



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
VINCULACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO

“Reutilización de residuos de ladrillos provenientes de construcción de edificaciones en la ciudad de Riobamba, en la elaboración de mortero de enlucidos para reducir las patologías de humedad”

Trabajo de titulación para optar al título de Magíster en: Ingeniería Civil
con mención en Gestión de la Construcción

AUTOR:

Villagomez Vacacela, José Alberto

TUTOR:

Ing. Pazmiño Chiluzza, Hernán Vladimir Mgs.

Riobamba, Ecuador. 2025



DECLARATORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA

De mi consideración:

Yo, **Jose Alberto Villagomez Vacacela**, con número único de identificación No. **060379168-2**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: **“Reutilización de residuos de ladrillos provenientes de construcción de edificaciones en la ciudad de Riobamba, en la elaboración de mortero de enlucidos para reducir las patologías de humedad”**. Previo a la obtención del grado de: Magíster en ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido Trabajo de Titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 15 de junio de 2025

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
JOSE ALBERTO
VILLAGOMEZ VACACELA
Validar únicamente con FirmADO

Ing. Jose Alberto Villagomez Vacacela

N.U.I. 060379168-2



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En la ciudad de Riobamba, a los 28 días del mes de mayo del año 2025, los miembros del tribunal designado por la Comisión de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo, reunidos con propósito de analizar y evaluar el Trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de Titulación con componente investigación aplicada y/o desarrollo, CERTIFICAMOS lo siguiente:

Que, una vez revisado el trabajo titulado: "**REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE LADRILLOS PROVENIENTES DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, EN LA ELABORACIÓN DE MORTERO DE ENLUCIDOS PARA REDUCIR LAS PATOLOGÍAS DE HUMEDAD**", perteneciente a la línea de investigación: **Ingeniería, Construcción, Industria y Producción**, presentado por el maestrante **Villagomez Vacacela Jose Alberto**, portador de la cédula de identidad No. 0603791682, estudiante del programa de **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción**, se ha verificado que dicho trabajo cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo cuanto podemos certificar, en honor a la verdad y para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
HERNÁN VLADIMIR
PAZMIÑO CHILUIZA
Validar únicamente con FirmaEE

Ing. Hernán
Vladimir Pazmiño
Chiluiza Mgs.

TUTOR



Firmado electrónicamente por:
KARINA ELIZABETH
CAJAMARCA DACTO
Validar únicamente con FirmaEE

Arq. Karina
Cajamarca Dacto
Mgs.

**MIEMBRO DEL
TRIBUNAL 1**



Firmado electrónicamente por:
CARLOS SEBASTIÁN
SALDANA GARCÍA
Validar únicamente con FirmaEE

Ing. Carlos Saldaña
García Mgs.

**MIEMBRO DEL
TRIBUNAL 2**



Riobamba, 16 de junio de 2025

CERTIFICADO DE CONTENIDO DE SIMILITUD

De mi consideración:

Yo **Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza**, certifico que **Jose Alberto Villagomez Vacacela** con cédula de identidad No. **060379168-2** estudiante del programa de **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción**, cohorte Tercera (2023-2024), presentó su trabajo de titulación bajo la modalidad de Proyecto de titulación con componente de investigación aplicada/desarrollo denominado: **REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE LADRILLOS PROVENIENTES DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, EN LA ELABORACIÓN DE MORTERO DE ENLUCIDOS PARA REDUCIR LAS PATOLOGÍAS DE HUMEDAD**, el mismo que fue sometido al sistema de verificación de similitud de contenido COMPILATION identificando el porcentaje de similitud **1%** en el texto y el porcentaje de similitud **5%** en inteligencia artificial.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs.

CI: 060312346-4

Adj.-

Resultado del análisis de similitud (Compilation)

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación primeramente lo dedico a Dios por siempre bendecirme y guiarme en cada paso que di en la Maestría impartida en la Unidad de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo, en segundo lugar, dedico a mis padres, abuelitos, hermana y sobrina por la comprensión, apoyo incondicional, amor, cariño que me han brindado durante el tiempo que curse la Maestría y la realización de la Tesis.

También dedico a mi abuelita Luz América Goyes y a mi abuelito Alfonso Vacacela por darme siempre sus bendiciones y cuidados y que confiaron que iba a lograr los objetivos que ellos tanto anhelaban.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios ya que sin él no hubiera podido cumplir este sueño tan anhelado.

Doy gracias a mi madre Rita, hermana Carolina, a mi apreciada sobrina Carito, a mi tía Paty y a mis abuelitos que en paz descansen que han sido partícipes de este logro, al brindarme su amor, cariño y apoyo incondicional e inculcarme valores y permitirme cumplir el sueño de ellos de verme como Ingeniero Civil y ahora como Magister.

También agradezco a unas personas muy especiales que ahora me cuidan desde el cielo, ellos me han apoyado y guiado en este largo y arduo camino, esas personas son mi abuelita Luz América Goyes y mi abuelito Alfonso Vacacela.

Un agradecimiento muy especial a la Unidad de Posgrado de la “Universidad Nacional de Chimborazo” y a los docentes de las materias de esta Maestría por haberme compartido sus conocimientos los mismos que serán empleados en la vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	
CERTIFICADO DE CONTENIDO DE SIMILITUD.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Antecedentes	15
1.2 Planteamiento del problema.....	16
1.3 Pregunta de investigación	17
1.4 Justificación de la investigación.....	17
1.5 Hipótesis	18
1.6 Objetivos.....	18
1.6.1 Objetivo General	18
1.6.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE.....	19
2.1 Fundamentación Teórica.....	19
2.1.1 Patologías de humedad en Edificaciones.....	19
2.1.2 Residuos de ladrillos provenientes de la construcción	20
2.1.3 Elaboración de mortero de enlucidos con incorporación de residuos de ladrillos	
21	
2.1.4 Efectos ambientales en los morteros para enlucidos	22

2.1.5	Dosificación de las muestras	25
2.1.6	Cemento Portland Tipo HE	26
2.1.7	Árido Fino (Arena)	27
2.1.8	Mortero para enlucido.....	27
2.1.9	Resistencia normada mínima	28
2.1.10	Características del mortero de enlucido en estado endurecido	29
CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO.....		30
3.1	Enfoque de la Investigación.....	30
3.2	Diseño de la Investigación.....	30
3.3	Tipo de investigación.....	31
3.3.1	Por su alcance.....	31
3.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	31
3.4.1	Técnicas de recolección de datos	31
3.4.2	Instrumentos de recolección de datos	32
3.5	Técnicas para el Procesamiento e Interpretación de Datos.....	32
3.6	Población y Muestra	33
3.6.1	Población.....	33
3.6.2	Tamaño de la Muestra.....	33
3.7	Etapas del procedimiento.....	36
3.7.1	Etapa 1	36
3.7.2	Etapa 2	36
3.7.3	Etapa 3	37
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....		38
4.1	Análisis Descriptivo y Discusión de los Resultados	38
4.1.1	Determinación impurezas orgánicas.....	38
4.1.2	Análisis granulométrico	39
4.1.3	Contenido total de humedad.....	41

4.1.4	Determinación de la Densidad y Porcentaje de Absorción.....	42
4.1.5	Resumen de Resultados Árido Fino (Ladrillo Molido)	43
4.1.6	Ensayo a compresión	44
4.1.7	Ensayo de absorción de agua o Sorptividad.....	45
4.1.8	Ensayo de Intemperismo.....	47
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		51
5.1	Conclusiones	51
5.2	Recomendaciones	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		53
ANEXOS		55
	Anexo 1. Ensayos de clasificación del agregado.....	55
	Anexo 2. Resultados de los ensayos a compresión	56
	Anexo 3. Tablas ensayo de sorptividad de mortero convencional y modificado (ladrillo molido).....	60
	Anexo 4. Resumen de Absorción inicial y secundaria	63
	Anexo 5. Datos de variaciones de precipitación, temperatura y humedad relativa ensayo de intemperismo.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Impacto del clima en el deterioro de edificaciones</i>	22
Tabla 2 <i>Afectaciones del mortero a raíz de factores ambientales</i>	23
Tabla 3 <i>Dosificación utilizada para ensayos de compresión</i>	25
Tabla 4 <i>Dosificación utilizada para ensayo de sorptividad</i>	26
Tabla 5 <i>Dosificación utilizada para ensayo de intemperismo</i>	26
Tabla 6 <i>Parámetros esenciales del cemento Portland tipo HE</i>	27
Tabla 7 <i>Categorización del mortero según sus características</i>	28
Tabla 8 <i>Referencia de morteros aplicables en fases de acabado o rehabilitación</i>	28
Tabla 9. <i>Pruebas para la obtención de información</i>	31
Tabla 10. <i>Muestra de construcciones tomadas en cuenta para la investigación</i>	34
Tabla 11 <i>Cuadro colores de referencia</i>	38
Tabla 12 <i>Resultados de la granulometría para el árido fino (Ladrillo Molido)</i>	39
Tabla 13 <i>Humedad presente en el agregado fino (Ladrillo Molido)</i>	41
Tabla 14 <i>Densidad SSS Agregado Fino (Ladrillo Molido)</i>	42
Tabla 15 <i>Porcentaje de Absorción Agregado Fino (Ladrillo Molido)</i>	43
Tabla 16 <i>Resumen de las propiedades físicas del agregado fino (Ladrillo Molido)</i>	43
Tabla 17 <i>Media y Desviación Estándar del ensayo a compresión</i>	44
Tabla 18 <i>Absorción capilar promedio de morteros con sustitución parcial de cemento por ladrillo molido.</i>	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Diagrama del procedimiento metodológico de la investigación</i>	30
Figura 2. <i>Ubicación de las construcciones parte de la muestra en la Ortofoto Satelital de la ciudad de Riobamba</i>	35
Figura 3. <i>Muestras de ladrillos tomadas de las distintas obras en construcción</i>	36
Figura 4 <i>Identificación de impurezas orgánicas en ladrillo molido</i>	38
Figura 5 <i>Curva Granulométrico de Agregado Fino (Ladrillo Molido)</i>	40
Figura 6 <i>Comparación de resistencias de un mortero convencional vs mortero con reemplazo de cemento por ladrillo molido</i>	44
Figura 7 <i>Curvas de Sorptividad mortero convencional y modificado 20%</i>	46
Figura 8 <i>Representación climática de Riobamba: primer mes de prueba, marzo 2025</i>	48
Figura 9 <i>Enlucidos en pared exterior en Riobamba - Mes marzo</i>	48
Figura 10 <i>Representación climática de Riobamba: segundo mes de prueba, abril 2025</i>	49
Figura 11 <i>Enlucidos en pared exterior en Riobamba - Mes abril</i>	49

RESUMEN

El presente trabajo de titulación titulado “Reutilización de residuos de ladrillos provenientes de construcción de edificaciones en la ciudad de Riobamba, en la elaboración de mortero de enlucidos para reducir las patologías de humedad” aborda dos problemas relevantes: la elevada generación de residuos de ladrillos por la construcción y la presencia de daños por humedad en edificaciones. Se propuso reutilizar ladrillos molidos como reemplazo parcial de cemento en morteros de enlucido, buscando mejorar su desempeño frente a la humedad. El objetivo general fue desarrollar un mortero adicionado ladrillos molido provenientes de residuos de la construcción en la ciudad de Riobamba.

La metodología adoptó un enfoque cuantitativo con diseño experimental. Se recolectaron ladrillos de cinco construcciones en Riobamba, se procesaron y se elaboraron probetas de mortero convencional y modificado, reemplazando un 20% de cemento por ladrillo molido. Se realizaron ensayos de resistencia a compresión, sorptividad y exposición a intemperismo.

Los resultados evidenciaron que el mortero modificado superó al convencional, alcanzando 7.24 Mpa a 28 días frente a 4.90 Mpa, además de reducir la absorción capilar inicial y secundaria. Los ensayos de intemperismo mostraron menor deterioro en los enlucidos modificados.

Se concluyó que la incorporación de ladrillo molido mejora las propiedades físicas y mecánicas del mortero de enlucido, reduce significativamente las patologías por humedad y constituye una alternativa ambientalmente sostenible para gestionar residuos de construcción en Riobamba.

Palabras claves: *Residuos de ladrillo, Mortero de enlucido, Resistencia a la compresión, Patologías de humedad, Construcción sostenible.*

ABSTRACT

The present degree Project, entitled “Reuse of brick waste from building construction in the city of Riobamba for the production of rendering mortar to reduce moisture pathologies,” addresses two significant issues: the high generation of brick waste from Construction activities and the occurrence of moisture-related pathologies in buildings. This study proposes an innovative approach to utilizing crushed brick as a partial substitute for cement in rendering mortars, thereby enhancing their performance in the presence of moisture. The general objective was to develop a mortar incorporating crushed brick obtained from construction debris in Riobamba. A quantitative methodology with an experimental design was applied. Bricks were collected from five active construction sites, processed, and used to manufacture conventional and modified mortar specimens, in which 20% of the cement was replaced with crushed brick. Laboratory and field tests were conducted, including evaluations of compressive strength, sorptivity, and weathering resistance. The results indicated that the modified mortar exhibited superior mechanical performance, achieving 7.24 MPa at 28 days compared to 4.90 MPa in conventional mortar. Furthermore, it significantly reduced initial and secondary capillary water absorption. Weathering tests, which involved subjecting the mortars to simulated weather conditions for a period of [specific duration], confirmed improved durability in the modified mortars. It was concluded that incorporating crushed brick enhances the physical and mechanical properties of rendering mortars, effectively reduces moisture-related pathologies, and represents a sustainable alternative for managing construction waste in the city of Riobamba. This research provides practical insights for the construction industry and sustainability advocates.

Keywords: brick waste, rendering mortar, compressive strength, moisture pathologies, sustainable construction.



Reviewed by:
Mgs. Kerly Cabezas
ENGLISH PORFESSOR
I.D. 0604042382

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación aborda una problemática crucial en la ingeniería civil y la sostenibilidad urbana: la gestión de residuos de construcción y la durabilidad de las edificaciones frente a la humedad, es por esto por lo que el estudio se centra en la “Reutilización de Residuos de Ladrillos Provenientes de Construcción de Edificaciones en la Ciudad de Riobamba, en la Elaboración de Mortero de Enlucidos para Reducir las Patologías de Humedad”.

El mortero de enlucidos es esencial para la estética y protección estructural, garantizando longevidad. A pesar de ello, las construcciones, globalmente y en Ecuador, enfrentan patologías por humedad; el 45% de los hogares ecuatorianos son inadecuados, con un 11% exhibiendo daños específicos por humedad en sus acabados inferiores (Zaruma, 2018).

La intensa actividad constructora en Riobamba deja tras de sí gran cantidad de material sobrante elaborado con arcilla cocida. Si no se reutiliza adecuadamente, este excedente termina dañando el entorno y provocando impactos negativos en la comunidad, al desperdiciar un recurso tan valioso. Por eso, esta investigación busca reducir los desechos de obra y, al mismo tiempo, reforzar los materiales de construcción para que resistan la humedad de la zona. De esta manera, queremos convertir esos sobrantes en un material útil e impulsar un modelo sostenible donde nada se pierda y todo se aprovecha.

La persistencia de aparición de patologías por humedad en las edificaciones, acentuadas por las condiciones climáticas de Riobamba, exige soluciones constructivas innovadoras. Los revestimientos de mortero, como primera línea de defensa, son claves en la prevención de estos daños. Esta investigación se justifica por su exploración de la modificación de morteros tradicionales mediante la incorporación de residuos de ladrillo, lo que no es una estrategia de economía circular, sino que también promete optimizar las propiedades del mortero, especialmente su resistencia a la humedad.

El desarrollo de esta investigación se organizó en tres etapas fundamentales. En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica que permitió construir la base teórica, comprender los estudios previos, delimitar el problema y establecer las metas del proyecto. En la segunda fase, se llevó a cabo la recolección ordenada de residuos de ladrillos en la

ciudad de Riobamba, seguido de su procesamiento para obtener material triturado y analizar sus características físicas. Finalmente, se elaboraron muestras de mortero convencional y otras con un 20% de reemplazo de cemento por ladrillo molido. Estas mezclas fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días, así como a pruebas de absorción de agua en laboratorio y de exposición a condiciones reales en una construcción ubicada en Riobamba.

En la última etapa, se centra la atención en examinar los resultados obtenidos, comprender su significado y debatir sus implicaciones. Este proceso permita llegar a conclusiones claras, comprobar la validez de la hipótesis y proponer sugerencias útiles que puedan contribuir al desarrollo de prácticas constructivas más responsables con el entorno.

Uno de los principales resultados que se espera obtener es comprender que el mortero modificado presenta un desempeño mecánico superior al del mortero tradicional. Además, se busca aportar pruebas claras de que este nuevo material absorbe mucho menos agua y muestra una capacidad reducida para retenerla. Este aspecto es especialmente importante para prevenir daños relacionados con la humedad, ya que cuando la absorción capilar disminuye, también mejora la resistencia a la entrada de agua, lo que ayuda a prolongar la vida útil y el buen estado de las fachadas.

1.1 Antecedentes

En el ámbito de la construcción, el mortero de enlucidos se erige como un elemento esencial, cumpliendo una doble función de salvaguardar la estructura subyacente y embellecer las superficies visibles, incidiendo de manera directa en la perdurabilidad y el confort de los espacios habitables (Pazos, 2018).

Su capacidad para resistir las inclemencias del entorno y prevenir la aparición de problemas patológicos resulta crucial para asegurar la longevidad y el valor de las edificaciones.

A lo largo y ancho del planeta, incluyendo estudios en el contexto nacional, diversas investigaciones han indagado en las posibilidades de integrar residuos de ladrillos en la producción de nuevos materiales para la construcción, entre ellos, los morteros. Se ha analizado las propiedades de morteros donde los áridos convencionales o incluso el cemento

Portland han sido sustituidos, en parte o en su totalidad, por material de ladrillo molido o triturado (Ede, 2019).

Los resultados de estos estudios han revelado una variedad de efectos, que en algunos casos incluyen una reducción en la resistencia mecánica, pero también mejoras en aspectos como la facilidad de manejo de la mezcla o su capacidad de retener agua. Un factor que surge de manera consistente en estas investigaciones es la considerable capacidad de absorción de agua que muestran los agregados reciclados de ladrillo (Fabbrocino, 2022), lo que obliga a prestar especial atención al diseñar la composición del mortero.

En lo concerniente al comportamiento de los morteros de enlucido frente a las patologías inducidas por humedad, se ha documentado como la exposición a esta, ya sea por filtración, ascensión capilar o condensación, puede producir problemas como eflorescencias, crecimiento de microorganismos, fisuración y desprendimiento del revestimiento (Mohamed, 2018).

De igual manera, el factor ambiental, que en la zona de Chimborazo comprende la incidencia de la radiación solar, las fluctuaciones térmicas a lo largo del día y del año, y la posible presencia de partículas suspendidas en el aire debido a la actividad urbana y agrícola del entorno, puede influir en el proceso de deterioro del mortero de enlucido (Valdivieso, 2024). Este elemento puede contribuir a la formación de fisuras, la alteración del color y la pérdida de adherencia con el paso del tiempo.

En la ciudad de Riobamba, caracterizada por la variabilidad climática que incluye periodos de lluvia y cambios de temperatura, la resistencia de los materiales de construcción a la humedad se convierte en un factor crítico para la durabilidad de las edificaciones, es por esto que es crucial comprender como la incorporación de residuos de ladrillos locales, con propiedades distintas, afecta la respuesta del mortero de enlucidos a los desafíos climáticos y de humedad propios de este entorno geográfico como es Riobamba.

1.2 Planteamiento del problema

La realidad habitacional en Ecuador muestra que el 45% de 3.8 millones de hogares ecuatorianos vive en viviendas con deficiencias. Se registra que un 36% de las viviendas padece un déficit constructivo por el uso de materiales inapropiados, y de estas, un 11% presenta deterioros por humedad. Este daño, usualmente, se observa en la planta baja hasta

una altura de unos 60 cm, manifestándose en el deterioro de empastados, pinturas y acabados en general. (Zaruma, 2018)

En Riobamba, Ecuador, el sector de la construcción está en expansión continua, lo que provoca un incremento considerable en la producción de desechos de ladrillo. Estos desechos representan un desafío ambiental y económico, ya que su disposición inadecuada contribuye a la contaminación del entorno y la ocupación de espacios, en este caso de vertederos (Villagomez, 2019)

A pesar de los esfuerzos de algunas empresas por implementar prácticas de gestión de residuos, la mayoría de este ladrillo descartado no se utilizan de manera efectiva, lo que subutiliza este recurso valioso y contribuye al deterioro ambiental.

Es por esta razón que se propone la reutilización de residuos de ladrillos provenientes de las construcciones de edificaciones en la ciudad de Riobamba, en la elaboración de mortero de enlucidos para reducir las patologías de humedad, lo cual ofrecería una solución potencial para mitigar los impactos ambientales negativos.

1.3 Pregunta de investigación

¿Cómo influye la incorporación de residuos de ladrillos provenientes de la construcción de edificaciones en Riobamba en las propiedades físicas y mecánicas de un mortero de enlucido, y cómo estas propiedades afectan la reducción de patologías de humedad en las superficies tratadas?

1.4 Justificación de la investigación

Debido al clima de Riobamba, la humedad es un serio problema para sus construcciones, lo que nos impulsa a buscar métodos constructivos más ingeniosos y eficaces. Los morteros de revestimiento actúan como la principal defensa, crucial para prevenir o reducir estos daños. Incorporar residuos de ladrillo al mortero tradicional no solo apoya la economía circular, sino que también ofrece la oportunidad de optimizar su comportamiento frente a la humedad.

Este estudio representa un aporte valioso tanto a nivel científico como práctico para la ciudad y sus alrededores. Al analizar de manera puntual cómo los restos de ladrillo de la zona influyen en las características físicas y de resistencia del mortero usa en acabados, y

cómo esto se relaciona con la reducción de problemas por humedad, se busca ofrecer información útil y aplicable directamente en las obras de construcción en Riobamba. Además, este trabajo se enmarca en los objetivos de promover edificaciones más responsables con el medio ambiente y capaces de adaptarse mejor a las condiciones locales.

1.5 Hipótesis

La reutilización de residuos de ladrillos provenientes de la construcción de edificaciones en Riobamba en la elaboración de mortero de enlucidos reduce significativamente las patologías de humedad en las superficies tratadas. Este nuevo mortero, al incorporar un porcentaje específico de polvo de ladrillo molido, mejora las propiedades de absorción y transpirabilidad del material, lo que disminuye la capilaridad y, por ende, la incidencia de humedad en las paredes.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Desarrollar un mortero adicionando ladrillos molidos provenientes de residuos de la construcción en la ciudad de Riobamba.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas del Ladrillo Molido.
- Elaborar las probetas de estudio y evaluar las propiedades mecánicas del mortero adicionando el Ladrillo Molido.
- Comparar la resistencia a la compresión, sorptividad e intemperismo del mortero convencional versus el mortero adicionando Ladrillo Molido.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE

2.1 Fundamentación Teórica

2.1.1 *Patologías de humedad en Edificaciones*

Se ha documentado que el origen de los problemas de humedad en las construcciones puede atribuirse a factores del entorno, tales como las precipitaciones y las aguas subterráneas. No obstante, se ha observado que estos elementos pueden verse intensificados por deficiencias en la ejecución de la obra, incluyendo una mano de obra inapropiada, un diseño estructural carente de previsión, insuficiencias en la ventilación y la presencia de otros factores como fugas en las instalaciones de plomería (Miah, 2021).

La aparición de humedad en la estructura puede resultar de la falta de implementación de medidas preventivas adecuadas, específicamente la ausencia de la aplicación de productos impermeabilizantes, una circulación de aire limitada, una alta concentración de humedad en el ambiente y problemas en el sistema hidráulico (Carvalho, 2022).

El desplazamiento de esta humedad se verifica mediante diversos mecanismos físicos, entre los que se incluyen las filtraciones de aire, la dispersión de vapor, la acción capilar, la incidencia de la lluvia impulsada por el viento y la formación de condensación en las superficies (Carvalho, 2022).

Estas distintas formas en que se presenta la humedad pueden categorizarse como humedad ascendente, humedad penetrante y humedad por condensación (Miah, 2021).

Se sabe que el vapor se dispersa a través de los poros de los materiales, aunque ese camino se considera menos agresivo que otros modos de paso de humedad. La capilaridad, en cambio, arrastra agua líquida empujada por la tensión superficial que actúa entre los poros. El movimiento bajo gravedad, claramente notorio, avanza en respuesta directa a la presión hidrostática que se acumula. Por último, las lluvias intensas, sobre todo si vienen barridas por vientos fuertes, son capaces de forzar grandes dosis dentro del edificio (Zaruma, 2018).

La continua presencia de humedad dentro de las viviendas genera un ambiente propicio para el crecimiento de microorganismos, tales como: mohos, hongos y bacterias, lo que sobrelleva una disminución en la calidad del aire doméstico y los habitantes empiezan a sufrir problemas de salud como alergias y asma (Manzi, 2023).

También se ha advertido que puede generar inconvenientes estéticos tales como manchas, la formación de depósitos salinos (eflorescencia) y el desprendimiento de la pintura. En consecuencia, se concluye que las patologías relacionadas con la humedad tienen implicaciones de amplio espectro, afectando no solo la solidez estructural y la apariencia de las edificaciones, sino también la salud y el bienestar de quienes las ocupan (Mohamed, 2018).

2.1.2 Residuos de ladrillos provenientes de la construcción

Se ha determinado que los desechos generados por la construcción y la demolición (RCD) constituyen un volumen considerable de residuos a nivel global (EPA, 2024). Dentro de este flujo, los residuos de ladrillos representan una porción sustancial, llegando en ciertos casos a constituir aproximadamente la mitad del total. En respuesta a esta situación, numerosas naciones han implementado sistemas destinados al reciclaje de RCD. El significativo volumen de residuos de ladrillos producidos presenta, por lo tanto, una oportunidad relevante para su reciclaje y posterior utilización dentro del mismo sector de la construcción (Reza, 2013).

Se ha observado que los agregados obtenidos a partir de ladrillos reciclados se distinguen por una elevada capacidad de absorción hídrica, una baja densidad y una resistencia mecánica inferior en comparación con los agregados de origen natural. Sin embargo, se ha notado que los compuestos geotécnicos elaborados con residuos de ladrillos pueden exhibir una mayor compacidad, acompañada de una menor porosidad y absorción de agua, en contraste con otros geo polímeros basados en diferentes tipos de residuos (Fabbrocino, 2022).

Las pruebas han demostrado que los restos de ladrillos exhiben una clara actividad puzolánica; esto se debe a que, durante la cocción, los minerales arcillosos entran en una fase activa, algo que se observa también en las arcillas que se calcinan. Esa misma actividad puede reforzar las propiedades de los materiales a base de cemento, ya que reaccionan con

el hidróxido de calcio y forma nuevos compuestos que aportan un poder aglomerante extra (Hu, 2024).

2.1.3 Elaboración de mortero de enlucidos con incorporación de residuos de ladrillos

Ya se ha demostrado que el polvo de ladrillo reciclado puede usarse como sustituto parcial del cemento y de los áridos naturales que se emplean habitualmente en la elaboración de morteros. Asimismo, varios estudios señalan que reemplazar el cemento con este polvo aporta mayores beneficios que hacerlo con ladrillo triturado en la mezcla (Mahdy, 2022).

Las proporciones óptimas de sustitución varían en función de las propiedades deseadas para el mortero final y de la forma física en que se presente el residuo de ladrillo (ya sea como polvo fino o como agregado de mayor tamaño) (Ede, 2019).

Se ha mencionado que los residuos de ladrillos suelen necesitar un procedimiento de trituración y molienda hasta conseguir una granulometría fina para ser utilizados eficazmente como alternativa al cemento o a los agregados del mortero. Para ser empleados como sustitutos de agregados, los desechos de ladrillo pasan por etapas de trituración, molienda y luego clasificación según su tamaño, hasta alcanzar las dimensiones necesarias. Se enfatiza que un tratamiento adecuado de los desechos de ladrillo es crucial para obtener el tamaño de partícula y las características requeridas para su uso efectivo en la fabricación de mortero (Hu, 2024).

Estudios diversos han investigado varios porcentajes de sustitución de cemento y agregados empleando desechos de ladrillo, con un espectro que va del 5% a 100%. Se ha notado que, al preparar la mezcla, es necesario ajustar con precisión la proporción entre agua y cemento, ya que los restos de ladrillo tienden a absorber bastante la humedad. En algunos casos, es fundamental añadir ciertos productos, como plastificantes, para lograr que la mezcla sea fácil de manejar. Por esta razón, al momento de diseñar la mezcla, es importante considerar cuidadosamente que cumpla con los niveles de resistencia, facilidad de aplicación y durabilidad que se esperan del mortero final. Se establece que la optimización de las proporciones de los materiales de la mezcla, incluyendo la cantidad de residuos de ladrillos, el contenido de agua y la posible adición de aditivos, es crítica para obtener las propiedades de rendimiento anheladas en el mortero (Kumar, 2024).

2.1.4 Efectos ambientales en los morteros para enlucidos

Se ha determinado que el impacto de las condiciones climáticas en las construcciones se encuentra intrínsecamente relacionado con el fenómeno actual del cambio climático, el cual se manifiesta esencialmente en variaciones, en ocasiones significativas, de temperatura, niveles de precipitación y humedad ambiental.

Se ha establecido que las condiciones ambientales pueden generar efectos adversos, tanto de forma directa como después de periodos extensos de exposición. El impacto que tiene en las construcciones se explica con detalle en la **Tabla 1**, que se muestra a continuación.

Tabla 1 Impacto del clima en el deterioro de edificaciones

Impacto del clima	Descripción	Características del Entorno
Muy baja	Condiciones climáticas muy estables, con mínima acción degradante sobre materiales	Zonas secas, sin lluvias frecuentes, son brisas marinas, sin contaminación
Baja	Condiciones moderadamente favorables con baja humedad y exposición	Climas templados con lluvias ocasionales y poca variación térmica
Media	Condiciones con humedad constante, lluvias frecuentes o exposición moderada a agentes agresivos	Climas húmedos, zonas rurales o urbanas con lluvia constante
Alta	Condiciones severas que aceleran el deterioro de los materiales	Zonas costeras, industriales o urbanas con alta humedad,

salinidad o
contaminación

	Ambientes extremadamente agresivos que requieren soluciones constructivas especiales	Ambientes marinos directos, zonas tropicales húmedas, áreas industriales pesadas
Muy Alta		

Nota. Adaptado de (Pazos, 2018)

Se ha establecido que la severidad y la recurrencia con que las condiciones ambientales inducen el surgimiento de deterioros en los materiales de construcción están directamente ligadas a la agresividad del entorno climático al que se exponen. La **Tabla 2**, que se presenta a continuación, describe pormenorizadamente las afectaciones típicas que pueden surgir en el mortero de enlucido debido a la influencia ambiental.

Tabla 2 *Afectaciones del mortero a raíz de factores ambientales*

Afectación	Definición	Ilustración
Eflorescencias	Migración de cal libre hacia la superficie del mortero debido a la elevada humedad ambiental	
Micro fisuras	El mortero presenta Microfisuras superficiales en patrón de re, originadas por su retracción acelerada a causa de las altas temperaturas que propician un secado demasiado rápido.	

Grietas	<p>Grietas que sobrepasan 1 mm de ancho y atraviesan completamente la capa de mortero. Estas fallas suelen aparecer debido a los cambios de temperatura, la combinación de diferentes materiales en la estructura y el grosor con el que se ha aplicado en mortero.</p>	
Fisuras en tela de araña	<p>Grietas de más de 2 mm de amplitud, a menudo con una apariencia similar a un orificio, surgen por deficiencias en la adherencia, un grosor excesivo del material o fallas estructurales.</p>	
Desprendimiento	<p>Las discontinuidades en el mortero, que se manifiestan como aberturas, son resultado de una notable carencia de adherencia, superficies demasiado lisas, una deshidratación del material o un espesor considerable.</p>	
Manchas	<p>Las sales presentes en el agua lluvia, en áreas con elevada contaminación, pueden incrustarse en el mortero, generando variaciones de coloración.</p>	

Microorganismos	La combinación de alta humedad y la exposición a la intemperie (especialmente por lluvia y salpicaduras de agua) crea un entorno propicio para el desarrollo de líquenes y musgos.	
Friabilidad	La aparición de una superficie pulverulenta en el mortero es causada por su deshidratación, la cual puede deberse a la alta absorción de la superficie o a temperaturas elevadas.	

Nota. Adaptado de (Valdivieso, 2024)

2.1.5 Dosificación de las muestras

El diseño de los especímenes cúbicos de mortero para los ensayos de resistencia a la compresión se basó en la normativa NTE INEN 488. Se aplicaron los parámetros de esta norma para producir 16 cubos con aristas de 5 cm para cada una de las dosificaciones estudiadas: la muestra patrón y la que contenía ladrillo molido. Para cada dosificación, se preparó un volumen total de 2000 cm³ con una relación agua/cemento de 0,485. Estos datos se especifican en la **Tabla 3**.

Tabla 3 Dosificación utilizada para ensayos de compresión

Componente	Patrón	20%
Agregado fino (g)	3667	3667
Cemento HE (g)	1333	1133
Ladrillo molido (g)	0	200
Agua (g)	645	645

Fuente: *Elaboración propia*

En lo referente a la dosificación para el ensayo de sorptividad, se mantuvieron las cantidades y la relación agua/cemento previamente mencionadas. La única variación radicó

en las cantidades, ya que para este ensayo se requirieron 2 cubos por cada dosificación propuesta: la muestra de referencia y la muestra con adición de ladrillo molido, obteniendo para cada una un volumen de 250 cm³. La composición detallada de cada componente, junto con su respectivo peso, se detalla en la **Tabla 4**.

Tabla 4 *Dosificación utilizada para ensayo de sorptividad*

Componente	Patrón	20%
Agregado fino (g)	459	459
Cemento HE (g)	167	142
Ladrillo molido (g)	0	25
Agua (g)	81	81

Fuente: *Elaboración propia*

Para establecer las proporciones idóneas del mortero de enlucido, se consultó la publicación de (Modense, 2018), donde se utiliza una relación agua/cemento de 0,35. Se calcularon las cantidades de cada componente para revestir una superficie de 50x50 cm con 1,5 cm de espesor. Dichos valores se detallan en la **Tabla 5**.

Tabla 5 *Dosificación utilizada para ensayo de intemperismo*

Componente	Patrón	20%
Agregado fino (kg)	9.375	9.375
Cemento HE (kg)	1.16	0.93
Ladrillo molido (kg)	0	0.23
Agua (L)	0.815	0.815

Fuente: *Elaboración propia*

2.1.6 Cemento Portland Tipo HE

Para la ejecución de la presente investigación, se empleó cemento Portland Tipo HE proveniente de Cemento Chimborazo. La elección de este tipo de cemento se fundamentó en su capacidad para desarrollar una elevada resistencia a edades tempranas, además de presentar las características técnicas que se detallan en la **Tabla 6**.

Tabla 6 *Parámetros esenciales del cemento Portland tipo HE.*

Requisitos físicos	Cemento Chimborazo Superior Portland Puzolanico tipo HE	
	kg/cm²	Mpa
Peso específico (g/cm ³)	2.92	
Expansión en autoclave (%)	0.0013	
Fraguado Vicat inicial (min)	150	
Fraguado Vicat final (min)	240	
Resistencia a la compresión		
1 día	184	18
3 días	255	25
7 días	337	33
28 días	459	45
Resistencia a los sulfatos	Cemento Tipo HE	
% Expansión a los 14 días	0.04 máx.	

Nota. Adaptado de (Velasquez, 2019)

2.1.7 Árido Fino (Arena)

Para este estudio, se empleó arena que provino de la empresa “Hormigones Moreno”. La extracción de arena se lleva a cabo a orillas del río Penipe, y luego se traslada hasta Riobamba, donde se almacena. Antes de su uso, la arena se somete a limpieza en un trómel para quitarle la materia orgánica que pueda contener. Se considera que este material fino es ideal para preparar mezclas de mortero.

2.1.8 Mortero para enlucido

El mortero se concibe como una mezcla de cal o cemento, arena y agua. Cuando se utiliza como enlucido, puede aplicarse para recubrir superficies tanto exteriores como interiores. (Pazos, 2018).

En el caso particular de los revestimientos aplicados a exteriores, que son el enfoque principal de este estudio, se resalta su papel fundamental como barrera frente a las condiciones del clima, además de garantizar una correcta unión con la superficie base y ofrecer la firmeza necesaria para que no se desprendan ante los cambios de temperatura.

2.1.9 Resistencia normada mínima

Basándose en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2518 (INEN, 2010), se ha conferido una denominación alfabética a los distintos tipos de mortero, según sus propiedades y usos, para facilitar su identificación. De acuerdo con la **Tabla 7**, las clasificaciones incluyen M, S, N y O. Sin embargo, la designación que la normativa adjudica al mortero usado en enlucidos, como es el presente caso, es la letra “N”, lo cual se muestra en la **Tabla 8**. Esto implica que la resistencia promedio mínima que dicho mortero ha de alcanzar a los veintiocho días es de 5,2 MPa.

Tabla 7 Categorización del mortero según sus características

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a compresión a 28 días, min, [MPa]	Retención de agua, % min	Contenido de aire, %, max ^B	Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta)
Cemento y cal	M	17,2	75	12	No menos que 2 ¹ / ₄ y no más que 3 ¹ / ₂ veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mortero	M	17,2	75	12	
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mampostería	M	17,2	75	18	
	S	12,4	75	18	
	N	5,2	75	20 ^D	
	O	2,4	75	20 ^D	

Fuente: (INEN, 2010)

Tabla 8 Referencia de morteros aplicables en fases de acabado o rehabilitación

Ubicación o servicio	Tipo de mortero	
	Recomendado	Alternativo
Interior	O	K, N
Exterior, por encima del nivel de terreno expuesto de un lado, poca probabilidad de que se congele al saturarse, no sujeto a fuertes vientos u otras cargas laterales significativas.	O	N, K
Exterior, diferente a lo antes indicado.	N	O

Fuente: (INEN, 2010)

2.1.10 Características del mortero de enlucido en estado endurecido

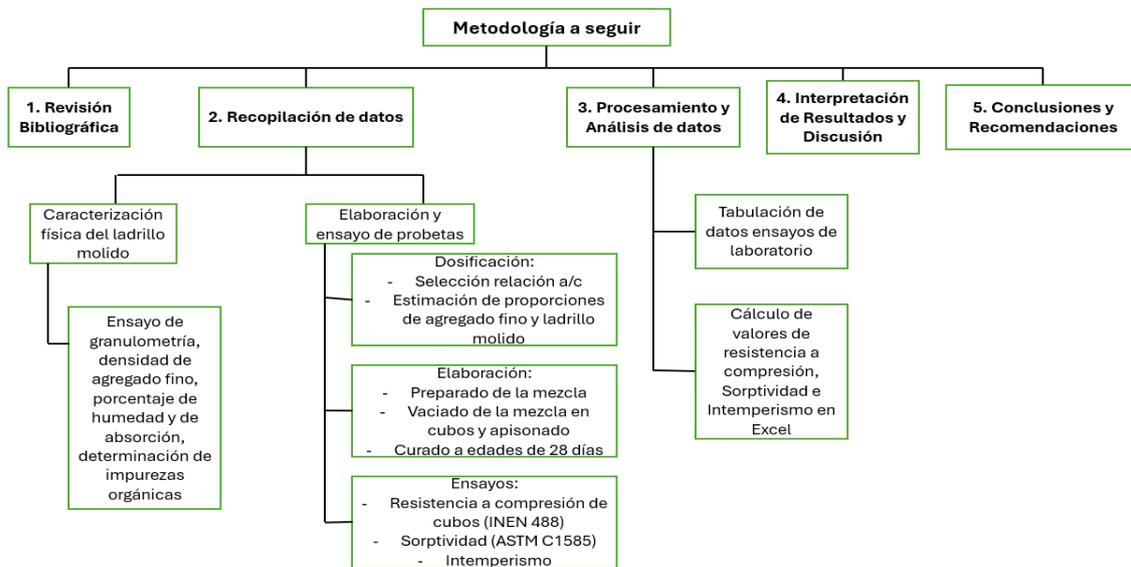
- a) Resistencia a la compresión: La capacidad de un material, tal como el mortero o el hormigón, para oponerse a las fuerzas de compresión, se observa que aumenta al elevar la proporción de cemento en su formulación y al emplear partículas áridas de mayor tamaño, como la arena gruesa. En cambio, se ha registrado una inclinación a la baja en la resistencia cuando se disminuye la cantidad de aglutinantes en relación con otros componentes, se incorporan partículas más delgadas como la arena fina, se introduce agua, se añaden complementos y se modifica el lapso de fraguado. Si bien estas variaciones podrían ser ventajosas hasta cierto grado, una alteración excesiva generalmente incide de forma desfavorable en la resistencia adhesiva del material. En consecuencia, se enfatiza la relevancia de alcanzar un equilibrio óptimo dentro de un margen pertinente para lograr el rendimiento previsto. (INEN, 2010)
- b) Sorptividad / Absorción por capilaridad: Se define como la fuerza de succión que generan los poros que están en la configuración interna de un mortero ejercen influencia sobre las moléculas de agua cercanas, lo que causa que los poros se llenen dentro de su composición. Se sugiere que una baja velocidad de sorptividad indica, en términos generales, que el mortero posee características de transporte de fluidos adecuadas para asegurar una durabilidad aceptable en la aplicación estructural para la cual fue diseñado.

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque metodológico que se aplicará en el estudio será cuantitativo, dado que se apoya en la observación, la recolección y el análisis de información obtenida en las pruebas realizadas. Con ello, se busca dilucidar el fenómeno referente al desempeño del ladrillo molido en el mortero de enlucido.

Figura 1. Diagrama del procedimiento metodológico de la investigación



Fuente: *Elaboración propia*

La investigación se llevará a cabo en tres fases que se muestran en la **Figura 1**: En la etapa 1, tenemos la caracterización física del ladrillo molido, como segunda etapa tenemos la dosificación, elaboración y ensayos mecánicos, tales como la resistencia a la compresión, ensayo de Sorptividad y finalmente ensayo de intemperismo en la ciudad de Riobamba, en la etapa 3, se realizará la Tabulación de datos de ensayos de laboratorio y el cálculo de valores de resistencia a compresión, Sorptividad e intemperismo en Excel..

3.2 Diseño de la Investigación

Se utilizará un diseño experimental, en el cual se diseñarán y llevarán a cabo experimentos en laboratorio y pruebas en campo para evaluar el desempeño del mortero con ladrillo molido en la reducción de la afectación por humedad en enlucidos.

3.3 Tipo de investigación

3.3.1 Por su alcance

Será de alcance aplicativo, ya que busca aplicar los resultados obtenidos en un contexto práctico para abordar un problema específico en la construcción relacionado con la reutilización de ladrillos molidos y la humedad en enlucidos.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

Los datos se recolectaron mediante la aplicación de ensayos que siguieron normativas técnicas. Estos ensayos determinaron parámetros convenientes para la cuantificación de las propiedades específicas, las cuales constituyeron el objetivo central de esta investigación, siendo las Normas NTE INEN el marco de referencia.

Tabla 9. Pruebas para la obtención de información

Ensayos	Normas	Indicadores
Determinación de las impurezas orgánicas	NTE INEN 855	Porcentaje de impurezas Comparador de color Gardner
Granulometría	NTE INEN 696	Distribución granulométrica dentro del rango normado
	NTE INEN 872	Rango mínimo 2,3 y máximo 3,1
Contenido total de humedad	NTE INEN 862	Contenido de agua en porcentaje
Medición de la densidad, densidad relativa y absorción	NTE INEN 856	Densidad y densidad relativa (SH, SSS y aparente) Absorción en porcentaje
Medición de la resistencia a la compresión de mortero en cubos de 50mm de arista	NTE INEN 488	Resistencia a la compresión de cubos de mortero a edades 7, 14, 21 y 28 días
Sorptividad	ASTM C1585	Peso de cubos de mortero expuestos a agua Capacidad de absorción del mortero en $\text{mm/s}^{1/2}$
Intemperismo	Huamani y Solís - ISO 9001	Variación de color y anomalías que presente cada enlucido

Fuente: *Elaboración propia*

En la **Tabla 9**, se presentó la lista completa de los ensayos que se implementaron en esta investigación, cada uno de estos procedimientos se rigió por una normativa específica, y a través de su aplicación se posibilitó la obtención de los datos requeridos.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Para medir las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y las probetas analizadas en laboratorio, se emplearon los instrumentos que se enlistan a continuación:

- Comparador de colores normalizados
- Balanza precisión 0.1g.
- Tamices
- Horno temperatura 110+/-5°C
- Recipientes para muestras
- Balanza capacidad de 1 kg o más, sensibilidad de 0.1g.
- Picnómetro
- Calibrador
- Moldes cúbicos de 50mm.
- Vasos graduados de 200 cm³ o 250 cm³.
- Balanza para una carga total de 2000 g.
- Balanza para una carga total de 10 kg.
- Flexómetro

Este es uno de los instrumentos que se usó, y el mismo se lo solicitó según el ensayo que se fue a realizar.

3.5 Técnicas para el Procesamiento e Interpretación de Datos

Mediante la experimentación, se modificaron variables independientes (árido, ladrillo molido y cemento) con el objetivo de estudiar el impacto que estas tuvieron en las variables dependientes, que en este caso fue el mortero, todo bajo el control de las normas.

Para entender mejor los hallazgos de nuestros ensayos, se examinaron los datos recolectados. Esto incluyó determinar sus valores centrales y como se distribuían, facilitando una interpretación más profunda.

La media aritmética o promedio, se calculó sumando todos los valores de la variable y dividiéndolos por el número total de estos, con la finalidad de establecer la posición central de los datos.

La desviación estándar fue una medida de dispersión que permitió identificar cuán distantes se encontraban los valores individuales respecto a la media.

3.6 Población y Muestra

3.6.1 Población

Por una parte, se encuentran las construcciones de viviendas y por otro lado las escombreras clandestinas que existen en la ciudad de Riobamba.

3.6.2 Tamaño de la Muestra

Para elegir la muestra de estudio, se utilizó un método de muestreo aleatorio, considerando las edificaciones en proceso de ejecución en la ciudad de Riobamba.

Dentro de la ciudad de Riobamba, mediante recorridos, se pudo observar algunas construcciones que se encuentran en etapa de alzado de mampostería. A los encargados de estas construcciones, se les preguntó si se permitía tomar fotos de la parte externa de la construcción y registrar las coordenadas de ubicación de estas.

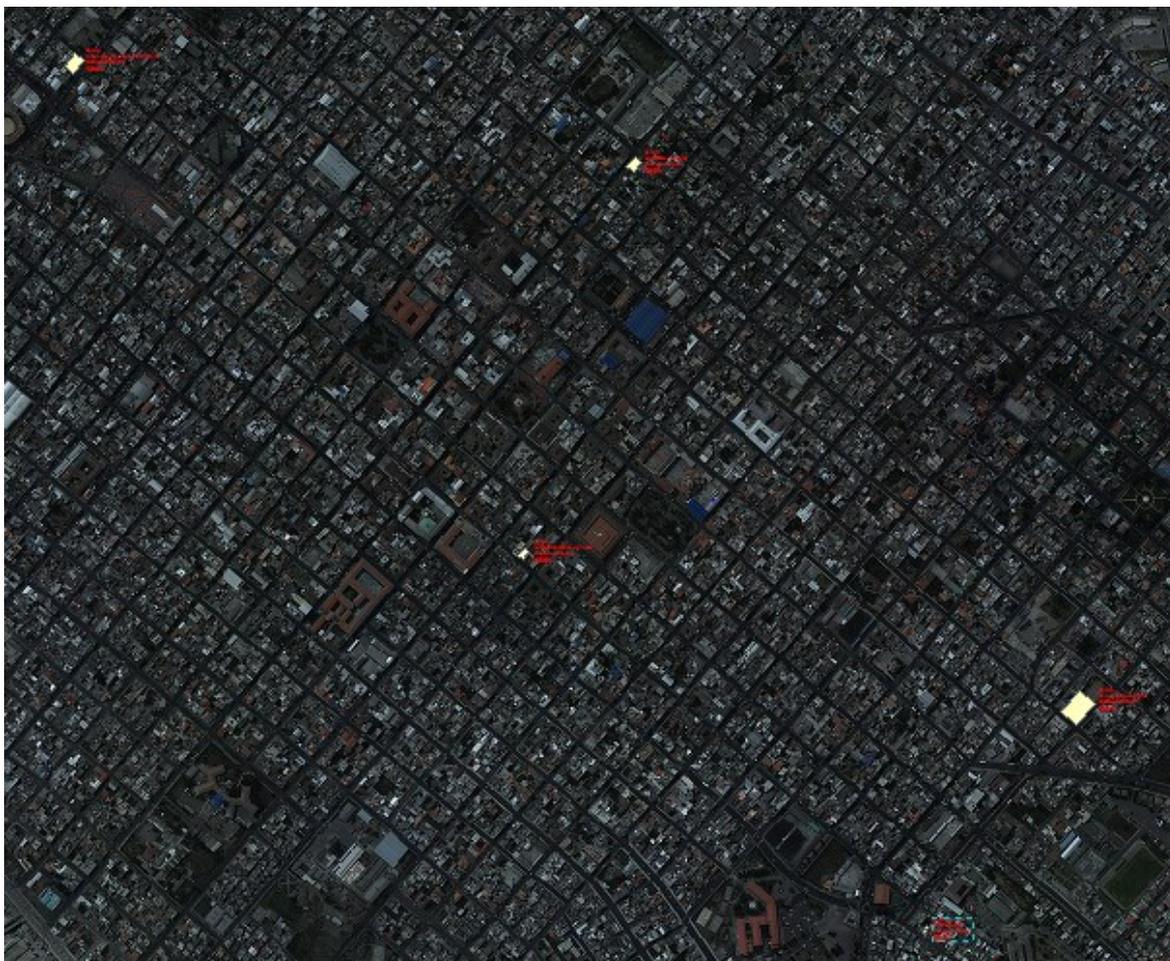
Tabla 10. Muestra de construcciones tomadas en cuenta para la investigación

Descripción	Ubicación	Construcciones toma de muestras		
		Coordenadas		
		Este	Norte	
Muestra 1	Calle Guayaquil entre Velasco y Tarqui	761 655.781	9 814 695.529	
Muestra 2	Calle Venezuela y Colon (Esq)	761 845.532	9 815 364.772	
Muestra 3	Av. Miguel Ángel León y Primera Constituyente (Esq)	760 890.737	9 815 537.684	
Muestra 4	Calle Argentinos y Asunción (Esq)	762 601.205	9 814 432.334	
Muestra 5	Calle Olmedo y Riga	762 340.418	9 814 048.053	

Fuente: *Elaboración propia*

La **Tabla 10**, presenta la lista completa de construcciones que servirán de muestra para el desarrollo de esta investigación.

Figura 2. *Ubicación de las construcciones parte de la muestra en la Ortofoto Satelital de la ciudad de Riobamba*



Fuente: *Elaboración propia*

La **Figura 2**, muestra la localización en la ortofoto satelital de la Ciudad de Riobamba de cada una de las construcciones que integraron las muestras seleccionadas.

Se realizó la recolección de las muestras de ladrillos de cada una de las construcciones mencionadas en la **Tabla 10** y en la **Figura 2**.

Figura 3. *Muestras de ladrillos tomadas de las distintas obras en construcción*



Fuente: *Elaboración propia*

Se muestran en la **Figura 3** las tres muestras de ladrillos extraídas de cada construcción, lo que dio como resultado un conjunto de quince ladrillos.

3.7 Etapas del procedimiento

3.7.1 Etapa 1

- Revisión bibliográfica de información afín al tema de investigación.
- Planteamiento del tema y objetivos del trabajo de investigación.

3.7.2 Etapa 2

- Obtención de los ladrillos.
- Procesamiento para obtener el ladrillo molido.
- Obtención del árido fino de Hormigones Moreno.
- Obtención de cemento Chimborazo tipo HE.
- Ensayo de las propiedades físicas del ladrillo molido.
- Elaboración de los cubos de 50 mm de arista para ensayos a compresión de largo plazo.
- Elaboración de cubos de 50 mm de arista para ensayos de sorptividad.
- Elaboración de mortero de enlucidos para el ensayo de intemperismo en la ciudad de Riobamba.

3.7.3 *Etapa 3*

- Análisis estadístico y discusión de resultados.
- Conclusiones y recomendaciones.

Etapa 1: Para poder definir con precisión el objeto de nuestro estudio, realizamos una investigación exhaustiva en la base de datos de la UNACH, consultamos tesis, artículos especializados y también exploramos Google Académico, todo ello buscando datos importantes relacionado con nuestro tema. Nos enfocamos principalmente en documentos y estudios nuevos, publicados en los últimos cinco a diez años. Los datos que encontramos nos permitieron tener una visión mucho más clara sobre cómo de usa el ladrillo molido y qué beneficios aporta en el sector de la construcción.

Etapa 2: Durante el trabajo de campo, se inició con la trituración de los ladrillos obtenidos de las 5 construcciones; de cada una se recolectaron 3 ladrillos, sumando un total de 15. Luego, se prosiguió con el molido de las partículas resultantes de la trituración, para así conseguir la materia prima destinada a la creación de morteros y efectuar ensayos físicos, siguiendo la normativa INEN NTE. Posteriormente, se confeccionaron cubos de mortero de 50 mm de arista, reemplazando el 20% de ladrillo molido por cemento Portland y otra muestra de mortero convencional 1:4. Estas probetas fueron sometidas posteriormente a ensayos de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días.

De igual manera, se produjeron cubos de 50 mm de arista para evaluar su absorción mediante el ensayo de sorptividad. Finalmente, se crearon enlucidos de 50x50x1.5 cm de espesor, uno con un reemplazo 20% de ladrillo molido por cemento Portland y otro con el mortero convencional 1:4. Estas aplicaciones se realizaron en una pared de una vivienda en Riobamba con el fin de observar el comportamiento del mortero. Es relevante mencionar que la mayoría de las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio Integral de la Construcción.

Etapa 3: En esta etapa de resultados y conclusiones, se ha reunido la información obtenida durante los estudios, así como la evaluación cuantitativa correspondiente. Como se ve, los resultados eran positivos, lo que facilitaba la formulación de conclusiones y recomendaciones que respaldaban la posibilidad de reemplazar un 20% de ladrillo molido por cemento Portland durante la preparación de morteros de enlucidos.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Análisis Descriptivo y Discusión de los Resultados

4.1.1 Determinación impurezas orgánicas

Tabla 11 Cuadro colores de referencia

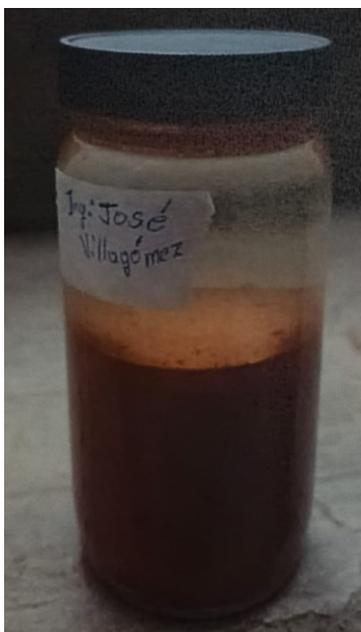
AMARILLO CLARO	AMARILLO OSCURO	MARRÓN LIGERO	MARRÓN OSCURO	NEGRO
Número 5	Número 8	Número 11	Número 14	Número 16

Agregado Fino

Fuente: *Elaboración propia*

La **Tabla 11** categoriza al agregado fino de este estudio por su color, la misma presenta 5 clasificaciones teniendo Amarillo Claro con el número 5, Amarillos Oscuro con el número 8, Marrón Ligero con el número 11, Marrón Oscuro con el número 14 y Negro con el número 16.

Figura 4 Identificación de impurezas orgánicas en ladrillo molido



La **Figura 4** documenta la ejecución del ensayo de colorimetría aplicado al Árido Fino, específicamente al Ladrillo Molido, el cual desempeña una función crucial en nuestra investigación.

La norma INEN NTE 872 establece criterios para la aceptación de áridos, prestando especial atención a la presencia de impurezas orgánicas que puedan comprometer la calidad de las construcciones, es por tal razón que al relacionar estos resultados de laboratorio mostrados en la **Tabla 11**, con los lineamientos de la norma antes mencionada, se puede deducir que el agregado fino en este caso Ladrillo Molido es recomendado para elaborar obras civiles.

4.1.2 Análisis granulométrico

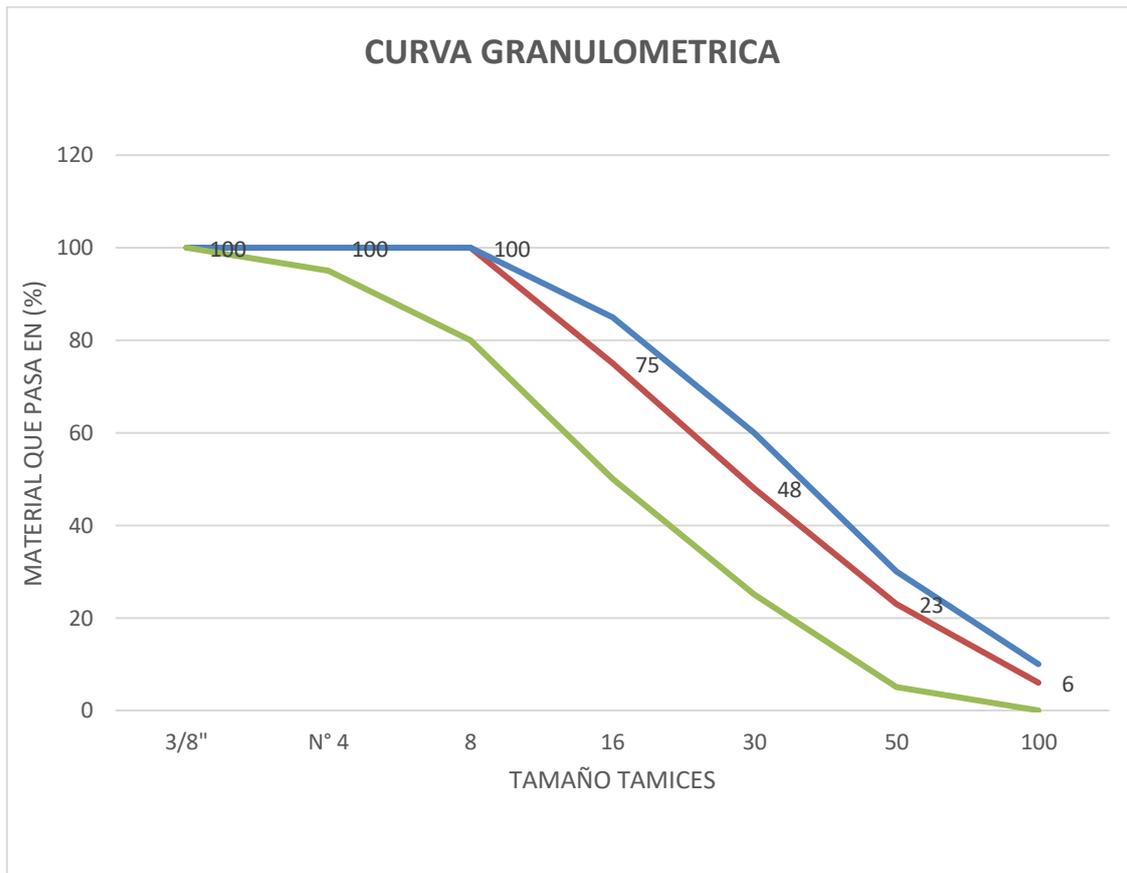
Tabla 12 Resultados de la granulometría para el árido fino (Ladrillo Molido)

Análisis Granulométrico						
Masa Inicial (g)		3000				
Tamiz	Masa Reten. Parc (g)	Porcentajes		Límites de gradación según NTE INEN 872		
No.	Tamaño (mm)	Ret. Parc (%)	Pasa (%)			
3/8"	9.5	-	-	100	100	100
Nº 4	4.75	-	-	100	100	95
8	2.36	9	0	100	100	80
16	1.18	245	25	75	85	50
30	600 μ m	814	27	48	60	25
50	300 μ m	758	25	23	30	5
100	150 μ m	503	17	6	10	0
Pasa Nº 200		671	5	1		
			99			
Módulo de Finura			2,438			

Fuente: *Elaboración propia*

La **Tabla 12** presenta un resumen del análisis granulométrico del material, con una masa inicial de 3000 g, también se detalla la retención del material en los diversos tamices tanto en masa como en porcentajes, se indica el porcentaje acumulado que pasa a través de cada uno de los tamices, los límites de gradación fueron definidos por la norma NTE INEN 872.

Figura 5 Curva Granulométrico de Agregado Fino (Ladrillo Molido)



Fuente: *Elaboración propia*

La **Figura 5** muestra una curva granulométrica que ilustra el porcentaje que pasa por cada uno de los tamices, el eje horizontal indica el tamaño de los tamices empleados, mientras que el eje vertical indica el porcentaje que pasa del material. Se distinguen 3 curvas, las mismas que representan la granulometría de un material. Las curvas de color azul y roja demuestran que la mayor proporción del material que pasa por los tamices de mayor abertura, con una disminución gradual en los tamices más finos. La curva de color verde evidencia una reducción más pronunciada en el porcentaje del material que pasa.

El ensayo de granulometría se lo realizó de acuerdo a la norma INEN NTE 696, la cual proporcionó la metodología estandarizada para la determinación de la distribución de los tamaños de partícula en los áridos a través del tamizado, con ayuda de la norma NTE INEN 872, que trata de los límites de gradación compuestos por un límite superior e inferior,

la curva granulométrica resultante en el laboratorio se encuentra dentro de estas dos curvas, lo cual indica que el árido fino (Ladrillo Molido) cumple con su granulometría. Adicionalmente, se obtuvo un módulo de finura de 2,438 valor que se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma INEN NTE 872, la cual nos indica que no debe ser inferior a 2,3 ni superior a 3,1, por lo tanto, su módulo de finura cumple con los requerimientos normativos.

4.1.3 Contenido total de humedad

Tabla 13 Humedad presente en el agregado fino (Ladrillo Molido)

Contenido de Humedad		
W. Hum	56.80	62.51
W. Seco	55.76	61.25
W. Caps	16.64	17.76
w%	2.66	2.90
	Promedio:	3

Fuente: *Elaboración propia*

La **Tabla 13** presenta datos sobre el contenido de humedad de la muestra, se observa valores de peso húmedo (W. Hum), peso seco (W. Seco) y peso de cápsula (W. Caps) en dos mediciones diferentes, a partir de estos valores calcula el porcentaje de humedad (w%) para cada medición y finalmente el promedio del porcentaje de humedad.

La norma INEN NTE 862 establece cómo medir la humedad en los áridos, lo cual es importante para controlar la cantidad de agua en las mezclas de construcción. Teniendo en cuenta el resultado del ensayo de laboratorio el cual muestra que el Ladrillo Molido tiene un 3% de humedad, esto señala la cantidad de agua preexistente en el agregado, destinada a la elaboración de hormigón o mortero, esta humedad debe considerarse para no añadir demasiada agua a la mezcla.

4.1.4 Determinación de la Densidad y Porcentaje de Absorción

Tabla 14 Densidad SSS Agregado Fino (Ladrillo Molido)

Datos del ensayo		
Muestra Nro.-	1	
Tipo de agregado:	Ladrillo molido	
Densidad Superficialmente Seca del Agregado Fino		
Masa del agregado sss	500	g
Masa del picnometro	439	g
Masa del picnometro + agua	1016	g
Masa del picnometro + agua + muestra	1285	g
Dsss =	2159.09	kg/m3
	2.16	g/cm3

Fuente: *Elaboración propia*

La **Tabla 14** presenta las mediciones necesarias para calcular la densidad superficialmente seca (Dsss) de la muestra de Ladrillo Molido, ella detalla la masa del agregado, masa del picnómetro, masa de picnómetro con agua y la masa del picnómetro con agua y agregado.

La norma INEN NTE 856 describe el procedimiento para determinar la densidad SSS del agregado fino, información clave para preparar mezclas de mortero o concreto (INEN, 2010).

En este caso, la prueba determinó una densidad SSS de 2,16 g/cm³, lo que indica la masa del material seco más el agua retenida en sus poros por cada unidad de volumen.

Tabla 15 Porcentaje de Absorción Agregado Fino (Ladrillo Molido)

Absorción Agregado Fino		
Masa de la muestra en estado sss	500	g
Masa de la muestra seca al horno	410	g
Absorción =	21.95	%

Absorción Agregado Fino		
Masa de la muestra en estado sss	500	g
Masa de la muestra seca al horno	410	g
Absorción =	21.95	%

Fuente: *Elaboración propia*

En la **Tabla 15** se presenta el cálculo del porcentaje de absorción del Árido Fino Ladrillo Molido, utilizando los datos obtenidos del ensayo de laboratorio.

La norma INEN NTE 856 explica el procedimiento para calcular cuánta agua puede absorber el agregado fino, en este caso el ladrillo molido, lo cual es un factor importante en la preparación de mezclas para la construcción (INEN, 2010).

Tras las pruebas de laboratorio, los resultados indicaron que el material tiene una capacidad de absorción del 21.95%. Esto revela el volumen de agua que puede retener, medido en relación con su peso en estado completamente seco.

4.1.5 Resumen de Resultados Árido Fino (Ladrillo Molido)

Tabla 16 Resumen de las propiedades físicas del agregado fino (Ladrillo Molido)

Propiedad Física	Valor	Unidad
Impurezas Orgánicas		-
Módulo de finura	2.438	-
Contenido de humedad	3.000	%
Densidad SSS	2159.09	kg/m ³
% Absorción	21.95	%
Límite Líquido	45	-
Límite Plástico	45	-
Índice Plástico	NP	-

Fuente: *Elaboración propia*

La **Tabla 16** expone la síntesis de los análisis de laboratorio sobre las propiedades físicas del agregado fino (Ladrillo Molido). Estos valores están dentro los rangos normados, lo que sugiere que este agregado es apto para la fabricación de morteros.

4.1.6 Ensayo a compresión

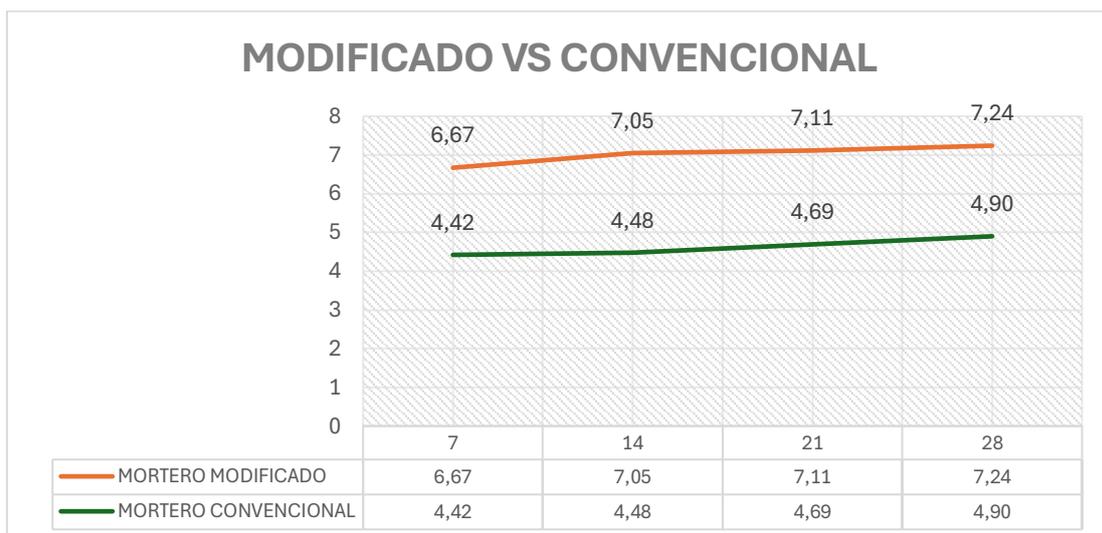
Tabla 17 Media y Desviación Estándar del ensayo a compresión

Dosificación con reemplazo de cemento por Ladrillo Molido			
Días	Medidas	0% (Convencional)	20% (LM)
7	Media (MPa)	4.42	6.67
	Desviación Estándar	0.2298	1.3328
14	Media (MPa)	4.48	7.05
	Desviación Estándar	0.1665	0.7068
21	Media (MPa)	4.69	7.11
	Desviación Estándar	0.5119	0.3934
28	Media (MPa)	4.89	7.24
	Desviación Estándar	0.5716	0.721

Fuente: *Elaboración propia*

En la **Tabla 17** se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas a los 7, 14, 21 y 28 días, calculando la resistencia promedio y su desviación estándar a partir de la información recolectada.

Figura 6 Comparación de resistencias de un mortero convencional vs mortero con reemplazo de cemento por ladrillo molido



Fuente: *Elaboración propia*

Al examinar la **Figura 6**, se observa que el mortero modificado con la sustitución de cemento por ladrillo molido exhibe un rendimiento superior en términos de resistencia comparado con el mortero convencional. Esto se atribuye a que los tiempos de curado analizados también revelan que el mortero con ladrillo molido alcanza una consistencia más robusta en un periodo más corto que el mortero convencional.

La **Tabla 17** y la **Figura 6**: Comparación de la resistencia a la compresión entre el mortero tradicional y el mortero que incluye ladrillo molido, evaluados a los 7, 14, 21 y 28 días. La resistencia a la compresión del mortero alterado fue siempre más alta dando un valor de 7,24 Mpa en el día 28, mientras que la del mortero convencional fue de 4,90 Mpa en el mismo lapso.

Según la norma (INEN, 2010) dice que: “para un mortero de cemento tipo N exige una resistencia promedio de 5.20 Mpa a los 28 días”; por lo tanto, el mortero con la adición de ladrillo molido supera este valor, lo que demuestra que la modificación mejora su resistencia. Por otro lado, el mortero tradicional no logra cumplir con este estándar.

En el **Anexo 2** es posible observar con detalle los valores de los ensayos de compresión obtenidos en el laboratorio, analizados a los 7, 14, 21 y 28 días.

4.1.7 Ensayo de absorción de agua o Sorptividad

La **Tabla 18** permite observar el comportamiento de las muestras de ensayo según el porcentaje de reemplazo.

Tabla 18 Absorción capilar promedio de morteros con sustitución parcial de cemento por ladrillo molido.

Ladrillo Molido (%)	Absorción inicial (mm/s^{1/2})	Absorción secundaria (mm/s^{1/2})
0%	6.20	13.95
20%	5.73	13.59

Fuente: *Elaboración propia*

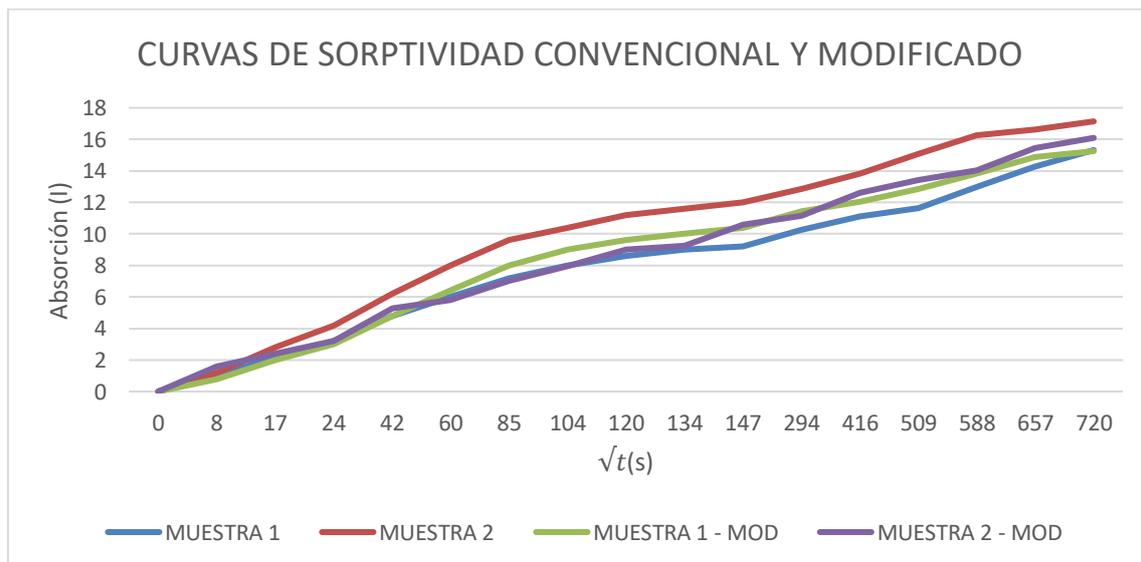
Se observa que la muestra con un 20% de ladrillo molido presenta un decremento de la absorción inicial pasando de 6.2 a 5.73 mm/s^{1/2}, y de absorción secundaria de 13.95 a 13.59 mm/s^{1/2}, los valores detallados se pueden visualizar en el **Anexo 4**.

La disminución en la capacidad de absorción capilar, tanto en su fase inicial como en la secundaria, al incorporar un 20% de ladrillo molido en el mortero, sugiere que este componente proporciona mayor impermeabilidad. Este hallazgo es muy positivo para su uso en la construcción, dado que una menor capacidad de absorción ayuda a extender la durabilidad del mortero y a reducir el peligro de deterioros causados por la humedad.

Un estudio reciente, llevado a cabo por (Mahdy, 2022) reveló que: el empleo de polvo de ladrillo triturado como material de relleno condujo a una reducción en el coeficiente de sorptividad del concreto y mortero. Este efecto fue atribuido a la disminución de la porosidad generada por la incorporación de dicho polvo, lo que indica una mejora en la durabilidad de ambos materiales.

No obstante, es importante mencionar que la cantidad de polvo de ladrillo triturado empleada puede influir de manera notable en los resultados alcanzados. Un estudio realizado por (Bideci, 2024) demostró que al sustituir el 10% de cemento por polvo de ladrillo molido se observó una reducción en la absorción de agua en relación con el mortero convencional. Sin embargo, las sustituciones del 30% y 50% provocaron un aumento en esa absorción.

Figura 7 Curvas de Sorptividad mortero convencional y modificado 20%



Fuente: *Elaboración propia*

La **Figura7**, a través de su gráfico de Curvas de Sorptividad, compara la absorción de agua entre morteros convencionales y modificados. Se constata además que los morteros modificados presentan sistemáticamente una absorción de agua inferior en relación con los convencionales, resaltando la Muestra 2 por su nivel de absorción más alto. Una mayor absorción implica una mayor sorptividad, indicando una velocidad superior de ingreso de agua por capilaridad, mientras que la Muestra 1 – MOD y Muestra 2 – MOD tienen una menor absorción y por lo tanto implica una menor sorptividad, indicando que su velocidad de absorción capilar es menor, los valores resultantes para esta grafica se puede visualizar en el **Anexo 3**.

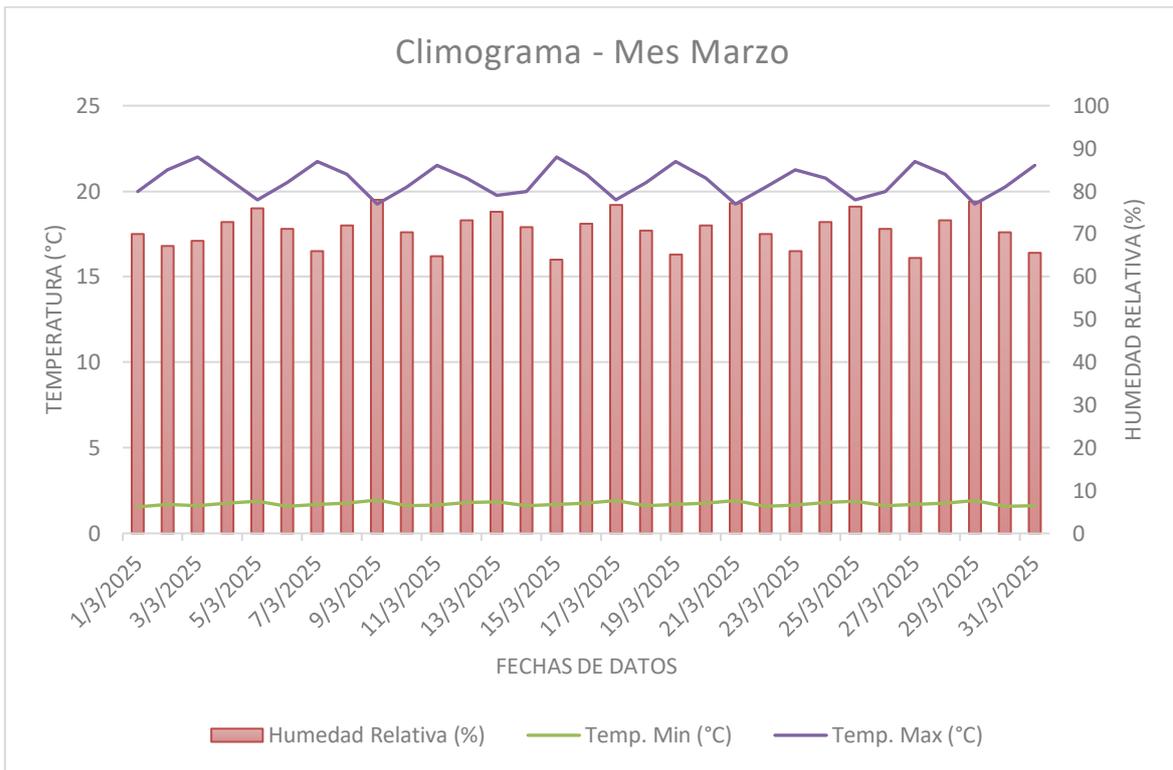
4.1.8 Ensayo de Intemperismo

El procedimiento experimental se ejecutó conforme a la metodología planteada por (Solis, 2021). Así, las **Figura 8** y **Figura 10** muestran las variaciones observadas en los enlucidos aplicados en la pared de una vivienda en la Ciudad de Riobamba, Parroquia Velasco (coordenadas 9815412.85; 762602.24). Estos cambios se documentaron durante dos meses (del 1 de marzo al 30 de abril de 2025), tiempo en el que los enlucidos estuvieron expuestos a los efectos climáticos y bajas temperaturas habituales de la ciudad, según se especifica en los climogramas pertinentes.

Adicionalmente, las **Figura 9** y **Figura 11** muestran los cambios experimentados por los enlucidos realizados en la pared de la vivienda en la Ciudad de Riobamba (9815412.85; 762602.24) bajo un régimen de altas lluvias y humedad, tal como se puede verificar en los climogramas respectivos.

Es crucial señalar que la información sobre temperaturas, precipitaciones y humedades mostrada en los climogramas fue obtenida directamente del INAMHI. Todos estos detalles se hallan desglosados en el **Anexo 5**.

Figura 8 Representación climática de Riobamba: primer mes de prueba, marzo 2025

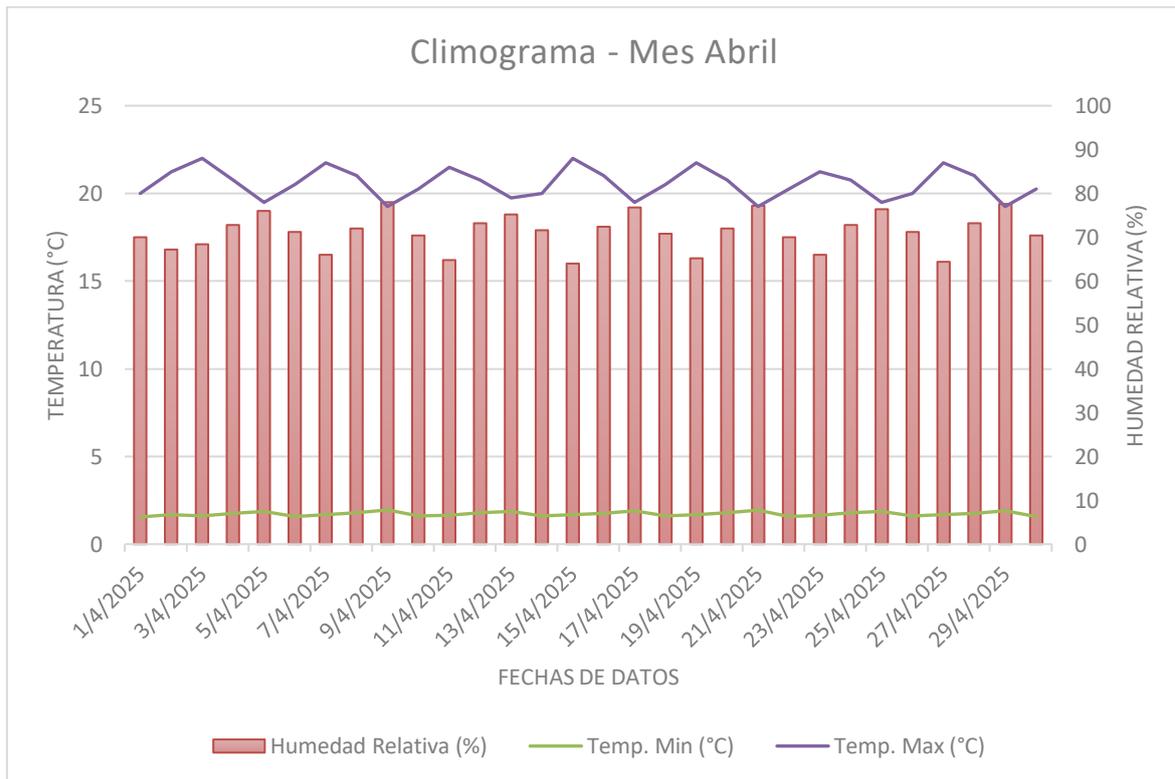


Fuente: *Elaboración propia*

Figura 9 Enlucidos en pared exterior en Riobamba - Mes marzo



Figura 10 Representación climática de Riobamba: segundo mes de prueba, abril 2025



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 11 Enlucidos en pared exterior en Riobamba - Mes abril



En las figuras que exponen los enlucidos aplicados en la pared de una vivienda, se percibe que al principio presentaban cierta porosidad. No obstante, desde el segundo mes de ensayo, se notó que obtuvieron una apariencia más tersa en contraste con la muestra estándar (convencional). Este cambio indica que el Ladrillo Molido favorece el sellado de los poros del mortero, lo que previene la absorción de agua.

Con esto, se demuestra que los enlucidos pertinentes no absorbieron agua, ya que conservaron un tono blanquecino durante toda la fase de observación del ensayo, incluso en jornadas de lluvia. Adicionalmente, no se documentó presencia de musgo en ninguno de los casos; este, de acuerdo con (Solis, 2021), suele tardar alrededor de tres semanas en aparecer en ambientes húmedos y con sol. Tampoco se identificaron salitre, fisuras ni alteraciones de coloración. Todos estos hallazgos se atribuyen a la baja concentración de humedad en los enlucidos, lo cual es resultado de una optimización en la impermeabilización, aspecto que fue confirmado en el ensayo de sorptividad.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los ladrillos provenientes de varias edificaciones en Riobamba, después de ser triturado y molido, proporciona mayor resistencia al mortero de enlucido gracias a su habilidad para disminuir los coeficientes de absorción de agua por capilaridad, particularmente con el reemplazo del 20% de ladrillo molido, este efecto impide que el agua se filtre a través de los poros, lo que a la larga conlleva un deterioro reducido, tal como se verificó en la prueba de intemperismo realizada en una pared de una vivienda en Riobamba.
- De los ensayos llevados a cabo, se concluye que la sustitución porcentual óptima para el mortero de enlucido propuesto es del 20% de ladrillo molido, esta elección se fundamenta en su impermeabilidad, su facilidad de aplicación y su resistencia estandarizada.
- En relación con la resistencia a la compresión, el mortero convencional alcanzó un valor de 4.90 MPa a los 28 días, en contraste, el mortero con un 20% de ladrillo molido demostró una resistencia superior de 7.24 MPa a los 28 días, a pesar de la menor resistencia del mortero convencional, se observa que el mortero con 20% de reemplazo cumple con la resistencia mínima para enlucidos, que es de 5.2 MPa por lo tanto, la muestra con 20% de ladrillo molido se presenta como la opción ideal.
- En cuanto al ensayo de sorptividad, se constata que las probetas con porcentajes de ladrillo molido mostraron una reducción notable en la absorción de agua, tanto en la etapa inicial como secundaria, en comparación con el desempeño del mortero convencional, esto resulta ventajoso para evitar el surgimiento de patologías en el mortero que se desarrollan por la presencia de la humedad.
- Tras monitorear el desempeño de los enlucidos de mortero convencional (patrón) y el mortero con 20% de sustitución, ambos aplicados en la pared de una residencia en Riobamba, se notó una superficie más homogénea en aquellos que incorporaban ladrillo molido frente al mortero estándar, cabe mencionar que el mortero óptimo con 20% de reemplazo proporciona beneficios de absorción reducida, excelente adherencia y una trabajabilidad mejorada.

5.2 Recomendaciones

- Los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a la muestra de ladrillo molido justifican la alternativa de utilizar el ladrillo molido como agregado para mortero de enlucidos.
- Analizar la posibilidad de emplear morteros con sustituciones porcentuales de arena y no de cemento como en esta investigación, así se podrían revisar las consecuencias que generan para reducir los problemas patológicos en enlucidos.
- Se propone extender el seguimiento de los paneles de enlucidos en el estudio actual y en futuros, con el fin de determinar qué ocurre a medida que transcurre más tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bideci, A. (2024). Utilización de polvo de ladrillo reciclado como material cementicio complementario: una revisión exhaustiva. *MDPI*, 1-19. Obtenido de https://www.mdpi.com/1996-1944/17/3/637?utm_source
- Ede, A. (2019). Reutilización de residuos de ladrillo de arcilla cocida pulverizados como sustituto del cemento en morteros para la construcción sostenible. *Serie de conferencias del IOP sobre ciencia e ingeniería de materiales*.
- EPA. (08 de 11 de 2024). *United State Environmental Protection Agency*. Obtenido de EPA United State Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/construction-and-demolition-debris-material>
- Fabbrocino, F. (2022). Áridos finos reciclados a partir de restos de mortero y ladrillos de arcilla roja para la fabricación de morteros de mampostería: análisis mecánico. *PMC PubMed Central*.
- Hu, J. (2024). A Critical Review of the Technical Characteristics of Recycled Brick Powder and Its Influence on Concrete Properties. *Buildings*.
- INEN, N. (2010). Morteros para Unidades de Mampostería. Requisitos NTE INEN 2518:2010. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 28.
- Kumar, A. (2024). Efectos de los ladrillos sobrecocidos en la gradación, la absorción de agua y la gravedad específica de los agregados, la trabajabilidad y la resistencia a la compresión del hormigón. *Revista malaya de ciencia y tecnología avanzada*.
- Mahdy, M. (2022). El efecto del polvo de ladrillo triturado finalmente molido sobre las características físicas y microestructurales del hormigón ligero. *MDPI*, 1-17. Obtenido de https://www.mdpi.com/2075-163X/12/2/159?utm_source
- Manzi, S. (2023). Formulating Geopolymer Mortars through Construction and Demolition Waste (CDW) Recycling: A Comprehensive Case Study. *Department of Civil, Chemical, University of Bologna*.

- Miah, J. (2021). Viabilidad del uso de residuos reciclados de ladrillos de arcilla cocida en mortero a base de cemento: Propiedades mecánicas, durabilidad y resistencia residual tras la exposición a temperaturas elevadas. *Revista Internacional de Ingeniería Civil*.
- Modense, P. (2018). Mortero de cemento: dosificación y rendimiento - manual de obra. *Revista de ciencia y tecnología avanzada*.
- Mohamed, G. (2018). Physical and mechanical properties of cement mortar made with brick waste. *MATEC Web of Conferences*.
- Pazos, C. (2018). Determinación del grado de deterioro producido por la acción del clima en diferentes materiales de construcción utilizados en edificaciones de la ciudad de Quito. *Repositorio Nacional PUCE - Quito*, 50-55.
- Reza, F. (2013). Use of Recycled Brick in Aggregates. *Minnesota Department of Transportation*.
- Solis, H. &. (2021). Efecto de las propiedades físico - mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa.
- Valdivieso, P. (2024). Ceniza de cascarilla de arroz en mortero para reducir las patologías por humedad en enlucidos. *Trabajo de Titulación*, 18.
- Velasquez, A. (2019). Ficha Técnica Cemento Chimborazo HE. *Ficha Técnica Cemento Chimborazo HE*, 5. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/406606062/Ficha-Tecnica-Cemento-Chimborazo-He>
- Villagomez. (2019). *Caracterización de los residuos de construcción generados en la ciudad de Riobamba*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Zaruma, L. A. (2018). MORTERO IMPERMEABLE A BASE DE PLÁSTICO RECICLADO PET PARA REVESTIMIENTOS DE EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE ZAMORA. *Universidad de Cuenca*, 1-96.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de clasificación del agregado

Contenido de Humedad		
W. Hum	56.80	62.51
W. Seco	55.76	61.25
W. Caps	16.64	17.76
w%	2.66	2.90
Promedio:	3	

Límite Líquido		
Golpes	10	20
W. Hum	36.99	38.09
W. Seco	34.87	35.83
W. Caps	30.37	30.89
w%	47.11	45.75

Límite Plástico				
W. Hum	33.20	32.71	L. Líq =	45
W. Seco	32.38	32.10	L. Plást =	45
W. Caps	30.59	30.73	I. Plást	NP
w%	45.81	44.53	SUCS:	ML

Anexo 2. Resultados de los ensayos a compresión

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	11500	4.60	4.60	19/02/2025	26/02/2025	7	SECO
2	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	10300	4.12	4.12	19/02/2025	26/02/2025	7	SECO
3	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	10900	4.36	4.36	19/02/2025	26/02/2025	7	SECO
4	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	11500	4.60	4.60	19/02/2025	26/02/2025	7	SECO

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	11700	4.68	4.68	20/02/2025	06/03/2025	14	SECO
2	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	10700	4.28	4.28	20/02/2025	06/03/2025	14	SECO
3	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	11300	4.52	4.52	20/02/2025	06/03/2025	14	SECO
4	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	11100	4.44	4.44	20/02/2025	06/03/2025	14	SECO

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4	CUBO	50	51	50	2550.0	2550.0	13500	5.29	5.29	21/02/2025	14/03/2025	21	SECO
2	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	11700	4.68	4.68	21/02/2025	14/03/2025	21	SECO
3	Dosificación 1:4	CUBO	51	50	50	2550.0	2550.0	12100	4.75	4.75	21/02/2025	14/03/2025	21	SECO
4	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	51	2550.0	2550.0	10100	4.04	4.04	21/02/2025	14/03/2025	21	SECO

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	20000	5.50	5.50	24/02/2025	24/03/2025	28	SECO
2	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	19100	4.70	4.70	24/02/2025	24/03/2025	28	SECO
3	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	16300	5.20	5.20	24/02/2025	24/03/2025	28	SECO
4	Dosificación 1:4	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	20600	4.20	4.20	24/02/2025	24/03/2025	28	SECO

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	21400	8.56	8.56	03/02/2025	10/02/2025	7	SECO
2	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	49	49	50	2401.0	2401.0	15400	6.41	6.41	03/02/2025	10/02/2025	7	SECO
3	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	49	49	50	2401.0	2401.0	15000	6.25	6.25	03/02/2025	10/02/2025	7	SECO
4	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	13600	5.44	5.44	03/02/2025	10/02/2025	7	SECO

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	19000	7.60	7.60	19/02/2025	05/03/2025	14	SECO
2	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	16200	6.48	6.48	19/02/2025	05/03/2025	14	SECO
3	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	19300	7.72	7.72	19/02/2025	05/03/2025	14	SECO
4	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	16000	6.40	6.40	19/02/2025	05/03/2025	14	SECO

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	15000	7.60	7.60	17/02/2025	10/03/2025	21	SECO
2	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	13600	6.90	6.90	17/02/2025	10/03/2025	21	SECO
3	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	14600	7.22	7.22	17/02/2025	10/03/2025	21	SECO
4	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	51	50	51	2550.0	2550.0	13200	6.70	6.70	17/02/2025	10/03/2025	21	SECO

DATOS DEL ENSAYO											NORMA: ASTM C109			
No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área Bruta de Ensayo (mm ²)	Área Neta de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Bruto de compresión (MPa)	Esfuerzo Neto de compresión (MPa)	Fecha de muestra	Fecha de ensayo de la muestra	Edad de la muestra (Días)	Observaciones
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
1	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	51	50	2550.0	2550.0	15070	6.43	6.43	18/02/2025	18/03/2025	28	SECO
2	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	51	50	50	2550.0	2550.0	19900	8.10	8.10	18/02/2025	18/03/2025	28	SECO
3	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	51	50	51	2550.0	2550.0	16900	6.93	6.93	18/02/2025	18/03/2025	28	SECO
4	Dosificación 1:4.0.20	CUBO	50	51	50	2550.0	2550.0	17300	7.50	7.50	18/02/2025	18/03/2025	28	SECO

Anexo 3. Tablas ensayo de sorptividad de mortero convencional y modificado (ladrillo molido)

MUESTRA 1 - MORTERO CONVENCIONAL

Área de la muestra = 2500

Día	Tiempo (s)	Masa (g)	$\Delta_m = Masa - 250 \text{ g (g)}$	\sqrt{t} (s)	$l = \frac{\frac{Masa}{\text{área}}}{\text{densidad del agua}}$
	0	250.0	0.0	0	0
	60	252.5	2.5	8	1.00
	300	255.5	5.5	17	2.20
	600	258.0	8.0	24	3.20
	1800	262.0	12.0	42	4.80
	3600	265.0	15.0	60	6.00
	7200	268.0	18.0	85	7.20
	10800	270.0	20.0	104	8.00
	14400	271.5	21.5	120	8.60
	18000	272.5	22.5	134	9.00
	21600	273.0	23.0	147	9.20
1	86400	275.7	25.7	294	10.27
2	172800	277.8	27.8	416	11.12
3	259200	279.1	29.1	509	11.64
4	345600	282.4	32.4	588	12.96
5	432000	285.7	35.7	657	14.28
6	518400	288.3	38.3	720	15.32

MUESTRA 2 - MORTERO CONVENCIONAL

Área de la muestra = 2500

Día	Tiempo (s)	Masa (g)	$\Delta_m = Masa - 250 \text{ g (g)}$	$\sqrt{t}(\text{s})$	$l = \frac{\frac{Masa}{\text{área}}}{\text{densidad del agua}}$
	0	250.0	0.0	0	0
	60	253.0	3.0	8	1.20
	300	257.0	7.0	17	2.80
	600	260.5	10.5	24	4.20
	1800	265.5	15.5	42	6.20
	3600	270.0	20.0	60	8.00
	7200	274.0	24.0	85	9.60
	10800	276.0	26.0	104	10.40
	14400	278.0	28.0	120	11.20
	18000	279.0	29.0	134	11.60
	21600	280.0	30.0	147	12.00
1	86400	282.2	32.2	294	12.86
2	172800	284.6	34.6	416	13.83
3	259200	287.7	37.7	509	15.08
4	345600	290.7	40.7	588	16.26
5	432000	291.5	41.5	657	16.62
6	518400	292.9	42.9	720	17.14

MUESTRA 1 - MORTERO CON REEMPLAZO DE 0.20 LADRILLO MOLIDO

Área de la muestra = 2500

Día	Tiempo (s)	Masa (g)	$\Delta_m = Masa - 250 \text{ g (g)}$	$\sqrt{t}(s)$	$l = \frac{\text{Masa}}{\text{área}} \div \text{densidad del agua}$
	0	250.0	0.0	0	0
	60	252.0	2.0	8	0.80
	300	255.0	5.0	17	2.00
	600	257.5	7.5	24	3.00
	1800	262.0	12.0	42	4.80
	3600	266.0	16.0	60	6.40
	7200	270.0	20.0	85	8.00
	10800	272.5	22.5	104	9.00
	14400	274.0	24.0	120	9.60
	18000	275.0	25.0	134	10.00
	21600	276.0	26.0	147	10.40
1	86400	278.6	28.6	294	11.45
2	172800	280.1	30.1	416	12.06
3	259200	282.2	32.2	509	12.86
4	345600	284.6	34.6	588	13.82
5	432000	287.2	37.2	657	14.89
6	518400	288.1	38.1	720	15.25

MUESTRA 2 - MORTERO CON REEMPLAZO DE 0.20 LADRILLO MOLIDO

Área de la muestra = 2500

Día	Tiempo (s)	Masa (g)	$\Delta_m = Masa - 250 \text{ g (g)}$	$\sqrt{t}(s)$	$I = \frac{\text{Masa}}{\text{área}} \div \text{densidad del agua}$
	0	250.0	0.0	0	0
	60	254.0	4.0	8	1.60
	300	256.0	6.0	17	2.40
	600	258.0	8.0	24	3.20
	1800	263.2	13.2	42	5.26
	3600	264.5	14.5	60	5.81
	7200	267.6	17.6	85	7.03
	10800	269.9	19.9	104	7.94
	14400	272.5	22.5	120	9.02
	18000	273.1	23.1	134	9.25
	21600	276.5	26.5	147	10.58
1	86400	277.9	27.9	294	11.14
2	172800	281.6	31.6	416	12.62
3	259200	283.5	33.5	509	13.42
4	345600	285.1	35.1	588	14.05
5	432000	288.6	38.6	657	15.43
6	518400	290.2	40.2	720	16.09

Anexo 4. Resumen de Absorción inicial y secundaria

Adición de Ladrillo Molido	Muestra	Absorción inicial	r	Absorción secundaria	r
0%	Muestra 1	5.38	0.98	12.60	0.98
	Muestra 2	7.02	0.98	15.30	0.98
	Promedio	6.20		13.95	
20%	Muestra 1	5.82	0.98	13.39	0.98
	Muestra 2	5.64	0.98	13.79	0.98
	Promedio	5.73		13.59	

Anexo 5. Datos de variaciones de precipitación, temperatura y humedad relativa ensayo de intemperismo.

Primer Mes - Marzo				
Fecha	Precipitación (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)
01/03/2025	1.2	17.5	6.2	80
02/03/2025	4.5	16.8	6.8	85
03/03/2025	8.1	17.1	6.5	88
04/03/2025	5.3	18.2	7	83
05/03/2025	0.5	19	7.5	78
06/03/2025	3	17.8	6.3	82
07/03/2025	7.2	16.5	6.7	87
08/03/2025	4	18	7.1	84
09/03/2025	0.1	19.5	7.8	77
10/03/2025	2.5	17.6	6.4	81
11/03/2025	6.8	16.2	6.6	86
12/03/2025	3.5	18.3	7.2	83
13/03/2025	0.8	18.8	7.4	79
14/03/2025	2	17.9	6.5	80
15/03/2025	7.9	16	6.8	88
16/03/2025	4.8	18.1	7	84
17/03/2025	1.5	19.2	7.6	78
18/03/2025	3.2	17.7	6.4	82
19/03/2025	9	16.3	6.7	87
20/03/2025	6.1	18	7.1	83
21/03/2025	0.3	19.3	7.7	77
22/03/2025	2.8	17.5	6.3	81
23/03/2025	5.9	16.5	6.6	85
24/03/2025	3.9	18.2	7.2	83
25/03/2025	0	19.1	7.5	78
26/03/2025	2.2	17.8	6.4	80

27/03/2025	7.5	16.1	6.7	87
28/03/2025	5	18.3	7	84
29/03/2025	1	19.4	7.6	77
30/03/2025	3.1	17.6	6.3	81
31/03/2025	6.5	16.4	6.5	86

Segundo Mes - Abril

Fecha	Precipitación (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)
01/04/2025	1.2	17.5	6.2	80
02/04/2025	4.5	16.8	6.8	85
03/04/2025	8.1	17.1	6.5	88
04/04/2025	5.3	18.2	7	83
05/04/2025	0.5	19	7.5	78
06/04/2025	3	17.8	6.3	82
07/04/2025	7.2	16.5	6.7	87
08/04/2025	4	18	7.1	84
09/04/2025	0.1	19.5	7.8	77
10/04/2025	2.5	17.6	6.4	81
11/04/2025	6.8	16.2	6.6	86
12/04/2025	3.5	18.3	7.2	83
13/04/2025	0.8	18.8	7.4	79
14/04/2025	2	17.9	6.5	80
15/04/2025	7.9	16	6.8	88
16/04/2025	4.8	18.1	7	84
17/04/2025	1.5	19.2	7.6	78
18/04/2025	3.2	17.7	6.4	82
19/04/2025	9	16.3	6.7	87
20/04/2025	6.1	18	7.1	83

21/04/2025	0.3	19.3	7.7	77
22/04/2025	2.8	17.5	6.3	81
23/04/2025	5.9	16.5	6.6	85
24/04/2025	3.9	18.2	7.2	83
25/04/2025	0	19.1	7.5	78
26/04/2025	2.2	17.8	6.4	80
27/04/2025	7.5	16.1	6.7	87
28/04/2025	5	18.3	7	84
29/04/2025	1	19.4	7.6	77
30/04/2025	3.1	17.6	6.3	81
