

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MORTERO DE CEMENTO POLIMÉRICO
COMO ADHERENTE PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA



JUAN CAMILO HUERTAS JIMÉNEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MORTERO DE CEMENTO POLIMÉRICO
COMO ADHERENTE PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA

JUAN CAMILO HUERTAS JIMÉNEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

M. Sc. BREGY HASSLER CHOQUE JIMENEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. Eduardo GÓNZALEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mis padres que son mi principal fuente de inspiración y mi familia que siempre me brindaron el apoyo necesario en todos los aspectos de mi vida. Mis sinceros agradecimientos a mi director de grado, el ingeniero Bregy Hassler Choque que me brindo su tiempo y conocimiento, que permitió culminar esta investigación.

La universidad Santo Tomás, la facultad de ingeniería civil y su planta docente que me permitió adquirir los conocimientos necesarios en mi formación como profesional. Por último, agradecer a todas las personas que hicieron parte de este proceso formativo.

Contenido

	Pág.
1. Resumen	9
2. Abstract	10
3. Introducción.....	11
4. Formulación del problema.....	12
5. Objetivos	13
5.1. Objetivo general	13
5.2. Objetivos específicos.....	13
6. Justificación.....	14
7. Marco de referencia.....	15
7.1. Marco teórico	15
7.1.1 Mampostería	15
7.1.2 Mortero	16
7.1.3 Mortero polimérico	17
7.1.4 Resina epóxica	17
7.2. Estado del arte	18
7.3. Marco normativo	23
8. Metodología.....	24
8.1. Caracterización de los materiales	25
8.1.1 Unidades de mampostería	25
8.1.2 Agregado granular	27
8.1.3 Mortero de pega	28
8.2. Caracterización de la mampostería	29
8.2.1 Muretes de mampostería	29
8.2.2 Ladrillos cruzados para ensayo de adherencia de mampostería	30
8.3. Resultados experimentales	32
8.3.1 Ensayo de absorción de las unidades de mampostería.....	32
8.3.2 Caracterización de los agregados del mortero	32
8.3.3 Ensayo de compresión de cilindros de mortero	33

8.3.4	Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería	35
8.3.5	Ensayo de resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades	37
8.3.6	Comparativo de costos	39
9.	Análisis de resultados	41
9.1.	Compresión de cilindros de mortero	41
9.2.	Compresión de muretes de mampostería	41
9.3.	Adherencia del mortero con las unidades de mampostería	42
9.4.	Análisis comparativo de costos	42
10.	Conclusiones y trabajos futuros	43
10.1.	Conclusiones	43
10.2.	Trabajos futuros	43
11.	Referencias bibliográficas	45
12.	ANEXOS	47

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Marco normativo.....	23
Tabla 2 Ensayos realizados para caracterización de materiales y mampostería	25
Tabla 3 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero tradicional	36
Tabla 4 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero 1%	36
Tabla 5 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero 3%	36
Tabla 6 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero 5%	37

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Resistencia a la compresión versus porcentaje de resina	19
Figura 2 Resistencia del mortero con diferentes relaciones catalizador/resina	20
Figura 3 Resistencia a la compresión versus % contenido de aglutinante.....	21
Figura 4 Costo respecto al mortero tradicional 1:3 versus contenido % de aglutinante.....	22
Figura 5 Metodología de la investigación.....	24
Figura 6 Dimensiones del mampuesto.....	26
Figura 7 Ensayo de absorción de unidades de mampostería	26
Figura 8 Ensayo de granulometría para agregados.....	27
Figura 9 <i>Mezcla del mortero tradicional</i>	28
Figura 10 <i>Adición de resina epóxica al mortero tradicional</i>	28
Figura 11 <i>Cilindros de mortero con 1, 3 y 5% de resina epóxica</i>	29
Figura 12 Muretes de mampostería	29
Figura 13 Curado de los muretes	30
Figura 14 Muestras de ladrillo cruzados para ensayo de adherencia.....	31
Figura 15 Curado de las muestras para el ensayo de adherencia.....	31
Figura 16 Diseño de los aplicadores de carga.....	32
Figura 17 Curva granulométrica para el agregado del mortero	33
Figura 18 Ensayo de cilindro de mortero.....	34
Figura 19 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero polimérico	34
Figura 20 Ensayo de resistencia de muretes de mampostería a compresión	35
Figura 21 Resultados del ensayo a compresión de muretes de mampostería	37
Figura 22 Ensayo de adherencia por tracción directa	38
Figura 23 Resultados del ensayo de adherencia de ladrillos cruzados por tracción directa	39
Figura 24 Costo del mortero epóxico respecto al costo del mortero tradicional	40

1. Resumen

Esta investigación tuvo como fin evaluar el comportamiento del mortero de pega en unidades de mampostería de arcilla, modificando su composición adicionando resina epóxica, esto permitió cambiar su resistencia a la compresión y la adherencia entre las unidades. La evaluación del mortero se realizó con 4 diferentes mezclas de mortero: mortero tradicional, mortero con resina epóxica en diferentes proporciones, al 1, 3 y 5%. Los ensayos de muretes evaluados a compresión mostraron un aumento de 9.66% en la resistencia a compresión del mortero tradicional contra el mortero epóxico al 3%. Los ensayos de adherencia por tracción directa evidenciaron un aumento del 99.62% de resistencia comparando el mortero tradicional con la mezcla de 5% de resina epóxica.

Palabras Clave: Resina epóxica, mortero, mampostería, adherencia, polímero, compresión.

2. Abstract

The purpose of this research was to evaluate the behavior of the glue mortar in clay masonry units, modifying its composition by adding epoxy resin, this allowed changing its compressive strength and adhesion between the units. The evaluation of the mortar was carried out with 4 different mortar mixtures: traditional mortar, mortar with epoxy resin in different proportions, at 1, 3 and 5%. The tests of low walls evaluated in compression showed an increase of 9.66% in the compressive strength of the traditional mortar against the 3% epoxy mortar. The direct traction adhesion tests showed an increase of 99.62% in resistance comparing the traditional mortar with the 5% epoxy resin mixture.

Key Word- Epoxy resin, mortar, masonry, adhesion, polymer, compression.

3. Introducción

La mampostería tradicional está compuesta por unidades llamadas mampuestos, que pueden ser de diferentes materiales, estas unidades están adheridas por un aglutinante conocido como mortero. Este material tiene una resistencia elevada a la compresión y suele depender principalmente de la resistencia propia de la unidad, la resistencia a la tracción es baja y se rige por la adherencia entre la unidad y el mortero (Gallegos & Casabonne, 2005).

El mortero está compuesto de cemento, agregados y agua, cumple con la función de adherir las unidades y dar estabilidad en el proceso constructivo, al endurecerse le da rigidez a la estructura (Gallegos & Casabonne, 2005). Cuando existen mampuestos con una alta resistencia a la compresión, las fallas pueden ser ocasionadas en las juntas, indicando planos de debilidad en las uniones entre mampuestos (Nazir & Dhanasekar, 2013).

Con el fin de mejorar el comportamiento del mortero, existen investigaciones con mortero polimérico, que consiste en una mezcla tradicional con polímeros como aditivos. Uno de estos polímeros es la resina epóxica, sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, hacen de este un material usado en la construcción para solucionar problemáticas en los materiales (Vié, 1970).

Lo anterior, lleva a iniciar una investigación que evalúe el comportamiento del mortero polimérico como adherente para unidades de mampostería de arcilla.

4. Formulación del problema

La resistencia a la compresión de la mampostería suele estar entre los valores de resistencia de los componentes individuales (Mistler, 2006). Las construcciones con un sistema estructural de mampostería suelen presentar fallas al someterse a esfuerzos de compresión altos, estas fallas se presentan en las uniones de los mampuestos dadas las características del mortero de pega tradicional (Nazir & Dhanasekar, 2013).

Los mampuestos de arcilla presentan una resistencia a la compresión mayor a la que tienen los muretes de mampostería de arcilla, esto refleja que la unión entre el mortero de pega y la unidad representa un plano de debilidad (Choque, 2021).

Para mejorar estas uniones se han realizado algunas investigaciones utilizando un mortero de cemento polimérico de juntas delgadas, que está compuesto de cemento Portland, áridos seleccionados, aditivos y resinas sintéticas, que ofrece mejor resistencia frente a los esfuerzos respecto al mortero de pega tradicional, pero aún la literatura existente no es suficiente para comprender las propiedades de este adherente y su evaluación experimental se ha realizado principalmente en unidades de mampostería de concreto (Thamboo et al., 2013a; Walliman et al., 2008).

¿Cómo se comporta la mampostería estructural con bloque de arcilla unida mediante mortero de cemento polimérico, y será esta la solución para evitar fallas en las uniones de los mampuestos frente a los esfuerzos a compresión?

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento a compresión axial de unidades de mampostería de arcilla adheridas con mortero de cemento polimérico.

5.2. Objetivos específicos

- Identificar bajo qué condiciones de esfuerzos a compresión se produce la falla en mampostería.
- Analizar los resultados obtenidos en la unión de las unidades de mampostería con el mortero de cemento polimérico para verificar el cumplimiento de las estipulaciones requeridas por la NSR-10 título D.
- Comparar la adherencia entre mampuestos con mortero tradicional y mortero de cemento polimérico.
- Definir ventajas y desventajas de la implementación del mortero de cemento polimérico versus el mortero tradicional.

6. Justificación

La mampostería estructural es un método constructivo que consiste en la disposición adecuada de unidades de mampuestos adheridos con mortero, el mortero tradicional tiene un espesor de $\pm 10\text{mm}$ y el mortero de cemento polimérico de junta delgada 1-3mm de espesor. Esta disminución en la cantidad de mortero reduce el tiempo de fraguado y permite que la construcción de muros sea más rápida que utilizando mortero tradicional (Thamboo, 2020).

Con los sistemas de mampostería estructural de mortero de cemento polimérico de junta delgada, se obtienen beneficios estructurales respecto al mortero tradicional y también ofrecen una ventaja económica teniendo en cuenta la reducción del tiempo de fraguado y la simplicidad de los detalles constructivos al alcanzar una mayor resistencia. También es una técnica que es compatible con los ladrillos tradicionales (Thamboo & Dhanasekar, 2015; Walliman et al., 2008).

Para poder aplicar este adherente en Colombia para mampostería estructural, debe cumplir con los requerimientos que se establecen en el título D de la NSR-10. Los morteros de pega deben cumplir con las condiciones mínimas de resistencia a la compresión, de flujo inicial y de retención de agua establecidos en la tabla D.3.4-1.

Con el fin de comprobar que este tipo de mortero cumple con los requerimientos de la norma y presenta una mejora respecto al mortero de pega tradicional en cuanto a costos, tiempos de construcción, adherencia y resistencia a esfuerzos de compresión, se deben realizar ensayos que permitan determinar y comprender las propiedades básicas de la mampostería de arcilla adherida mediante mortero de cemento polimérico de junta delgada. Esta técnica tiene potencial para mejorar la productividad y la calidad de la construcción con mampostería estructural.

7. Marco de referencia

7.1. Marco teórico

7.1.1 Mampostería

La mampostería estructural está formada por unidades individuales unidas entre sí por un material ligante como el mortero. Si se habla de mampostería reforzada, el otro elemento que participa es el acero de refuerzo (Takeuchi, 2013).

Esta técnica constructiva existe desde hace más de 8000 años, fue desarrollada por las civilizaciones para reemplazar las antiguas técnicas que empleaban elementos como la madera, paja y pieles. Esta técnica mejoró la construcción permitiendo estructuras más resistentes y duraderas (Como, 2017).

Inicialmente los mampuestos eran rocas naturales que se les daba forma con herramientas manuales para su posterior colocación. Después se descubrió el potencial del barro y la arcilla como mampuestos, el proceso de secado inicialmente fue al aire y al sol, esto le daba poca fiabilidad al ladrillo. Posteriormente con el desarrollo de los hornos se obtuvieron elementos más resistentes y con la industrialización se consiguió que los ladrillos fueran uniformes y tuvieran un costo competitivo, esta técnica de ladrillos cocidos es ampliamente utilizada en la actualidad (Como, 2017; Takeuchi, 2013).

Las construcciones con un sistema estructural de mampostería tienen tres tipos de unidades de mampuestos según el material del que son elaborados, arcilla cocida (cerámica), concreto y sílico-calcáreas. Estas unidades pueden ser sólidas, de perforación vertical o perforación horizontal según el tipo de refuerzo estructural (Gutiérrez Junco, 2003).

La mampostería estructural es un método constructivo que consiste en que los muros deben soportar las cargas a las que es sometida la estructura y soportar el peso propio. El método de construcción tradicional consiste en pórticos de hormigón armado.

Diferentes autores establecen que la mampostería estructural presenta ventajas económicas al compararla con los sistemas aporticados tradicionales: la mampostería estructural genera un ahorro en materiales, formaleas y en la construcción de placas de entrepiso (Martínez, 2003), el sistema de mampostería estructural es un método más eficiente que el de pórticos de hormigón armado en cuanto a costos, (Callejas, 2018), los costos directos de la mampostería estructural y la huella de carbono son menores al compararlo con el sistema industrializado (García et al., 2016).

La mampostería estructural también presenta algunas desventajas respecto a la construcción con pórticos de hormigón armado: el tiempo de construcción de una edificación es menor en un sistema aporticado siempre que se mantenga el rendimiento ideal (García et al., 2016), otro autor establece que es más económico el sistema de mampostería que el sistema de concreto reforzado, si únicamente se desea construir un número pequeño de viviendas, de lo contrario es más económico el concreto reforzado, si se desean construir viviendas en masa y en serie (Villatoro Morales, 2014).

7.1.2 Mortero

Uno de los elementos más importantes en la construcción con mampuestos es el mortero, que es una pasta manejable y plástica que se utiliza para unir las unidades de mampuestos. El mortero se endurece cuando fragua, lo que resulta en un agregado rígido de la estructura. Los morteros modernos suelen estar hechos de una mezcla de arena, un aglutinante como cemento o cal y agua (Como, 2017). La cantidad de agua debe ser la necesaria para que el mortero tenga buena manejabilidad; la arena en el mortero tiene la función de darle economía a la mezcla al actuar como un relleno que ocupa el mayor volumen y peso (Takeuchi, 2013).

Un mortero a base de cemento portland tiene un buen comportamiento cuando se adiciona una mezcla de cal hidratada, el cemento aumenta la resistencia del mortero y la cal la manejabilidad. Un mortero únicamente en base de cemento portland y arena tiene una buena resistencia a la compresión, pero problemas de plasticidad y manejabilidad. Los morteros con cal tienen un proceso

de fraguado lento, por lo que tienen una baja resistencia inicial pero buena manejabilidad (Takeuchi, 2013).

7.1.3 Mortero polimérico

La introducción de polímeros a la composición del mortero mejora sus propiedades intrínsecas, afecta su resistencia a agentes corrosivos, mejora su adherencia, sus características mecánicas, entre otros. Esta mejora hace de los morteros modificados con polímeros un material adecuado tanto para elementos estructurales como no estructurales (Mostafizur Rahman & Akhtarul Islam, 2012).

El mortero polimérico se desarrolló por primera vez alrededor del año 1950 y se hizo conocido en 1970, gracias a su gran utilidad en proyectos de construcción, para pisos, reparación de grietas de estructuras de concreto con afectaciones, unión de cemento endurecido con cemento fresco, pavimentos (juntas frías), tuberías de alcantarillado, contenedores de desechos peligrosos, etc. (Maherzi et al., 2019).

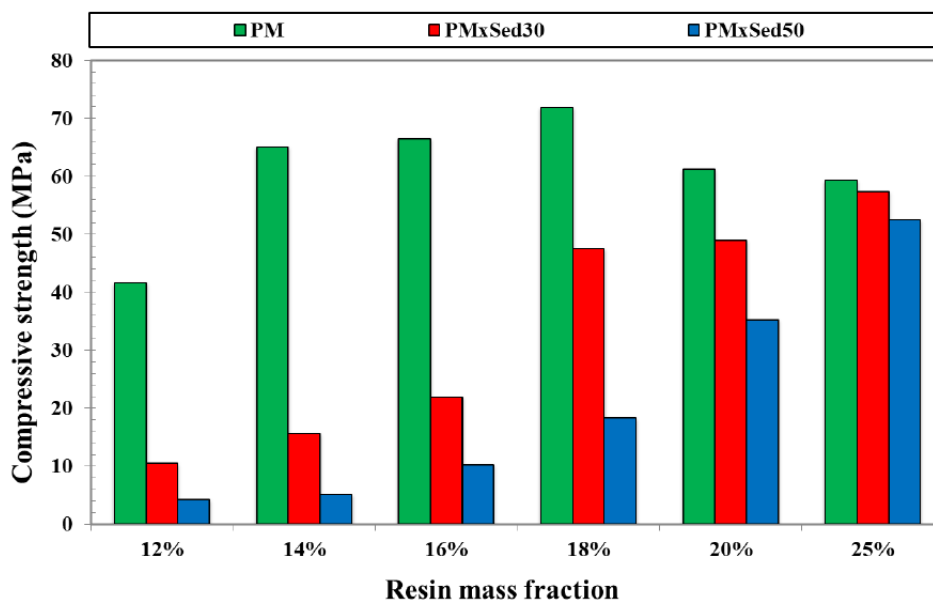
7.1.4 Resina epóxica

La resina epóxica es uno de los polímeros más utilizados para solucionar problemáticas con los materiales en la construcción y es el aditivo para los morteros de junta delgada, se obtienen por reacción de la epíclorhidrina sobre los bifenoles y son endurecidas por reacción de poli-adición con un endurecedor, cuyas dos grandes familias son las poliamidas alifáticas y los anhídridos carboxílicos. Estas resinas tienen unas propiedades físicas y químicas muy destacables como: Resistencia química alta (solo ácidos concentrados pueden afectar parcialmente), poder anticorrosivo elevado, insensibilidad a los ciclos de hielo-deshielo, insensibilidad a las variaciones térmicas, alto poder adhesivo en todos los materiales de construcción (Madera, hormigón, acero, etc.), alta resistividad eléctrica, resistencia elevada al desgaste y la abrasión. Las características

mecánicas de este polímero son mejores incluso que las del hormigón, de 2 a 3 veces más resistente a la compresión simple (900-1200 bares) y a la flexión 8-10 veces (400-800 bares) (Vié, 1970).

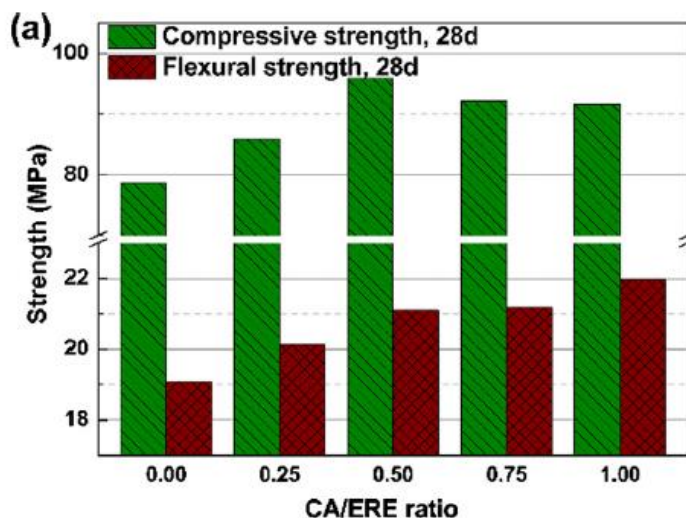
7.2. Estado del arte

En la universidad de Lille (Francia) se realizó un estudio en donde se evaluaba la resistencia del mortero polimérico por medio de ensayos de compresión no confinada (muestras 40x40x160mm), en estos ensayos se utilizaron diferentes cantidades de resina 12,14,16,18,20 y 25%, el mortero estaba compuesto de resina epóxica y arena. En la figura 1 se puede apreciar que la resistencia a la compresión se incrementa cuando la presencia de resina corresponde entre el 12 y 18% del mortero, pero cuando la presencia de resina en el mortero supera el 18%, la resistencia a la compresión disminuye progresivamente. Esto se explica gracias a la saturación de resina epóxica que disminuye la interacción intergranular y afecta las propiedades mecánicas del mortero. El estudio concluye con que en presencia del 18% de resina epóxica el mortero adquiere sus mejores propiedades (Maherzi et al., 2019).

Figura 1 Resistencia a la compresión versus porcentaje de resina

Nota: Resistencia a la compresión de mortero con diferentes tipos de agregados granulares versus el porcentaje de masa de la resina por (Maherzi et al., 2019).

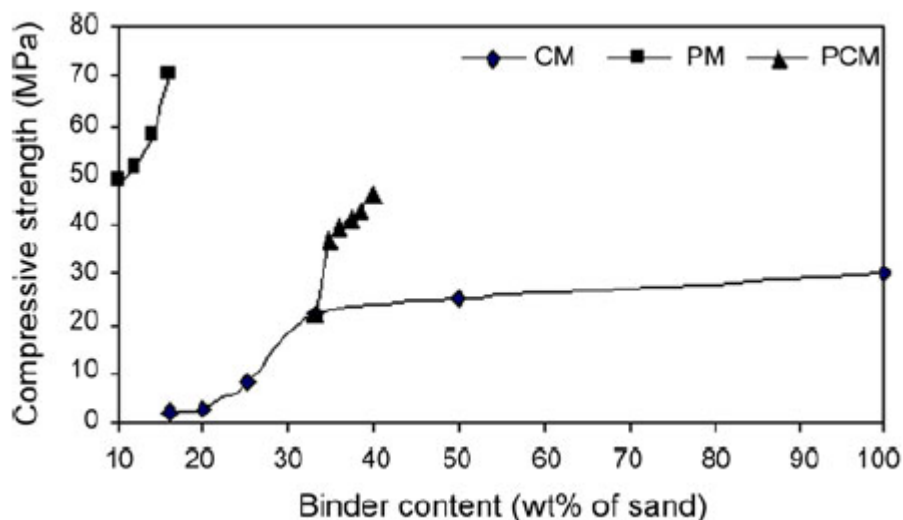
En la Universidad Suroeste de Ciencia y Tecnología en Mianyang (China) se realizaron ensayos de compresión no confinada (muestras 40x40x160mm), para conocer cuál era la relación catalizador/resina óptima en una mezcla de mortero, con el fin de realizar reparaciones en estructuras de concreto con una necesidad de 75MPa de resistencia a la compresión. Obtuvieron que la relación catalizador/resina de 0.5 presentaba la máxima resistencia a la compresión entre los ensayos realizados (95.9 MPa). Concluyen que la relación 0.5 entre el catalizador y la resina cumple con lo requerido y es la que presenta mejor resistencia a la compresión (ver figura 2) cuando la mezcla no tiene presencia de catalizador la resina se presenta como partículas esféricas y no tiene función adherente (Zheng et al., 2018).

Figura 2 Resistencia del mortero con diferentes relaciones catalizador/resina

Nota: Resistencia del cemento modificado con resina epóxica con diferentes relaciones catalizador/resina por (Zheng *et al.*, 2018).

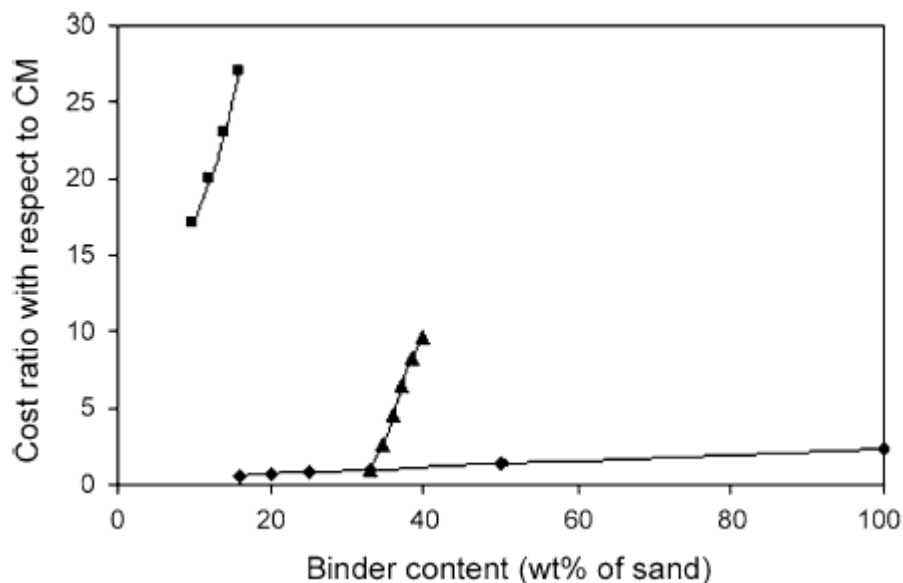
En el instituto petroquímico y de polímeros de Irán se llevó a cabo un estudio acerca de las propiedades de tres tipos de morteros para mampostería: mortero con cemento portland (tradicional), mortero de cemento polimérico (tradicional y resina) y mortero polimérico (arena y resina). El objetivo del estudio es modificar los porcentajes de aglutinante (cemento o resina epóxica), que es el factor determinante de las propiedades del mortero. Para realizar los ensayos de resistencia a la compresión, realizaron especímenes cúbicos de 50.8mm (Mostafizur Rahman & Akhtarul Islam, 2012).

En el mortero tradicional se modificó la relación arena cemento, hasta llegar a un mortero con una composición del 100% de cemento portland. Para el mortero de cemento polimérico la base fue una relación cemento-arena de 1:3 y la resina epóxica en un rango de 0-7%. Las muestras de mortero polimérico entre 10-16% de resina epóxica (Mostafizur Rahman & Akhtarul Islam, 2012).

Figura 3 Resistencia a la compresión versus % contenido de aglutinante

Nota: Resistencia a los esfuerzos de compresión versus el porcentaje de contenido de aglutinante, el aglutinante para mortero tradicional (CM) es cemento, para el mortero polimérico (PM) es resina epóxica y para el mortero de cemento polimérico (PCM) es cemento con resina epóxica (*Mostafizur Rahman & Akhtarul Islam, 2012*).

Concluye que la adición de resina epóxica a los morteros de cemento mejoró la resistencia a la compresión, las tasas generales de aumento de la resistencia a la compresión de CM, PCM y PM son 0,12 MPa/% en peso de cemento Portland, 3,4 MPa/% en peso de epoxi y 3,51 MPa/% en peso de epoxi, respectivamente. Teniendo en cuenta los costos y los valores de resistencia (Ver figura 4) a la compresión obtenidos se establece que el PM es apto para aplicaciones especiales. Para realizar una conclusión para el uso de PCM hacen falta más estudios que abarquen propiedades mecánicas, físicas y químicas.

Figura 4 Costo respecto al mortero tradicional 1:3 versus contenido % de aglutinante

Nota: Costos realizados respecto a 1m^3 de mortero tradicional con relación 1:3 cemento-arena, versus el % de aglutinante contenido para cada tipo de mortero estudiado, CM (diamantes), PCM (triángulos), PM (cuadrados) (Mostafizur Rahman & Akhtarul Islam, 2012).

Un investigador del centro técnico para el desarrollo de los materiales de construcción (Cuba) realizó un estudio para determinar la adherencia que puede alcanzar un mortero a los 28 días, este estudio se realizó con diferentes tipos de cemento, arenas y agregados. El objetivo del estudio era determinar en qué valores oscila la resistencia a la adherencia de los morteros que se usan comúnmente en construcción. Los materiales utilizados para las pruebas fueron: cemento (portland, portland puzolánico, puzolánico, portland y caliza), arenas (mar, artificial y lavada), agregados (cal, polvo de piedra y recebo). Los resultados obtenidos para la mezcla tradicional de cemento portland y arena oscilaron entre 0.2-0.5 MPa, variando entre el contenido de arena, más proporción de arena significa menos adherencia y al usar arena artificial de grano más grueso se observó un aumento en la adherencia (Cabrera, 1995).

7.3. Marco normativo

Este proyecto se rigió por las normas técnicas colombianas (NTC) elaboradas por el instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC) que es el organismo nacional de normalización en Colombia, las NTC abarcan una gran cantidad de procesos incluidos los constructivos.

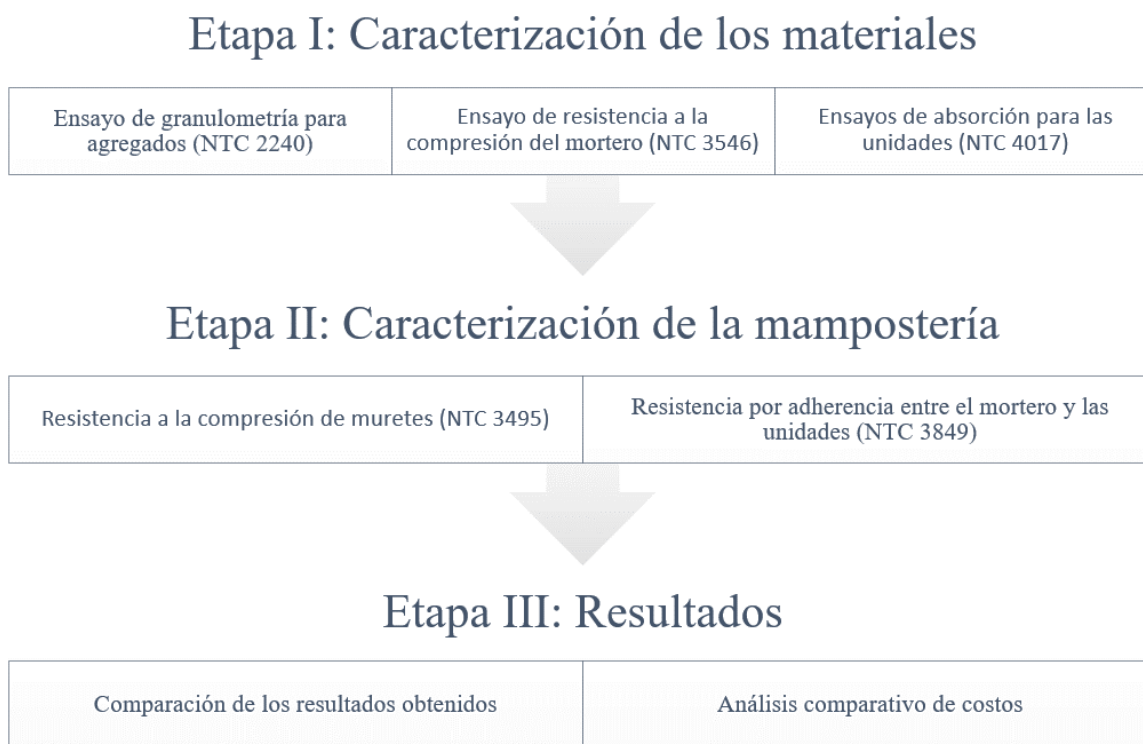
Tabla 1 *Marco normativo*

Norma	Nombre	Ensayo
NTC-4017	Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla	Absorción para las unidades de mampostería
NTC-2240	Agregado para mortero de mampostería	Granulometría para agregados
NTC-3546	Métodos de ensayo para la evaluación previa y durante la construcción, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada	Procedimiento para el moldeado de cilindros para ensayo de resistencia a la compresión
NTC-4205	Unidades de mampostería de arcilla	Establece las condiciones que deben cumplir las unidades de mampostería
NTC-3495	Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería	Resistencia a la compresión para muretes de mampostería
NTC-3849	Método de ensayo para determinar la resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería	Adherencia entre el mortero y mampostería

8. Metodología

Para dar desarrollo a esta investigación se inició con la caracterización individual de cada uno de los materiales necesarios para la elaboración del mortero polimérico, los muretes de mampostería y ladrillos cruzados. La siguiente etapa fue la caracterización de mampostería con el ensayo de compresión para los muretes y el ensayo de adherencia para los ladrillos cruzados. La última etapa comprendió el análisis de los resultados de los ensayos y un análisis comparativo entre los costos de los morteros evaluados en esta investigación.

Figura 5 Metodología de la investigación

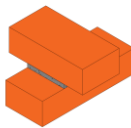


Nota: Descripción de las etapas experimentales de la investigación

8.1. Caracterización de los materiales

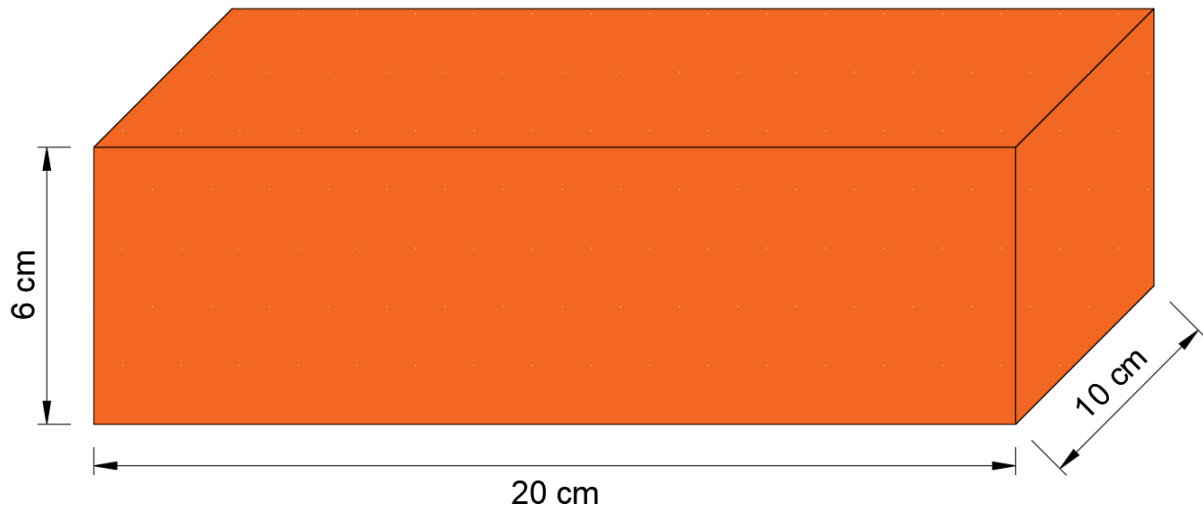
Para la evaluación de los muretes y ladrillos cruzados se utilizaron los lineamientos para la realización de ensayos que se especifican en las normas técnicas colombianas y en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente en su título D que hace referencia a la mampostería estructural.

Tabla 2 *Ensayos realizados para caracterización de materiales y mampostería*

Ensayo	Normatividad	Número de ensayos	Número de ladrillos	Esquema
Absorción para las unidades	NTC-4017	5	5	
Granulometría para agregados	NTC-2240	5	-	-
Resistencia a la compresión del mortero	NTC-3546	16	-	
Resistencia a la compresión de muretes	NTC-3495	16	64	
Resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades	NTC-3849	16	32	

8.1.1 Unidades de mampostería

Para los ensayos se utilizaron unidades de arcilla maciza (tolete), unidades de dimensiones como en la *Figura 6*. Para conocer la absorción de agua (NTC-4017), primero se debe determinar la masa de las 5 unidades que fueron objeto de estudio, lo que requiere secarlas durante 24 horas en un horno a 110°C. Luego de registrar los valores de la masa seca, se debe realizar un ensayo de inmersión durante 24 horas.

Figura 6 Dimensiones del mampuesto**Figura 7** Ensayo de absorción de unidades de mampostería

Nota: De izquierda a derecha, secado de unidades de mampostería, proceso de inmersión y determinación de la masa. Fotografías tomadas por autor.

8.1.2 Agregado granular

El agregado granular utilizado para fabricar el mortero fue arena de peña extraída de la arenera de la vereda Vanguardia de Villavicencio. Para conocer su granulometría se realizó el procedimiento de acuerdo a los lineamientos de la NTC-1522, tomando 5 muestras de 1000 gramos.

Figura 8 Ensayo de granulometría para agregados



Nota: De izquierda a derecha, secado del agregado y tamizado en máquina. Fotografías tomadas por autor.

8.1.3 Mortero de pega

El mortero de pega tuvo una dosificación 1:2 (cemento:arena). Se realizaron muestras para ensayar a los 28 días, el mortero modificado tuvo porcentajes de resina de 1,3 y 5% de la masa. Las muestras fueron realizadas en mediante cilindros 4''x 8'' (100x200mm). El ensayo siguió los lineamientos establecidos en la NTC-3546.

Figura 9 Mezcla del mortero tradicional



Nota: Fotografía tomada por autor.

Figura 10 Adición de resina epóxica al mortero tradicional



Nota: Fotografía tomada por autor.

Figura 11 Cilindros de mortero con 1, 3 y 5% de resina epóxica



Nota: Fotografía tomada por autor.

8.2. Caracterización de la mampostería

8.2.1 Muretes de mampostería

Se construyeron 3 muretes por cada variación del mortero polimérico (0, 1, 3, 5%), cada murete compuesto de 4 ladrillos macizos (toletes). Los muretes de dimensiones 200x100x265mm (largo x ancho x alto) fueron construidos bajo las especificaciones de la NTC-3495 y fueron ensayados a la edad de 28 días.

Figura 12 Muretes de mampostería



Nota: Fotografía tomada por autor.

Figura 13 *Curado de los muretes*



Nota: Fotografía tomada por autor.

8.2.2 *Ladrillos cruzados para ensayo de adherencia de mampostería*

Se construyeron 3 muestras para cada variación del mortero, la construcción de las muestras se rigió bajo las especificaciones de la NTC-3849, el fin de este ensayo es evaluar la adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería por tracción directa en una máquina universal, las muestras fueron ensayadas a una edad de 28 días. Para este ensayo se requiere una máquina de ensayo a compresión y unos aplicadores de carga que deben ser contruidos con medidas compatibles con el tipo de unidades a ensayar.

Figura 14 *Muestras de ladrillo cruzados para ensayo de adherencia*

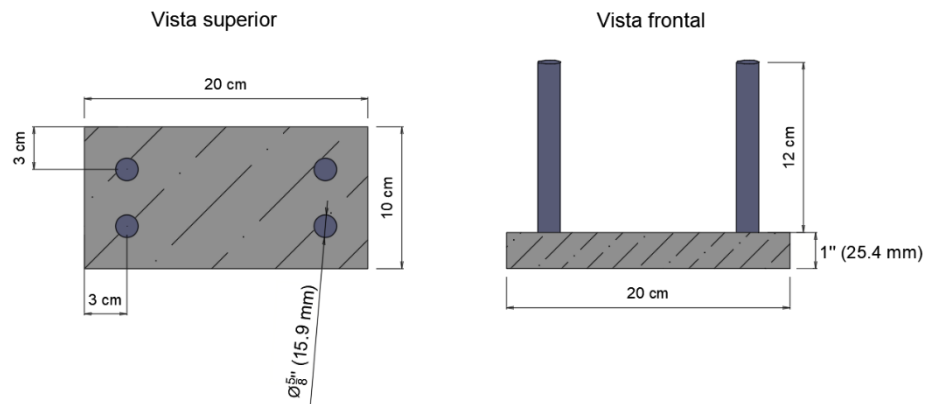


Nota: Fotografía tomada por autor.

Figura 15 *Curado de las muestras para el ensayo de adherencia*



Nota: Fotografía tomada por autor.

Figura 16 *Diseño de los aplicadores de carga*

8.3. Resultados experimentales

8.3.1 Ensayo de absorción de las unidades de mampostería

Se realizó el cálculo de la absorción en cada espécimen con el procedimiento establecido en la NTC-4017:

$$\% \text{absorción} = \frac{100 \times (W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

Donde:

W_s = Masa seca del espécimen antes de inmersión.

W_{ss} = Masa del espécimen saturado por inmersión durante 24 horas.

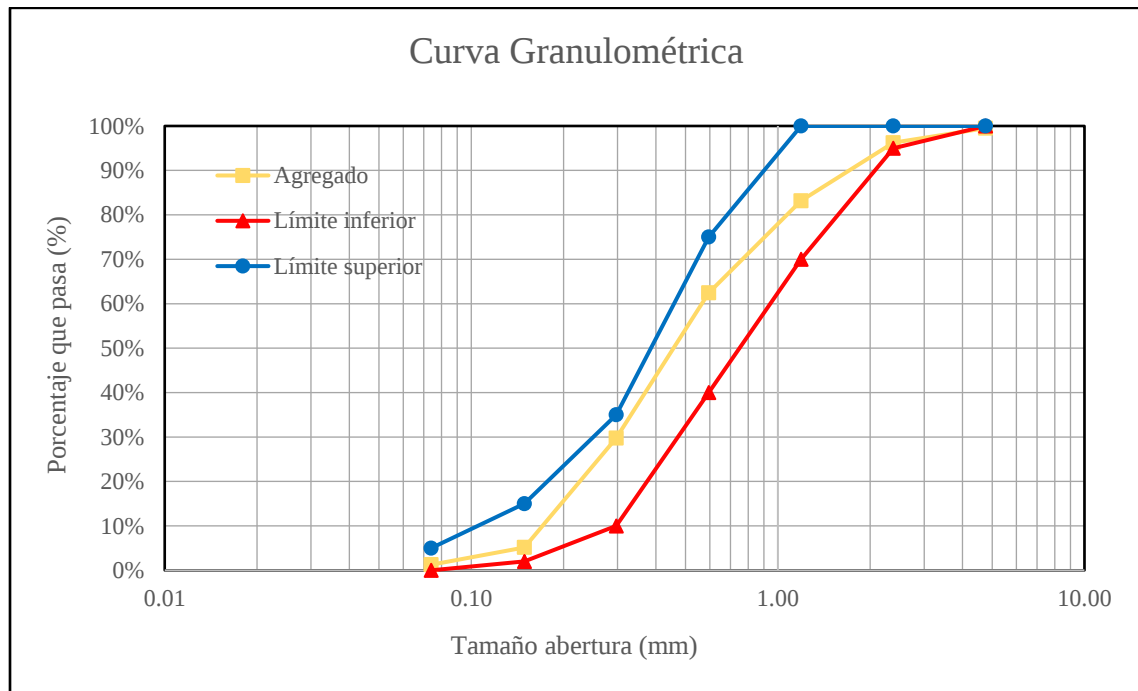
El promedio de absorción fue de 13.3% y el máximo obtenido fue de 14.4%, estos valores se encuentran entre el rango especificado en la NTC-4205.

8.3.2 Caracterización de los agregados del mortero

Los resultados de la caracterización de los agregados (arena), indica que esta cumple con los límites inferiores y superiores establecidos en la NTC-2240 para los agregados de mortero para

mampostería según la curva granulométrica, construida a partir del porcentaje de agregado que pasa por cada malla durante el tamizado.

Figura 17 Curva granulométrica para el agregado del mortero

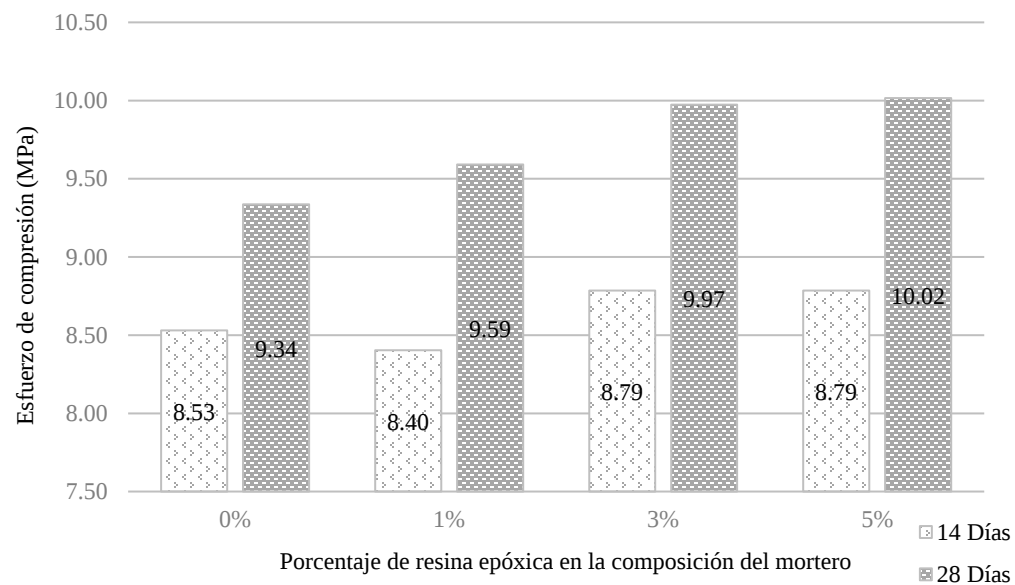


8.3.3 Ensayo de compresión de cilindros de mortero

Los ensayos para la compresión de cilindros de mortero fueron realizados a los 28 días de edad del mortero, en cilindros de 4"x8" (100x200mm), se realizaron 3 especímenes para cada tipo de mortero, la sección transversal de los cilindros es de 7854 mm^2 .

Figura 18 *Ensayo de cilindro de mortero*

Nota: Fotografía tomada por autor.

Figura 19 *Resultados de ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero polimérico*

8.3.4 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería

Los muretes ensayados tenían una longitud de 200 milímetros, 100 milímetros de espesor y un área transversal de 20000 milímetros cuadrados. Los tipos de mortero de pega utilizados fueron los mismos ensayados en los cilindros de mortero, las unidades utilizadas fueron de arcilla maciza (toletes) descritas en el ensayo de absorción. Los muretes fueron ensayados a los 28 días de edad.

Figura 20 Ensayo de resistencia de muretes de mampostería a compresión



Nota: Los muretes presentaron fallas de tipo frágil, se puede apreciar la falla perpendicular al esfuerzo aplicado. Fotografía tomada por autor.

Tabla 3 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero tradicional**Muretes 0% de resina epóxica**

Muestra	Altura	a_m/e_m	Carga máxima	Esfuerzo a compresión
	mm		KN	MPa
1	276	2.76	407.0	20.35
2	279	2.79	450.0	22.50
3	279	2.79	323.0	16.15
			Promedio	19.67

Tabla 4 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero 1%**Muretes 1% de resina epóxica**

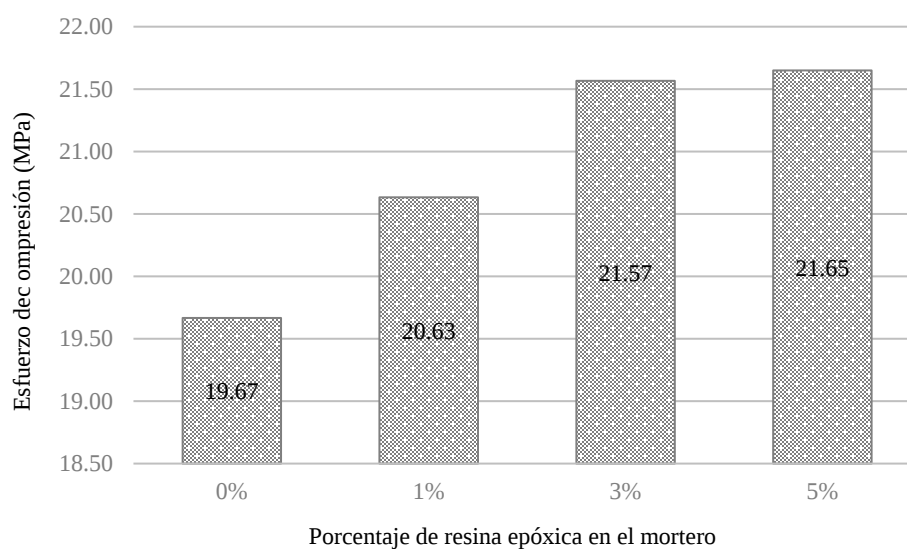
Muestra	Altura	a_m/e_m	Carga máxima	Esfuerzo a compresión
	mm		KN	MPa
1	262	2.62	450.0	22.50
2	268	2.68	415.0	20.75
3	268	2.68	373.0	18.65
			Promedio	20.63

Tabla 5 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero 3%**Muretes 3% de resina epóxica**

Muestra	Altura	a_m/e_m	Carga máxima	Esfuerzo a compresión
	mm		KN	MPa
1	262	2.62	380.0	19.00
2	272	2.72	451.0	22.55
3	264	2.64	463.0	23.15
			Promedio	21.57

Tabla 6 Ensayo de resistencia a la compresión de muretes de mampostería con mortero 5%**Muretes 5% de resina epóxica**

Muestra	Altura	a_m/e_m	Carga máxima	Esfuerzo a compresión
	mm		KN	MPa
1	259	2.59	435.0	21.75
2	263	2.63	462.0	23.10
3	264	2.64	402.0	20.10
Promedio				21.65

Figura 21 Resultados del ensayo a compresión de muretes de mampostería**8.3.5 Ensayo de resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades**

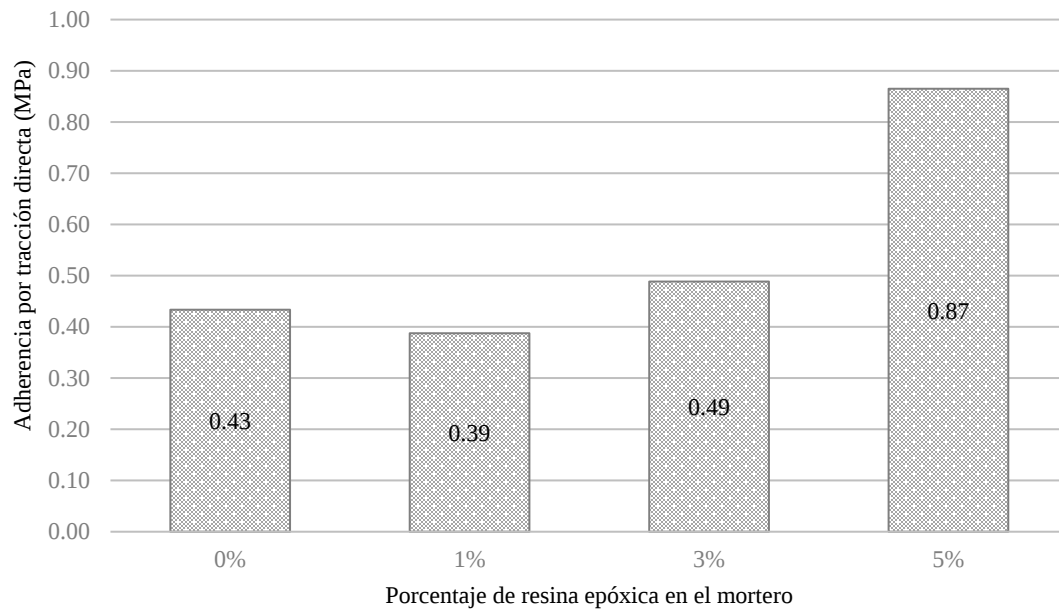
Este ensayo se llevó a cabo en una máquina multiensayos triaxial “master load”, que permite medir las deformaciones en las muestras y los esfuerzos con más precisión, esta máquina es posible usarla gracias a que las fuerzas de rotura son pequeñas. El valor de la adherencia es calculado al

dividir la carga máxima entre el área de contacto, el área de contacto fue 10000 milímetros cuadrados.

Figura 22 *Ensayo de adherencia por tracción directa*

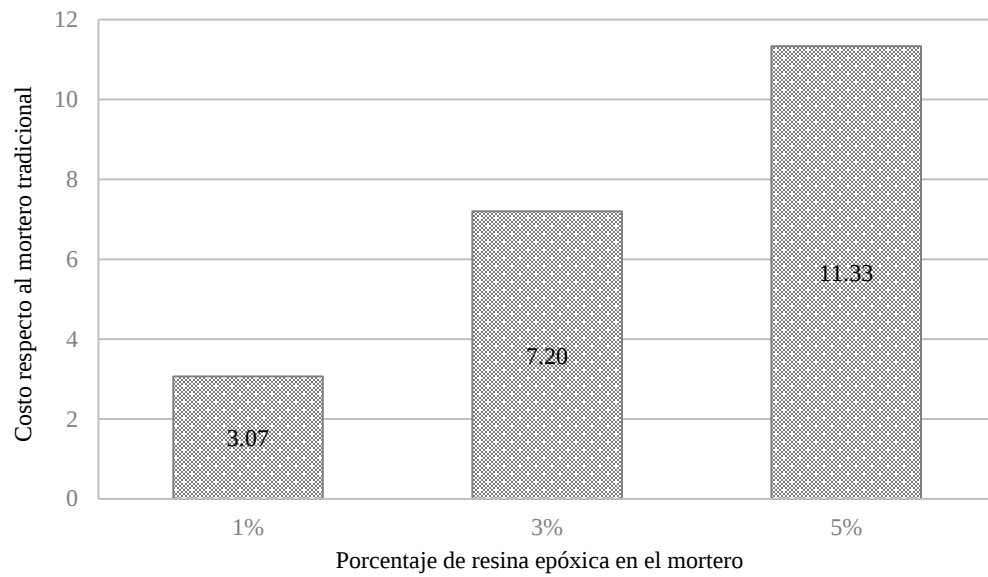


Nota: Fotografía tomada por autor.

Figura 23 Resultados del ensayo de adherencia de ladrillos cruzados por tracción directa

8.3.6 Comparativo de costos

La comparación entre los costos de los diferentes tipos de mortero evaluados se realizó con el valor de los materiales en la ciudad de Villavicencio.

Figura 24 *Costo del mortero epóxico respecto al costo del mortero tradicional*

Nota: La comparación se realiza respecto al costo del metro cúbico de mortero tradicional en proporción 1:2 (cemento:arena).

9. Análisis de resultados

9.1. Compresión de cilindros de mortero

Se pudo apreciar que la resistencia a los esfuerzos de compresión de los cilindros de mortero fue incrementando con la adición de resina epóxica en la mezcla, se observó que no hay un cambio significativo (0.43%) en la resistencia del mortero cuando tiene una presencia entre el 3% y 5% de resina epóxica en la mezcla. Esto indica que el porcentaje de resina epóxica requerido para aumentar la resistencia a la compresión es el 3%.

El aumento de la resistencia a la compresión entre un mortero tradicional 1:2 (cemento:arena) y un mortero epóxico al 3% es de 6.81%.

9.2. Compresión de muretes de mampostería

Con los resultados de este ensayo se pudo observar que la resistencia a la compresión de los muretes de mampostería aumentaba junto con la presencia de resina epóxica en la composición del mortero de pega. Estos resultados tienen concordancia con el ensayo de cilindros a compresión considerando que el mortero presenta una mayor resistencia a la compresión con mayor resina epóxica.

Este aumento de resistencia con el mortero polimérico es signo de que la pega en los muretes representa un plano de debilidad. Los muretes con una composición de mortero de pega del 3% de resina epóxica presentan mejor rendimiento, considerando el aumento de 9.66% de resistencia respecto a los muretes con mortero tradicional. Los muretes con mortero polimérico al 5% no presentan una mejora considerable (0.39%) respecto a los del 3%, lo que presenta similitud con los resultados obtenidos en los ensayos de cilindros.

9.3. Adherencia del mortero con las unidades de mampostería

Cuando se compara los resultados obtenidos entre los diferentes porcentajes de resina epóxica en el mortero de pega y los ladrillos cruzados, se evidencia un aumento significativo entre la adherencia de las unidades con mortero de pega tradicional y mortero de pega al 5% de resina epóxica, las otras variaciones del mortero no presentan una diferencia importante respecto al mortero tradicional.

El aumento de 99.62% en el valor de la adherencia entre el mortero tradicional y al 5% es un resultado importante considerando que la adherencia es el principal objetivo del mortero de pega incluso por encima de la resistencia a la compresión (Gallegos & Casabonne, 2005) .

9.4. Análisis comparativo de costos

Se observa que el aumento de costo entre el mortero tradicional aumenta de manera considerable con el uso de la resina epóxica en su composición, la composición del 3% de resina que muestra un mejor desempeño para la resistencia a la compresión, presenta un aumento de 7.2 veces el valor de un metro cúbico de mortero, por lo que su uso debe tener algunas consideraciones especiales.

10. Conclusiones y trabajos futuros

10.1. Conclusiones

El mortero polimérico presenta una mayor resistencia a la compresión respecto al mortero tradicional cuando es evaluado en muretes de mampostería, presentando una mejora de 9.66% en la resistencia de esfuerzos a compresión (Figura 21). Esta muestra una de las ventajas de adicionar resina epóxica al mortero, mejorando sus propiedades mecánicas.

El mortero con resina epóxica al 5% mejora la adherencia entre la unidad de mampostería y el mortero de pega un 99.62%, mejorando el comportamiento del mortero en su función primordial que es adherir las unidades (Figura 23).

Los resultados muestran que una adición de resina epóxica en la mezcla de mortero de 1% o menor, no presenta una mejora considerable en la resistencia a la compresión tanto de cilindros como muretes de mampostería y tampoco mejora la capacidad de adherencia del mortero tradicional.

El uso de resina epóxica en la mezcla de mortero aumenta 7.2 veces el valor del mortero cuando es 3% de resina y 11.3 veces cuando es 5% (Figura 24). El incremento de costos es muy elevado por lo que el uso de este aditivo en mezclas de mortero debe ser para usos especiales, teniendo en cuenta las propiedades químicas y físicas de la resina.

El ensayo de adherencia debe realizarse cuidadosamente, los valores que alcanza la adherencia son bajos y debe ser ensayado en una máquina que tenga una precisión alta en el momento de medir la carga máxima.

10.2. Trabajos futuros

Realizar ensayos de compresión y tensión diagonal en muros de mampostería permitirá evaluar cómo puede influir el incremento de la adherencia en el tipo de falla que presente el muro.

El uso de mortero con resina epóxica presento resultados importantes en cuanto a la adherencia, evaluar otras propiedades como la resistencia a la corrosión y resistencia a la abrasión permitirá encontrar otras posibles ventajas del uso de este polímero.

Evaluar la adherencia a mayores edades del mortero permitirá conocer cómo se comporta este valor a través del tiempo y si no decrece con el tiempo.

11. Referencias bibliográficas

- Cabrera, J. L. (1995). La adherencia en los morteros de albañilería. *Materiales de construcción*, 45(240), 47-52. <https://doi.org/10.3989/mc.1995.v45.i240.546>
- Callejas, F. M. (2018). Análisis comparativo de costos y tiempo para la construcción de un bloque de casas de vivienda social utilizando el método de construcción tradicional y el método de mampostería estructural. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/16148>
- Choque, B. H. (2021). Comportamiento estructural de muros en mampostería postensada en bloque de arcilla. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80424>
- Como, M. (2017). *Statics of historic masonry constructions* (Tercera ed.). (M. Frémond, & F. Maceri, Edits.) Roma, Italia: Department of Civil Engineering University of Rome. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54738-1>
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural*. Pontificia universidad católica de Perú. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/181453>
- García, J. D., Stand, F., Gómez, A., & Nuñez, F. A. (2016). *Comparison of main structural systems for affordable housing in Colombia, from a sustainable perspective, using BIM: case study in Soacha*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/19639>
- Gutiérrez Junco, O. J. (2003). Mampostería estructural. Colombia: [Tesis de Maestría, Universidad de Los Andes]. Repositorio. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/10025>
- Maherzi, W., Ennahal, I., Benzerzour, M., Mamindy-Pajany, Y., & Abriak, N.-E. (2019). Study of the polymer mortar based on dredged sediments and epoxy resin: Effect of the sediments on the behavior of the polymer mortar. *Powder Technology*(14871). <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.104>
- Martínez, M. P. (2003). *Análisis comparativo técnico y económico entre una estructura en pórticos de concreto reforzado y otra en mampostería estructurada, aplicados a un edificio VIS*. [Trabajo de grado, Universidad de Los Andes]. Repositorio. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/15646>

- Mistler, M. (2006). Verformungsbasiertes seismisches Bemessungskonzept für Mauerwerksbauten. Alemania: Rheinisch-Westfälische.
- Mostafizur Rahman, M., & Akhtarul Islam, M. (2012). Effect of epoxy resin on the intrinsic properties of masonry mortars. *Iran Polym J*, 21, 621-629. <https://doi.org/10.1007/s13726012-0065-7>
- Nazir, S., & Dhanasekar, M. (2013). Modelling the failure of thin layered mortar joints in masonry. *Engineering Structures*, 615-627. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.12.017>
- Takeuchi, C. P. (2013). *Diseño de vigas y muros en mampostería reforzada*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://elibro.net/es/ereader/usta/127955?page=25>.
- Thamboo, J. A. (2020). Material characterisation of thin layer mortared clay masonry. *Construction and Building Materials*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116932>
- Thamboo, J. A., & Dhanasekar, M. (2015). Characterisation of thin layer polymer cement mortared concrete masonry bond. *Construction and Building Materials*, 82, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.098>
- Thamboo, J. A., Dhanasekar, M., & Yan, C. (2013a). Effects of joint thickness, adhesion and web shells to the face shell bedded concrete masonry loaded in compression. *Australian Journal of Structural Engineering*, 14(3). <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.7158/13287982.2013.11465139?scroll=top&needAccess=true&role=tab>
- Vié, G. (1970). Interesantes aplicaciones de las resinas sintéticas en obras de ingeniería civil. *Informes de la Construcción*, 23(226), 77-85. <https://doi.org/10.3989/ic.1970.v23.i226>
- Villatoro Morales, J. C. (Junio de 2014). Comparación de calidad entre una construcción de mampostería vs concreto reforzado en viviendas unifamiliares. [Trabajo de grado, Universidad San Carlos de Guatemala]. Repositorio. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Walliman, N., Baiche, B., & Ogden, R. (2008). Thin-joint glued brickwork: Building in the British context. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1081-1092. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.008>
- Zheng, Z., Li, Y., He, S., Ma, X., Zhu, X., & Li, S. (2018). High density and high strength cementbased mortar by modification with epoxy resin emulsion. *Construction and Building Materials*, 197, 319-330. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.167>

12. Anexos

A continuación, encontrará la lista de anexos que contienen información relevante que complementan los resultados de esta investigación.

ANEXO 1 Caracterización de los materiales

ANEXO 2 Caracterización de la mampostería