dicho comportamiento exclusivamente al efecto del impermeabilizante.
- Se concluyó que la incorporación de impermeabilizante casero en proporciones del 10% y 20% se asocia con una disminución en el porcentaje de absorción de agua del mortero respecto al mortero convencional (0%) este comportamiento también puede estar influenciado por la reducción de la relación agua/cemento, por lo que los resultados deben interpretarse como el efecto combinado de ambas variables.
- Se concluyó que el reemplazo parcial del agua por impermeabilizante casero influye en la trabajabilidad del mortero, observándose una ligera disminución de la fluidez en comparación con el mortero convencional (0%) este comportamiento se atribuye al incremento de la cohesión interna de la mezcla; sin embargo, la trabajabilidad se mantiene dentro de rangos aceptables para su aplicación práctica.
- Se concluyó que las mezclas con impermeabilizante casero en proporciones del 10% y 20% presentan mejoras en las propiedades físico-mecánicas del mortero, especialmente en términos de resistencia y absorción, sin embargo, estos resultados deben interpretarse considerando la influencia conjunta del impermeabilizante y la variación en la relación agua/cemento, lo cual limita la atribución de efectos causales directos. A pesar de ello, la dosificación del 20%

muestra un comportamiento favorable desde el punto de vista técnico.

- Se recomienda que futuras investigaciones mantengan constante la relación agua/cemento para evaluar de manera aislada el efecto del impermeabilizante casero sobre las propiedades físico-mecánicas del mortero, así como incluir ensayos de durabilidad y análisis ambiental relacionados con el uso de aceite quemado.

REFERENCIAS

- [1] L. Mejía y A. Cuitiva, “Análisis de propiedades mecánicas de materiales sostenibles para la construcción en morteros de cemento con aditivos de óxidos de biochar,” 2022.
- [2] J. Olea, “Evaluación de un impermeabilizante a base de nejayote para su uso en azoteas de una casa habitación,” México, 2022.
- [3] Sika Perú, “Sika 1: Aditivo impermeabilizante para mortero,” [En línea]. Disponible en: <https://per.sika.com/es/construccion/aditivos-para-mortero/sika-1.html>. Accedido: abril 2025.
- [4] Molins, “Propiedades del mortero de cemento impermeable,” [En línea]. Disponible en: <https://www.molins.es/construction-solutions/morteros-tecnicos/propiedades-mortero-de-cemento-impermeable>. Accedido: abril 2025.
- [5] V. Ferrándiz y E. García, “Caracterización física y mecánica de morteros de cemento Portland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido (EPS),” España, 2020.
- [6] N. Gómez Ormeña, “Resistencia mecánica de un concreto $f'c = 210$ kg/cm² adicionando aditivos impermeabilizantes líquidos,” inédito.
- [7] M. Huamani y S. Solis, “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,” 2021.
- [8] J. Cuadros y B. Hurtado, “Evaluación de aditivos impermeabilizantes para mejorar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210$ kg/cm² en Villa María del Triunfo – 2021,” Lima, 2021.
- [9] Ministerio de la Producción, “Norma Técnica Peruana 334.082,” [En línea]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/833404/Exposici%C3%B3n_de_Motivos_R.M._175.pdf.
- [10] ASTM International, “ASTM C1157 - Standard performance specification for hydraulic cement,” [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/366592410/Astm-c1157-Standard-Performance-Specification-for-Hydraulic-Cement>. Accedido: mayo 2025.
- [11] S. Valle Arce y J. Mego Macedo, “Análisis comparativo de la resistencia del concreto elaborado con cemento Mochica y cemento Portland tipo I, de uso masivo en la construcción de edificaciones en el distrito de Tarapoto, provincia y región de San Martín,” 2019.
- [12] Ministerio de la Producción, “NTP 334.003:2002 - ASTM C230 - Reglamento técnico sobre cemento hidráulico utilizado en construcción,” [En línea]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/833404/Exposici%C3%B3n_de_Motivos_R.M._175.pdf. Accedido: mayo 2025.
- [13] ASTM International, “ASTM C128-15,” [En línea]. Disponible en: <https://store.astm.org/c0128-15.html>. Accedido: mayo 2025.
- [14] Instituto Nacional de Calidad (INACAL), “NTP 334.050:2015. Cementos Portland blanco. Requisitos,” 4.ª ed., Lima, Perú, 2015, rev. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.inacal.gob.pe/normas-tecnicas>.
- [15] Instituto Nacional de Calidad (INACAL), “NTP 334.053:2015. Seguridad en laboratorios. Manipulación de productos químicos inflamables,” Lima, Perú, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.inacal.gob.pe/normas-tecnicas>.
- [16] J. Bardales, J. Vásquez y D. Ordóñez, “Effect of a non-Newtonian fluid on the axial compressive strength of mortars,” in Proc. 22nd LACCEI Int. Conf., San José, Costa Rica, Jul. 22–24, 2024, p. 657. [En línea]. Disponible en: https://laccei.org/LACCEI2024-CostaRica/full-papers/Contribution_657_final_a.pdf.