



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA

**USO DE FRAGMENTOS DE LADRILLO TOCHANO
PROVENIENTES DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
PARA LA FABRICACIÓN DE UN MORTERO DE
REVESTIMIENTO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ARQUITECTA**

AUTOR: KAREN DANIELA RIVERA FERNÁNDEZ

**DIRECTOR: ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ,
MGS.**

AZOGUES - ECUADOR

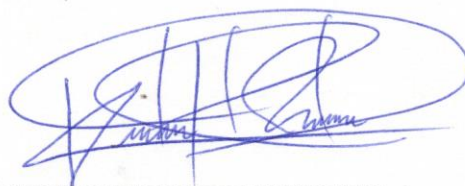
2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Karen Daniela Rivera Fernández portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0350177135**. Declaro ser el autor de la obra: **“Uso de fragmentos de ladrillo tochano provenientes de los residuos de construcción para la fabricación de un mortero de revestimiento”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **7 de abril de 2025**



F:

Karen Daniela Rivera Fernández

C.I. 0350177135

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Arq. Andrés Oswaldo Venegas Tomalá, Mgs.

DOCENTE DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Uso de fragmentos de ladrillo tochano provenientes de los residuos de construcción para la fabricación de un mortero de revestimiento**", realizado por: **Karen Daniela Rivera Fernández**, con documento de identidad: **0350177135**, previo a la obtención del título de **Arquitecta** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 7 de abril de 2025



ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ, MGS.

0103751780

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

De todo corazón quiero agradecer a todas las personas que, de una forma u otra, hicieron posible para mí el completar este trabajo de investigación.

En primer lugar, a mi director de tesis, Arquitecto Andrés Venegas Tomalá, por su invaluable guía, paciencia y conocimientos compartidos a lo largo de este proceso, su orientación ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación.

De manera muy especial a mis padres, por su amor, confianza y apoyo incondicional, por creer en mí en cada momento y brindarme palabras de aliento cuando más las necesité.

Finalmente, agradezco a la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues por brindarme la oportunidad de formarme y crecer tanto personal como profesionalmente.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Javier Rivera y Olga Fernández, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Gracias por cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo que me han ayudado a crecer día a día y luchar por mis metas.

Este logro es tanto suyo como mío, porque sin su guía y confianza en mí, este camino habría sido mucho más difícil. Les dedico con todo mi corazón este trabajo, con la esperanza de que sea un reflejo de todo lo que me han enseñado.

RESUMEN

La adición de áridos reciclados en el mortero, se ha vuelto una alternativa popular para realizar estudios con el fin de reducir los residuos de construcción. Este documento de tipo experimental evalúa el comportamiento del mortero al incorporar fragmentos de ladrillo en proporciones de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, definidos mediante la revisión bibliográfica de normas y trabajos de investigación relacionados al tema. Posteriormente, se realizan ensayos de laboratorio según normativas, para caracterizar los materiales y obtener los datos necesarios para el cálculo del diseño de mezcla del mortero. Por último, se elaboran cubos de mortero conforme a la norma NTE INEN 488, y los resultados obtenidos de los ensayos indican que al agregar el 20% de residuos de ladrillo se cumple la resistencia mínima a la compresión expresada en la NEC-SE-MP Capítulo 10: Mampostería Estructural. Así, se demuestra que la incorporación de residuos de ladrillo es una opción viable y sostenible para la elaboración de mortero de revestimiento respetuoso con el medio ambiente.

Palabras clave: mortero, residuos de ladrillo, revestimiento, sostenible

ABSTRACT

Adding recycled aggregates to mortar has become a popular alternative in studies to reduce construction waste. This experimental study evaluates the behavior of mortar when incorporating brick fragments in proportions of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%, based on a literature review of standards and research studies. Laboratory tests were conducted in accordance with regulations to characterize the materials and collect the necessary data for mortar mix design calculations. Finally, mortar cubes are prepared using the NTE INEN 488 standard. The test results indicate that incorporating 20% brick waste meets the minimum compressive strength established in NEC-SE-MP Chapter 10: Masonry Wall Construction. Thus, the study demonstrates that incorporating brick waste is a viable and sustainable option for producing environmentally friendly mortar coating.

Keywords: mortar, brick waste, coating, sustainable

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORÍA	1
CERTIFICACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE DE CONTENIDOS	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE ANEXOS	11
INTRODUCCIÓN	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
JUSTIFICACIÓN	13
OBJETIVOS	14
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
CAPÍTULO I	15
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 MORTERO	15
1.1.1 Composición del mortero	15
1.1.2 Propiedades del mortero	17
1.1.3 Clasificación del mortero	18
1.1.4 Identificación y caracterización de materiales para la producción de mortero	20
1.1.5 Proceso de fabricación del mortero	21
1.2 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	22
1.2.1 Orígenes y factores que influyen en la generación de residuos de construcción y demolición procedentes del ladrillo.	22
1.2.2 Caracterización de residuos de ladrillo	22
CAPÍTULO II	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYOS	26
2.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	26
2.2 ENSAYO GRANULOMÉTRICO	27
2.2.1 Ensayo de granulometría – Arena	27
2.2.2 Ensayo de granulometría – Residuos de ladrillo	29
2.2.3 Determinación del contenido total de humedad de los áridos	32
2.2.4 Densidad y absorción del árido fino	34
2.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS PARA LOS ÁRIDOS	38
CAPÍTULO III	39
3. FABRICACIÓN DEL MORTERO Y APLICACIÓN DE ENSAYOS	39
3.1 DISEÑO DE MEZCLA DEL MORTERO	39
3.2 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE MORTERO	45
3.2.1 Elaboración de la mezcla de mortero	46
3.3 APLICACIÓN DE ENSAYOS PARA MORTERO EN ESTADO ENDURECIDO	50
3.3.1 Resistencia a la compresión de morteros – INEN 488	50
3.3.2 Tasa de absorción de agua o Sorptividad	51

3.3.3 Densidad	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS CUBOS DE MORTERO DOSIFICADOS EN LABORATORIO	56
4.1.1 Resistencia a la compresión de morteros	56
4.1.2 Tasa de absorción de agua o Sorptividad	57
4.1.3 Densidad	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de fabricación de mortero _____	22
Figura 2	Valores de correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión para arena de río _____	40
Figura 3	Análisis de los ensayos de resistencia a la compresión aplicados en cubos de mortero _____	57
Figura 4	Análisis de los ensayos de absorción de agua de los cubos de mortero _____	57
Figura 5	Análisis de los ensayos de densidad de los cubos de mortero _____	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos y clasificación del cemento según ASTM C-150-07 _____	16
Tabla 2 Tipos de mortero NEC – SE – MP _____	19
Tabla 3 Proporciones de los morteros _____	20
Tabla 4 Mortero – caracterización de materiales _____	20
Tabla 5 Mortero con remplazo de agregado fino por residuos de ladrillo – caracterización de materiales _____	23
Tabla 6 Resultados de los ensayos realizados para mortero con adición de residuos de ladrillo _____	24
Tabla 7 Características del mortero con adición de residuos de ladrillo como agregado fino _____	25
Tabla 8 Ensayos para el agregado de árido fino _____	26
Tabla 9 Análisis granulométrico de arena _____	27
Tabla 10 Análisis granulométrico de residuos de ladrillo _____	29
Tabla 11 Análisis granulométrico de arena y residuos de ladrillo _____	31
Tabla 12 Procedimiento y cálculo del contenido de humedad del árido fino: arena _____	32
Tabla 13 Procedimiento y cálculo del contenido de humedad del árido fino: residuos de ladrillo _____	33
Tabla 14 Densidad y porcentaje de absorción del árido fino: arena _____	35
Tabla 15 Densidad y porcentaje de absorción del árido fino: residuos de ladrillo _____	36
Tabla 16 Resumen de los resultados de los ensayos para la proporción de la mezcla de mortero _____	38
Tabla 17 Requisitos físicos de cemento Atenas _____	39
Tabla 18 Consistencias para el mortero _____	41
Tabla 19 Valores de b dados para diferentes consistencias y formas de la arena _____	43
Tabla 20 Resultados del diseño de mezcla del mortero _____	45
Tabla 21 Dimensiones y volumen de la probeta de mortero _____	46
Tabla 22 Dosificación para mortero y mortero con residuos de ladrillo _____	46
Tabla 23 Proceso para la mezcla del mortero _____	47
Tabla 24 Determinación del flujo en el mortero _____	48
Tabla 25 Ensayo de resistencia a compresión de morteros _____	50
Tabla 26 Ensayo de absorción de agua _____	52
Tabla 27 Ensayo de Densidad _____	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Ensayo análisis granulométrico del árido fino: arena _____	64
Anexo 2 Ensayo análisis granulométrico del árido fino: residuos de ladrillo _____	65
Anexo 3 Ensayo análisis granulométrico del árido fino: arena y residuos de ladrillo _____	66
Anexo 4 Ensayo de densidad y porcentaje de absorción del árido fino: arena _____	67
Anexo 5 Ensayo de densidad y porcentaje de absorción del árido fino: residuos de ladrillo _____	69

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso cada vez más extendido del concreto y materiales cerámicos en la construcción genera un alto volumen de residuos debido a las prácticas realizadas. Por ellos, es importante explorar alternativas para reutilizar estos desechos, en este caso, los provenientes de las mamposterías de ladrillos tochanos, con el propósito de elaborar un mortero de acabado sostenible.

Este estudio tiene como objetivo aprovechar los fragmentos de ladrillo, caracterizándolos junto con los componentes del mortero, para emplearlos como agregado fino en diferentes proporciones y evaluar su desempeño en la fabricación de un revestimiento respetuoso con el medio ambiente.

El desarrollo del proyecto se divide en cuatro fases, iniciando con el análisis del estado de arte sobre agregados de residuos en la fabricación de morteros, en la segunda parte se caracterizan los componentes del mortero y los residuos de ladrillo tochano, en la tercera parte se realiza un diseño de mezcla y se fabrica el mortero, finalmente, se comprobará la viabilidad mediante ensayos de laboratorio.

El alcance máximo de esta investigación se enfoca en la fabricación de mortero con diferentes dosificaciones de residuos de ladrillo, realizando los respectivos ensayos normativos en laboratorio para comparar resultados.

El uso de fragmentos de ladrillos provenientes de los residuos de construcción, ofrecen una alternativa sostenible, evitando su disposición en escombreras y/o rellenos sanitarios y dándoles una nueva utilidad dentro de la construcción.

Problema de investigación

Según Aldana & Serpell (2012) “la construcción no es, por naturaleza, una actividad respetuosa con el medio ambiente” (p.7). Además, una gran parte de todos los materiales que son utilizados para construir obras se están convirtiendo en un enorme depósito Mejía et al. (2013) menciona que estos son en escombreras (4600 t/día) y en rellenos sanitarios (2400 t/día). Además, asegura que de los residuos generados en el mundo del 15 al 25% pertenecen a la industria de la construcción.

Como solución a los efectos que producen estos problemas, se han propuesto diferentes gestiones de los residuos como mortero con árido reciclado de hormigón, vidrio triturado, entre otros, para utilizar dichos residuos de construcción, ofreciendo una oportunidad de alargar su vida útil, implementando así, un nuevo tipo de acabado sostenible.

Justificación

Los residuos de construcción producen un problema alrededor de todo el mundo, y es que se generan grandes volúmenes que terminan en escombreras y/o rellenos sanitarios, incrementando cada vez más la contaminación ambiental.

Por esta razón se propone utilizar los residuos de mampostería de ladrillo, clasificados como desechos, para incorporar en distintos porcentajes al agregado fino en el mortero de acabado, posteriormente se aplicarán todos los métodos normativos correspondientes para comprobar su viabilidad, haciendo énfasis en los materiales locales.

Luego de un primer acercamiento bibliográfico al tema del proyecto y revisando casos de estudio referenciales, se puede determinar que el proyecto es factible, todos los materiales para elaborarlo se pueden conseguir en el medio, por lo cual se va a demostrar la viabilidad de remplazar el agregado fino con residuos de ladrillos tochanos locales, además se cuenta con la tecnología para poder elaborar los ensayos correspondientes dentro del laboratorio de suelos y materiales de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues.

Objetivos

Objetivo general

Fabricar un mortero que utilice fragmentos de ladrillo tochano provenientes de los residuos de construcción locales, a través de su caracterización, para crear una nueva alternativa de acabados.

Objetivos específicos

- Recopilar datos sobre bases teóricas y normativas mediante revisión bibliográfica para comprender la utilización de residuos de ladrillo en la fabricación de morteros.
- Caracterizar los residuos de ladrillos de construcción y los componentes de los morteros mediante ensayos de laboratorio, con el fin de evaluar sus propiedades.
- Realizar un diseño de mezcla y fabricar el mortero aplicando los métodos normativos correspondientes, para establecer las proporciones de los materiales.
- Comprobar la viabilidad del mortero a través de los ensayos normativos correspondientes para demostrar que es una alternativa a los acabados actuales.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Mortero

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014) define el mortero como una “mezcla de conglomerante inorgánicos, áridos y agua y en algunos casos adiciones y aditivos” (p.9).

De forma general, el mortero se define como una mezcla de: un material cementante, arena, agua y, en ocasiones que lo requiera, aditivos, que al solidificarse adquiere propiedades físicas y mecánicas semejantes al concreto. El mortero se emplea tanto para unir bloques como para revestimiento y dar acabado final a paredes de interiores y exteriores (Clasificación de los morteros según la norma ASTM-C-270, 2018).

1.1.1 Composición del mortero

Cemento. Hace referencia a la mezcla de cemento portland o cemento hidráulico elaborado con materiales plastificantes, junto con la adición de otros materiales que incorporan una o más propiedades, estas pueden ser: tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua y durabilidad (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012). Ver en la tabla 1, página siguiente, la clasificación del cemento dada por la norma ASTM C-150-07.

Tabla 1

Tipos y clasificación del cemento según ASTM C-150-07

Tipo	Uso
Tipo I	Se usa cuando no se especifican propiedades especiales.
Tipo II	Es de uso general, especialmente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos o calor de hidratación moderado.
Tipo III	Se usa cuando se desea una alta resistencia temprana.
Tipo IV	Se usa cuando se desea un bajo calor de hidratación.
Tipo V	Se usa cuando se desea una alta resistencia a los sulfatos.

Nota: Obtenido de ASTM C-150-07 Especificación normalizada para el cemento Portland

Áridos. Los áridos utilizados en el mortero de albañilería deberán consistir en arena natural o arena manufacturada, la cual se obtiene por trituración de piedra, grava o escoria de alto horno, se procesan de forma especial para asegurar una gradación adecuada (ASTM-C144-04, 2009).

Agua. La NEC (2014) menciona que el agua que va a utilizar para el mortero, no debe contener ningún elemento perjudicial como aceite, ácido, alcohol, sal, materia orgánica y otras sustancias que puedan dañar el mortero o el refuerzo embebido.

Aditivos. Son sustancias o materiales añadidos, ya sea antes o durante el proceso de mezclado del mortero, en pequeñas cantidades sin superar el 5% de la masa del contenido de cemento. Sirve para aportar determinadas modificaciones definidas y de forma permanente al mortero (Rodríguez Mora, 2003).

1.1.2 Propiedades del mortero

En estado plástico

Manejabilidad. Mide la capacidad de manipular la mezcla, esta manejabilidad se relaciona con la consistencia de la mezcla mientras está en estado plástico; depende tanto de la proporción de arena (y de sus características como forma, textura y módulo de finura) y cemento (Gutiérrez de López, 2003).

Capacidad de retención de agua. Se refiere a la capacidad del mortero para conservar su plasticidad al entrar en contacto con la superficie en la que va a ser aplicado. Para mejorar esta propiedad, una posibilidad es añadir cal, y otra es aumentar la proporción de partículas finas en la arena, también se pueden emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire (Gutiérrez de López, 2003).

Rapidez de endurecimiento. El proceso de fraguado del mortero, de inicio a fin, puede durar entre 2 y 24 horas. Este tiempo puede variar según la composición de la mezcla y factores ambientales como el clima y la humedad (Gutiérrez de López, 20023).

En estado endurecido

Resistencia. Gutiérrez de López (2003) menciona que si el mortero es de pega debe asegurar una unión fuerte, mientras que, si el mortero va a emplearse para soportar grandes cargas, como lo es en el caso de la mampostería estructural, su característica principal debe ser una alta resistencia a la compresión. Para diseñar este tipo de morteros, con alta resistencia e impermeables, se debe considerar un mayor contenido de cemento en un volumen de mortero dado, así se tiene mayor volumen de materiales sólidos y por lo tanto mayor densidad. Por último, aclara que la resistencia del mortero depende intrínsecamente de la distribución granulométrica de la arena.

Densidad. Rodríguez Mora (2003) menciona que la densidad del mortero se relaciona directamente con la de sus componentes, tomando en cuenta su distribución granulométrica y el volumen ocupado en la dosificación, estos son: arenas, adiciones, etc. En esta propiedad también influye la relación agua/cemento.

Durabilidad. Es la capacidad del mortero para resistir la acción de diferentes factores externos, tales como: bajas temperaturas, infiltración de agua, abrasión y agentes corrosivos. En términos generales, un mortero con alta resistencia a la compresión suele presentar mayor durabilidad (Gutiérrez de López, 2003).

Apariencia. Una vez fraguado el mortero, la apariencia es fundamental en mamposterías de ladrillo visto. Para obtener un acabado de buena calidad, se utilizan morteros con una plasticidad conveniente (Gutiérrez de López, 2003).

1.1.3 Clasificación del mortero

Morteros calcáreos. Gutiérrez de López (2003) indica que son aquellos en los que la cal tiene el papel de aglomerante, las cales aéreas más comunes son la blanca y la gris. En los morteros aéreos, la función principal de la arena es evitar fisuras provocadas por la contracción del mortero al perder el agua del proceso de amasado. Para esto, es recomendable emplear arena con partículas angulares y libre de materia orgánica. Las proporciones más utilizadas de cal-arena son 1:2 para revoque y entre 1:3 y 1:4 para mampostería simple. Aumentar la proporción de arena reduce la ductilidad y trabajabilidad del mortero.

Mortero de cal y cemento. Según la NEC (2014) los morteros se clasifican según la dosificación mínima de sus componentes y con la resistencia a la compresión. La tabla 2, página siguiente, resume esta clasificación.

Tabla 2*Tipos de mortero NEC – SE – MP*

Tipo de mortero	Resistencia mínima a compresión 28 días (MPa)	Composición en partes por volumen		
		Cemento	Cal	Arena
M20	20.0	1	-	2.5
M15	15.0	1	-	3.0
		1	0.5	4.0
M10	10.0	1	-	4.0
		1	0.5	5.0
M5	5.0	1	-	6.0
		1	1.0	7.0
M2.5	2.5	1	-	7.0
		1	2.0	9.0

Nota: Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014).

Mortero de cemento: Para el autor Gutiérrez de López (2003) está formado por una mezcla de arena y cemento Portland. La característica principal de este tipo de mortero es su alta resistencia, mientras que su trabajabilidad varía según la proporción de cemento y arena que se emplee. Al ser un material hidráulico, hay que priorizar un tiempo mínimo de preparación entre el proceso de amasado y aplicación. De forma general, se realiza en obra mezclando primero el cemento con la arena y luego incorporando el agua.

La calidad del mortero de cemento, se determina por las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica (Gutiérrez de López, 2003). La tabla 3, página siguiente, resume las diferentes proporciones de los morteros.

Tabla 3*Proporciones de los morteros*

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneas. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillo en muros y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Nota: Gutiérrez de López (2003).

1.1.4 Identificación y caracterización de materiales para la producción de mortero

Para elaborar el mortero, es fundamental conocer en detalle los materiales que conforman la mezcla, así como las normativas que se aplican a cada uno. La proporción de estos materiales se define según el diseño de la mezcla, el cual varía en función del uso previsto, la resistencia requerida y otras propiedades físicas. En la tabla 4 se presentan las normativas que establecen los requisitos que deben cumplir tanto la mezcla como sus componentes.

Tabla 4*Mortero – caracterización de materiales*

Norma técnica	Cemento	Árido Fino	Agua	Métodos de Ensayo
NTE INEN	NTE INEN 2615:2012	NTE INEN 2536:2010. 0,075 mm hasta 4,75 mm	NTE INEN 2 518:2010 Limpia y libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier material en la pared.	NTE INEN 2518:2010
				Continúa ↓

Norma técnica	Cemento	Árido Fino	Agua	Métodos de Ensayo
ASTM	ASTM C 91 -05	ASTM C 404-07 0,075 mm hasta 4,75 mm	ASTM 270 – 91 ^a Limpia y libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier material en la pared.	ASTM C 109 -16

Nota: Elaboración propia

1.1.5 Proceso de fabricación del mortero

Según la Norma Técnica Guatemalteca (2012) el proceso de fabricación de mortero se da de la siguiente manera:

Almacenamiento de los materiales. Tanto los materiales cementantes como los agregados deben almacenarse procurando evitar su deterioro o contaminación con materiales extraños.

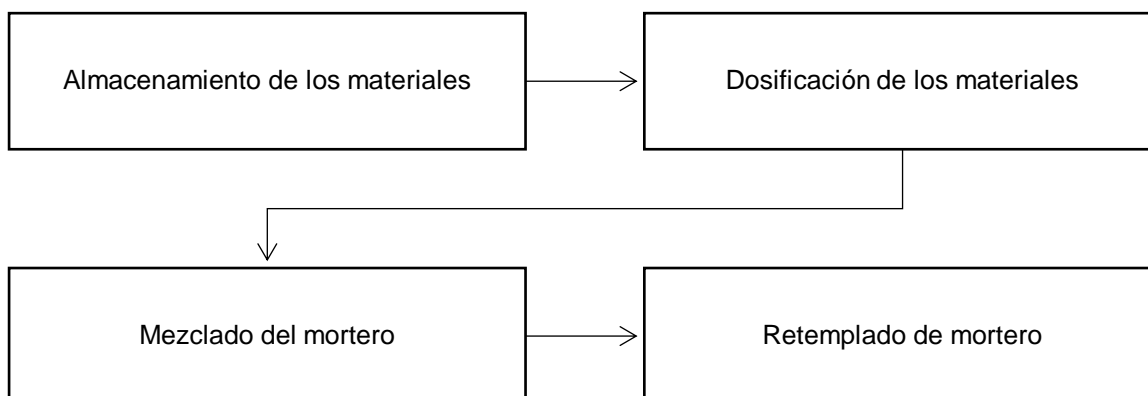
Dosificación de los materiales. La dosificación de los materiales debe realizarse con precisión para garantizar la calidad del mortero. Se deben medir las proporciones de cemento, arena y agua según la aplicación requerida, utilizando palas medidoras o equipos dosificadores.

Mezclado del mortero. El mezclado del mortero se puede hacer de forma manual o mecánica entre 3 y 5 minutos, agregando primero los materiales cementantes y agregados, luego el agua gradualmente hasta obtener una mezcla homogénea.

Retemplado de mortero. Cuando el mortero haya endurecido y empezado a perder trabajabilidad puede ser retemplado mediante adición de agua, sin alterar significativamente sus propiedades. Los morteros solamente deben ser retemplados durante las primeras 2:30 horas de elaborados, y cumpliendo siempre con la resistencia mínima especificada.

Figura 1

Proceso de fabricación de mortero



Nota: Elaboración propia

1.2 Residuos de construcción

1.2.1 Orígenes y factores que influyen en la generación de residuos de construcción y demolición procedentes del ladrillo.

Si bien las etapas de diseño y construcción son las principales fuentes de residuos reportadas, existen otras fases del ciclo de vida del proyecto, que generan una cantidad significativa de desechos. Entre ellas, destacan la operación y fin de la vida útil y la posterior deconstrucción y/o demolición del edificio. Exceptuando la deconstrucción, estas fases contribuyen a la generación de residuos, de forma especial en zonas con escasos espacios aptos para nuevas construcciones. Debido a esto, se decide demoler estructuras construidas sin criterios de deconstrucción, lo que resulta en grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición (Aldana & Serpell, 2012).

1.2.2 Caracterización de residuos de ladrillo

La caracterización de los materiales para el mortero elaborado con la incorporación de residuos de ladrillos, no se encuentra normalizada actualmente, en cambio se utilizan las normas existentes para evaluar las características del árido fino, en la tabla 5, página siguiente, se pueden apreciar estas últimas, encontradas en diferentes trabajos de investigación, aplicadas para el ladrillo que va a incorporarse a la mezcla del mortero:

Tabla 5*Mortero con remplazo de agregado fino por residuos de ladrillo – caracterización de materiales*

Referencia	Humedad (%)	Peso Compactado Seco (kg/m3)	Absorción (%)	Densidad (g/cm3)	Distribución Granulométrica
Evaluación de las Propiedades del Mortero al Reemplazar Agregado Fino por Ladrillos de Arcilla Reciclados (Hernandez Perez, 2023)	1.29	1565	2.33	2.418	3.994
Evaluación de las propiedades fisiomecánicas del mortero adicionado con residuos reciclados de ladrillos de arcilla como remplazo del agregado fino (Mendoza Medina & Vasquez Rojas, 2023)	0.3	1695	4.60	2.4	2.46
Evaluación de la resistencia a compresión de mortero F'c= 175 kg/cm2 utilizando la combinación de residuos de cerámica, teja y ladrillo en proporciones de 3%, 5% y 7% (Ambrosio Mantilla, 2024)	1.14	1567.12	9.50	2.314	2.42
	1.35	1441.54	11.61	2.28	2.42
	0.94	1504.40	9.69	2.324	2.49
	1.65	1709.23	3.75	2.417	2.48
	1.32	1470.54	5.72	2.336	2.48
Evaluación del mortero de albañilería reemplazando parcialmente arena por residuos de ladrillo del caserío el frutillo, Bambamarca (Irgoín Herrera, 2022)	3.84	1312	1.40	2.17	3.41
Influencia de la combinación de áridos reciclados y cerámica de ladrillo triturado sobre las propiedades mecánicas del mortero (Olavarria Alcalde & Socola Contreras, 2024)	0.79	1343	4.64	2.34	2.49
Influencia de la granulometría y el porcentaje de remplazo de ladrillo reciclado sobre la resistencia a la compresión, absorción y capilaridad en la fabricación de morteros para enlucidos de albañilería (Bocanegra Mariños & Espejo Valdez, 2018)	0.3	1136	17.6	1.18	-

Nota: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 5 de la página anterior, las características de los residuos de ladrillo son las siguientes: la humedad varía entre 0.3% y 3.84%, el peso compactado seco entre 1709.23 kg/m³ y 1136 kg/m³, la absorción entre 17.6% y 1.40% y la distribución granulométrica entre 2.42 y 3.994. Todos los ensayos para obtener estos resultados, fueron elaborados bajo normas para caracterizar el árido fino utilizado para mortero.

A continuación, en la tabla 6 tomando las mismas referencias se comparan las metodologías empleadas para utilizar los ladrillos de residuos de construcción en la elaboración del mortero, así como los porcentajes agregados en remplazo del árido fino, sus dosificaciones y los mejores resultados obtenidos, de esta manera se tomarán las decisiones pertinentes al presente trabajo de investigación.

Tabla 6

Resultados de los ensayos realizados para mortero con adición de residuos de ladrillo

Referencia	Metodología	% de Ladrillos Reciclados	Dosificación	Resultados
(Hernandez Perez, 2023)	Trituración.	10, 20, 30 y 40	1:3, 1:4, 1:5 y 1:6	Mejor resultado: 10% de ladrillo reciclado, proporción 1:3.
(Mendoza Medina & Vasquez Rojas, 2023)	Trituración manual con comba.	5, 10, 15 y 20	1:3.5, 1:4.5 y 1:5.5	Mejor resultado: 15% de sustitución, para las dosificaciones 1:3.5 y 1:4.5.
(Ambrosio Mantilla, 2024)	Trituración.	3, 5 y 7	1:3	Mejor resultado: Remplazo del 5%
(Irigoín Herrera, 2022)	Trituración manual con una comba.	0, 10, 25, 50 y 75	1:4	Mejor resultado: Reemplazo del 10%
(Olavarria Alcalde & Socola Contreras, 2024)	Trituración manual con martillo (4 golpes).	10, 15 y 20	1:3 y 1:4	Mejor resultado: 15% de ladrillo reciclado, dosificación 1:3.
(Bocanegra Mariños & Espejo Valdez, 2018)	Trituración y molienda.	3, 6, 9, 12, 15 y 18	1:3	Mejor resultado: 18% de ladrillo reciclado.

Nota: Elaboración propia

Con este análisis comparativo, se concluye en que el proceso de transformación de los ladrillos reciclados para reemplazo del agregado fino se realiza de forma manual, triturándolos, los porcentajes de incorporación entre el 5% y 18% fueron los mejores resultados, con dosificaciones de 1:3 y 1:4. También se puede resaltar a Bocanegra Mariños & Espejo Valdez, que utilizó molienda para el ladrillo, lo que permitió una granulometría más uniforme del material, por lo tanto el mejor resultado se alcanzó en un mayor porcentaje de reemplazo.

Al concluir este primer capítulo y considerando los fundamentos teóricos expuestos, las normativas y documentos investigativos analizados, así como el cumplimiento general de este trabajo de titulación, en la tabla 7 se especifican las características que debe presentar el mortero con adición de residuos de ladrillo como agregado fino.

Tabla 7

Características del mortero con adición de residuos de ladrillo como agregado fino

Generalidades	
Clase	M15
Resistencia a la compresión	
Por unidad	15 MPa
Mortero	
Tipo	Tipo M15
Proporción	1:3
Materiales	
Cemento	Portland tipo I
Agua	Potable
Agregado fino	ASTM C404-07
Residuos de ladrillo	
Granulometría	0,075mm hasta 4,75mm
Porcentaje de incorporación	0%, 5%, 10%, 15% y 20%
Método de dosificación	
	Diseño por peso (Diego Sánchez de Guzmán, s. f.)

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYOS

2.1 Caracterización de materiales

A continuación, se presenta los ensayos realizados, para caracterizar los áridos, en los trabajos de investigación para morteros con agregado de residuos de ladrillo, que servirán de base teórica para el presente proyecto.

Tabla 8

Ensayos para el agregado de árido fino

Referencia	Materiales	Ensayos
(Hernandez Perez, 2023)	Agregado de árido fino	-Granulometría -Peso específico y absorción
	Agregado de ladrillo	-Peso Unitario -Contenido de humedad
(Mendoza Medina & Vasquez Rojas, 2023)	Agregado de árido fino	-Granulometría -Peso específico y absorción
	Agregado de ladrillo	-Peso Unitario -Contenido de humedad
(Ambrosio Mantilla, 2024)	Agregado de árido fino	-Granulometría -Peso específico y absorción
	Agregado de ladrillo	-Peso Unitario -Contenido de humedad
(Irigoin Herrera, 2022)	Agregado de árido fino	-Granulometría -Peso específico y absorción
	Agregado de ladrillo	-Peso Unitario -Contenido de humedad
(Olavarria Alcalde & Socola Contreras, 2024)	Agregado de árido fino	-Módulo de finura -Peso unitario suelto y compactado
	Agregado de ladrillo	-Peso específico -Contenido de humedad -Absorción
(Bocanegra Mariños & Espejo Valdez, 2018)	Agregado de árido fino	-Ensayo granulométrico -Módulo de finura -Contenido de humedad
	Agregado de ladrillo	-Peso unitario suelto y compactado -Peso específico y Absorción -Superficie específica

Nota: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 8 de la página anterior los ensayos de análisis granulométrico, peso unitario, peso específico, absorción y contenido de humedad coinciden. Sin embargo, para el presente trabajo de investigación no se considerará el ensayo de peso unitario debido a que el método por peso (Diego Sánchez de Guzmán, s. f.) para el diseño la mezcla no requiere los datos de estos ensayos.

2.2 Ensayo granulométrico

2.2.1 Ensayo de granulometría – Arena

El ensayo granulométrico para la arena se realizará siguiendo los parámetros establecidos en las normas NTE INEN 696 y NTE INEN 872. En la tabla 9 se detalla la metodología para este ensayo.

Tabla 9

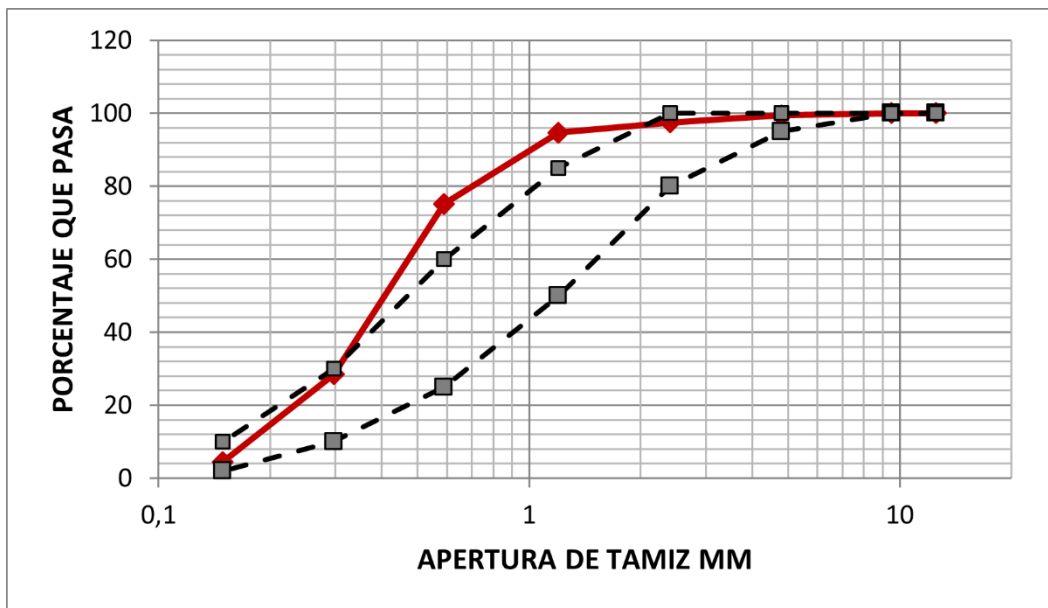
Análisis granulométrico de arena

INEN 696:2011 – Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.	
INEN 872:2011 – Áridos para hormigón. Requisitos.	
Procedimiento	La tabla 1 de la norma INEN 696 indica el peso de la muestra del material en estado SSS (secado superficialmente seco) según el tamaño nominal del árido. Una vez obtenida y pesada la muestra se seca a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Seguidamente, se eligen los tamices apropiados para el árido fino, los cuales se organizan de forma decreciente según el tamaño de abertura, el material se coloca por la parte superior y se tamiza mecánicamente por un minuto. Por último, con el uso de la balanza mecánica, se determina la masa del material retenido en cada tamiz; con estos valores se procede a efectuar los cálculos correspondientes de acuerdo a lo establecido en el apartado 5.1.2.1 y la tabla 2 de la norma INEN 872.
Árido fino: Arena	
Muestra – Tabla 1. INEN 969	Resultados – INEN 872
Tamaño nominal de la muestra: 125 mm	Total de la muestra: 293,90 g
Masa inicial de la muestra: 300 g	Porcentaje de pérdida: 2,03
	Módulo de finura: 2,00
	Continúa ↓

Evidencia fotográfica



Curva granulométrica



Conclusión: La arena como árido fino no cumple con la norma, el material retenido en los tamices N16 y N30 no es el indicado.

Nota: Ver tabla del análisis granulométrico en el anexo 1 (árido fino: arena)

2.2.2 Ensayo de granulometría – Residuos de ladrillo

El ensayo granulométrico para los residuos de ladrillo se realizará siguiendo los parámetros establecidos en las normas NTE INEN 696 y NTE INEN 872. En la tabla 10 se detalla la metodología para este ensayo.

Tabla 10

Análisis granulométrico de residuos de ladrillo

INEN 696:2011 – Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.	
INEN 872:2011 – Áridos para hormigón. Requisitos.	
Procedimiento	La tabla 1 de la norma INEN 696 indica el peso de la muestra del material en estado SSS (secado superficialmente seco) según el tamaño nominal del árido. Una vez obtenida y pesada la muestra se seca a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Seguidamente, se eligen los tamices apropiados para el árido fino, los cuales se organizan de forma decreciente según el tamaño de abertura, el material se coloca por la parte superior y se tamiza mecánicamente por un minuto. Por último, con el uso de la balanza mecánica, se determina la masa del material retenido en cada tamiz; con estos valores se procede a efectuar los cálculos correspondientes de acuerdo a lo establecido en el apartado 5.1.2.1 y la tabla 2 de la norma INEN 872.
	Árido fino: Residuos de Ladrillo
Muestra – Tabla 1. INEN 969	Resultados – INEN 872
Tamaño nominal de la muestra: 125 mm	Total de la muestra: 298,98 g
Masa inicial de la muestra: 300 g	Porcentaje de pérdida: 0,34
	Módulo de finura: 1,67

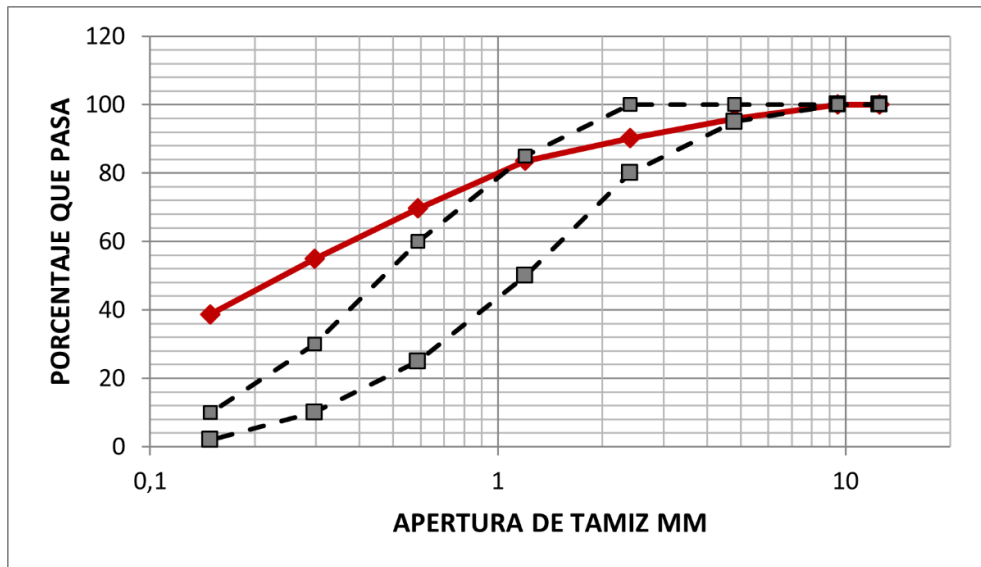
Evidencia fotográfica



Continúa



Curva granulométrica



Conclusión: El ladrillo triturado como árido fino no cumple con la norma, el material retenido en los tamices N30, N50 y N100 no es el indicado.

Nota: Ver tabla del análisis granulométrico en el anexo 2 (árido fino: residuos de ladrillo)

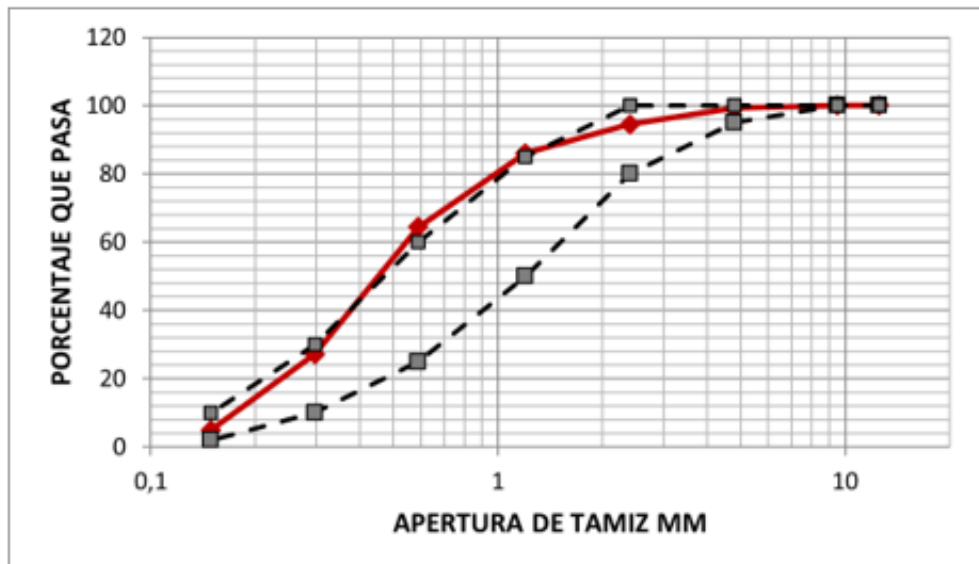
Como se puede visualizar en las tablas anteriores, tanto la arena como el ladrillo triturado, no cumplen con todos los parámetros indicados por la norma; por lo tanto, se decidió hacer un ensayo granulométrico siguiendo las normas NTE INEN 696 (Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso, 2011) y NTE INEN 872 (Áridos para hormigón. Requisitos, 2011), incorporando los dos materiales en una muestra de 500 gr, para así intentar cumplir con los parámetros establecidos, para esto se tamiza y elimina el polvo del ladrillo triturado. En la tabla 11, página siguiente, se detalla la metodología para este ensayo.

Tabla 11

Análisis granulométrico de arena y residuos de ladrillo

INEN 696:2011 – Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. INEN 872:2011 – Áridos para hormigón. Requisitos.	
Procedimiento	La tabla 1 de la norma INEN 696 indica el peso de la muestra del material en estado SSS (secado superficialmente seco) según el tamaño nominal del árido. Una vez obtenida y pesada la muestra se seca a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Seguidamente, se eligen los tamices apropiados para el árido fino, los cuales se organizan de forma decreciente según el tamaño de abertura, el material se coloca por la parte superior y se tamiza mecánicamente por un minuto. Por último, con el uso de la balanza mecánica, se determina la masa del material retenido en cada tamiz; con estos valores se procede a efectuar los cálculos correspondientes de acuerdo a lo establecido en el apartado 5.1.2.1 y la tabla 2 de la norma INEN 872.
	Árido fino: Arena y Residuos de ladrillo
Muestra – Tabla 1. INEN 969	Resultados – INEN 872
Tamaño nominal de la muestra: 125 mm	Total de la muestra: 499,50 g
Masa inicial de la muestra: 500 g	Porcentaje de pérdida: 0,10
	Módulo de finura: 2,24

Curva granulométrica



Continúa



INEN 696:2011 – Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.

INEN 872:2011 – Áridos para hormigón. Requisitos.

Conclusión: La arena y los residuos de ladrillo como árido fino no cumplen con la norma, el material retenido en los tamices N16 y N30 no es el indicado.

Nota: Ver tabla del análisis granulométrico en el anexo 3 (árido fino: arena y residuos de ladrillo)

Si bien el análisis granulométrico de la arena y los residuos de ladrillo no cumple con los parámetros de la norma, se obtuvo mayor cantidad de material retenido en los tamices N16 y N30, por lo que se procede con los demás ensayos y se utiliza como corresponde el módulo de finura de la arena obtenido para elaborar el diseño de mezcla.

2.2.3 Determinación del contenido total de humedad de los áridos

Contenido de humedad – Arena. Este ensayo se dirige con la metodología establecida en la norma INEN 862; el procedimiento se presenta en la tabla 12.

Tabla 12

Procedimiento y cálculo del contenido de humedad del árido fino: arena

INEN 862:2011 – Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.

Procedimiento	Se obtiene una muestra del árido en estado SSS (secado superficialmente seco) según lo especificado en la tabla 1 de la norma INEN 862. Después, este material, se seca en horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C por un tiempo de 20 horas ± 4 horas. Por último, se pesa el material seco para realizar los cálculos correspondientes.
----------------------	--

Árido fino: Arena

Muestra	Resultados
○ Tamaño nominal del árido fino: 9,5 mm	$Ch = \frac{(Peso\ húmedo - Peso\ seco)}{Peso\ seco} * 100$
○ Peso de la muestra (SSS): 500 g	

Continúa



INEN 862:2011 – Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.

- Peso de muestra seca al horno: 486,23 g

$$Ch = \frac{(500 - 486,23)}{486,23} * 100 = 2,83\%$$

Evidencia fotográfica

Masa húmeda



Masa seca



Nota: Elaboración propia

Contenido de humedad – Residuos de ladrillo. Este ensayo se dirige con la metodología establecida en la norma INEN 862, el procedimiento se presenta en la tabla 13.

Tabla 13

Procedimiento y cálculo del contenido de humedad del árido fino: residuos de ladrillo

INEN 862:2011 – Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.

Procedimiento

Se obtiene una muestra del árido en estado SSS (secado superficialmente seco) según lo especificado en la tabla 1 de la norma INEN 862. Después, este material, se seca en horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 20 horas ± 4 horas. Por último, se pesa el material seco para realizar los cálculos correspondientes.

Continúa



INEN 862:2011 – Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.

Árido fino: Residuos de ladrillo

Muestra	Resultados
○ Tamaño nominal del árido fino: 9,5 mm	$Ch = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100$
○ Peso de la muestra (SSS): 500 g	
○ Peso de muestra seca al horno: 447,01 g	$Ch = \frac{(500 - 447,01)}{447,01} * 100 = 11,85\%$

Evidencia fotográfica

Masa húmeda



Masa seca



Nota: Elaboración propia

2.2.4 Densidad y absorción del árido fino

Arena. Estos cálculos se basan en la INEN 856, en la tabla 14, página siguiente, se presentan tanto el procedimiento como los resultados obtenidos de este ensayo.

Tabla 14

Densidad y porcentaje de absorción del árido fino: arena

INEN 856:2010 – Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

Procedimiento

Durante 24h saturar el árido fino con agua, luego de este tiempo, se elimina el agua y la humedad superficial con ayuda de la hornilla. Se procede a pesar 500 g de esta muestra, y cumpliendo con el procedimiento gravimétrico, se llena parcialmente de agua el picnómetro, luego se introduce la muestra de árido fino saturado superficialmente seco y se termina de llenar con agua hasta el 90% de su capacidad, para eliminar el aire se agita el picnómetro y terminado este proceso se establece su peso. Para finalizar se retira el árido fino del picnómetro, se coloca en un recipiente eliminando el exceso de agua y se seca al horno durante 24 horas a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, luego de enfriarlo se determina su masa. Así obtenemos todos los datos necesarios para los cálculos.

Árido Fino: Arena

Muestra

Picnómetro con árido y agua: 958,6 gr

Muestra seca al horno: 486,2 gr

Picnómetro con agua: 664,01 gr

Muestra saturada: 500 gr

Resultados

Densidad relativa = $2356,81\text{ kg/m}^3$

Porcentaje de absorción = 2,83%

Evidencia fotográfica

Saturación del árido



Eliminación de agua



Continúa



INEN 856:2010 – Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

Masa: Picnómetro con agua hasta la marca



Masa: Picnómetro con muestra de árido y agua



Masa seca al horno



Nota: Ver los cálculos en el anexo 4 (árido fino: arena)

Residuos de ladrillo. Estos cálculos se basan en la INEN 856; tanto el procedimiento como los resultados obtenidos de este ensayo se presentan en la tabla 15.

Tabla 15

Densidad y porcentaje de absorción del árido fino: residuos de ladrillo

INEN 856:2010 – Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

Procedimiento

Durante 24h saturar el árido fino con agua, luego de este tiempo, se elimina el agua y la humedad superficial con ayuda de la hornilla. Se procede a pesar 500 g de esta muestra, y cumpliendo con el procedimiento gravimétrico, se llena parcialmente de agua el picnómetro, luego se introduce la muestra de árido fino saturado superficialmente seco y se termina de llenar con agua hasta el 90% de su capacidad, para eliminar el aire se agita el picnómetro y terminado este proceso se establece su peso. Para finalizar se retira el árido fino del picnómetro, se coloca en un recipiente eliminando el exceso de agua y se seca al horno durante 24 horas a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, luego de enfriarlo se determina su masa. Así obtenemos todos los datos necesarios para los cálculos.

Continúa



INEN 856:2010 – Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

Árido Fino: Residuos de ladrillo

Muestra

Picnómetro con árido y agua: 893,7 gr

Muestra seca al horno: 447,0 gr

Picnómetro con agua: 664,0 gr

Muestra saturada: 500 gr

Resultados

Densidad relativa = 1646,13 kg/m³

Porcentaje de absorción = 11,85%

Evidencia fotográfica

Saturación del árido



Eliminación de agua



Masa: Picnómetro con agua hasta la marca



Masa: Picnómetro con muestra de residuos de ladrillo y agua



Masa seca al horno



Nota: Ver tabla de cálculo en el anexo 5 (árido fino: residuos de ladrillo)

2.3 Resultados de los ensayos realizados para los áridos

En la tabla 16 se pueden evidenciar las características de los materiales evaluados, que se obtuvieron de los resultados de los ensayos realizados en este capítulo. Estos datos serán necesarios para el cálculo del diseño de mezcla del mortero.

Tabla 16

Resumen de los resultados de los ensayos para la proporción de la mezcla de mortero

Características	Árido fino	Residuos de ladrillo
Tamaño nominal	125 mm	125 mm
Granulometría	2,00	1,67
Contenido de humedad	2,83%	11,85%
Densidad relativa	2356,81 kg/m ³	1646,13 kg/m ³
Porcentaje de absorción	2,83%	11,85%

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

3. FABRICACIÓN DEL MORTERO Y APLICACIÓN DE ENSAYOS

3.1 Diseño de mezcla del mortero

A partir de los datos obtenidos de los ensayos previos, lo próximo es calcular la dosificación de la mezcla de mortero. Se empleará el método por peso de Diego Sánchez de Guzmán (s. f.), que es más económico y también presenta ventajas frente al diseño por volumen, con una dosificación más precisa en obra.

Se desea diseñar un mortero fluido con una resistencia de 180kg/cm², se utilizará arena obtenida de río, con módulo de finura de 2.0 y densidad aparente seca de 2,54 g/cm³, teniendo el cemento una densidad específica de 2,9 g/cm³ (valor obtenido de la tabla 17).

Tabla 17

Requisitos físicos de cemento Atenas

Parámetro	Método	Unidad	INEN 2380	Resultado %
Finura (Blaine)	NTE 196	cm ² /g	A	4364,40
Retenido, máx.	NTE 957	%	A	3,90
Camio de longitud en autoclave, máx.	NTE 200	%	0,80	-0,05
Fraguado inicial, mín.	NTE 158	Minutos	45	251
Fraguado final, máx.			420	303
Contenido de aire en mortero, máx.	NTE 195	%	A	7,50
Expansión en barra de mortero, máx.	NTE 2529	%	0,020	0,011
Densidad	NTE 156	g/cm ²	A	2,90

A: Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado solo como información.

Nota: Tabla obtenida de Admin-Atenas. (2025, January 30). *Cemento Atenas - Somos ciencia aplicada a la Construcción*. Cemento Atenas. <https://www.cementoatenas.com/>

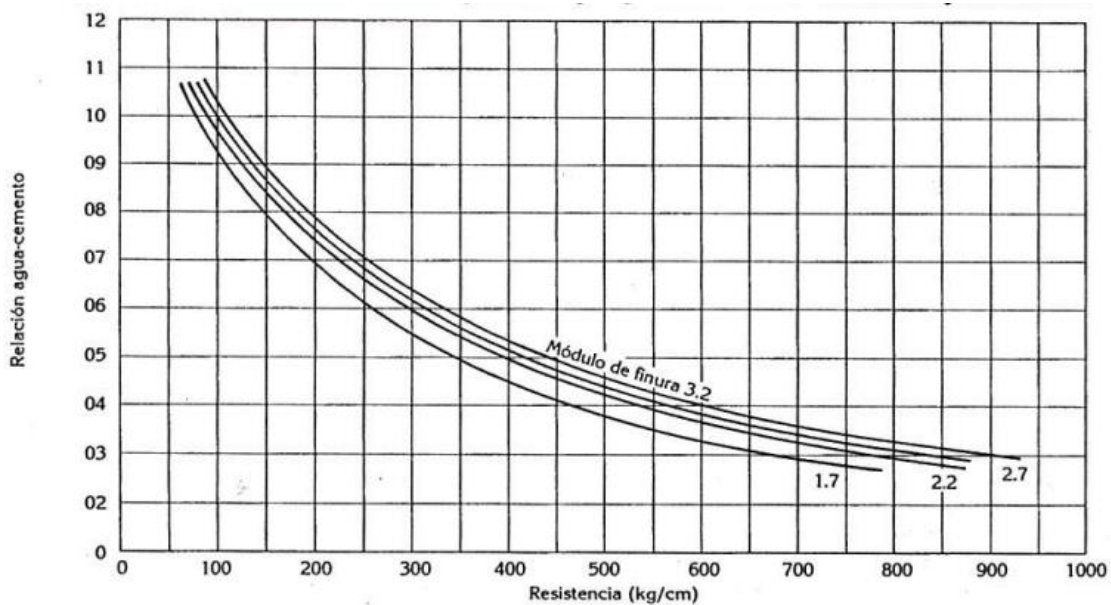
Antes de efectuar los respectivos cálculos cabe mencionar que debido a que ninguno de los materiales clasificados como árido fino cumplen plenamente con la normativa, se decidió utilizar una resistencia a la compresión mayor a la especificada en la normativa y en la tabla 7 (ver página 11).

Como primer paso para diseñar la mezcla mediante este método es determinar el tipo de arena, que puede ser natural y de cantera, siendo la primera la que produce morteros de resistencias más altas, y en este caso es el tipo de arena que se utiliza.

El paso número dos es determinar la relación agua-cemento y su correspondencia con la resistencia, de los materiales a usarse, en la figura 2 están expuestos valores aproximados y relativamente seguros para cemento portland tipo I para arenas de forma redondeada y textura lisa (de río), con algunos módulos de finura.

Figura 2

Valores de correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión para arena de río



Nota: Diego Sánchez de Guzmán (s.f.).

Para encontrar la correspondencia de la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión con el módulo de finura 2.0 obtenido en los ensayos se aplica la ecuación (1) para conocer el valor.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} * (y_2 - y_1) \quad (1)$$

Se trata de una interpolación lineal, misma que se resuelve con los datos conocidos para un módulo de finura de 1.7.

$$A/C = 0.8 + \frac{(180 - 150)}{(200 - 150)} * (0.7 - 0.8) = 0.74$$

El valor de la correspondencia de la relación agua cemento y la resistencia a la compresión para el módulo de finura 2.0 es 0.74.

Como tercer paso se selecciona una consistencia fluida de acuerdo a los requerimientos de la obra, según la siguiente clasificación:

Tabla 18

Consistencias para el mortero

Consistencia	% de flujo
Seca	90%
Plástica	110%
Fluida	130%

Nota: Diego Sánchez de Guzmán (s.f.).

En el cuarto paso se identifican los valores que afectan el contenido de agua en el mortero. El valor de agua necesaria por unidad de volumen de mortero depende del requerimiento de agua tanto del cemento como de la arena. La ecuación (2) determina la relación agua-cemento para diferentes proporciones cemento:arena.

$$\frac{A}{C} = Ke^{bn} \quad (2)$$

Donde:

A/C = relación agua-cemento

K = valor de la relación agua-cemento para la consistencia requerida en términos de fluidez de la pasta de cemento

e = base de los logaritmos neperianos (e = 2.7183)

b = factor que relaciona la consistencia requerida, módulo de finura, forma y textura de la arena

n = proporción de la mezcla (número de partes de arena por una parte de cemento en peso)

Para resolver esta ecuación se limita a que: el valor de A/C es conocido del paso dos de este método aplicando la ecuación (1); y el término K está determinado como una constante, su valor es 0.27.

El factor b establece la relación entre la consistencia requerida y el módulo de finura de la arena, considerando sus distintas formas y texturas. En el paso uno se determinó el tipo de arena de río junto con su módulo de finura, y en el paso tres se estableció la consistencia, conociendo estos datos se consulta la tabla 19, página siguiente, para determinar el valor de b.

Tabla 19

Valores de *b* dados para diferentes consistencias y formas de la arena

Consistencia	Módulo de Finura	Arena de granos redondos y lisos	Arena de granos angulares y rugosos
Seca (90%)	1.7	0.3293	0.3215
	2.2	0.3110	0.3028
	2.7	0.2772	0.2930
	3.2	0.2394	0.2494
Plástica (110%)	1.7	0.3242	0.3238
	2.2	0.3033	0.2947
	2.7	0.2734	0.2879
Fluida (130%)	3.2	0.2368	0.2477
	1.7	0.3172	0.3216
	2.2	0.2927	0.3003
	2.7	0.2687	0.2949
	3.2	0.2340	0.2629

Nota: Diego de Sánchez de Guzmán (s.f.).

Como se observa no existe el valor de *b* establecido para una consistencia fluida con un módulo de finura de 2.0 de arena con granos redondos y lisos, para encontrar este valor se utiliza la ecuación (1).

$$b = 0.3172 + \frac{(2.0 - 1.7)}{(2.2 - 1.7)} * (0.2927 - 0.3172) = 0.3025$$

En el quinto paso, se procede a calcular la proporción 1:n. Con los valores de *A/C*, *K* y *b* ya conocidos, el valor de *n* es la única incógnita en la ecuación (2). Al despejarla, como se observa a continuación, se obtiene la ecuación (3).

$$n = \frac{\ln(A/C) - \ln(K)}{b} \quad (3)$$

Resolviendo la ecuación (3) con los datos conocidos se obtiene el valor de *n*:

$$n = \frac{\ln(0.74) - \ln(0.27)}{0.3025} = 0,33$$

Para el paso seis se procede con el cálculo del contenido de cemento en la mezcla con la ecuación (4).

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{G_c} + \frac{n}{G_a} + \frac{A}{C}} \quad (4)$$

Donde:

C = Cemento en kg

G_c = Peso específico del cemento

G_a = Densidad aparente seca de la arena

n = Proporción de arena

A/C = Relación agua-cemento

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se resuelve la ecuación (4).

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{2.9} + \frac{0.33}{2.54} + 0.74} = 417 \text{ kg/cm}^3$$

En el paso siete se determina el contenido de agua, conociendo la relación agua-cemento obtenida en el paso dos y el contenido de cemento del paso anterior, se aplica la ecuación (5).

$$A = \left(\frac{A}{C}\right) * C \quad (5)$$

$$A = (0.74) * 417 = 309 \text{ l/m}^3$$

Como octavo y último paso del diseño de mezcla se determina el contenido de arena, conociendo el valor de n del paso cinco, se aplica la ecuación (6).

$$a = n * C \quad (6)$$

$$a = 3.33 * 417 = 1390 \text{ kg/m}^3$$

La tabla 20 muestra de forma resumida los resultados que se obtuvieron a partir de todo el proceso de cálculo efectuado para el diseño de mezcla del mortero.

Tabla 20

Resultados del diseño de mezcla del mortero

Diseño de mezcla de mortero por peso	
Resistencia promedio requerida	180 kg/cm ²
Módulo de finura	2.0
Densidad aparente seca de la arena	2,54 g/cm ³
Densidad específica del cemento	2,9 g/cm ³
Relación A/C	0,74

Valores de diseño de la mezcla del mortero	
Material	1m³ de mortero
Cemento	417 kg
Agua	309 lts
Árido fino	1390,47 kg

Nota: Elaboración propia

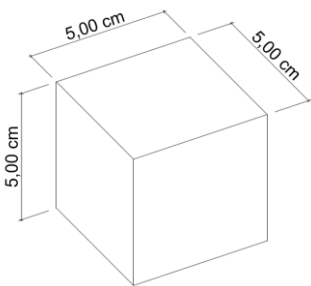
3.2 Elaboración de las probetas de mortero

Una vez determinados los valores de cada componente para 1m³ de mortero, se cuantifican los materiales necesarios para fabricar tres especímenes por dosificación según la norma INEN 488 (Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista, 2009), mismos que se emplearán en los ensayos establecidos para mortero en estado endurecido. Dadas estas cantidades, se disponen los volúmenes de mezcla para el mortero con adición de diferentes porcentajes de residuos de ladrillo; la incorporación de los residuos en la mezcla, se realizará del total de la masa de la arena. Se consideran cinco dosificaciones, la dosificación base es el primer patrón sin adición de residuos, los siguientes son la mezcla con la sustitución de 5, 10, 15 y 20% de los residuos de ladrillo.

En las tablas 21 y 22 se muestran el volumen de los especímenes y la cantidad de material según las diferentes dosificaciones, considerando también, con la mezcla, elaborar ensayos de flujo.

Tabla 21

Dimensiones y volumen de la probeta de mortero

Cálculo de volumen de la probeta de mortero	
<p>V= lado x lado x lado V= 0,5 x 0,5 x 0,5 V= 0,000125 m³ Vneto = V * 4 * 2 = 0,001m³</p>	

Nota: Elaboración propia

Tabla 22

Dosificación para mortero y mortero con residuos de ladrillo

Material	Dosificación para 4 probetas				
	0%	5%	10%	15%	20%
Agua	0,31 lts	0,31 lts	0,31 lts	0,31 lts	0,31 lts
Cemento	0,42 kg	0,42 kg	0,42 kg	0,42 kg	0,42 kg
Árido fino	1,39 kg	1,32 kg	1,25 kg	1,18 kg	1,11 kg
Residuos de ladrillo	0 kg	0,07 kg	0,14 kg	0,21 kg	0,28 kg

Nota: Elaboración propia

3.2.1 Elaboración de la mezcla de mortero

Para elaborar los cubos de mortero se hace uso del laboratorio de suelos y materiales de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues, mediante una mezcladora mecánica para la ejecución adecuada del proceso y obtener resultados más homogéneos. La tabla 23, página siguiente, explica el proceso de elaboración del mortero.

Tabla 23

Proceso para la mezcla del mortero

Fabricación de mortero base y mortero con residuos de ladrillo

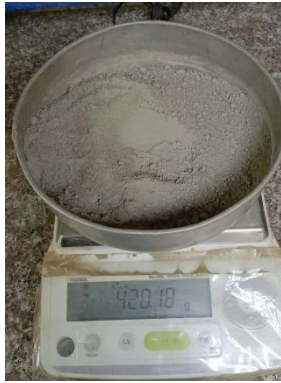
Procedimiento

Medición de los materiales: De acuerdo a los datos obtenidos se pesan los materiales según los pesos establecidos para cada dosificación.

Mezcla: En la máquina para realizar la mezcla se coloca primero un tercio del agua junto con la arena, progresivamente se incorpora el cemento junto con el resto del agua y se mezcla hasta obtener una masa con la consistencia adecuada.

Evidencia fotográfica

Medición de materiales: Cemento, Arena, Ladrillo triturado y Agua



Mezcla



Nota: Elaboración propia

En la tabla 24, página siguiente, se expone el proceso y los resultados que determinan el flujo del mortero, según la normativa INEN 2 502, para las distintas dosificaciones elaboradas.

Tabla 24*Determinación del flujo en el mortero*

INEN 2 502:2009 – Cemento hidráulico. Determinación del flujo en morteros.		
Procedimiento	Determinación del flujo: Limpiar y secar cuidadosamente la mesa de flujo y colocar el molde de flujo en el centro. Colocar en el molde, una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor y compactar 20 veces. La presión de compactación deber ser suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde. Cortar el mortero hasta una superficie plana, nivelada con el borde del molde, mediante pasadas del enrasador o del filo de la espátula, con movimientos vaivén a través del borde del molde. Un minuto después de haber terminado la operación de llenado, levantar el molde. Inmediatamente dejar caer la mesa 25 veces en 15 segundos, a menos que se especifique lo contrario.	
	Cálculo: Sumar las cuatro lecturas del diámetro del mortero a lo largo de las cuatro líneas trazadas en la superficie de la mesa y registrar el total, este valor representa el flujo en porcentaje.	
Ensayo de flujo: Mezcla 0%		
Diámetro 1:	143 mm	A = promedio de las cuatro lecturas en milímetros, menos el diámetro interior de la base original en milímetros.
Diámetro 2:	144 mm	
Diámetro 3:	146 mm	
Diámetro 4:	144 mm	
Diámetro promedio:	144,25 mm	A = 144,25 – 140 mm = 4,25%
Diámetro interior base original:	140 mm	
Ensayo de flujo: Mezcla 5%		
Diámetro 1:	150 mm	A = promedio de las cuatro lecturas en milímetros, menos el diámetro interior de la base original en milímetros.
Diámetro 2:	153 mm	
Diámetro 3:	152 mm	
Diámetro 4:	149 mm	
Diámetro promedio:	151 mm	A = 151 – 140 mm = 11%
Diámetro interior base original:	140 mm	
Continúa ↓		

INEN 2 502:2009 – Cemento hidráulico. Determinación del flujo en morteros.

Ensayo de flujo: Mezcla 10%

Diámetro 1:	149 mm	A = promedio de las cuatro lecturas en milímetros, menos el diámetro interior de la base original en milímetros.
Diámetro 2:	151 mm	
Diámetro 3:	152 mm	
Diámetro 4:	147 mm	
Diámetro promedio:	149,75 mm	A = 149,75 – 140 mm = 9,75%
Diámetro interior base original:	140 mm	

Ensayo de flujo: Mezcla 15%

Diámetro 1:	141 mm	A = promedio de las cuatro lecturas en milímetros, menos el diámetro interior de la base original en milímetros.
Diámetro 2:	141 mm	
Diámetro 3:	139 mm	
Diámetro 4:	140 mm	
Diámetro promedio:	140,25 mm	A = 140,25 – 140 mm = 0,25 %
Diámetro interior base original:	140 mm	

Ensayo de flujo: Mezcla 20%

Diámetro 1:	145 mm	A = promedio de las cuatro lecturas en milímetros, menos el diámetro interior de la base original en milímetros.
Diámetro 2:	139 mm	
Diámetro 3:	140 mm	
Diámetro 4:	134 mm	
Diámetro promedio:	140,25 mm	A = 140,25 – 140 mm = -0,5 %
Diámetro interior base original:	140 mm	

Nota: Elaboración propia

Debido a que los residuos de ladrillo tienen una textura más porosa que la arena, los ensayos de flujo del mortero, indican que este disminuye a medida que aumenta el porcentaje de residuos, lo que indica que este material tiene mayor absorción de agua, y de esta manera reduce la trabajabilidad del mortero.

3.3 Aplicación de ensayos para mortero en estado endurecido

Finalizado el proceso de curado de los cubos de mortero, se procede a realizar los respectivos ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua y densidad.

3.3.1 Resistencia a la compresión de morteros – INEN 488

A continuación, en la tabla 25, se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión realizado con los cubos de mortero.

Tabla 25

Ensayo de resistencia a compresión de morteros

INEN 488 – Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.	
Procedimiento	Preparación de los cubos: Se secan las muestras hasta una condición de superficie seca y se toman las medidas de la sección transversal del cubo que va a recibir la carga.
	Rotura: Colocar cuidadosamente la muestra en la máquina de ensayo, bajo el centro del cabezal de apoyo superior, de manera que la carga se aplique a dos caras del cubo previamente medidas y que estuvieron en contacto con las superficies planas del molde.
Resultados	
Mortero base (sin adición de residuos)	7 días: 5,12 MPa
	14 días: 7,88 MPa
	28 días: 6,72 MPa
Mortero con 5% de residuos de ladrillo	7 días: 5,92 MPa
	14 días: 8,32 MPa
	28 días: 8,28 MPa
Mortero con 10% de residuos de ladrillo	7 días: 5,76 MPa
	14 días: 8,72 MPa
	28 días: 10 MPa
Continúa ↓	

INEN 488 – Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.

	7 días: 10,56 MPa
Mortero con 15% de residuos de ladrillo	14 días: 12,16 MPa
	28 días: 13,60 MPa
	7 días: 11,84 MPa
Mortero con 20% de residuos de ladrillo	14 días: 12,88 MPa
	28 días: 15,68 MPa

Evidencia fotográfica

Curado de cubos de mortero



Medición y peso de cubos



Colocación prensa



Aplicación de carga y fracaso



Nota: Elaboración propia

3.3.2 Tasa de absorción de agua o Sorptividad

En la tabla 26, página siguiente, se puede observar el ensayo de absorción de agua realizado para los cubos de mortero.

Tabla 26

Ensayo de absorción de agua

Ensayo de absorción de agua – INEN 862:2011

Mortero base (sin adición de residuos)

- Peso de la muestra en sss: 267,17 g $Ch = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100$
 - Peso de muestra seca: 224,41 g $Ch = \frac{(267,17 - 224,41)}{224,41} * 100 = 19,05\%$
-

Evidencia fotográfica

Muestra húmeda



Muestra seca al horno



Mortero con 5% de residuos de ladrillo

- Peso de la muestra en sss: 269,34 g $Ch = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100$
 - Peso de muestra seca: 227,43 g $Ch = \frac{(269,34 - 227,43)}{227,43} * 100 = 18,43\%$
-

Evidencia fotográfica

Muestra húmeda



Muestra seca al horno



Continúa



Ensayo de absorción de agua – INEN 862:2011

Mortero con 10% de residuos de ladrillo

- Peso de la muestra en sss: 268,42 g $Ch = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100$
- Peso de muestra seca: 226,85 g $Ch = \frac{(268,42 - 226,85)}{226,85} * 100 = 18,32\%$

Evidencia fotográfica

Muestra húmeda



Muestra seca al horno



Mortero con 15% de residuos de ladrillo

- Peso de la muestra en sss: 273,86 g $Ch = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100$
- Peso de muestra seca: 233,02 g $Ch = \frac{(273,86 - 233,02)}{233,02} * 100 = 17,53\%$

Evidencia fotográfica

Muestra húmeda



Muestra seca al horno



Continúa



Ensayo de absorción de agua – INEN 862:2011

Mortero con 20% de residuos de ladrillo

- Peso de la muestra en sss: 276,65 g $Ch = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100$
 - Peso de muestra seca: 236,21 g $Ch = \frac{(276,65 - 236,21)}{236,21} * 100 = 17,12\%$
-

Evidencia fotográfica

Muestra húmeda



Muestra seca al horno



Nota: Elaboración propia

3.3.3 Densidad

Por último, se presenta el ensayo de densidad para los cubos de mortero, desarrollado en la tabla 27.

Tabla 27

Ensayo de Densidad

Ensayo de Densidad

Cubo de mortero

Muestra seca al horno: 224,41 g $Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$

Volumen: 125 cm³ $Densidad = \frac{224,41}{125} = 1,80g/cm^3$

Continúa



Ensayo de Densidad

Cubo de mortero con 5% de residuos de ladrillo

Muestra seca al horno: 227,43 g $Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$

Volumen: 125 cm³ $Densidad = \frac{227,43}{125} = 1,82g/cm^3$

Cubo de mortero con 10% de residuos de ladrillo

Muestra seca al horno: 226,85 g $Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$

Volumen: 125 cm³ $Densidad = \frac{226,85}{125} = 1,81g/cm^3$

Cubo de mortero con 15% de residuos de ladrillo

Muestra seca al horno: 233,02 g $Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$

Volumen: 125 cm³ $Densidad = \frac{233,86}{125} = 1,886g/cm^3$

Cubo de mortero con 20% de residuos de ladrillo

Muestra seca al horno: 236,21 $Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$

Volumen: 125 cm³ $Densidad = \frac{236,21}{125} = 1,89g/cm^3$

Nota: Elaboración propia

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras realizar los ensayos respectivos a los cubos de mortero, se analizan los resultados a través de gráficos estadísticos, con el propósito de identificar las diferencias en sus características.

4.1 Comparación de resultados entre los cubos de mortero dosificados en laboratorio

Los cubos de mortero dosificados en laboratorio se analizan comparando el mortero base sin residuos con aquellas mezclas que incorporan agregado de ladrillo, puesto que el primero está elaborado bajo norma, y como todavía no existen normas técnicas que dirijan el agregado de residuos de ladrillo, se evaluarán los cambios con respecto al original.

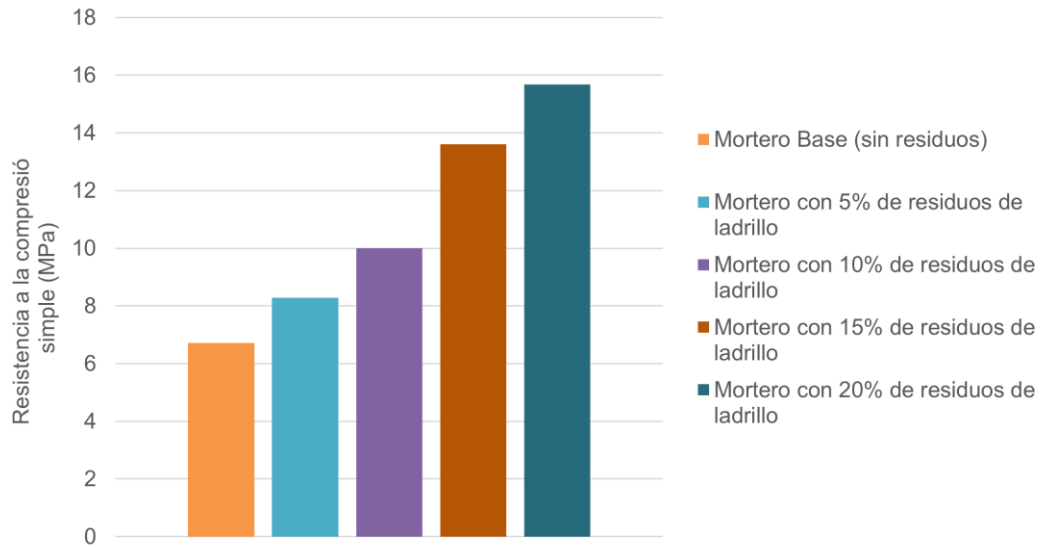
4.1.1 Resistencia a la compresión de morteros

Para la NEC – SE – MP el mortero se clasifica según su resistencia mínima y su dosificación en; tipo M20 (20,0 MPa), tipo M15 (15,0 MPa), tipo M10 (10,0 MPa), tipo M5 (5,0 MPa) y tipo M2.5 (2,5 MPa).

De esta forma, según los resultados obtenidos, se deduce que debido a que la arena local como árido fino no cumple con la normativa en el análisis granulométrico, al añadir los residuos de ladrillo triturados, el mortero puede alcanzar la resistencia mínima indicada en la normativa. En este caso se escogió elaborar un mortero M15, la única dosificación que alcanzó y superó con 4% esta resistencia, fue la que incluía el 20% de ladrillo triturado, mientras que el mortero base obtuvo un 55% menos de la resistencia mínima.

Figura 3

Análisis de los ensayos de resistencia a la compresión aplicados en cubos de mortero



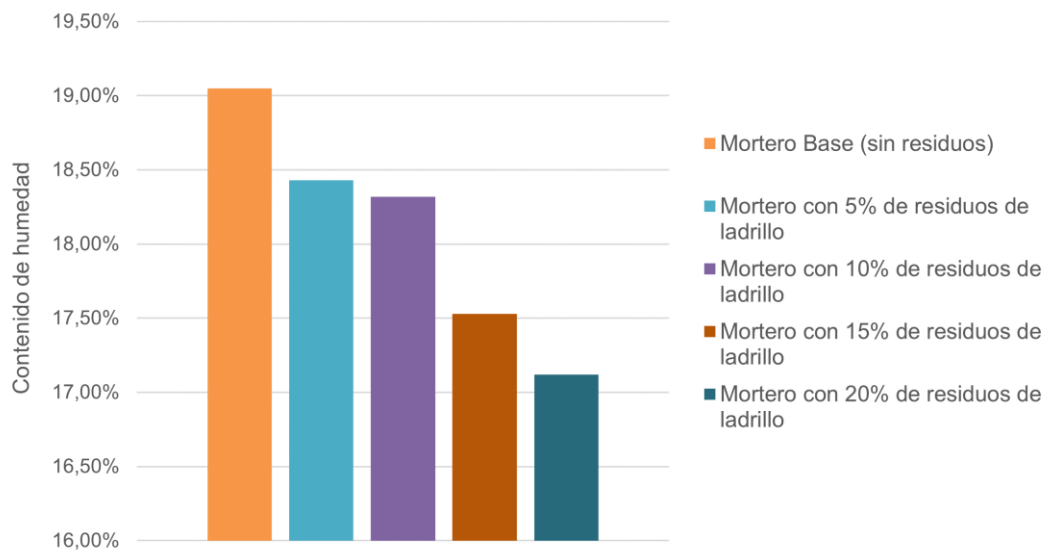
Nota: Elaboración propia

4.1.2 Tasa de absorción de agua o Sorptividad

De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos, se confirma que, al incorporar progresivamente los residuos de ladrillo triturado a la mezcla del mortero, el contenido de humedad disminuye, ya que este último material lo absorbe.

Figura 4

Análisis de los ensayos de absorción de agua de los cubos de mortero



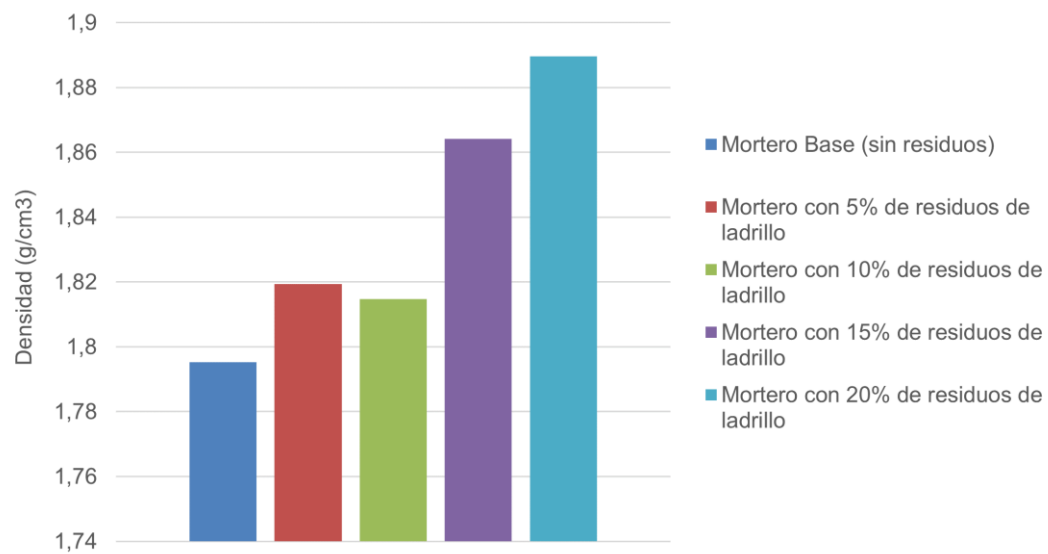
Nota: Elaboración propia

4.1.3 Densidad

De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos, se confirma que, la densidad del mortero aumenta mientras se van incorporando los residuos de ladrillo, por su textura rugosa mejora la adherencia entre las partículas, reduciendo vacíos en la mezcla.

Figura 5

Análisis de los ensayos de densidad de los cubos de mortero



Nota: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Una vez finalizado el presente trabajo investigativo, y basándose en la teoría, los ensayos y los datos obtenidos, se presentan estas conclusiones:

Del Capítulo I, relacionado al marco teórico, se concluye que:

- La investigación de trabajos previos que incorporaron residuos de ladrillo en la mezcla del mortero, permitió establecer la incorporación de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de este material en la elaboración del mortero para este estudio.

En cuanto al Capítulo II, que describe como se caracterizaron los materiales y su volumen dentro de la dosificación del mortero, se observa que:

- Los trabajos de investigación revisados en el Capítulo I dieron bases para caracterizar los residuos de ladrillo con las mismas normativas para la arena como árido fino en el mortero.
- Los materiales caracterizados, de forma individual, como árido fino para el mortero no obtuvieron buenos resultados en el análisis granulométrico, la arena local superó el material máximo retenido en los tamices N16 y N30, y los fragmentos de ladrillo excedieron el material máximo retenido en los tamices N30, N50 y N100.

Finalmente, en el Capítulo III, dónde se encuentra la fabricación del mortero y aplicación de ensayos, se evidencia que:

- La incorporación de fragmentos de ladrillo tuvo buenos resultados, así demuestra ser viable y una opción sostenible, superando con un 4% la resistencia mínima a la compresión, reduciendo la absorción de humedad y dando mejor distribución a las partículas de la mezcla del mortero, esto únicamente utilizando los ladrillos de las propias construcciones para elaborar el mortero de revestimiento, de esta forma se disminuyen los residuos y su ocupación en escombreras y/o rellenos sanitarios.

Recomendaciones

Partiendo de los resultados y conclusiones establecidos, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Utilizar maquinaria que permita procesar los fragmentos de ladrillos, obtener una mejor distribución granulométrica de estos residuos y además arena que cumpla la normativa en el análisis granulométrico, para comprobar si la incorporación entre el 5% y 20% obtiene también buenos resultados con estas características.
- Incorporar más porcentajes de los fragmentos de ladrillo para evaluar el comportamiento del mortero.
- Obtener fragmentos de otros tipos de ladrillos para analizar sus características y su viabilidad en la incorporación al mortero.
- El sector de la construcción debe considerar como una prioridad el estudio y la fabricación de mortero con residuos de ladrillo, ya que esta práctica ayuda a reducir la gran cantidad de residuos generados, los cuales no se gestionan de forma correcta en el medio, contribuyendo así a la sostenibilidad

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Admin-Atenas. (2025). *Cemento Atenas - Somos ciencia aplicada a la Construcción*.

Cemento Atenas. <https://www.cementoatenas.com/>

Aldana J. & Serpell A. (2012). Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un meta-análisis. *Revista de la construcción*, 11(2), 4-16.

Ambrosio Mantilla, M. (2024). *Evaluación de la resistencia a compresión de mortero $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ utilizando la combinación de residuos de cerámica, teja y ladrillo en proporciones de 3%, 5% y 7%* [Tesis, Universidad Privada del Norte].

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/37107>

ASTM (2009). *Standard Specification for Mortar Cement 1 (C 1329-05)*

ASTM (2007). *Especificación normalizada para cemento Portland (C 150-07)*

ASTM (2009). *Especificaciones de áridos para mortero de albañilería (C 144-04)*

Bocanegra Mariños, J. & Espejo Valdez, Y. (2018). *Influencia de la granulometría y el porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado sobre la resistencia a la compresión, absorción y capilaridad en la fabricación de morteros para enlucidos de albañilería* [Tesis, Universidad Nacional de Trujillo].

<https://dspace.unitru.edu.pe/items/4084a413-c4e4-41a3-812f-3e141b696d40>

Diego Sánchez de Guzmán. (s. f.). *Tecnología del Concreto y del Mortero*.

Gutiérrez de López, L. (2003). *Morteros. El concreto y otros materiales para la construcción*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

Hernandez Perez, E. (2023). *Evaluación de las Propiedades del Mortero al Reemplazar Agregado Fino por Ladrillos de Arcilla Reciclados* [Tesis, Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11879>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011) *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad* (NTE INEN 862)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011) *Áridos para hormigón. Requisitos* (NTE INEN 872)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011) *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso* (NTE INEN 696)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010) *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino* (NTE INEN 856)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009) *Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista* (NTE INEN 488)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009) *Cemento hidráulico. Determinación del flujo en morteros* (NTE INEN 2 502)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012) *Cemento para mortero. Requisitos* (NTE INEN 2615)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2018, 14. septiembre). *Clasificación de los morteros según la norma ASTM-C-270*. SCRIBD.
<https://es.scribd.com/document/393162813/Clasificacion-de-Los-Morteros-Segun-La-Norma-Astm-c-270>
- Gutiérrez de López, L. (2003). *Mortero. El concreto y otros materiales para la construcción*
- Irigoín Herrera, R. (2022). *Evaluación del mortero de albañilería reemplazando parcialmente arena por residuos de ladrillo del caserío el frutillo, Bambamarca, 2019* [Tesis, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
<https://repositorio.unach.edu.pe/items/d17c9243-9ad6-4094-acfc-b9658b8ab2ca>

Mejía, E., Giraldo, J. & Martínez, L. (2013, 20. junio). Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión Construction and demolition waste Review about their composition, impacts and management. Revista CINTEX, 18, 105-130.

<https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/52>

Mendoza Medina, E. & Vasquez Rojas, F. (2023). Evaluación de las propiedades fisicomecánicas del mortero adicionado con residuos reciclados de ladrillos de arcilla como reemplazo del agregado fino [Tesis, Universidad Señor de Sipán].

<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11406>

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *Mampostería Estructural* (NEC-SE-MP)

Norma Técnica Guatemalteca. (2012) *Mortero de pega para unidades de mampostería. Especificaciones* (COGUANOR NTG 41050)

Olavarria Alcalde, J. & Socola Contreras, F. (2024). *Influencia de la combinación de áridos reciclados y cerámica de ladrillo triturado sobre las propiedades mecánicas del mortero* [Tesis, Universidad Señor de Sipán].

<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12613>

Rodríguez Mora, O. (2003). *Morteros Guía General*. www.afam-morteros.com

ANEXOS

Anexo 1

Ensayo análisis granulométrico del árido fino: arena

INEN 696:2011 – ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO
ÁRIDO FINO: ARENA

Tamiz #		Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Norma INEN 872		Cumple Norma INEN 872
ISO	ASTM							
1/2"	12,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	Cumple
3/8"	9,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	Cumple
N.º 4	4,8 mm	1,71	0,58	0,58	99,42	95	100	Cumple
N.º 8	2,4 mm	5,67	1,93	2,51	97,49	80	100	Cumple
N.º 16	1,2 mm	8,22	2,80	5,31	94,69	50	85	No cumple
N.º 30	(590µ)	57,35	19,51	24,82	75,18	25	60	No cumple
N.º 50	(297µ)	137,40	46,75	71,57	28,43	10	30	Cumple
N.º 100	(149µ)	70,55	24,00	95,58	4,42	2	10	Cumple
Fondo	Fondo	13,00	4,42	100,00	0,00			
TOTAL		293,90						
Peso de la muestra (g)		300,00						
% de pérdidas		2,03						
Módulo de Finura		2,00						

Anexo 2

Ensayo análisis granulométrico del árido fino: residuos de ladrillo

INEN 696:2011 – ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO ÁRIDO FINO: RESIDUOS DE LADRILLO

Tamiz #		Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Norma INEN 872		Cumple Norma INEN 872
ISO	ASTM							
1/2"	12,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	Cumple
3/8"	9,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	Cumple
N.º 4	4,8 mm	12,33	4,12	4,12	95,88	95	100	Cumple
N.º 8	2,4 mm	17,08	5,71	9,84	90,16	80	100	Cumple
N.º 16	1,2 mm	19,77	6,61	16,45	83,55	50	85	Cumple
N.º 30	(590 μ)	41,51	13,88	30,33	69,67	25	60	No cumple
N.º 50	(297 μ)	44,11	14,75	45,09	54,91	10	30	No cumple
N.º 100	(149 μ)	48,42	16,20	61,28	38,72	2	10	No cumple
Fondo	Fondo	115,76	38,72	100,00	0,00			
TOTAL		298,98						
Peso de la muestra (g)		300,00						
% de pérdidas		0,34						
Módulo de Finura		1,67						

Anexo 3

Ensayo análisis granulométrico del árido fino: arena y residuos de ladrillo

INEN 696:2011 – ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO
ÁRIDO FINO: ARENA Y RESIDUOS DE LADRILLO

Tamiz #		Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Norma INEN 872		Cumple Norma INEN 872
ISO	ASTM							
1/2"	12,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	Cumple
3/8"	9,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	Cumple
N.º 4	4,8 mm	3,75	0,75	0,75	99,25	95	100	Cumple
N.º 8	2,4 mm	23,43	4,69	5,44	94,56	80	100	Cumple
N.º 16	1,2 mm	42,67	8,54	13,98	86,02	50	85	No cumple
N.º 30	(590µ)	108,06	21,63	35,62	64,38	25	60	No cumple
N.º 50	(297µ)	186,12	37,26	72,88	27,12	10	30	Cumple
N.º 100	(149µ)	110,91	22,20	95,08	4,92	2	10	Cumple
Fondo	Fondo	24,56	4,92	100,00	0,00			
TOTAL		499,50						
Peso de la muestra (g)		500,00						
% de pérdidas		0,10						
Módulo de Finura		2,24						

Anexo 4

Ensayo de densidad y porcentaje de absorción del árido fino: arena

**INEN 856:2010 – ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO
ÁRIDO FINO: ARENA**

Procedimiento gravimétrico (picnómetro)

Datos:

A= masa de la muestra seca al horno, g	486,2 g
B= Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g	664,0 g
C= Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g	958,6 g
S= Masa de la muestra saturada superficialmente seca	500,0 g

Densidad relativa (gravedad específica):

a) Densidad relativa (gravedad específica) (SH)

$$Densidad\ relativa_{(SH)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$Densidad\ relativa_{(SH)} = \frac{486,2}{(664,0 + 500 - 958,6)} = 2,37$$

b) Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)

$$Densidad\ relativa_{(SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$Densidad\ relativa_{(SSS)} = \frac{500}{(664,0 + 500 - 958,6)} = 2,43$$

c) Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

$$Densidad\ relativa\ aparente = \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$Densidad\ relativa\ aparente = \frac{486,2}{(664,0 + 486,2 - 958,6)} = 2,54$$

Continúa



**INEN 856:2010 – ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA
(GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO
ÁRIDO FINO: ARENA**

Procedimiento gravimétrico (picnómetro)

Datos:

A= masa de la muestra seca al horno, g	486,2 gr
B= Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g	664,0 gr
C= Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g	958,6 gr
S= Masa de la muestra saturada superficialmente seca	500,0 gr

Densidad (SH)

a) Densidad (SH), kg/m³

$$Densidad_{(SH)} = \frac{997,5(A)}{(B + S - C)}$$

$$Densidad_{(SH)} = \frac{997,5 * 486,2}{(664,0 + 500 - 958,6)} = 2356,81 \text{ kg/m}^3$$

b) Densidad (SSS), kg/m³

$$Densidad_{(SSS)} = \frac{997,5(S)}{(B + S - C)}$$

$$Densidad_{(SSS)} = \frac{997,5 * 500,0}{(664,0 + 500,0 - 958,6)} = 2428,43 \text{ kg/m}^3$$

c) Densidad aparente (SSS), kg/m³

$$Densidad \text{ aparente}_{(SSS)} = \frac{997,5(A)}{(B + A - C)}$$

$$Densidad \text{ aparente}_{(SSS)} = \frac{997,5 * 486,2}{(664,0 + 486,2 - 958,6)} = 2531,26 \text{ kg/m}^3$$

Absorción

a) Porcentaje de absorción, %

$$Absorción = \frac{(S - A)}{(A)} * 100$$

$$Absorción = \frac{(500 - 486,2)}{(486,2)} * 100 = 2,83\%$$

Anexo 5

Ensayo de densidad y porcentaje de absorción del árido fino: residuos de ladrillo

INEN 856:2010 – ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO ÁRIDO FINO: RESIDUOS DE LADRILLO

Procedimiento gravimétrico (picnómetro)

Datos:

A= masa de la muestra seca al horno, g	447,0 gr
B= Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g	664,0 gr
C= Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g	893,7 gr
S= Masa de la muestra saturada superficialmente seca	500,0 gr

Densidad relativa (gravedad específica):

a) Densidad relativa (gravedad específica) (SH)

$$Densidad\ relativa_{(SH)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$Densidad\ relativa_{(SH)} = \frac{447,0}{(664,0 + 500 - 893,7)} = 1,65$$

b) Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)

$$Densidad\ relativa_{(SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$Densidad\ relativa_{(SSS)} = \frac{500}{(664,0 + 500 - 893,7)} = 1,85$$

c) Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

$$Densidad\ relativa\ aparente = \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$Densidad\ relativa\ aparente = \frac{447,0}{(664,0 + 447,0 - 893,7)} = 2,06$$

Continúa



**INEN 856:2010 – ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA
(GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO
ÁRIDO FINO: RESIDUOS DE LADRILLO**

Procedimiento gravimétrico (picnómetro)

Datos:

A= masa de la muestra seca al horno, g	447,0 gr
B= Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g	664,0 gr
C= Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g	893,7 gr
S= Masa de la muestra saturada superficialmente seca	500,0 gr

Densidad (SH)

a) Densidad (SH), kg/m³

$$Densidad_{(SH)} = \frac{997,5(A)}{(B + S - C)}$$

$$Densidad_{(SH)} = \frac{997,5 * 447,0}{(664,0 + 500 - 893,7)} = 1646,13 \text{ kg/m}^3$$

b) Densidad (SSS), kg/m³

$$Densidad_{(SSS)} = \frac{997,5(S)}{(B + S - C)}$$

$$Densidad_{(SSS)} = \frac{997,5 * 500,0}{(664,0 + 500,0 - 893,7)} = 1844,97 \text{ kg/m}^3$$

c) Densidad aparente (SSS), kg/m³

$$Densidad \text{ aparente}_{(SSS)} = \frac{997,5(A)}{(B + A - C)}$$

$$Densidad \text{ aparente}_{(SSS)} = \frac{997,5 * 447,0}{(664,0 + 447,0 - 893,7)} = 2051,59 \text{ kg/m}^3$$

Absorción

a) Porcentaje de absorción, %

$$Absorción = \frac{(S - A)}{(A)} * 100$$

$$Absorción = \frac{(500 - 447,0)}{(447,0)} * 100 = 11,85\%$$



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Karen Daniela Rivera Fernández portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0350177135**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del proyecto de titulación **“Uso de fragmentos de ladrillo tochano provenientes de los residuos de construcción para la fabricación de un mortero de revestimiento”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este proyecto de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 7 de abril de 2025

F:

Karen Daniela Rivera Fernández

C.I. 0350177135