



Emulsión asfáltica como alternativa de reducción de la presencia de eflorescencias en morteros de pega

Asphalt emulsion as an alternative to reduce the presence of efflorescence in glue mortars

Hernán Cañola ^{1a}, Fidel Granda-Ramírez ^{1b}, Joan Arroyave-Rojas ^{1c}

¹ Grupo de investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Orcid: ^a 0000-0002-0488-5817, ^b 0000-0002-6227-2947, ^c 0000-0002-3827-5312. Correos electrónicos: ^a hernan.canola@colmayor.edu.co, ^b carlos.granda@colmayor.edu.co, ^c joan.arroyave@colmayor.edu.co

Recibido: 10 junio, 2020. Aceptado: 15 septiembre, 2020. Versión final: 4 noviembre, 2020.

Resumen

Los morteros de pega tienen como función integrar mampuestos en sistemas de mampostería, sin embargo, estos elementos constantemente son afectados por lesiones derivadas de la humedad como lo son las eflorescencias que ocasionan pérdida de propiedades físicas como el color, la densidad y la masa debido a la afloración superficial de sales, acumulación interna de las mismas y desprendimientos superficiales; por lo anterior en esta investigación se estudió el uso de emulsión asfáltica como reductor de esta afectación. De acuerdo con los análisis realizados, se determinó que con adiciones de 10% y 20% de emulsión asfáltica se adquiere cierto grado de repelencia al agua y con adiciones de 30% y 40% se alcanzó hidrofobicidad completa. Además, se determinó que la emulsión asfáltica reduce la afloración de eflorescencias en un 27% con 10% de emulsión, del 47% con 20% y de 100% para muestras con 30% y 40% respectivamente. Aunque el uso de los aditivos bituminosos trae ciertas ventajas frente a las propiedades físicas de los morteros, inversamente reduce propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión.

Palabras clave: aditivo bituminoso; eflorescencias; hidrofobicidad; mampostería; mortero de pega.

Abstract

The function of glue mortars is to integrate masonry in rubble work, however, these elements are constantly affected by injuries derived from humidity, such as efflorescence that causes loss of physical properties like the color, the density and the mass due to the superficial outcrop of salts, internal accumulation of salts and superficial detachments; therefore, in this research, the use of asphalt emulsion as a reducer of this condition was studied. According to the analyzes carried out, it was determined that with additions of 10% and 20% the asphalt emulsion a certain level of water repellency is acquired and with additions of 30% and 40% complete hydrophobicity was achieved. Furthermore, it was determined that the asphalt emulsion reduces efflorescence outcrop by 27% with 10% emulsion, 47% with 20% and 100% for samples with 30% and 40% respectively. Although the use of bituminous additives brings certain advantages over the physical properties of mortars, it inversely reduces mechanical properties such as compressive strength.

Keywords: bituminous additive; efflorescence; hydrophobicity; masonry; glue mortar.

ISSN impreso: 1657 - 4583. ISSN en línea: 2145 - 8456, **CC BY-ND 4.0** 

Como citar: H. Cañola, F. Granda-Ramírez, J. Arroyave-Rojas, "Emulsión asfáltica como alternativa de reducción de la presencia de eflorescencias en morteros de pega," *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 1, pp. 103-114, 2021, doi: [10.18273/revuin.v20n1-2021009](https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021009)

1. Introducción

Las eflorescencias son lesiones patológicas de aspecto irregular y de tonalidades variables que van desde coloraciones claras a oscuras dependiendo de la tipología del mineral que las producen [1]-[3]; este tipo de lesiones normalmente se presentan en la superficie de elementos constructivos como concretos, morteros y materiales cerámicos expuestos a agentes externos como la lluvia y el agua contenida en el suelo, las cuales son generadas por sales solubles que ingresan al interior de elementos porosos por medio de procesos de accesión y difusión de humedad ocasionados por la acción capilar [4]-[7]. Esta lesión patológica de tipo química degrada la superficie de los acabados arquitectónicos, afectan su estética, estabilidad y por ende reducen su durabilidad debido a los procesos de meteorización, desprendimientos de superficies, decoloración, manchado y lixiviación [8]-[13].

Muchas investigaciones han estudiado las causas de este fenómeno y han establecido estrategias de solución para esta problemática, pero las alternativas planteadas se han enfocado en el uso de barreras y agentes químicos de control superficial como se muestra a continuación:

Carrio Juan [4], establece que, si se solucionan los problemas de humedad ligados a la filtración o a la capilaridad se eliminan las problemáticas relacionados con las eflorescencias; debido a que el agua es el medio de transporte de sales solubles; entre las soluciones planteadas con relación a la humedad capilar se encuentran: cuñas drenantes, ataguías, zanjas drenantes, pozos drenantes, drenajes eléctricos, laminas impermeables por bataches, laminas metálicas plegadas hincadas, inyecciones de hidrofugación en masa e hidrofugación superficial. Los tratamientos establecidos por el autor proporcionan una solución a la humedad y por ende a las eflorescencias, pero en su gran mayoría son de aplicación superficial y no son consideradas como una alternativa preventiva propias del elemento constructivo desde su ejecución.

Por otro lado, otros estudios [2],[14] establecieron en sus investigaciones que unos de los factores determinantes para la formación de eflorescencias en la superficie de morteros, mamposterías y concretos independiente de los problemas asociados a la humedad eran las circunstancias ambientales, la composición química de los elementos constructivos, los detalles constructivos, los procesos de ejecución y los tratamientos realizados a las fachadas.

Del mismo modo Groot y Gunneweg [10] determinaron en su estudio sobre problemas asociados a la presencia de

eflorescencias en las mamposterías de molinos que en ocasiones, este tipo de agente degradante es transmitido a los mampuestos por los procesos de adsorción de agua que estos realizan a la humedad presente en los morteros de pega; además, establecieron que el uso de selladores como alternativa de solución a la humedad y eflorescencias es poco eficaz con el paso del tiempo debido a la formación de microgrietas en los muros como resultado de las cargas dinámicas de los molinos.

Según Cultrone y Sebastián [15] en su estudio establecen que las eflorescencias como agente degradante de los elementos constructivos como morteros, en especial las generadas por la presencia de sulfato de sodio son consideradas como las sales más dañinas para las edificaciones patrimoniales debido a los procesos de cristalización, hidratación y expansión térmica, donde los procesos de cristalización son acompañados por un aumento de volumen y tensiones internas que ocasionan fisuras y grietas; además, determinan que el uso de aditivos inclusores de aire en morteros de cal reducen el aumento de soluciones salinas, agua y otros fluidos debido a que se crea una porosidad cerrada que minimiza el daño en las estructuras de constitución de morteros.

Al igual que [15], otros investigadores [16]-[21], han establecido estrategias y metodologías que permiten controlar este tipo de lesiones a través del manejo de la humedad en sistemas constructivos como: fachadas, sobrecimientos, muros en bloques de tierra comprimida, pisos en gres cerámico, cubiertas y soportes pictóricos, posterior a la aparición del problema.

Sin embargo, si se controla la adsorción de humedad desde la elaboración de elementos constructivos (bloques de concreto y bloques de tierra comprimida) como en [22]-[24] se establece que podría reducir la presencia de esta problemática, aunque sería necesario garantizar impermeabilidad en los morteros de pega, para generar estanqueidad del sistema constructivo debido a que estos son los puntos críticos con relación a los procesos de adsorción, difusión y transmisión de humedad en estas obras de albañilería [25].

Cabe resaltar que la adición de aditivos bituminosos ha sido ampliamente utilizada en la fabricación de mampuestos [22]-[24], sin embargo en la literatura estudiada esta no ha sido aplicada e implementada en la fabricación de morteros de pega como alternativa de reducción a lesiones patológicas como la humedad y eflorescencias en la edificación, es por lo anterior, que en esta investigación surge la necesidad de analizar el comportamiento de los morteros de pega mediante la incorporación de aditivos bituminosos como alternativa de reducción de la humedad y la presencia de

eflorescencias en sistemas constructivos pertenecientes a las mamposterías (Figura 1).



Figura 1. Presencia de eflorescencias en sistemas de mampostería. Fuente: elaboración propia.

2. Metodología

En esta investigación se analizó el comportamiento de morteros de pega con adiciones y sin adiciones de compuestos bituminosos (emulsión asfáltica en frío) frente a la humedad, la formación de eflorescencias y comportamiento mecánico (resistencia a la compresión); se fabricaron 225 cubos de mortero de 0.05m de lado y 75 probetas cilíndricas de 0.1m de diámetro y 0.05m de altura, distribuidos de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1 con relación a los tiempos de fallado y porcentaje de emulsión utilizados respecto al peso del agua, este último aspecto como factor de proporcionalidad frente a los componentes líquidos empleados. Además, se fabricaron 5 cubos adicionales para los ensayos no destructivos correspondiente a análisis mediante ultrasonido.

Tabla 1. Distribución de muestras de mortero

Emulsión (%)	Relación agua-cemento	N° de probetas cilíndricas	N° de probetas cúbicas	Muestras por tiempo de fallado (días)		
				7	14	28
0	0.5	15	45	15	15	15
10	0.4	15	45	15	15	15
20	0.3	15	45	15	15	15
30	0.2	15	45	15	15	15
40	0.1	15	45	15	15	15

Fuente: elaboración propia.

Todas las muestras sin emulsión estudiadas se realizaron con un mortero tipo M de consistencia plástica (fluidéz entre 100-120%), con una dosificación correspondiente a una parte de cemento Portland tipo 1 por tres partes de

arena de pega lavada y una relación agua-cemento de 0.5 según parámetros establecidos [8].

Para la realización de las probetas con emulsión asfáltica en frío (Emulsión Asfáltica Sika®) como aditivo impermeabilizante, se conservaron similares características a las muestras sin emulsión, pero con una variación en la adición de compuesto bituminoso y la relación agua cemento, como se muestra en la Tabla 1, las densidades de los materiales utilizados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Densidades de materiales para la fabricación de morteros

Material	Densidad (Kg m ⁻³)
Agua	1000
Arena de pega	1730
Cemento	3150
Emulsión asfáltica en frío	1060

Fuente: elaboración propia.

El desarrollo experimental se dividió siete etapas: i) caracterización de los materiales respecto a la densidad (Tabla 2), medición del pH de la arena de pega como de la emulsión asfáltica y análisis de módulo de finura de los agregados a partir de la norma ASTM D 422 [26], ii) caracterización microscópica de las muestras mediante el uso del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM por su sigla en inglés) [27], iv) análisis de succión capilar según la norma UNE PrUNE 83.982 [28] y la norma ASTM C1585-04 [29]; v) ensayos de penetración de agua con base en el método RILEM CPC 11.2 [30], vi) ensayos de compresión de acuerdo a la norma ASTM C109 [31] y ensayos de módulo de elasticidad mediante el uso de ultrasonido norma ASTM C597 – 16 [32]. Por último, se realiza el análisis de formación de eflorescencias mediante la norma ASTM C67 [33] perteneciente a la etapa vii).

3. Resultados y discusión

Proporcionada la caracterización de materiales, para la medición del pH de la arena y la emulsión asfáltica se utilizó un pH-metro digital WTW™ y probetas de vidrio de capacidad volumétrica de 50ml y 100ml; una vez calibrado el equipo se toma una muestra de 10ml de emulsión asfáltica en frío en la probeta de 50ml y 50g de arena de pega con 30 ml de agua destilada en la probeta de 100ml, posteriormente se procedió con la medición del pH mediante el uso de un electrodo Sentix™ 41, obteniendo valores de 10.9 para el compuesto bituminoso

y 7.9 para la arena, ambos resultados correspondientes a un pH básico, los anteriores análisis según parámetros establecidos en [34].

Luego se realizó la caracterización granulométrica, para esto se utilizó una muestra de 500 g de arena de pega, la cual fue sometida a un proceso de vibración rotatoria y tamizado mediante Ro-tap ® [26], una vez tamizada la arena, se obtienen los porcentajes del material retenido y pasante, con los cuales se determinó un módulo de finura correspondiente a 2.53%, indicando que el material granular pertenece a una arena media, debido a que su módulo de finura se encuentra entre 2,30 y 3,10 [35].

Para la segunda etapa se realizó una caracterización de la morfología microscópica de las muestras con emulsión al 40% y sin emulsión, lo anterior mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM) con el objetivo de determinar la microcomposición por análisis de Energías Dispersivas de Rayos X (EDS por sus siglas

en inglés), forma y distribución de tamaño de partícula [27]. Para este análisis las probetas fueron sometidas a un proceso de pulverización de forma manual mediante el uso de un mortero y un mazo cerámico para su posterior análisis microscópico.

La composición mineralógica de las muestras analizadas y sus diferencias se muestran en las Figuras 2 y 3 y en la Tabla 3. Como se puede apreciar, las partículas sin emulsión (Figura 2 A) son más uniformes en tamaño (alrededor de $5\mu\text{m}$) y forma (tendientes a esferas), mientras que en las muestras que con emulsión (Figura 3 A) las partículas son menos uniformes en tamaño y forma. Por otra parte, vemos grandes cambios composicionales (Tabla 3) debido precisamente a la adición de la emulsión, por ejemplo, vemos la aparición del carbono y el magnesio en las muestras aditivadas y menos presencia de elementos como O, Al, Si, Ca, Na y K debido precisamente a la emulsión utilizada para mejorar las propiedades de la mezcla.

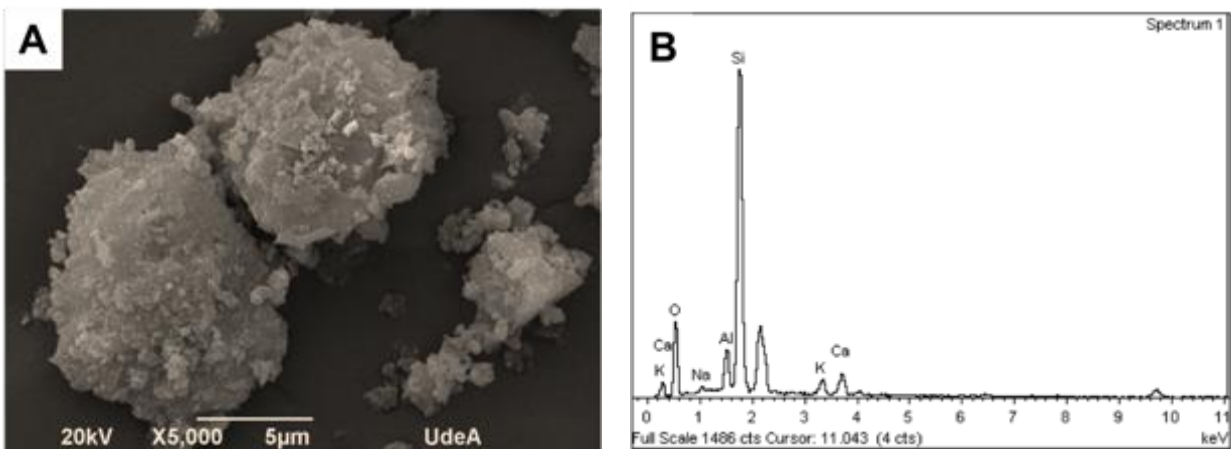


Figura 2. A) Morfología de las muestras sin emulsión asfáltica. B) Microcomposición mineralógica. Fuente: elaboración propia.

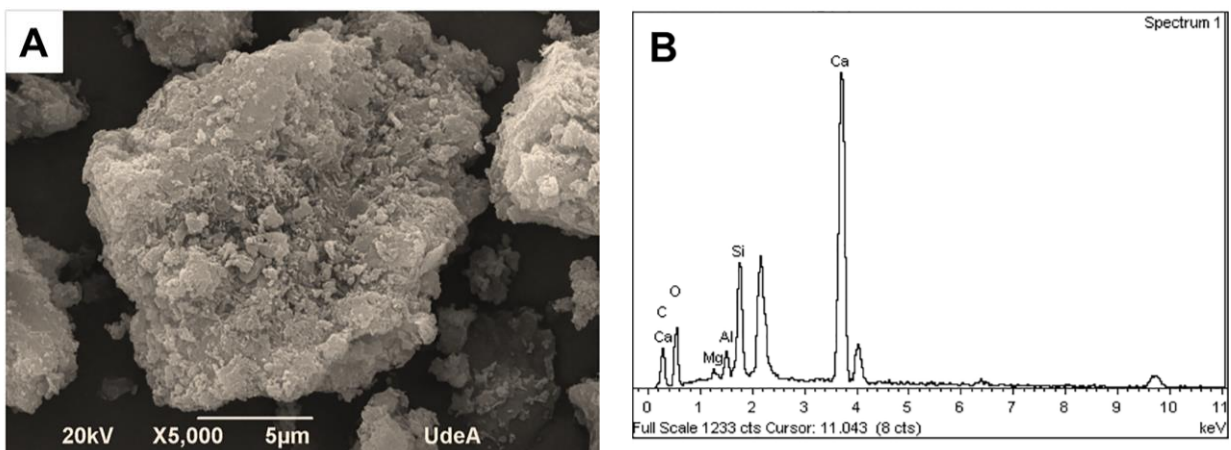


Figura 3. A) Morfología de las muestras con 40% de emulsión asfáltica. B) Microcomposición mineralógica. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Composición mineralógica de muestras con emulsión asfáltica y sin emulsión

Elemento	Peso de composición elemental de muestras sin emulsión (%)	Peso de composición elemental de muestras con 40% de emulsión (%)
C		16.20
O	44.76	37.44
Mg		0.72
Al	4.810	1.74
Si	41.60	7.72
Ca	4.89	36.17
Na	1.06	
K	2.90	
Total	100.00	100.00

Fuente: elaboración propia.

En la tercera etapa, con el análisis de succión capilar se determinaron las características de permeabilidad según parámetros establecidos [36], en cuanto al coeficiente de absorción capilar, también se evaluó la influencia de la emulsión asfáltica como aditivo impermeabilizante en morteros de pega con relación a la porosidad, la resistencia a la penetración del agua y la velocidad de absorción capilar según las normas UNE (PrUNE 83.9829) [28] y ASTM C1585-04 [29]. Para este análisis se utilizaron 75 probetas cilíndricas, distribuidas en 5 grupos según el porcentaje de emulsión asfáltica utilizado (Tabla 1).

Las muestras cilíndricas son pesadas posterior a su proceso de curado y secado, luego se analizó el contenido de humedad de equilibrio mediante el uso de un humidímetro digital de agujas, dando un valor correspondiente a 13%, con temperatura promedio de 25 °C y humedad relativa de 65%; una vez realizado el anterior procedimiento los cilindros de mortero fueron impermeabilizados en su cara lateral, secados e inmersos en un recipiente plástico con un nivel constante de agua de 0.005m con relación a la altura de los mismos (Figura 4).

Los cilindros fueron pesados diariamente hasta alcanzar un punto de estabilización de absorción de humedad por succión capilar y con los datos obtenidos se calculó el coeficiente de absorción capilar, la porosidad, la resistencia a la penetración del agua y la velocidad de absorción capilar (Tabla 4), se determinaron de acuerdo con los parámetros establecidos en la literatura [22]-[29].



Figura 4. Pesajes de probetas cilíndricas con adición y sin adición de emulsión asfáltica durante ensayo de succión capilar. Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Resultados ensayo de succión capilar

Número de muestras	15	15	15	15	15
Adición de emulsión respecto al peso del agua (%)	0	10	20	30	40
Porosidad efectiva promedio (%)	30	8.4	8.4	6.0	5.0
Desviación estándar	0,35	0,88	1,30	0,73	0,45
Resistencia penetración del agua promedio (10^6 s/m ²)	37.50	92.27	95.86	159.76	159.8
Desviación estándar	0,28	0,78	0,98	0,85	0,39
Coefficiente absorción capilar promedio (kg/(s ^{1/2} m ²))	0.049	0.009	0.009	0.005	0.004
Desviación estándar	0,38	0,48	0,84	1,10	0,48
Velocidad absorción capilar promedio (10^{-4} m/s ^{1/2})	0.10	0.07	0.07	0.04	0.03
Desviación estándar	0,45	1,05	0,95	0,89	0,58

Fuente: elaboración propia.

En la cuarta etapa se evaluó la resistencia a la penetración de agua por el método RILEM CPC 11.2 [30], con la finalidad de establecer la capacidad de repelencia que presentan las probetas de mortero adicionadas y sin adición de emulsión asfáltica frente a agentes externos como lo es el agua lluvia; considerada como uno de los factores de incidencia en la formación de florescencias en sistemas de mampostería de fachadas [19]. Para este ensayo fue utilizado un tubo de vidrio en forma de L conocido como pipeta Karsten, con capacidad volumétrica de 5 cm³, la cual fue adherida a la superficie de las muestras de mortero mediante una pasta impermeable evitando así la presencia de fugas (Figura 5).

El ensayo de penetración de agua tuvo una duración de 10 minutos por probeta de mortero, durante cada minuto fueron registrardos los datos y posteriormente se graficaron los resultados obtenidos para determinar la cantidad de agua que penetro el interior de las muestras analizadas, como se muestra en la Tabla 5 y Figura 6.

Tabla 5. Resultados ensayo de penetración de agua durante 10 min

Número de muestras	Adición de emulsión asfáltica respecto al peso del agua (%)	Penetración de agua promedio después de 10 minutos (m ³)
15	0	0,000003915
15	10	0,000001016
15	20	0,000000364
15	30	0,000000242
15	40	0,000000033

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Ensayo de penetración de humedad por método RILEM [30]. Fuente: elaboración propia.

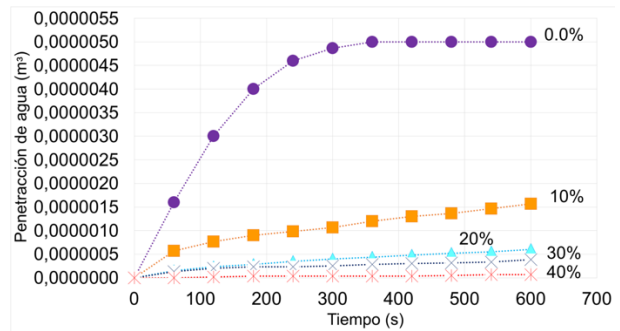


Figura 6. Comparativo de penetración de agua por método RILEM en morteros de pega.

Fuente: elaboración propia.

Una vez realizados las anteriores pruebas con relación a las propiedades físicas de las muestras de mortero, se procedió con el análisis de propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) según la norma ASTM C109 [31] y ensayos de módulo de elasticidad mediante el uso de ultrasonido norma ASTM C597 – 16 [32]. Se utilizaron muestras cubicas de 0.05m de lado, sometidas a ensayos destructivos posterior al proceso de curado con relación a los tiempos de fallado como se muestra en la Tabla 6 y la Figura 7, estos análisis se realizaron mediante el uso de una presa universal, con una duración de ensayo por probeta de 5 minutos. Los resultados obtenidos durante el ensayo muestran que la resistencia a la compresión es inversamente proporcional al porcentaje de emulsión utilizado.

Tabla 6. Resultados ensayo de compresión y módulo de elasticidad

Emulsión asfáltica (%)	Módulo de elasticidad promedio (GPa)	Resistencia a la compresión promedio (MPa)		
		7 días	14 días	28 días
0	19,06	11,20	15,50	17,30
Desviación estándar	0,9	1,7	2,4	2,7
10	15,43	2,26	7,69	8,70
Desviación estándar	1,0	0,4	1,5	1,5
20	12,81	1,68	5,81	6,50
Desviación estándar	1,0	0,2	0,8	0,9
30	10,70	1,46	5,05	5,61
Desviación estándar	0,9	0,2	0,7	0,8
40	9,24	1,38	4,79	5,30
Desviación estándar	0,6	0,2	0,7	0,7

Fuente: elaboración propia.

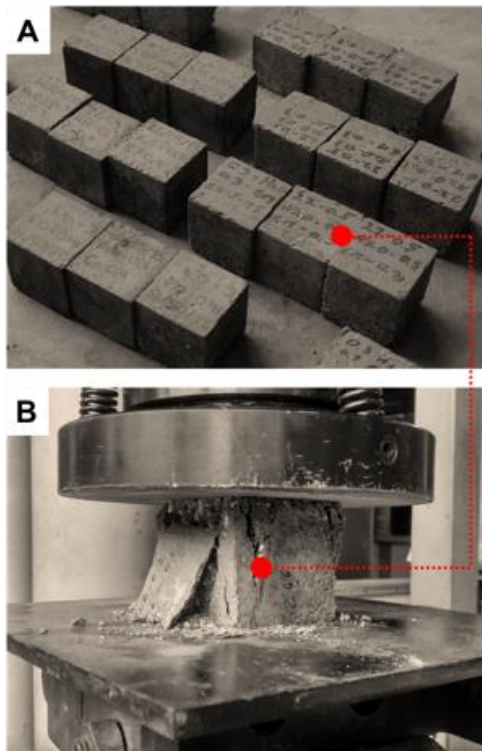


Figura 7. A) Probetas de mortero. B) Ensayo de resistencia a la compresión en probetas de morteros de pega. Fuente: elaboración propia.

Paralelo a los ensayos destructivos se procedió con las pruebas no destructivas mediante el uso del ultrasonido en probetas testigo; para este ensayo se garantizó que las muestras a analizar con emulsión asfáltica y sin emulsión mantuvieran siempre un contenido de humedad de equilibrio igual a $13\% \pm 1\%$ con el fin de no generar variaciones con relación a los resultados como se muestra en la Figura 8. Los datos obtenidos de la resistencia a la compresión (ensayos destructivos) y módulo de elasticidad mediante ultrasonido (ensayos no destructivos) se muestran en la Tabla 6.

Para la última etapa se procedió a analizar el comportamiento de los morteros de pega adicionados con emulsión asfáltica con relación a la formación de eflorescencias, para este análisis se tomó como referencia la norma ASTM C67 [33]; sin embargo, como método experimental, las muestras fueron sometidas a un proceso de adsorción de humedad en agua destilada, adicionada con 1000g de sales de sulfato de sodio. Lo anterior con la finalidad de garantizar el proceso de formación de eflorescencias en las muestras de mortero. Para este análisis, inicialmente se realizó la limpieza de las muestras para evitar la presencia de impureza o partícula de polvo sobre sus superficies; posteriormente las

muestras son sumergidas parcialmente dentro de una bandeja metálica con una cobertura de agua, la cual se mantuvo a un nivel constante de 0.01m durante 7 días; una vez transcurrido el periodo de tiempo fueron inspeccionadas todas las superficies de las probetas para determinar la presencia de eflorescencias como se muestra en la Tabla 7 y Figura 9.

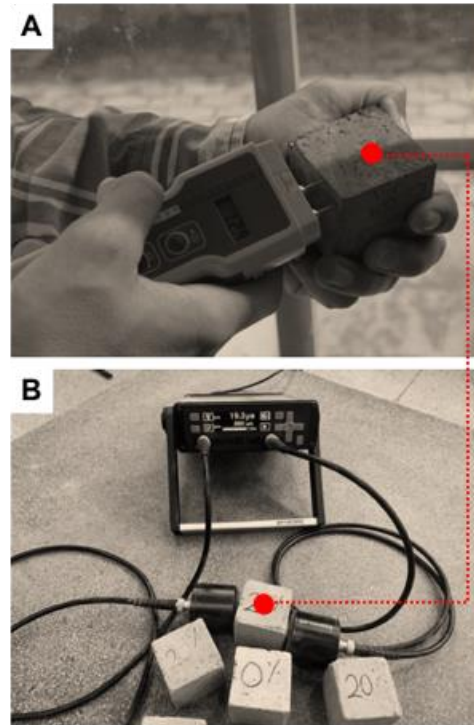


Figura 8. A) Medición de humedad. B) Análisis de módulo de elasticidad por ultrasonido.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Resultados de análisis de eflorescencias sobre muestras de mortero

Emulsión asfáltica (%)	Descripción de la muestra	Clasificación según la ASTM C67
0	Presencia de manchas continuas con abundantes sales	Eflorescente
10	Apreciación perceptible de sales en bordes	Eflorescencia despreciable
20	No hay apreciación de sales sobre las superficies	No eflorescente
30	No hay apreciación de sales sobre las superficies	No eflorescente
40	No hay apreciación de sales sobre las superficies	No eflorescente

Fuente: elaboración propia



Figura 9. Análisis de eflorescencias en muestras de mortero. Fuente: elaboración propia.

Para analizar el proceso de evolución de la formación de sales en los cilindros de mortero se optó por mantener las muestras inmersas con el mismo nivel de agua durante un año. Luego se procedió con el análisis de formación de eflorescencias y el cálculo del área de afectación de las superficies superiores; lo anterior mediante el uso de herramientas de diseño como el AutoCAD el cual permitió diagramar las áreas afectadas y determinar el valor porcentual de afectación [37] (Figura 10 y Tabla 8).

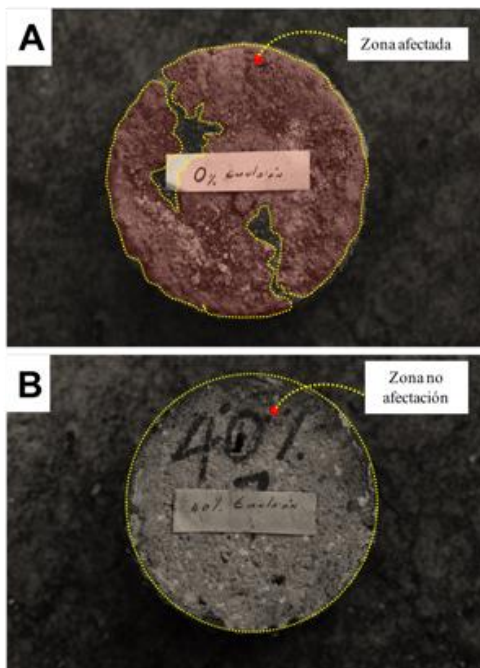


Figura 10. Demarcación en AutoCAD de áreas afectadas en muestras con A) 0% y B) 40% de emulsión. Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Resultados de análisis de eflorescencias sobre muestras de mortero después de un año de prueba

Emulsión asfáltica (%)	Área superior de muestras cilíndricas (m ²)	Afectación de superficie (%)
0	0.0078	100.0
10	0.0078	77.0
20	0.0078	53.0
30	0.0078	0.00
40	0.0078	0.00

Fuente: elaboración propia

Al realizar adiciones de aditivos bituminosos se obtienen mejoras respecto a la impermeabilidad, por lo que se promueve la reducción de la presencia de eflorescencias respecto a las muestras patrón cuando se encuentran sometidas a procesos de succión capilar, sin embargo el uso de emulsión asfáltica como aditivo conlleva a la reducción de las propiedades mecánicas de los morteros de pega; debido a lo anterior el valor óptimo para garantizar parámetros en cuanto a la resistencia a la compresión según parámetros normativos ASTM C70-07 [38] corresponden al 40% ó 30%, cuyas adiciones generan eficacia frente a las eflorescencias y resistencias superiores a los 2,4 Mpa correspondientes a morteros tipo O, no estructurales; sin embargo con este tipo de adiciones no se logran resistencias correspondientes a valores iguales o superiores a los 17,2 Mpa pertenecientes a morteros tipo M, para lo cual fue diseñada la muestra patrón.

4. Conclusiones

A través de los análisis realizados en esta investigación, se concluye que el uso de emulsión asfáltica como aditivo bituminoso en la fabricación de morteros de pega, trae beneficios con relación a la mejora de propiedades físicas (coeficiente de absorción capilar y porosidad); el uso de adiciones de emulsión asfáltica de un 10%, permitió una reducción de la porosidad de las muestras del 72%, al igual que el coeficiente de adsorción capilar con una disminución del 82% y velocidad de adsorción capilar del 30%; a su vez, trajo como ventaja adicional un aumento de la resistencia a la penetración de humedad del 146% correspondientemente.

Es de resaltar que a partir de los incrementos porcentuales de emulsión asfáltica de un 10% y 20% se lograron coeficientes de adsorción capilar menores a 0.030 (Kg s^{-1/2} m⁻²), obteniendo con esto cualidades de repelencia frente a la humedad en las muestras de mortero y con porcentajes de 30% y 40% se lograron coeficientes de adsorción capilar menores a 0.008 (Kg s

$1/2 \text{ m}^2$), haciendo que las muestras sean consideradas hidrófugas respecto al agua [36]; por lo anterior se concluye además que el uso de emulsión asfáltica permite clasificar a las muestras de mortero según la ASTM C67 [33] como muestras con eflorescencias despreciables, cuando se utiliza 10% de emulsión como aditivo y no eflorescente para las muestras con 20%, 30% y 40% respectivamente, posterior a 7 días de análisis.

Sin embargo, posterior a un año de prueba, con relación al estudio de eflorescencias se concluye que los aditivos bituminosos reducen la afloración de esta lesión en un 27% respecto al área de análisis para las muestras con 10% de emulsión, del 47% con 20% y de 100% para las muestras con 30% y 40% respectivamente con relación a un área superficial de 0.0078 m^2 .

Por lo tanto, cabe resaltar que, aunque el uso de los aditivos bituminosos trae ciertas ventajas frente a las propiedades físicas de los morteros, inversamente conlleva a la reducción de propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, ocasionando una disminución de la resistencia final respecto a las muestras patrón del 50%, 62%, 68% y 69% para una adición de emulsión del 10%, 20%, 30% y del 40% respectivamente.

El uso de los compuestos bituminosos permitió en esta investigación mejorar la durabilidad de los morteros frente a lesiones patológicas relacionadas con las eflorescencias, donde la ciencia de los materiales aplicada al sector constructivo juega un papel fundamental para el desarrollo de técnicas que permiten aumentar la durabilidad de elementos de construcción como los morteros aplicados a componentes de la edificación.

Como complemento para este estudio, en futuras investigaciones se recomienda evaluar la viabilidad económica de morteros de pega tradicionales frente a morteros modificados con adiciones de emulsión asfáltica, además se sugiere evaluar el comportamiento de sistemas constructivos como sobrecimientos en los cuales no solamente se emplee morteros adicionados con compuestos bituminosos, sino, además bloques de concreto adicionados con emulsiones asfálticas. Lo anterior como una alternativa a la solución de problemas de durabilidad ocasionados por la humedad en sistemas constructivos (tabiques y sobrecimientos) pertenecientes a edificaciones.

Referencias

- [1] C. Broto, A. Mostaedi, X. Broto, S. Verruno *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Barcelona, España: Barcelona, 2006.
- [2] H. Brocken, T. Nijland, “White efflorescence on brick masonry and concrete masonry blocks, with special emphasis on sulfate efflorescence on concrete blocks”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, no. 5, pp. 315-323, 2004, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2004.02.004
- [3] J. Rincón, M. Romero, “Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción”, *Mater. Constr.*, vol. 2000, no. 260, pp. 63-69, 2000.
- [4] J. Carrio, *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos* (2a ed.) (Nueva edición adaptada al código técnico de la edificación). Madrid, España: Munillalera, 1997.
- [5] L. Pel, H. Huinink, K. Kopinga, R. Van Hees, C. Adan, “Efflorescence pathway diagram: Understanding salt weathering”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, no. 5, pp. 309-313, 2004, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2004.02.003
- [6] E. Alkhateeb, “Salts Efflorescence in the Old City of Damascus ; Problem Analysis and Salts Efflorescence in the Old City of Damascus; Problem Analysis and Possible Solutions”, *Bauforschung und Baupraxis, From Research to Practice in Construction*, 2016, pp. 1-9.
- [7] R. Flatt, N. Mohamed, F. Caruso, D. Francesco, H. Derluyn, J. Desarnaud, B. Lubelli, R. Espinosa-Marzal, L. Pel, C. Rodriguez-Navarro, G. Scherer, “Predicting salt damage in practice: A theoretical insight into laboratory tests”, *RILEM Tech. Lett.*, vol. 2, no. Dic, pp. 108-118, 2017.
- [8] D. Sánchez Guzmán, *Durabilidad y patología del concreto - segunda edición*. Bogotá: Asocreto, 2011.
- [9] E. Granau, *Lesiones en los edificios, sintomas, causas y reparación*. Barcelona, España: Ceac, S.A, 2003.
- [10] C. Groot, J. Gunneweg, “Water permeance problems in single wythe masonry walls: The case of wind mills”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, no. 5, pp. 325-329, 2004, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2004.02.005
- [11] I. Ginchitskaia, G. Yakovleva, O. Kizinievichb, I. Polyanskikha, G. Pervushina, P. Taybaktinaa, I. Balobanova. “Damage to Polymer Coating on Facing Brick Surface in Operated Buildings”, *Procedia Eng.*, vol. 195, pp. 189-196, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.543

- [12] B. Lubelli, R. Van Hees, H. Brocken, “Experimental research on hygroscopic behaviour of porous specimens contaminated with salts”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, no. 5, pp. 339-348, 2004, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2004.02.007
- [13] J. Chwast, J. Todorović, H. Janssen, J. Elsen, “Gypsum efflorescence on clay brick masonry: Field survey and literature study”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 85, pp. 57-64, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.094
- [14] H. Morillas, M. Maguregui, J. Trebolazabala, J. M. Madariaga, “Nature and origin of white efflorescence on bricks, artificial stones, and joint mortars of modern houses evaluated by portable Raman spectroscopy and laboratory analyses”, *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 136, no. PB, pp. 1195-1203, 2015, doi: 10.1016/j.saa.2014.10.006
- [15] G. Cultrone, E. Sebastián, “Laboratory simulation showing the influence of salt efflorescence on the weathering of composite building materials”, *Environ. Geol.*, vol. 56, pp. 729-740, 2008, doi: 10.1007/s00254-008-1332-y
- [16] E. Schild, R. Oswald, D. Rogier, V. Schnapauff, *Estanqueidad e impermeabilización en la edificación, Prevención de defectos en azoteas, terrazas y balcones, Tomo 1*. Barcelona, España: Técnicos asociados, S. A., 1978.
- [17] A. Ferrer Morales, *La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas, 2nd ed.* Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 1998.
- [18] E. Zanni, *Construction Pathology and restoration of architecture works*. Córdoba, Argentina: ZANNI, 2008.
- [19] C. Broto, V. Soria, *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción, Volumen 6, Structure*. Madrid: España: Links International, 2005.
- [20] P. Collado, *Control de ejecución de tabiquerías y cerramientos, 1st ed.* España: Lex Nova, 2005.
- [21] E. Adam, A. Agib, *Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan*. United Nations Educ. Sci. Cult. Organ., France, 2001.
- [22] H. Cañola, C. Echavarría, “Bloques de concreto con aditivos bituminosos para sobrecimiento, Concrete blocks with bitumen emulsion for foundation walls”, *Ing. y Desarro.*, vol. 35, no. 2, pp. 491-512, 2017.
- [23] H. Cañola, A. Builes-jaramillo, C. Medina, G. González-Castañeda, “Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos bitumen emulsion”, *TecnoLógicas*, vol. 21, no. 43, pp. 135-145, 2018, doi: 10.22430/22565337.1061
- [24] H. Cañola, C. Echavarría, “Concrete blocks with paraffin wax,” *Lámpsakos*, no. 17, pp. 14-19, 2017.
- [25] J. Piaia, M. Cheriaf, J. Rocha, N. Mustelier, “Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: Experimental results and numerical simulation”, *Build. Environ.*, vol. 61, pp. 18-26, 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.11.017
- [26] ASTM, *Standard test method for particle - Size analysis of soils*, ASTM D 422, 2007.
- [27] J. Ojeda, *Métodos de microscopía electrónica de barrido en biología, 1st ed.* Cantabria, España: Universidad de Cantabria, 1997.
- [28] *Durabilidad del hormigón. Determinación de agua por capilaridad del hormigón endurecido, Método Fagerlund*, UNE PrUNE 83.982, 2007.
- [29] ASTM, *Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic- cement concretes*, ASTM C 1585-04, 2007.
- [30] RILEM, “Absorption of water by concrete by capillarity”, CPC 11.2, 1982.
- [31] ASTM, *Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, ASTM C 109, 2009.
- [32] ASTM, *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, ASTM C597 – 16, 2018.
- [33] ASTM, *Testing of Brick and Structural Clay Tile*, ASTM C67, 2007.
- [34] J. Lee, T. Shields, H. Ahn, “Performance Evaluation of Seal Coat Materials and Designs”, *JTRP Technical Reports, West Lafayette*, Indiana, 2011, doi: 10.5703/1288284314619
- [35] J. C. Pino, B. Fienco, M. Álvarez, G. Parrales, A. Macías, F. Ponce, *Materiales de la construcción, 1st ed.* Ecuador: Editorial Científica 3Ciencias, 2018.
- [36] C. Zürcher y T. Frank, *Physique du bâtiment: construction et énergie, 1st ed.* Zürich, Alemania: vdf Hochschulvlg, 2014.

[37] H. Cañola, J. Pérez, A. Builes-Jaramillo, “Análisis patológico de la obra mural del maestro Ramón Vásquez en la ciudad de Medellín Colombia”, en *Euro-American Congress REHABEND*, 2016, pp. 693-701.

[38] *ASTM, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*, ASTM C70 – 07, 2013.