

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

CARRERA DE ARQUITECTURA

**ELABORACIÓN DE MORTEROS DE PEGA CON PUZOLANA
DEL SECTOR LA COLINA DEL CANTÓN DÉLEG, CAÑAR -
ECUADOR**

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

AUTOR: PABLO JACINTO CANTOS CORONEL

DIRECTOR: ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ

AZOGUES - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Pablo Jacinto Cantos Coronel portador de la cédula de ciudadanía N° **0302286588**. Declaro ser el autor de la obra: “ELABORACIÓN DE MORTEROS DE PEGA CON PUZOLANA DEL SECTOR LA COLINA DEL CANTÓN DÉLEG, CAÑAR – ECUADOR”, 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, **11 de marzo de 2025**

Pablo Jacinto Cantos Coronel

C.I. 0302286588

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Arq. Andrés Oswaldo Venegas Tomalá, Mgtr.

DOCENTE DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Elaboración de Morteros de Pega con Puzolana del Sector La Colina del Cantón Déleg, Cañar - Ecuador**", realizado por: **Pablo Jacinto Cantos Coronel**, con documentos de identidad: **0302286588**, previo a la obtención del título de **Arquitecto** 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, 11 de marzo de 2025



Arq. Andrés Oswaldo Venegas Tomalá, Mgtr.

0103751780

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al Arq. Andrés Venegas Tomalá, director de esta tesis, por su valiosa orientación y constante apoyo, así como, a la Ing. Karla León, por su colaboración y compromiso.

A los docentes de la carrera de Arquitectura de la Universidad Católica de Cuenca, Sede Azogues, por brindarme las herramientas y conocimientos esenciales en mi formación. A mis compañeros y amigos, por su compañía y respaldo a lo largo de este camino.

DEDICATORIA

Con amor y gratitud, dedico este trabajo a mi padre, cuyo apoyo incondicional y confianza fueron fundamentales en esta etapa, y a mi madre, por su amor infinito, paciencia y constante inspiración. A mi hermana Daniela, a mi familia y amigos, por su compañía, fortaleza y aliento en cada paso de este camino. Este logro es para ustedes, con todo mi corazón.

RESUMEN

ELABORACIÓN DE MORTEROS DE PEGA CON PUZOLANA DEL SECTOR LA COLINA DEL CANTÓN DÉLEG, CAÑAR – ECUADOR.

Pablo Jacinto Cantos Coronel, Andrés Oswaldo Venegas Tómalá

Universidad Católica de Cuenca, pablo.cantos.88@est.ucacue.edu.ec

RESUMEN

Este estudio evalúa la sustitución parcial del agregado fino por puzolana del sector La Colina del cantón Déleg en el mortero de pega, con el fin de cumplir la norma NTE INEN 2518. El problema radica en la calidad de los morteros que dependen en gran medida de los áridos utilizados en su fabricación. El cierre de minas que proveen arena a la región ha generado el uso del árido del río Jubones, localizado a 70 Km de la ciudad de Cuenca.

El estudio emplea un enfoque experimental, sustituyendo 5% y 20% el árido fino por puzolana y evaluando su desempeño mediante ensayos de laboratorio en estado plástico y endurecido. Los resultados indican que la incorporación de un 20% de puzolana al mortero, mejora la fluidez en un 7,9% en relación con el mortero cemento-arena. En términos mecánicos, la resistencia a la compresión supera los valores de diseño, con un incremento del 17,84% respecto al mortero estándar. Además, la absorción se reduce al 1,63%, y la densidad del mortero se incrementa.

La metodología incluyó ensayos de fluidez, resistencia a la compresión y absorción, cumpliendo con las normativas nacionales. Se concluye que, la puzolana local es apta para la fabricación de morteros de pega, representando una alternativa sostenible para la construcción y reduciendo el impacto ambiental asociado a la explotación de arenas tradicionales.

Palabras clave: Puzolana, arena, mortero de pega, resistencia a la compresión, ensayos

ABSTRACT

Preparation of Pozzolanic Bonding Mortars in the La Colina Area of Déleg Canton, Cañar – Ecuador

Pablo Jacinto Cantos Coronel, Andrés Oswaldo Venegas Tómalá

Catholic University of Cuenca, pablo.cantos.88@est.ucacue.edu.ec

ABSTRACT

This study evaluates the partial substitution of fine aggregate with pozzolan from the La Colina area of Déleg Canton in bonding mortar, aiming to comply with the NTE INEN 2518 standard. The issue lies in the quality of mortars, which largely depends on the aggregates used in their production. The closure of mines supplying sand to the region has led to the use of aggregate from the Jubones River, located 70 km from the city of Cuenca.

The research employs an experimental approach, replacing 5% and 20% of the fine aggregate with pozzolan and assessing its performance through laboratory tests in both plastic and hardened states. The results indicate that incorporating 20% pozzolan into the mortar improves fluidity by 7.9% compared to cement-sand mortar. Mechanically, the compressive strength exceeds design values, showing a 17.84% increase compared to standard mortar. Additionally, water absorption is reduced to 1.63%, and mortar density increases.

The methodology included flow, compressive strength, and absorption tests, in compliance with national standards. The study concludes that local pozzolan is suitable for the production of bonding mortars, representing a sustainable alternative for construction and reducing the environmental impact associated with traditional sand mining.

Keywords: Pozzolan, sand, bonding mortar, compressive strength, tests



ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD.....	1
CERTIFICACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	4
RESUMEN.....	5
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE DE CONTENIDOS	7
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABLAS	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I	13
1. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO	13
1.1 MORTEROS	13
1.1.1 <i>Tipos de mortero</i>	13
1.1.1.1 Morteros según sus elementos de composición.....	13
1.1.1.2 Morteros según el tiempo de fraguado.....	14
1.1.1.3 Morteros según fluidez.....	15
1.1.1.4 Morteros según uso y función.....	16
1.1.2 <i>Propiedades de los morteros en estado plástico y endurecido</i>	16
1.2 COMPONENTES DEL MORTERO	18
1.2.1 <i>Cemento portland</i>	18
1.2.1.1 Propiedades del cemento portland.....	20
1.2.2 <i>Áridos</i>	21
1.2.2.1 Propiedades de los áridos.....	21
1.2.3 <i>Agua</i>	23
1.2.3.1 Propiedades del agua.....	23
1.2.4 <i>Aditivos</i>	24
1.3 PUZOLANA.....	25
1.3.1 <i>Clases de puzolana</i>	25
1.3.2 <i>Usos de la puzolana</i>	26
1.3.3 <i>Las puzolanas en el Ecuador</i>	26
1.3.4 <i>Características de las puzolanas</i>	29
1.4 MORTEROS DE PEGA.....	30
1.4.1 <i>Ensayos para los morteros de pega</i>	33
1.4.1.1 Cantidades de material para especímenes de ensayo.....	34
1.4.1.2 Mezclado de morteros.....	34
1.4.1.3 Retención de agua.....	35
1.4.1.4 Resistencia a la compresión.....	36
1.5 ESTUDIOS REFERENCIALES DE USO DE LA PUZOLANA.....	37

CAPÍTULO II	39
2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	39
2.1 CEMENTO.....	39
2.2 ARENA	40
2.2.1 <i>Obtención de muestra del árido</i>	40
2.2.2 <i>Ensayo granulométrico del árido fino y de la puzolana</i>	41
2.2.3 <i>Ensayo del contenido de humedad del árido fino y de la puzolana</i>	45
2.2.4 <i>Ensayo de masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos del árido fino y de la puzolana</i>	47
2.2.5 <i>Ensayo de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino y de la puzolana</i>	50
2.2.6 <i>Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino y de la puzolana</i>	52
CAPÍTULO III	54
3. DISEÑO DEL MORTERO DE PEGA.....	54
3.1 DISEÑO DEL MORTERO DE PEGA POR PESO	54
3.2 ELABORACIÓN DEL MORTERO	59
3.3 MOLDEADO Y CURADO DE CUBOS DE ENSAYO.....	62
3.4 ENSAYOS DE LOS MORTEROS EN ESTADO PASTOSO Y ENDURECIDO.....	63
3.4.1 <i>Fluidez</i>	64
3.4.2 <i>Resistencia a la compresión</i>	65
3.4.3 <i>Porcentaje de absorción</i>	68
3.4.4 <i>Densidad del mortero</i>	68
CAPÍTULO IV.....	70
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	70
4.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	70
4.1.1 <i>Fluidez</i>	70
4.1.2 <i>Trabajabilidad</i>	71
4.1.3 <i>Resistencia a la compresión</i>	71
4.1.4 <i>Porcentaje de absorción</i>	72
4.1.5 <i>Densidad del mortero</i>	72
CAPÍTULO V.....	74
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1 CONCLUSIONES	74
5.2 RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la mina seleccionada para la extracción de la puzolana.	28
Figura 2 Estado Actual de Explotación de la Mina en el Cantón Déleg.	28
Figura 3 Correspondencia entre los valores de relación agua – cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos con cemento portland y arena de forma redondeada y textura lisa.	55
Figura 4 Relación entre porcentaje de fluidez y relación agua-cemento	56
Figura 5 Fluidez del mortero	70
Figura 6 Resistencia a la compresión	71
Figura 7 Porcentaje de absorción	72
Figura 8 Densidad del mortero	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Morteros según sus elementos de composición. _____	13
Tabla 2 Morteros según tiempo de fraguado. _____	14
Tabla 3 Morteros según fluidez _____	15
Tabla 4 Morteros según su uso y función _____	16
Tabla 5 Propiedades de los morteros en estado plástico _____	17
Tabla 6 Propiedades de los morteros en estado endurecido _____	17
Tabla 7 Tipos de cemento _____	19
Tabla 8 Propiedades físicas del cemento _____	20
Tabla 9 Propiedades de la puzolana _____	29
Tabla 10 Requisitos para especificaciones de proporcionamiento _____	31
Tabla 11 Requisitos para especificaciones de propiedades _____	31
Tabla 12 Tipos de mortero, dosificación y resistencia mínima a la compresión a los 28 días ____	32
Tabla 13 Mezclado de morteros _____	35
Tabla 14 Ensayo de retención de agua _____	36
Tabla 15 Estudios de uso de la puzolana en morteros y hormigones _____	37
Tabla 16 Información técnica del cemento hidráulico tipo GU _____	40
Tabla 17 Obtención de muestra para el árido del árido fino. _____	41
Tabla 18 Proceso y resultado del ensayo de granulometría del árido fino. _____	41
Tabla 19 Proceso y resultado del ensayo de granulometría de la puzolana. _____	43
Tabla 20 Proceso y resultado del ensayo de contenido de humedad de árido fino natural ____	45
Tabla 21 Proceso y resultado del ensayo de contenido de humedad de la puzolana _____	46
Tabla 22 Proceso y resultado del ensayo del peso volumétrico y porcentaje de vacíos del árido fino _____	48
Tabla 23 Proceso y resultado del ensayo del peso volumétrico y porcentaje de vacíos de la puzolana _____	49
Tabla 24 Proceso y resultado del ensayo de densidad, densidad relativa y absorción del árido fino natural _____	50
Tabla 25 Proceso y resultado del ensayo de densidad, densidad relativa y absorción de la puzolana _____	51
Tabla 26 Determinación de las impurezas orgánicas. _____	53
Tabla 27 Comparación de diseños por volumen y por peso _____	54
Tabla 28 Valores de (b) para distintas consistencias y módulos de finura de la arena _____	57
Tabla 29 Contenido de materiales por metro cúbico de mortero de pega _____	59
Tabla 30 Contenido de materiales para elaborar ocho unidades cúbicas de mortero de pega para ensayo (cubos de 50 mm de arista) _____	59
Tabla 31 Preparación de morteros de pega para ensayos de laboratorio _____	60
Tabla 32 Proceso de moldeado y curado de cubos de ensayo de morteros de pega. _____	62
Tabla 33 Determinación del flujo en el mortero de pega _____	64
Tabla 34 Ensayo de resistencia a la compresión de los morteros _____	66
Tabla 35 Ensayo para determinar el porcentaje de absorción _____	68
Tabla 36 Densidad del mortero _____	69

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible en la construcción ha impulsado la búsqueda de alternativas para la optimización de materiales y la reducción del impacto ambiental. En este contexto, la investigación sobre el uso de puzolanas naturales como sustituto parcial del agregado en morteros de pega, se presenta como una estrategia viable para mejorar la eficiencia y sustentabilidad de los procesos constructivos. Evaluar la incorporación de puzolana extraída del sector La Colina, del cantón Déleg, provincia de Cañar - Ecuador, en la elaboración de morteros responde a la necesidad de mitigar los efectos derivados de la deficiente calidad y la escasez de arena, producto del cierre de minas que abastecían de áridos a la región. Como consecuencia, se ha incrementado la dependencia de fuentes más distantes, como el río Jubones, lo que encarece los costos de producción y transporte de los materiales.

En estudios previos se ha demostrado que su incorporación puede influir positivamente en la trabajabilidad, resistencia mecánica y durabilidad de las mezclas, al tiempo que contribuye a la reducción del consumo de cemento Portland, disminuyendo así la huella de carbono del proceso constructivo. A través de un enfoque experimental, la investigación determinó el impacto de la sustitución parcial del agregado fino por puzolana en el comportamiento del mortero de pega. Para ello, se han establecido dos niveles de reemplazo: 5% y 20%, con el fin de analizar las variaciones en propiedades como: fluidez, resistencia a la compresión, absorción de agua y densidad. Estas propiedades fueron evaluadas mediante ensayos de laboratorio que siguen los lineamientos de la norma ecuatoriana NTE INEN 2518, garantizando la validez de los resultados obtenidos.

El estudio partió de la hipótesis de que, al sustituir parcialmente en el mortero, arena por puzolana, se podría generar beneficios tanto en el estado fresco como en el endurecido. En estado plástico, la incorporación de la puzolana mejoró la fluidez y trabajabilidad de la mezcla, reduciendo la segregación y favoreciendo su aplicación en obra. En estado endurecido, la resistencia del mortero a la compresión aumentó, debido a la reacción puzolánica, que se genera. Además, la densidad del mortero se incrementa y la absorción de agua se reduce, contribuyendo a mejorar su durabilidad y resistencia a agentes externos.

Los resultados de la investigación permiten establecer que, la sustitución parcial del agregado fino por puzolana, constituye una alternativa técnica viable para la elaboración de los

morteros de pega en la región, así como, una opción sostenible para la industria de la construcción, ya que, se puede reducir la explotación de arenas de los lechos de río y aprovechar recursos locales con un menor impacto ambiental.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

1.1 Morteros

El mortero es un material muy utilizado en la construcción por su versatilidad, no se conoce con exactitud cuando y en donde se inició su uso, pero, los romanos fueron los que hicieron la mayor contribución a la tecnología del mortero de cal, mediante la adición de cenizas volcánicas ricas en sílice. El mortero está compuesto por un conglomerante, como cemento o cal, que le otorga la capacidad de endurecerse y adquirir resistencia con el tiempo; la arena o agregado que actúa como material de relleno, el agua para hidratar el cemento, y a veces aditivos. La arena mejora la trabajabilidad y estabilidad del mortero, mientras que el agua permite el proceso de fraguado. Los aditivos, por su parte, pueden modificar sus propiedades, aumentando su resistencia, adherencia o impermeabilidad, según las necesidades del proyecto (Gutiérrez de López, 2003).

Para la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en el libro de la mampostería estructural, un mortero es: “mezcla de conglomerados inorgánicos áridos y agua y en algunos casos adiciones y aditivos” (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 CAP.1, 2013).

1.1.1 Tipos de mortero

Al mortero se lo clasifica según sus elementos de composición, su fraguado, su fluidez, uso y función.

1.1.1.1 Morteros según sus elementos de composición.

Esta clasificación se realiza en base al o los elementos aglomerantes utilizados en la mezcla. El aglomerante es el componente que permite la unión de las partículas.

Tabla 1

Morteros según sus elementos de composición.

Tipo de mortero	Composición	Aplicaciones	Propiedades
Mortero de cal	Cal hidratada Agua Arena	Restauración y conservación de edificios históricos.	Plasticidad y compatibilidad con materiales antiguos

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Mortero de yeso	Yeso en polvo Agua Aditivos (opcional)	Revestimiento de paredes y techos. Nivelación de superficies. Instalación de elementos decorativos.	Buena trabajabilidad. Fraguado rápido en interiores.
Mortero de cemento portland	Cemento portland Agua Arena	Estructuras de alta resistencia. Enlucidos de superficies.	Alta resistencia. Trabajabilidad (variable según relación cemento-arena). Susceptible a agrietarse por retracción.
Mortero de cal y cemento	Cal Cemento Agua Arena	Usos estructurales con mayor retención de agua y resistencia inicial	Combinan cohesión del cemento y adhesión de la cal. Variación en resistencia y trabajabilidad según proporciones.

Nota. Elaborado a partir de “Estudio de morteros para reparación arqueológica y patrimonial”, por (Abel & Orozco, 2023)

1.1.1.2 Morteros según el tiempo de fraguado.

El tiempo de fraguado de un mortero, se refiere al período que tarda la mezcla en pasar de un estado plástico -cuando aún es moldeable- a un estado sólido -cuando comienza a endurecerse-. Este tiempo es crítico en la construcción, ya que afecta la manejabilidad y la velocidad de trabajo.

Tabla 2

Morteros según tiempo de fraguado.

Tipo de mortero	Tiempo de fraguado	Aplicaciones	Propiedades
Mortero de fraguado lento	8 y 24 horas	Ideal para proyectos que requieren mayor tiempo de manipulación o ajustes en la colocación.	Mayor tiempo para trabajar la mezcla antes de que comience a endurecerse.
Mortero de fraguado normal	2 y 6 horas	Usos generales en construcción, tanto en interiores como exteriores.	Fraguado estándar, equilibrado entre trabajabilidad y tiempo de endurecimiento.

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Mortero de fraguado rápido	30 minutos y 1 hora	Reparaciones rápidas, trabajos urgentes o en condiciones climáticas frías.	Endurece rápidamente, útil para aplicaciones urgentes donde se requiere una rápida ganancia de resistencia.
Mortero de larga vida (estabilizado)	Lento (controlado con aditivos)	Proyectos de larga duración, transporte a largas distancias, o cuando se requiere mayor tiempo de trabajo.	Aditivos que retrasan el fraguado y facilitan su manipulación; aditivo adicional que introduce aire, mejorando el manejo en estado fresco.

Nota. Elaborado a partir de “Estudio de morteros para reparación arqueológica y patrimonial”, por (Abel & Orozco, 2023).

1.1.1.3 Morteros según fluidez.

La fluidez es una propiedad crucial, afecta directamente la facilidad con la que el mortero puede ser colocado, extendido y trabajado en obra. Es la capacidad de la mezcla para moverse o fluir bajo su propio peso o cuando se le aplica una fuerza externa, es decir, qué tan manejable es el mortero en estado fresco.

Tabla 3

Morteros según fluidez

Tipo de mortero	Fluidez (%) / penetración (mm)	Aplicaciones	Propiedades
Baja	80% - 110% (20 – 30 mm)	Estructuras de carga. Mamposterías.	El mortero tiene un flujo limitado, aplicable en estructuras de carga.
Normal	110% - 150% (50 – 50 mm)	Albañilería en general. Enlucidos. Morteros de juntas.	Equilibrio entre trabajabilidad y estabilidad, utilizado en la mayoría de aplicaciones constructivas.
Alta	150% - 200% (> 50mm)	Morteros autonivelantes. Reparaciones. Juntas finas.	Se extiende ampliamente, es de rápida colocación y alta trabajabilidad.

Nota. Elaborado a partir de “Estudio de morteros para reparación arqueológica y patrimonial”, por (Abel & Orozco, 2023).

1.1.1.4 Morteros según uso y función.

Cada tipo de mortero tiene una función particular que depende de las necesidades estructurales, estéticas o de protección. Sus propiedades varían en función del propósito o rol dentro del proyecto de construcción para el cual se utilizan. En la tabla 4, se muestran los tipos de mortero, según esta condición.

Tabla 4

Morteros según su uso y función

Tipo de mortero	Uso y función	Aplicaciones	Propiedades
Mortero de pega	Adhesivo para unir elementos de construcción.	Unión de ladrillos, bloques, piedras u otros materiales.	Resistencia adecuada para soportar esfuerzos de compresión y tensión. Garantiza unión segura y duradera.
Mortero de relleno	Rellenar hueco y reforzar elementos constructivos	Relleno de huecos en mampostería estructural.	Debe tener alta resistencia. Mejora la solidez y estabilidad de la estructura.
Mortero de recubrimiento	Protección y acabado estético de superficies	Revestimiento de paredes, tanto exteriores como interiores.	No tiene función estructural. Alta plasticidad para facilitar su aplicación suave y uniforme.

Nota. Elaborado a partir de “Estudio de morteros para reparación arqueológica y patrimonial”, por (Abel & Orozco, 2023).

1.1.2 Propiedades de los morteros en estado plástico y endurecido

Las propiedades de un mortero son las características físicas y mecánicas que determinan el comportamiento de la mezcla en estado plástico y endurecido. Las propiedades influyen en la facilidad de manipulación, colocación y ajuste durante la construcción, así como, en su rendimiento estructural, durabilidad, adherencia y resistencia después del fraguado (González, 2016). Las propiedades en estado plástico son: trabajabilidad, flujo, retención de agua y velocidad de endurecimiento; y, en estado endurecido: adherencia, resistencia a la compresión, extensibilidad y flujo plástico y durabilidad.

Tabla 5*Propiedades de los morteros en estado plástico*

Propiedad	Descripción
Trabajabilidad	Es la propiedad más importante en estado plástico, permite esparcir el mortero fácilmente, resistir el peso de las unidades de mampostería, y facilitar su alineamiento. Depende de factores como plasticidad, consistencia y cohesión.
Fluidez	Propiedad que indica la facilidad con la que la mezcla puede ser colocada y manejada durante la construcción de mamposterías o revestimientos. Se evalúa mediante un ensayo en laboratorio que revisa el aumento porcentual del diámetro de una muestra de mortero confeccionada en un molde troncocónico y sometida a movimientos vibratorios.
Retención de agua	Es la capacidad del mortero para retener agua durante la absorción por las unidades de mampostería, permitiendo ajustes sin endurecimiento prematuro. Para mejorar la retención de agua se puede agregar cal, aumentar el contenido de agregados finos, o usar aditivos inclusores de aire y plastificantes.
Características de endurecimiento	El mortero se endurece a medida que pierde agua y por la hidratación del cemento. En estado plástico se relaciona con las características de fraguado. La velocidad de endurecimiento varía con la temperatura: el calor lo acelera, el frío lo retrasa.

Nota. Elaborado a partir de “Morteros para unidades de mampostería. Requisitos”, (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010)

Tabla 6*Propiedades de los morteros en estado endurecido*

Propiedad	Descripción
Adherencia	Es la capacidad que tiene el mortero de unirse firmemente a las superficies de las unidades de mampostería o a otros elementos constructivos. Esta propiedad es fundamental para garantizar la integridad y durabilidad de las estructuras, ya que una buena adherencia asegura que las unidades permanezcan unidas y que las cargas se distribuyan adecuadamente. La adherencia vincula tres aspectos principales: resistencia, extensión y durabilidad. Diversas variables la condicionan: el contenido de aire, la cohesión del mortero, el tiempo de colocado en obra, la absorción del mampuesto, la capacidad de retención de agua, las condiciones de curado y la textura de la superficie de pega.

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Extensibilidad y flujo plástico

La extensibilidad permite que el mortero soporte deformaciones sin romperse, mientras que el flujo plástico contribuye a la flexibilidad de la mampostería, permitiendo pequeños movimientos sin generar fisuras visibles.

Durabilidad

La durabilidad se define como la resistencia del mortero a factores externos como la penetración de agua, la exposición a ciclos de congelación y deshielo, desgaste por abrasión - fricción- y agentes corrosivos. Un adecuado contenido de aire mejora la resistencia del mortero en condiciones extremas.

Nota. Elaborado a partir de “Morteros para unidades de mampostería. Requisitos”,(Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010).

1.2 Componentes del mortero

Los morteros contienen materiales cementantes, áridos y agua, y a veces, se incorpora aditivos. Estos materiales, al interactuar en la mezcla, aportan características fundamentales, pues, cumplen un papel clave en la determinación de las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como endurecido, por lo que, es necesario una correcta selección para lograr una dosificación apropiada.

1.2.1 Cemento portland

El cemento portland es un producto obtenido de la pulverización del Clinker Portland, con adición durante la molienda de sulfato de calcio -yeso-, y/o otros materiales adecuados en proporciones que no sean nocivas para el comportamiento posterior del producto (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 152, 2012). El cemento portland es el principal material cementante en la mayoría de los morteros. Su función principal es aportar resistencia y durabilidad, especialmente en las fases tempranas del endurecimiento, lo que permite acelerar los procesos constructivos. Sin embargo, el cemento Portland puro no se usa solo, ya que carece de plasticidad y tiene baja capacidad de retención de agua y trabajabilidad (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010). Los cementos son conglomerantes hidráulicos, que tiene como característica una buena adherencia y cohesión, lo que genera una unión fuerte entre partículas o fragmentos minerales.

El cemento puede clasificarse en tres grandes grupos: puros, compuestos y por su desempeño. (Revise la tabla 7).

Tabla 7*Tipos de cemento*

Tipo	Descripción	Norma		
		INEN	ASTM	
Puros	I	Uso Común	152	C150
	II	Moderada resistencia a los sulfatos Moderado calor de hidratación	152	C150
	III	Elevada resistencia inicial	152	C150
	IV	Bajo calor de hidratación, gana resistencia lentamente	152	C150
	V	Alta resistencia a los sulfatos	152	C150
Los tipos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire.				
Compuestos	IS	Portland de escoria de altos hornos. Fragua y endurece lentamente, poca retracción y débil calor de hidratación.	490	C595
	IP	Portland puzolánico. Puzolana del 15% al 40% de la masa. A los 28 días la resistencia es igual al portland tipo I, mejora la impermeabilidad, mayor trabajabilidad y resistencia a los sulfatos.	490	C595
	P	Portland puzolánico (cuando se requieren altas resistencias iniciales)	490	C595
	I(PM)	Portland puzolánico modificado	490	C595
	I(SM)	Alta resistencia a la acción de los sulfatos	490	C595
	S	Cemento de escoria	490	C595
Por desempeño	GU	Uso en construcción en general	2380	C1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380	C1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos	2380	C1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C1157
	MH	Moderado calor hidratación y moderada resistencia a los sulfatos (uso general)	2380	C1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos álcali-reactivos				

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 152, 2012); (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 490, 2011); y, (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2380, 2011)

1.2.1.1 Propiedades del cemento portland.

En la tabla 8, se detallan las propiedades físicas, estas, se regulan en normas específicas en el Ecuador, a fin de garantizar que, el material utilizado en la construcción cumpla con los estándares de calidad y durabilidad en las estructuras, así como, resistir el paso del tiempo y las condiciones ambientales adversas.

Tabla 8

Propiedades físicas del cemento

Propiedad	Descripción	Método de Ensayo	Norma de Referencia
Finura	Tamaño de las partículas y superficie específica del cemento, generalmente medida en cm ² /g mediante el método de permeabilidad al aire (Blaine). Una mayor finura acelera la hidratación, pero un exceso puede provocar fisuración.	Permeabilidad al aire (Blaine)	NTE INEN 196, (2009)
Tiempo de fraguado	Periodo en el que el cemento pasa de un estado plástico a endurecido, dividido en fraguado inicial y final. Medición con la aguja de Vicat. Importante para trabajar el cemento antes del endurecimiento.	Aguja de Vicat	NTE INEM 158, (2009)
Calor de hidratación	Energía liberada en la reacción cemento-agua, relevante en estructuras masivas para evitar fisuración por tensiones internas y asegurar la integridad del concreto a largo plazo.	Calorímetro isotérmico	NTE INEN 199, (2009)
Resistencia a la compresión	Capacidad del cemento para soportar cargas sin fracturarse. Es fundamental para aplicaciones estructurales. Se evalúa mediante ensayos en cubos de mortero de 50 mm bajo cargas progresivas.	Ensayos en cubos de mortero (50 mm)	NTE INEN 488, (2009)
Trabajabilidad (Fluidez)	Capacidad de la mezcla para moverse y moldearse sin segregarse. Evaluada mediante el ensayo del cono de Abrams para medir fluidez y estabilidad. Crucial para una colocación uniforme y duradera de la mezcla.	Cono de Abrams	Basada en ASTM C1702 (adaptada)

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 152, 2012); (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 490, 2011); y, (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2380, 2011)

1.2.2 Áridos

En los morteros, los áridos generalmente son arenas naturales o procesadas, es decir, obtenidas por trituración de roca, grava o escoria de altos hornos y representan la mayor parte del mortero en términos de volumen y masa. Su función principal es actuar como relleno inerte, lo que contribuye a la economía, a la trabajabilidad y a la reducción de la retracción. La correcta gradación de los áridos es crucial para la segregación de materiales y la exudación, lo que mejora la cohesión del mortero en estado plástico. Si los áridos contienen demasiados finos, el mortero se vuelve débil, mientras que la falta de finos produce un mortero áspero y de difícil manejo. El equilibrio adecuado de áridos es esencial para optimizar la resistencia a la compresión (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010)

La Norma INEN 2536, establece una serie de requisitos para los áridos que emplean en la fabricación de morteros. En la graduación del árido, se especifican límites granulométricos para los diferentes tipos de arenas, asegurando que el tamaño de las partículas esté dentro de rangos que optimicen la mezcla y la resistencia del mortero. Se determina límites para las sustancias perjudiciales en los áridos, como las partículas desmenuzables y livianas, que no deben exceder el 1% y 0,5% respectivamente. El agregado, debe estar libre de impurezas orgánicas, ya que puede comprometer la calidad del mortero, y finalmente se expone como aspecto relevante la resistencia del árido a la degradación por acción de sulfatos, ya que los morteros pueden estar expuestos a ambientes agresivos (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010)

1.2.2.1 Propiedades de los áridos.

Los áridos, también conocidos como agregados, son componentes fundamentales en la composición de morteros y hormigones, ocupan entre el 60% y el 80% del volumen total de las mezclas. Dada su proporción significativa, las características de los agregados tienen un impacto directo en las propiedades de las mezclas, tanto en su estado fresco como endurecido, así como en la economía del proceso constructivo. Los agregados para uso en mortero para mampostería, no debe poseer partículas mayores a 4,75 mm. (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2536, 2010)

La norma chilena NCh163 indica que los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estables y deben estar limpios y libres de terrones, partículas blandas o laminadas, arcillas, impurezas orgánicas, sales y otras sustancias que por su naturaleza o

cantidad afectan la resistencia o la durabilidad de los morteros y hormigones. (Norma Chilena NCh163, 2013)

La calidad de la arena es crucial para la producción de morteros y hormigones. Las mejores arenas provienen de los ríos, ya que, en su mayoría, son de cuarzo puro, garantizando resistencia y durabilidad. Las arenas de mina suelen contener cantidades excesivas de arcilla, lo que requiere un proceso de lavado para eliminar las impurezas. Las arenas de origen marino, si están limpias, pueden utilizarse en armado de hormigón después de ser lavadas con agua dulce para evitar problemas de corrosión. Además, las arenas provenientes de la trituración de rocas duras, como granito o basalto, también son adecuadas, mientras que las de la naturaleza calcárea presentan variaciones en su calidad y, por lo general, absorben más agua. (Norma Chilena NCh163, 2013)

Entre las características técnicas de los agregados, el peso específico es relevante se refiere a la densidad del material comparada con la del agua, es un parámetro esencial para el control y diseño de mezclas y se determina según la norma NTE INEN 856:2010. La mayoría de los agregados tienen un peso específico entre 2,4 y 2,9 g/cm³.

La granulometría, o distribución de tamaños de las partículas, es fundamental para garantizar la manejabilidad, economía y calidad del mortero y del hormigón. Un análisis granulométrico se realiza mediante cribas estándar que permiten clasificar los agregados en diferentes tamaños. La granulometría afecta las proporciones relativas de los componentes de las mezclas y, en consecuencia, las cantidades de cemento y agua necesarias. Las arenas muy finas suelen ser costosas y afectan la uniformidad de las mezclas, mientras que las arenas gruesas pueden generar concreciones ásperas y difíciles de manejar. La normativa NTE INEN 696:2011 establece los métodos para determinar la granulometría de los agregados.

Otro aspecto importante es la absorción y la humedad superficial de los agregados, ya que estas características determinan la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla. Es esencial ajustar los pesos de los materiales en función de las condiciones de humedad de los agregados para garantizar un concreto homogéneo. Los procedimientos para evaluar la absorción y humedad se encuentran en las normas NTE INEN 856: 2010 y NTE INEN 859:2010.

La forma y textura de las partículas influyen especialmente en las propiedades del concreto fresco. Los agregados con superficies rugosas, planas o alargadas, como las partículas

angulares, requieren más agua para producir una mezcla trabajable en comparación con los agregados redondeados o cuboides, que facilitan la trabajabilidad con menor cantidad de agua. Por lo tanto, para mantener la misma relación agua-cemento y lograr una mezcla homogénea, los agregados angulares tienden a necesitar mayor cantidad de cemento, incrementando así los costos y la complejidad en la dosificación.

La elección de agregados adecuados, considerando su origen, tamaño, forma, textura, es crucial para garantizar la calidad y durabilidad del mortero o del hormigón. Los agregados, al ser el componente mayoritario en las mezclas, no solo determinan la resistencia mecánica y la durabilidad, sino también la economía y la sostenibilidad de las construcciones.

1.2.3 Agua

Los mayores problemas de los morteros y los hormigones provenientes del agua están relacionados con la cantidad y no con la calidad, sin embargo, la Norma Ecuatoriana de la construcción indica: “El agua utilizada para el mortero de pega debe estar libre de elementos perjudiciales tales como aceites, ácidos, alcoholes, sales, materias orgánicas u otras sustancias que puedan ser dañinas para el mortero o el refuerzo embebido ” (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM, 2014, p.22). El agua potable es recomendada para la fabricación de mezclas.

El agua en el mortero juega tres funciones esenciales: proporciona trabajabilidad, permite la hidratación del cemento y facilita el proceso de carbonatación de la cal. La cantidad de agua es fundamental para obtener la consistencia adecuada del mortero. A diferencia del concreto, en el que una baja relación agua/cemento es preferida, en los morteros se requiere la cantidad máxima de agua que permita mantener una óptima trabajabilidad (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010). También se puede recuperar el mortero, es decir, añadir agua para devolver la fluidez necesaria después de cierta pérdida por evaporación, además, el agua, evita la desecación excesiva, cuando se aplica en el proceso de curado.

1.2.3.1 Propiedades del agua.

El agua, es un componente esencial en la fabricación de morteros y hormigones, su calidad y cantidad influyen directamente en las propiedades finales de las mezclas, lo que hace necesario un control exhaustivo de sus características.

El agua de amasado es fundamental porque permite que el cemento reaccione y se hidrate, logrando así la unión y endurecimiento del mortero o del hormigón. Además, facilita la manipulación del material, permitiendo que se coloque adecuadamente en obra. Sin embargo, es crucial que la cantidad de agua se ajuste al mínimo necesario para evitar la formación de poros, que podrían disminuir las resistencias. Se estima que cada litro de agua adicional reduce aproximadamente 2 kg de resistencia del cemento.

Según la norma ASTM C1602 (2006), el agua utilizada en concreto puede provenir de diferentes fuentes, incluidas las aguas potables, no potables o incluso agua reciclada de las operaciones de producción. Es fundamental que cualquier agua empleada, especialmente las no potables o recicladas, se someta a pruebas para asegurar que cumpla con los requisitos de calidad y límites de impurezas. Se deben evitar componentes como sólidos en suspensión, materia orgánica, álcalis y sales que puedan alterar la resistencia, tiempo de fraguado y durabilidad del concreto. (American Society for Testing and Materials ASTM C 1 602, 2006)

La evaluación del agua se puede realizar mediante análisis químicos o pruebas con morteros patrón, que permiten medir su influencia en las propiedades mecánicas del concreto. Por ejemplo, si el agua contiene menos de 2000 mg/litro de sólidos disueltos, generalmente es adecuada para el uso en las mezclas. Específicamente, la norma ASTM C1602 (2006) establece pruebas regulares, cada seis meses o más, para garantizar que las características del agua se mantengan dentro de los límites establecidos, dependiendo de su densidad y la frecuencia de uso.

En situaciones donde se carezca de agua potable, el agua de mar se puede utilizar en ciertos casos, pero con precauciones adicionales para evitar corrosión. El uso de agua de mar requiere una relación agua-cemento menor a 0.44 y mayor recubrimiento del refuerzo para mitigar los efectos corrosivos. Además, la densidad del agua combinada debe monitorearse regularmente para asegurar su conformidad con los estándares de calidad, especialmente en casos donde se mezcla agua potable y no potable. (American Society for Testing and Materials ASTM C 1 602, 2006).

1.2.4 Aditivos

Los aditivos son sustancias que se añaden al mortero para modificar sus propiedades físicas o químicas, tanto en estado fresco como endurecido. Existen diferentes tipos de aditivos con funciones específicas, como los incorporadores de aire, que mejoran la trabajabilidad y la

durabilidad frente a ciclos de congelación y deshielo. También existen retenedores de agua, que prolongan el tiempo de trabajo del mortero, y aceleradores o retardadores de fraguado, que ajustan la velocidad de endurecimiento según las necesidades de la obra (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010). El uso de aditivos debe ser controlado, pues, en exceso pueden reducir la resistencia a la adherencia y la resistencia a la compresión. Aditivos como los pigmentos también se pueden usar para agregar color al mortero.

1.3 Puzolana

Las puzolanas se remontan a la Antigua Grecia (400 a.C.), cuando se usaron en morteros de cal. Los romanos las desarrollaron aún más, utilizando cenizas volcánicas y cerámicas pulverizadas para producir morteros hidráulicos, que fraguaban bajo el agua, lo cual fue esencial en la construcción de infraestructuras como acueductos y estructuras marítimas. En el siglo XX, más de 100.000 toneladas se utilizaron en el acueducto de Los Ángeles. A pesar de su potencial, su uso en el Tercer Mundo ha sido limitado, aunque recientemente ha habido proyectos en países como Kenia, India y Trinidad para fomentar su uso.

Las puzolanas son materiales ricos en sílice y/o aluminio, que, aunque no tienen propiedades cementantes por sí solas, cuando se mezclan con cal y agua, se endurecen, actuando como un cemento. Su uso ha crecido como alternativa al cemento Portland ordinario (OPC) debido a sus beneficios técnicos y económicos, especialmente en regiones donde el OPC es costoso o escaso. Las puzolanas pueden dividirse en dos tipos: naturales (como cenizas volcánicas y diatomita) y artificiales (como arcillas calcinadas, cenizas de carbón pulverizadas y cenizas de residuos agrícolas). Estos se usan para mejorar las propiedades de morteros, concretos y revestimientos de cal, y pueden combinarse con OPC para reducir costos y mejorar características del concreto.

1.3.1 Clases de puzolana

Existen diversas puzolanas, entre ellas:

Arcillas calcinadas. - Utilizadas históricamente, se obtienen de la molienda de ladrillos y tejas. La calcinación se realiza a temperaturas entre 700°C y 800°C, y se usa combinada en la India, Egipto e Indonesia.

Cenizas volcánicas. - Provenientes de áreas volcánicas activas, como el Mediterráneo y el Pacífico, no requieren calcinación adicional y son utilizadas en países como Alemania e Italia.

Cenizas de carbón pulverizadas (PFA). - Son las puzolanas más utilizadas en el mundo debido a su disponibilidad y bajo costo, aunque su reactividad es menor en comparación con otras.

Cenizas de residuos agrícolas. - Las cáscaras de arroz son un ejemplo significativo, debido a su alto contenido de sílice (90%), aunque requieren un control preciso de la quema para ser efectivas.

1.3.2 Usos de la puzolana

Las puzolanas se mezclan con cal o OPC para mejorar las propiedades de morteros y concretos. Cuando se combina con OPC, se puede sustituir hasta el 50% en aplicaciones no estructurales y un 30% en estructurales, lo que resulta en beneficios como mejor trabajabilidad, resistencia a sulfatos y mayor durabilidad. En mezclas con cal, se logran cementos hidráulicos, ideales para construcciones de bajo costo.

Algunas puzolanas, como las arcillas, requieren calcinación para activar su reactividad. Este proceso puede realizarse en hornos simples. En otros casos, como las cenizas volcánicas en polvo, no se requiere procesamiento adicional. La molienda es esencial para aumentar la finura y, por fin, la reactividad de la puzolana. Es fundamental lograr una mezcla uniforme con cal o cemento para garantizar la calidad y resistencia del producto final.

Las pruebas químicas de las puzolanas solo dan una indicación general de su reactividad, siendo las pruebas de resistencia a la compresión más útiles para evaluar su rendimiento real en la construcción. Las puzolanas representan una alternativa viable y económica al cemento tradicional, con aplicaciones que van desde la construcción de viviendas hasta grandes proyectos de ingeniería civil.

1.3.3 Las puzolanas en el Ecuador

La presencia de las puzolanas en Ecuador se relaciona con la actividad volcánica a lo largo del "Círculo de Fuego del Pacífico". En el país se identifican dos zonas volcánicas: la antigua, en la región austral (Azuay, Cañar y Loja), y la moderna, en la zona central y norte (Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha e Imbabura). Las puzolanas se encuentran en diversas localidades como La Unión (Baños de Ambato), las estribaciones del volcán Altar, Riobamba, y en la zona austral (Llacao, Solano, y Déleg).

En La Unión, las puzolanas son producto de las erupciones del volcán Tungurahua (la última entre 1999-2016). Estas se presentan en capas diferenciadas: piroclásticos, puzolana y lavas. Su densidad real es de 2.762 g/cm^3 , con un color gris oscuro y una alta concentración de ferromagnetos. (Auquilla, 1991)

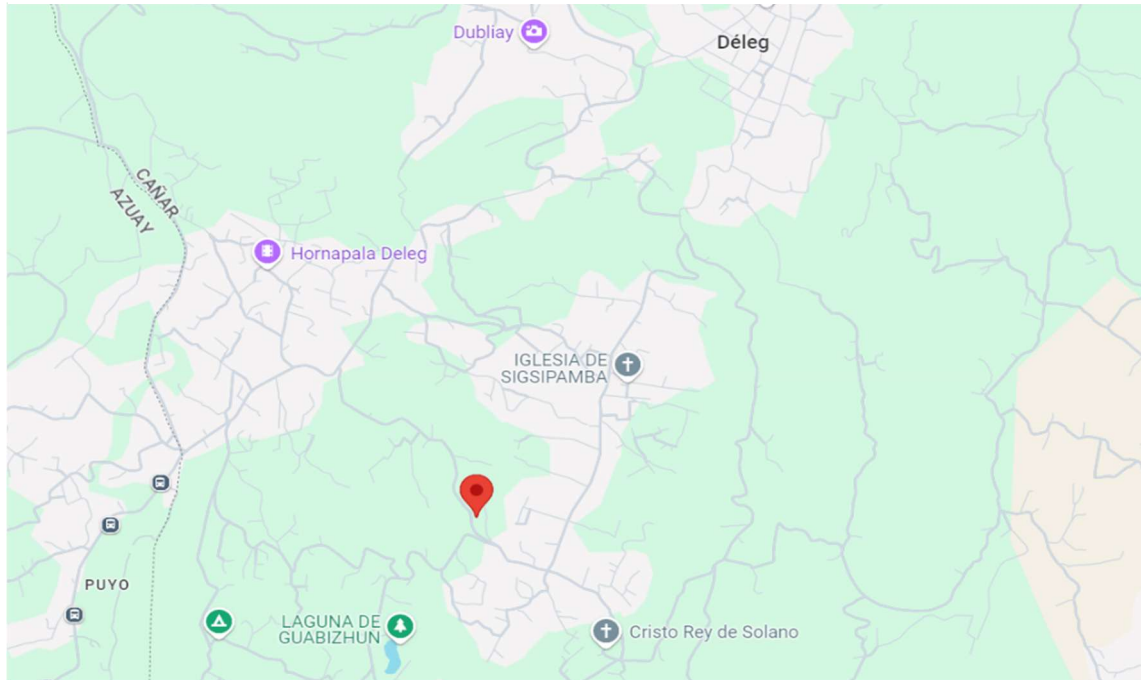
En el volcán Altar, la puzolana se encuentra en capas superficiales mezcladas con piroclásticos. Sus características incluyen una densidad de $2,71 \text{ g/cm}^3$ y un color café rojizo, con un 70% de ferromagnetos, detenidos en tamices 10, 30 y 50. Por otro lado, la puzolana en Riobamba, producto de erupciones del Chimborazo, es homogénea, sin piroclásticos ni cascotes, y tiene una densidad real de $2,35 - 2,45 \text{ g/cm}^3$, densidad aparente de $0,8 - 0,9 \text{ g/cm}^3$, y un color amarillo rojizo. Su análisis químico revela una alta concentración de sílice (70,54%) y otros minerales como óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). (Auquilla, 1991)

En la zona austral, las puzolanas se encuentran en abundancia, especialmente en Azuay y Cañar. Sin embargo, su explotación es mínima debido al desconocimiento de su potencial en la construcción. Los depósitos más significativos están en Llacao, Solano y Déleg, formando una cadena montañosa. Estas áreas carecen de vegetación y cultivos, lo que facilita su identificación, acceso y la extracción del material. (Auquilla, 1991)

Para el estudio, se ha seleccionado la mina de la localidad de La Colina, del Cantón Déleg, por su accesibilidad, además, esta puzolana se utilizó inicialmente en la fabricación de cemento por la fábrica Guapán. En la figura 1, se muestra la ubicación del depósito y en la figura 2, el estado actual de explotación de la mina.

Figura 1

Ubicación de la mina seleccionada para la extracción de la puzolana.



Nota. La ubicación georreferenciada de la mina es: 2°47'47.1" S 78°55'57.3", a través de: <https://www.google.com/maps/>

Figura 2

Estado Actual de Explotación de la Mina en el Cantón Déleg.



1.3.4 Características de las puzolanas

En la tabla 9, se presentan las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las puzolanas naturales, sin embargo, estas pueden variar en función de su procedencia, ya que, a veces no se presenta como un material homogéneo, difiriendo en su composición química, tamaño, granulometría, etc.

Tabla 9

Propiedades de la puzolana

Propiedades	Descripción
Físicas	<ul style="list-style-type: none">- Las cenizas volantes contienen partículas esféricas de diferentes colores (gris oscuro y claro) y tamaños que oscilan entre 0,5 mm y 0,001 mm.- El peso específico de las puzolanas se encuentra entre 2,2 y 2,8 gr/cm³, con densidades de 650-1300 Kg/m³, según su estado (suelto o compactado).- Las partículas de puzolanas son mucho más pequeñas que las del cemento Portland, con un tamaño promedio de 0,1-0,2 μm y una superficie específica elevada.- La granulometría y la morfología varían según el tipo de puzolana.
Químicas	<p>Las puzolanas están compuestas principalmente por óxidos de silicio, aluminio y hierro. El contenido de óxidos (SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃) representa entre el 75 % y 95 % del total, hay otros elementos como: magnesio (MgO), sulfatos (SO₃), álcalis (Na₂O, K₂O) y calcio (CaO).</p> <ul style="list-style-type: none">- La composición química de las cenizas volantes debe tener un mínimo de 70% de óxidos principales, según normas como ASTM C618.- La humedad de las puzolanas varía (30%-70%) para evitar la volatilización.- La microsílíce contiene entre 85-98% de óxido de silicio, es una puzolana altamente activa. La pérdida por ignición, influenciada por el contenido de carbón libre, se encuentra alrededor del 6%.

“Continúa en la siguiente página...”

"Viene de la página anterior..."

Mecánicas	<ul style="list-style-type: none">- Las puzolanas mejoran la resistencia a la compresión y reducen la permeabilidad del hormigón, aunque la sustitución excesiva puede afectar negativamente la resistencia. El hormigón con adición de puzolanas puede tener una resistencia inicial menor en comparación con el hormigón sin estas.- La reacción puzolánica forma compuestos cementosos insolubles que mejoran las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, manejabilidad, menor calor de hidratación, resistencia a los ataques ácidos, reducen la permeabilidad).- La microsílíce mejora la cohesión y aumenta la resistencia a tracción, compresión y durabilidad contra factores como congelación-descongelación y ataques químicos.
-----------	---

Nota. Elaborado a partir de "El Uso de la puzolana de origen natural en concreto hidráulico", (Fragoso et al., 2021)

1.4 Morteros de pega

Los morteros de pega, deben cumplir con lo especificado en la NEC, en el capítulo mampostería estructural, que indica: "Estos morteros deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento; y, además garantizar su adherencia con las unidades de mamposterías para desarrollar su acción cementante." (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MP, 2014)

La norma ASTM C270, especifica los requisitos para el uso de morteros en mampostería, tanto reforzadas como no reforzadas. La norma presenta dos enfoques alternativos: especificaciones por proporciones y especificaciones por propiedades. Las especificaciones por proporción se muestran en la tabla 10 y las especificaciones por propiedades en la tabla 11.

Tabla 10*Requisitos para especificaciones de proporcionamiento*

Mortero	Tipo	Proporciones en volumen (materiales cementantes)					Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
		Cemento portland o cemento mezclado	Cemento para mampostería			Cal hidratada o pasta de cal	
			M	S	N		
Cemento de mampostería	M	1	-	-	1	-	No menos de 2 ¹ / ₄
	M	-	1	-	-	-	veces y no más de
	S	½	-	-	1	-	3 veces la suma de
	S	-	-	1	-	-	los volúmenes
	N	-	-	-	1	-	separados de los
O	-	-	-	1	-	materiales cementantes	

Nota. Elaborado a partir de "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry", (*Astm c270-91a-mortero* | PDF, s. f.)

Tabla 11*Requisitos para especificaciones de propiedades*

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión promedio 28 días, mín, psi (MPa)	Retención de agua, mínima, % mín	Contenido de aire, % máximo ^B	Relación de áridos (medida en condición húmeda, suelta)
Cemento de mampostería	M	2500 (17.2)	75	12	No menos que 2 ¼ y no
	S	1800 (12.4)	75	12	más que 3 ½ veces los
	N	750 (5.2)	75	14 ^C	volúmenes separados
	O	350 (2.4)	75	14 ^C	de materiales cementantes.

^B El contenido de aire del mortero de cemento portland y cal sin incorporador de aire, es generalmente menor del 8%.

^C Cuando el refuerzo estructural este embutido en un mortero de cemento y cal, el contenido máximo de aire debe ser 12%.

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010)

Como se puede observar, se distinguen cuatro tipos de mortero debido a la resistencia y a su aplicación:

Tipo M: Alta resistencia, adecuada para estructuras sometidas a cargas elevadas.

Tipo S: Resistencia media-alta, ideal para aplicaciones exteriores con cargas laterales.

Tipo N: Resistencia media, utilizada en paredes interiores y exteriores sin carga alta.

Tipo O: Baja resistencia, recomendado para muros interiores y restauración.

El mortero tipo N, que según la norma ASTM C270, puede ser utilizado en paredes interiores y exteriores sin carga alta, es el que más se aproxima a las características de los morteros de pega que se utilizan en nuestra ciudad. La dosificación volumétrica 1 – 3 (cemento – arena), es la más común para la elaboración de mamposterías, sean estas de ladrillo o bloque.

En la NEC, en el capítulo Mampostería Estructural, se presenta la dosificación del mortero de pega, se aclara que, a los componentes se les realizará previamente ensayos de laboratorio o se los utilizará por la experiencia en obras similares. La clasificación se realiza según la dosificación mínima de sus componentes y la resistencia a la compresión. (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MP, 2014)

Tabla 12

Tipos de mortero, dosificación y resistencia mínima a la compresión a los 28 días

Topo de mortero	Resistencia mínima a la compresión 28 días (MPa)	Composición en partes por volumen		
		Cemento	Cal	Arena
M20	20	1.0	-	2.5
M15	15	1.0	-	3.0
		1.0	0.5	4.0
M10	10	1.0	-	4.0
		1.0	0.5	5.0
M5	5	1.0	-	6.0
		1.0	1.0	7.0
M2.5	2.5	1.0	-	7.0
		1.0	2.0	9.0

Nota. Elaborado a partir de (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MP, 2014)

El numeral 6.1.2.2 de la NTE INEN 2 518, indica:

Especificaciones por dosificación. Los morteros que estén de acuerdo con las especificaciones por dosificación deben consistir de una mezcla de material cementante, árido y agua, todos deben cumplir con los requisitos del numeral 6.1.1 y los requisitos por dosificación especificados de la tabla 1. (NTE INEN 2 518, 2010). Los requisitos por dosificación están especificados en la tabla 1 de esta norma, se muestran en la tabla 10 de este estudio. Para las especificaciones por propiedades la misma norma señala que *los morteros que estén de acuerdo con las especificaciones por propiedades deben ser determinados mediante ensayos en morteros preparados en laboratorio de acuerdo con*

los numerales 5.1.1 y 8. El mortero preparado en laboratorio debe consistir de una mezcla de material cementante, árido, y agua, todos deben cumplir con los requisitos del numeral 6.1.1 y las propiedades del mortero preparado en laboratorio deben estar de acuerdo con los requisitos de la tabla 2. (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010)

Los requisitos por propiedades que se especifican en la tabla 2 de esta norma, se muestra en la tabla 11 del estudio. En lo que respecta a los numerales 5.1.1 y 8, hacen referencia a:

“*Medición de materiales.* El método de medición de materiales para morteros usados en la construcción debe ser tal que, las dosificaciones especificadas de los materiales sean controladas y mantenidas de manera precisa” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010), y “*Métodos de ensayo*”, respectivamente, de éstos, hablaremos en 1.6 de este estudio. En lo referente al numeral 6.1.1 que se apunta, se hace referencia a los requisitos específicos que deben cumplir los materiales utilizados como ingredientes del mortero. Estos requisitos están definidos entre los numerales 6.1.1.1 a 6.1.1.4.

1.4.1 Ensayos para los morteros de pega

En la norma NTE INEN 2518:2010, se especifican los ensayos que se deben realizar a los morteros. En el numeral 8, se definen:

8.1 Cantidades de materiales para especímenes de ensayo. NTE INEN 2518

8.2 Mezclado de morteros. NTE INEN 155

8.3 Retención de agua. ASTM C 1506

8.4 Resistencia a la compresión. NTE INEN 488

8.5 Contenido de aire. NTE INEN 195

Los ensayos de laboratorio que se requieren para determinar el cumplimiento de normas de los morteros, están especificados dentro de las normas NTE INEN, sin embargo, muchos de estos pueden depender de análisis cualitativos y tienen como objetivo principal el establecer las características físicas del mortero analizado. Los morteros tienen características en su estado plástico y en estado endurecido. Las primeras son definidas en el momento de elaboración, las segundas, en el laboratorio de suelos de la Unidad académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Sede Azogues.

1.4.1.1 Cantidades de material para especímenes de ensayo.

En las cantidades de materiales para especímenes de ensayo se establece que, el mortero debe ser preparado en el laboratorio con los mismos materiales y dosificaciones especificadas en la obra. El propósito de este procedimiento es garantizar que los ensayos reflejen las condiciones reales. Para este fin, los materiales deben medirse en masa, no en volumen, y las proporciones volumétricas deben convertirse a proporciones en masa utilizando un factor de amasada, calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de amasada} = 1\,440 / (1\,280 \times \text{proporción en volumen total de arena}) \quad (1)$$

Este factor asegura la uniformidad en la conversión de proporciones y, por lo tanto, en la cantidad de materiales utilizados en los especímenes de ensayo. Para la conversión de las proporciones en volumen a masa, se toma en cuenta la masa unitaria de los materiales que intervienen en la mezcla.

La arena utilizada para el ensayo debe secarse al horno para eliminar cualquier contenido de humedad que pueda alterar los resultados del ensayo y se enfría a temperatura ambiente. Este secado permite que la arena tenga una masa unitaria de 1280 kg/m³, lo que estandariza el mortero de laboratorio, minimizando la variabilidad en el contenido de humedad. Esto asegura que el mortero preparado en laboratorio sea representativo del mortero que se utilizará en obra, especialmente en términos de relación árido-cemento. En 8.2 de la norma se indica: “Una amasada de prueba proporciona suficiente mortero para completar el ensayo de retención de agua y elaborar tres cubos de 50 mm de arista para el ensayo de resistencia a la compresión” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518, 2010).

Este enfoque garantiza un control riguroso del proceso de mezcla y preparación de los especímenes de ensayo, lo que permite que los resultados obtenidos sean representativos y confiables para evaluar las propiedades del mortero en las condiciones más cercanas posibles a las de la obra.

1.4.1.2 Mezclado de morteros.

El ensayo de mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica, como se indicó anteriormente, está especificado en la norma NTE INEN 155, en la tabla 13 se presenta la secuencia lógica del procedimiento.

Tabla 13*Mezclado de morteros*

Paso	Descripción del procedimiento
Alcance del ensayo	El ensayo garantiza la correcta preparación de pastas y morteros de consistencia plástica mediante mezcladores mecánicos, manteniendo condiciones controladas de temperatura y humedad.
Aparatos	Mezclador epicicloidial, paleta de acero inoxidable, cuenco de mezcla de acero (4,73 L).
Condiciones de temperatura y humedad	La temperatura debe mantenerse entre 20°C y 27,5°C y la humedad relativa del laboratorio no debe ser menor al 50%.
Procedimiento para la mezcla de pastas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coloque la paleta y el tazón secos en el mezclador. 2. Agregue toda el agua de mezcla en el recipiente. 3. Agregue el cemento y déjelo reposar durante 30 segundos para permitir la absorción del agua. 4. Inicie el mezclador a baja velocidad (140 +/- 5 rpm) durante 30 segundos 5. Detener el mezclador y raspar las paredes del tazón para incorporar cualquier pasta adherida. 6. Mezclar a velocidad media (285 +/- 10 rpm) durante 60 segundos adicionales.
Procedimiento para la mezcla de morteros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coloque la paleta y el tazón secos en el mezclador. 2. Agregue el agua de mezcla en el recipiente y luego el cemento. 3. Inicie el mezclador a baja velocidad (140 +/- 5 rpm) y agregue la arena gradualmente durante un período de 30 segundos. 4. Detener el mezclador, cambiar la velocidad media (285 +/- 10 rpm) y mezclar durante otros 30 segundos. 5. Dejar reposar el mortero durante 90 segundos, raspando las paredes del tazón durante los primeros 15 segundos. 6. Por último, a velocidad media, continúe mezclando durante 60 segundos, así se obtendrá un mortero uniforme.

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 155, 2009)

1.4.1.3 Retención de agua.

El ensayo de retención de agua descrito en la norma ASTM-C 506 para la preparación de la mezcla y la medición de la retención de agua puede sintetizarse en la tabla 14.

Tabla 14*Ensayo de retención de agua*

Paso	Descripción
Preparación de la mezcla	Según la norma ASTM C305, la preparación del mortero se realiza con un mezclador mecánico como se indicó en la tabla 13
Medición de flujo inicial	Conforme a la norma ASTM C1437, la muestra de mortero se coloca en un cono troncocónico que se levanta para permitir que el material se extienda. La tabla se deja caer desde una altura de 12.7 mm (0.5 pulgadas) un total de 25 veces en 15 segundos. El diámetro promedio alcanzado por el mortero extendido se mide en milímetros y se registra como el valor del flujo inicial. Este valor es crucial para establecer la condición base del mortero antes de someterlo a la succión controlada del ensayo.
Aplicación de vacío	El mortero se coloca en un plato perforado conectado a un sistema de vacío controlado. Se aplica succión durante 60 segundos con una presión de 7.0 ± 0.4 kPa, simulando la pérdida de agua bajo condiciones de succión.
Medición de flujo final	Tras la succión, se vuelve a medir el flujo del mortero usando el mismo método especificado en ASTM C1437. La retención de agua se calcula como el porcentaje del flujo final respecto al flujo inicial, evaluando así la capacidad del mortero para retener agua bajo condiciones de succión controladas.

Nota. Elaborado a partir de (Standard Specification for Reinforced Concrete Arc ASTM C 506, 2008)

Con este ensayo se mide la cualidad del mortero de retener agua cuando se lo somete a absorción, es importante conocerlo, pues, se relaciona con el endurecimiento prematuro de la mezcla cuando se fabrica una mampostería.

1.4.1.4 Resistencia a la compresión.

El ensayo de resistencia a la compresión esta especificado en la norma NTE INEN 488. Una vez elaborada la mezcla, el mortero se coloca en moldes cúbicos de 50 mm de lado y se compacta en dos capas. Cada capa se compacta con 32 golpes mediante un apisonado manual. Este apisonado se realiza en 4 rondas de 8 golpes cada una, en direcciones perpendiculares, para asegurar la uniformidad en la compactación del mortero. El molde debe estar limpio y bien

engrasado para evitar que el mortero se adhiera. Los moldes utilizados deben ser metálicos, rígidos y con caras interiores planas.

Una vez fabricadas las muestras, se deja el mortero durante 24 horas en una cámara húmeda a una temperatura controlada de 23 ± 2 °C. Luego de este periodo, se retiran de los moldes y se sumergen en agua saturada con cal hasta el momento del ensayo. El almacenamiento debe hacerse en condiciones controladas para mantener la integridad de las muestras y asegurar resultados precisos, a esta etapa se la conoce con el nombre de curado de las muestras.

Finalmente se desarrolla ensayo de resistencia a la compresión. Las muestras se ensayan a diferentes edades: 24 horas ($\pm \frac{1}{2}$ hora), 3 días (± 1 hora), 7 días (± 3 horas) y 28 días (± 12 horas). Los cubos de 50 mm se sacan del agua justo antes del ensayo, se secan superficialmente, y se colocan en la máquina de compresión, asegurando que las caras en contacto sean las que estuvieron en contacto con el molde. Se aplica una carga progresiva de 900 a 1,800 N/s hasta la ruptura. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima registrada por el área de la sección transversal del cubo (50 mm x 50 mm). (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 488, 2009)

1.5 Estudios referenciales de uso de la puzolana

La utilización de la puzolana en la elaboración de morteros y hormigones no es nueva, varios estudios se han realizado en nuestro país y en el extranjero, a continuación, en la tabla 15, anotamos algunos resultados que se han obtenido.

Tabla 15

Estudios de uso de la puzolana en morteros y hormigones

Nombre del estudio	Autor	País	Materiales	Condición de la puzolana
Adición de puzolana natural (diatomita) para mejorar la resistencia en el mortero estructural (2023)	Álvarez – Cedeño Félix Jhoel	Ecuador	-Cemento -Puzolana -Arena triturada -Agua	15% y 20% remplazo del cemento. Resistencia a 28 días 34,9 MPa y 32,5 MPa superior a la norma mortero tipo M20

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Estudio de morteros para reparación arqueológica y patrimonial. Componente B: Ceniza volcánica (2023)	Villa Orozco Jonathan Abel	Ecuador	-Cal apagada -Ceniza volcánica -Arena de Pifo -Agua	5%, 10% y 20% de remplazo de la cal apagada. Mejor resistencia con el 20% de sustitución, pero es menor a la norma.
Estudio experimental de morteros sostenibles para el análisis del porcentaje óptimo de cal hidráulica y puzolanas según sus diferentes aplicaciones (2024)	Villamizar Contreras Karen	España	-Cal hidráulica -Puzolana -Arena -Agua	5%, 7.5%, 10% y 15% de adición a la mezcla de dosificación 1:4 cal hidráulica – arena. Mejor resistencia a la compresión con el 15% de adición.
El uso de la puzolana de origen natural en concreto hidráulico (2021)	Fragoso Doria John Alexander	Colombia	-Cemento -Puzolana natural -Áridos -Agua	Sustitución de cemento por puzolana en el 15% - 20% mejoran la resistencia a la compresión y a la flexión entre el 5 y 10%.
Comportamiento mecánico a la compresión de un mortero con sustitución parcial de zeolita natural en diferentes granulometrías (2018)	Perez-Diaz E.D	México	-Cemento portland -Zeolita, mineral aluminosilicato con propiedades puzolánicas -Agregado fino -Agua potable	Sustitución de cemento portland por zeolita en el 5%, 10% y 15%, con granulometrías tipo arena en el orden de 0.6 a 0.15 mm (malla 30 – 100), no contribuye significativamente en resistencia a la compresión.

Nota. Elaborado a partir de: (Álvarez-Cedeño et al., 2023); (Abel & Orozco, 2023); (Villamizar Contreras, 2024); (Fragoso et al., 2021); y, (Perez-Diaz et al., 2018)

En el estudio experimental de morteros sostenibles realizado por Karen Contreras Villamizar, se obtiene la mejor resistencia a la compresión con la adición del 15% de puzolana a la mezcla 1:4 de cal hidráulica y arena. El presente estudio en cambio, reemplazará parte del árido fino del mortero con puzolana natural de la zona.

La información presentada en el capítulo, permite caracterizar los materiales que se emplearan en la elaboración del mortero, el cumplimiento de las normas garantiza su calidad. Las propiedades del mortero se comprobarán a través de ensayos específicos, éstos, son esenciales para demostrar el desempeño de la mezcla tanto en estado plástico como endurecido, asegurando que se adapte a las necesidades de uso. En el caso de la puzolana, se aplica la normativa del agregado, de esa manera, se garantiza su validez como sustituto parcial del árido fino.

CAPÍTULO II

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Cuando se habla de procedimiento experimental, se refiere a la aplicación de un conjunto de ensayos y/o pruebas especificadas en normas, que permiten conocer y evaluar las características de los materiales seleccionados para elaborar los morteros de pega. Los ensayos y pruebas se realizan bajo condiciones controladas a fin de, asegurar que, los resultados reflejen de manera precisa las propiedades del material evaluado.

Conocer las características del cemento, la arena, la puzolana y el agua, asegura que la mezcla resultante sea eficiente y cumpla con las propiedades especificadas en la norma NEC.

2.1 Cemento

El análisis del cemento se realiza en laboratorio, se hacen varios ensayos, los cuales son específicos. Es importante recordar que el cemento es uno de los pocos productos de construcción que está sujeto a un control de calidad riguroso, ya que, se utiliza ampliamente en la construcción, siendo, el componente esencial del hormigón. Las empresas cementeras realizan los ensayos de control, se enfocan principalmente en la calidad y en la resistencia a la compresión (Ver anexos 1, 2 y 3). Se cuenta con las especificaciones técnicas de los cementos disponibles en la ciudad, y que correspondientes a tres marcas diferentes.

Las fichas técnicas de producción de cemento Guapán, cemento Holcim y cemento Atenas, indican que son, cemento Hidráulico Tipo GU, y que cumplen los estándares de la norma NTE INEN 2380. A continuación, en la tabla 16, mostramos los datos que se adjuntan en las fichas técnicas de cada marca.

Tabla 16*Información técnica del cemento hidráulico tipo GU*

Parámetro	Requisitos físicos			
	NTE INEN 2380	Cemento GUAPÁN	Cemento HOLCIM	Cemento ATENAS
Expansión en autoclave (%)	0.80 máximo	0.0030	-0.06	-0.05
Fraguado Vicat inicial (minuto)	45 min.	145 - 165	190	251
Fraguado Vicat Final (minuto)	420 max.	190 - 210		303
Requisitos mecánicos (Resistencia a la compresión MPa)				
3 días	13 MPa min.	15 - 17	17	14.2
7 días	20 MPa min.	20.7 – 22.4	22	21
28 días	28 MPa min.	29.2 - 31	31	29.3

Los datos obtenidos de los certificados de los productos, muestran que cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la norma NTE INEN.

2.2 Arena

En la ciudad de Azogues, para el mortero de pega, se utiliza la conocida arena fina, que proviene de la cuenca del río Jubones, del cantón Santa Isabel, de la provincia del Azuay. Según la NTE INEN 2536, los requisitos que debe cumplir el árido que es empleado en la elaboración de morteros para mampostería son: graduado dentro de los límites, no debe superar en su composición el porcentaje máximo permisible de sustancia perjudiciales e impurezas inorgánicas y degradación a la acción de sulfatos, además, se debe conocer su densidad y absorción.

2.2.1 Obtención de muestra del árido

Para obtener la muestra del árido fino y fabricar los morteros, el material se recolecta siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTE INEN 695 (2010). Este método garantiza la obtención de muestras preliminares necesarias para realizar los ensayos correspondientes, permitiendo evaluar la conformidad o rechazo de la fuente de suministro y asegurando un control riguroso sobre la calidad de la materia prima utilizada. En la tabla 17, se muestra el proceso para la recolección de la muestra del árido fino.

Tabla 17*Obtención de muestra para el árido del árido fino.*

Obtención de muestra para del árido fino, NTE INEN 695. (Arena del río Jubones).
Procedimiento
Para obtener las muestras del árido, se recolectan al menos cinco porciones al azar, asegurándose de retirar la capa superior para evitar material segregado.
Tamaño de las muestras
La masa requerida para las muestras in situ debe determinarse en función del tipo y la cantidad de ensayos previstos, garantizando que sea suficiente para asegurar la confiabilidad y precisión en los resultados. Para las pruebas, se establece una masa mínima de 10 kg para áridos finos con tamaños nominales de 2,36 mm y 4,75 mm
Transporte de muestra
Los áridos deben ser transportados en sacos o contenedores diseñados para prevenir pérdidas, contaminación o daños al material debido a una manipulación inadecuada. Los contenedores deben estar correctamente identificados, tanto externamente como en su interior.

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 695, 2010)

2.2.2 Ensayo granulométrico del árido fino y de la puzolana

El ensayo granulométrico del árido fino es un procedimiento que determina la distribución de los tamaños de las partículas presentes en el material. Este método consiste en tamizar el árido a través de una serie de mallas cuyos rangos se encuentran especificados en la normativa NTE INEN 696, clasificando las partículas según su tamaño. A continuación, en la Tabla 18, se muestra los procesos y resultados obtenidos de las propiedades granulométricas del árido.

Tabla 18*Proceso y resultado del ensayo de granulometría del árido fino.*

Ensayo granulométrico del árido fino, NTE INEN 696. (Arena del río Jubones)
Procedimiento
La muestra debe tener un peso superior a 300 g. y ser sometida a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el horno. Una vez seca, se realiza el tamizado colocando las cribas de mayor a menor abertura, permitiendo el paso uniforme de las partículas. Posteriormente, se mide la masa retenida en cada tamiz, asegurando que las pérdidas no excedan el 0,3% en comparación con la muestra inicial seca. Además, los áridos deben cumplir los límites de gradación establecidos en la norma NTE INEN 872 (2011), con un módulo de finura no menor a 2,3 mm ni mayor que 3,1 mm.

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Resultados		
Muestra	Peso inicial de la muestra (g) =	600.10 g
	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.50 mm
Resultados	Peso final de la muestra (g) =	599.51 g
	Módulo de finura (mm) =	2.32
	Porcentaje de pérdidas (%) =	0.1 %
	Cumple NTE INEN 872	Cumple

Evidencia fotográfica

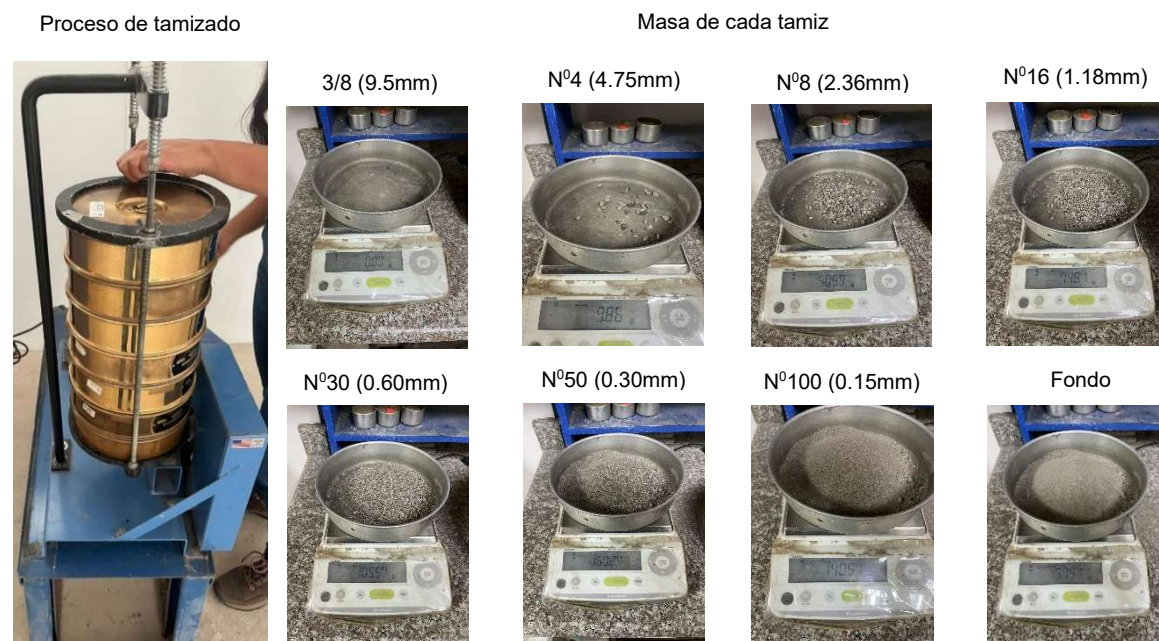


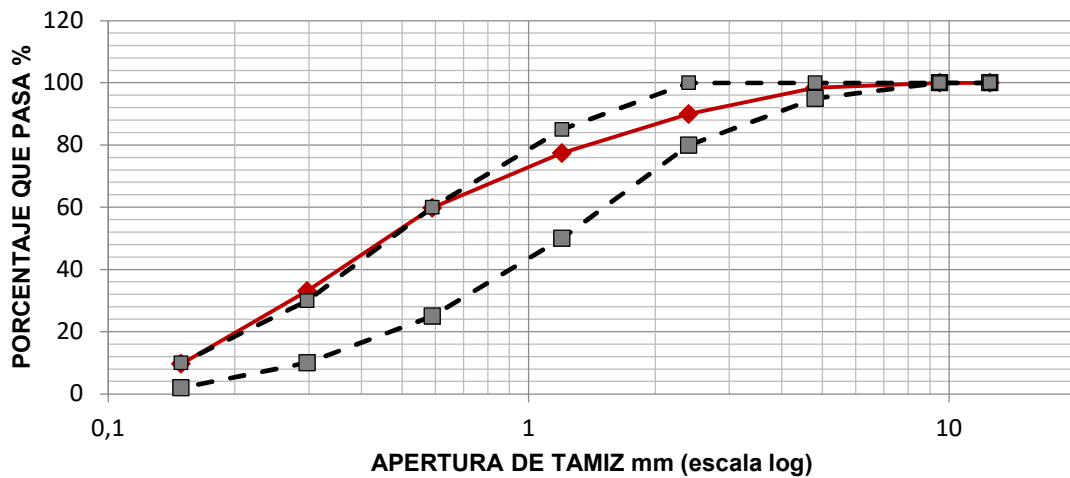
Tabla granulométrica

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% 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
4	4,8 mm	9,86	1,64	1,64	98,36	95	100	CUMPLE
8	2,4 mm	50,59	8,44	10,08	89,92	80	100	CUMPLE
16	1,2 mm	74,81	12,48	22,56	77,44	50	85	CUMPLE
30	(590μ)	105,57	17,61	40,17	59,83	25	60	CUMPLE
50	(297μ)	160,24	26,73	66,90	33,10	10	30	NO CUMPLE
100	(149μ)	140,51	23,44	90,34	9,66	2	10	CUMPLE
Fondo	Fondo	57,91	9,66	100,00	0,00			
TOTAL		599,49	100,00					
Peso de la muestra		600,00						
% de pérdidas		0,09						
Módulo de Finura		2,32						CUMPLE

“Continúa en la siguiente página...”

"Viene de la página anterior..."

Gráfica granulometría



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 696, 2011)

En el presente trabajo, un porcentaje del árido se va a sustituir por puzolana, por lo que, a este material, se lo somete a los mismos ensayos que a los de la arena fina. La muestra del material también se obtuvo siguiendo el procedimiento especificado en la norma (NTE INEN 695). En la tabla 19, se presenta el ensayo de granulometría de la puzolana.

Tabla 19

Proceso y resultado del ensayo de granulometría de la puzolana.

Ensayo granulométrico de la puzolana, NTE INEN 696. (Mina Déleg)		
Procedimiento		
El ensayo de granulometría para la puzolana sigue el mismo procedimiento que el de la arena fina: se utiliza una muestra superior a 300 g, se seca a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, posteriormente se tamiza en las cribas y se mide la masa retenida en cada tamiz, confirmando que las pérdidas no sean mayores al 0,3%. El material debe cumplir la norma NTE INEM 872 (2011) y tener un módulo de finura entre 2,3 mm y 3,1 mm.		
Resultados		
Muestra	Peso inicial de la muestra (g) =	500.00 g
	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.50 mm
Resultados	Peso final de la muestra (g) =	499.03 g
	Módulo de finura (mm) =	2.46
	Porcentaje de pérdidas (%) =	0.19 %
	Cumple NTE INEN 872	Cumple

"Continúa en la siguiente página..."

“Viene de la página anterior...”

Evidencia fotográfica

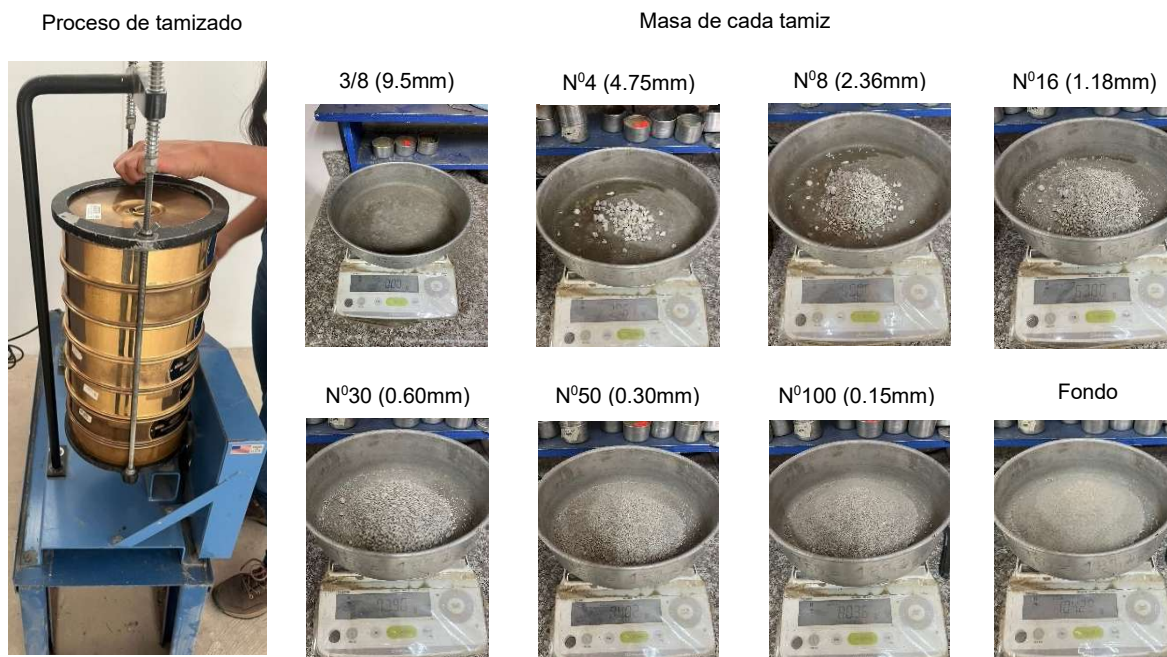
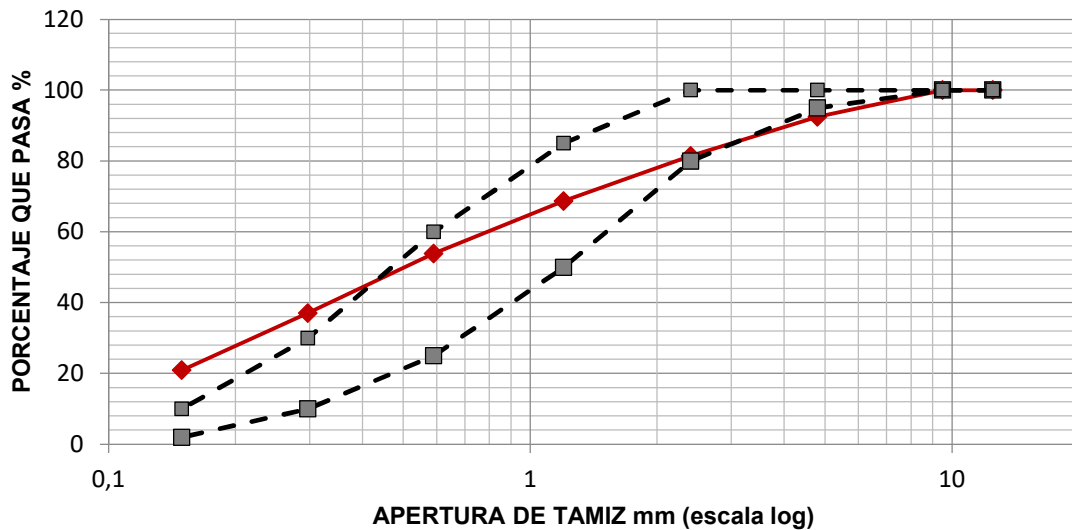


Tabla granulométrica

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872	CUMPLE NORMA INEN 872	
ISO	ASTM							
3/8"	9,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	CUMPLE	
4	4,8 mm	37,61	7,54	7,54	92,46	95	NO CUMPLE	
8	2,4 mm	55,05	11,03	18,57	81,43	80	CUMPLE	
16	1,2 mm	63,80	12,78	31,35	68,65	50	85	CUMPLE
30	(590 μ)	73,90	14,81	46,16	53,84	25	60	CUMPLE
50	(297 μ)	84,02	16,84	63,00	37,00	10	30	NO CUMPLE
100	(149 μ)	80,36	16,10	79,10	20,90	2	10	NO CUMPLE
Fondo	Fondo	104,29	20,90	100,00	0,00			
TOTAL		499,03	100,00					
Peso de la muestra		500,00						
% de pérdidas		0,19						
Módulo de Finura		2,46						CUMPLE

“Continúa en la siguiente página...”

Gráfica granulometría



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 696, 2011)

2.2.3 Ensayo del contenido de humedad del árido fino y de la puzolana

El ensayo consiste en medir el contenido de humedad de los áridos evaporando el agua presente en su superficie y en sus poros internos. Para ello, se coloca la muestra en un horno a temperatura controlada de 110 °C +/- 5 °C, hasta eliminar completamente la humedad. A continuación, en las tablas 20 y 21 se detallan los procesos y resultados obtenidos para determinar el contenido de humedad según la norma NTE INEN 862 (2011).

Tabla 20

Proceso y resultado del ensayo de contenido de humedad de árido fino natural

Ensayo de contenido de humedad del árido fino, NTE INEN 862. (Arena del río Jubones)

Procedimiento

Para el ensayo, se registra la masa inicial de la muestra húmeda junto con el recipiente, y se coloca en un horno a 110 °C ± 5 °C por 24 horas. Una vez seca, se retira del horno, se deja enfriar y se determina nuevamente su masa. Su cantidad debe ser superior a 1,5 kg, según el tamaño nominal indicado (9,5mm) en la norma NTE INEN 862 (2011).

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Resultados		
Muestra	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.5 mm
	Masa de la muestra original (W) =	2.666 kg
	Masa de la muestra seca (D) +	2.579 kg
Resultado	Contenido total de humedad evaporada (P)	
	$P = [(W - D) \times 100] / D$	(2) 3.33 %

Evidencia fotográfica

Árido húmedo



Secado al horno



Árido seco



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 862, 2011)

Tabla 21

Proceso y resultado del ensayo de contenido de humedad de la puzolana

Ensayo de contenido de humedad de la puzolana, NTE INEN 862. (Mina Déleg)		
Procedimiento		
Al igual que con la arena, se registra la masa inicial de la muestra húmeda de puzolana con su recipiente y se seca en horno a $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Luego, se enfría y se vuelve a pesar. Según la norma NTE INEN 862 (2011), para un tamaño nominal de 9,5 mm, la muestra debe superar los 1,5 kg.		
Resultados		
Muestra	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.5 mm
	Masa de la muestra original (W) =	2.176 kg
	Masa de la muestra seca (D) =	2.009 kg

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Resultado	Contenido total de humedad evaporable (P) =	%
	$P = [(W - D) \times 100] / D$	(2) 8.31 %

Evidencia fotográfica

Puzolana húmeda



Secada al horno



Puzolana seca



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 862, 2011)

2.2.4 Ensayo de masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos del árido fino y de la puzolana

El objetivo de este ensayo es calcular la densidad de un volumen de árido seco bajo un nivel específico de compactación, así como determinar el porcentaje de vacíos entre las partículas y su capacidad de absorción, expresado en kg/m^3 . Estos resultados son esenciales para garantizar una dosificación adecuada del árido en las mezclas de concreto hidráulico, asegurando su calidad y desempeño (NTE INEN 858). En la tabla 22 y 23 se muestran los resultados del peso volumétrico y porcentaje de vacíos del árido y la puzolana.

Tabla 22

Proceso y resultado del ensayo del peso volumétrico y porcentaje de vacíos del árido fino

Ensayo del peso volumétrico y porcentaje de vacíos del árido fino, (Arena del río Jubones).		
Procedimiento		
El volumen del molde se define según el tamaño nominal máximo del árido fino, de acuerdo con el Anexo 15 de la norma NTE INEN 858. El procedimiento consiste en el llenar el molde en tres capas de igual altura, compactando cada una con 25 golpes uniformes utilizando una varilla de acero. Luego, se nivela la superficie con la misma varilla para evitar partículas sobresalientes. Finalmente, se pesa el molde con material y se realizan los cálculos según las fórmulas establecidas en la norma.		
Resultados		
Muestra del árido fino suelto	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.5 mm
	Masa del árido suelto más el molde (G) =	10.128 kg
	Masa del molde (T) =	6.103 kg
	Volumen del molde (V) =	0.00295 m ³
Resultados del árido fino suelto	$M_s = (G_s - T) / V$	(3) 1364.41 kg/ m ³
Muestra del árido fino compactado	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.5 mm
	Masa del árido suelto más el molde (G) =	10.500 kg
	Masa del molde (T) =	6.103 kg
	Volumen del molde (V) =	0.00295 m ³
Resultado del árido fino compactado	$M_s = (G_s - T) / V$	(3) 1490.51 kg/ m ³
Evidencia fotográfica		
Peso del molde	Peso del árido suelto	Peso del árido compactado
		

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 858, 2010)

Tabla 23

Proceso y resultado del ensayo del peso volumétrico y porcentaje de vacíos de la puzolana

Ensayo del peso volumétrico y porcentaje de vacíos de la puzolana, INEN 858. (Mina Déleg)		
Procedimiento		
Como se indicó anteriormente, el volumen del molde, se define por el tamaño nominal máximo de la puzolana (Anexo 15, NTE INEN 858). El molde se llena en tres capas iguales, compactando cada una con 25 golpes de una varilla de acero. Se nivela la superficie y se pesa el molde con el material para calcular según la norma.		
Resultados		
Muestra del del árido fino suelto	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.5 mm
	Masa de la puzolana suelta más el molde (G) =	9.824 kg
	Masa del molde (T) =	6.103 kg
	Volumen del molde (V) =	0.00295 m ³
Resultados del árido fino suelto	$M_s = (G_s - T) / V$	(3) 1261.36 kg/ m ³
Muestra del árido fino compactado	Tamaño nominal del agregado (mm) =	9.5 mm
	Masa de la puzolana suelta más el molde (G) =	10.209 kg
	Masa del molde (T) =	6.103 kg
	Volumen del molde (V) =	0.00295 m ³
Resultado del árido fino compactado	$M_s = (G_s - T) / V$	(3) 1391.86 kg/ m ³
Evidencia fotográfica		
Peso del molde	Peso de la puzolana suelto	Peso de la puzolana compactada
		

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 858, 2010)

2.2.5 Ensayo de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino y de la puzolana

Este método evalúa la capacidad de los agregados finos para absorber agua, teniendo en cuenta que todos los áridos poseen cierto grado de porosidad. Esto permite que el agua ingrese a sus poros, humedeciendo tanto su superficie como su interior y provocando cambios en su masa debido al agua absorbida (NTE INEN 857). En las tablas 24 y 25 se encuentran los procesos y resultados de la densidad, densidad relativa y absorción del árido y la puzolana.

Tabla 24

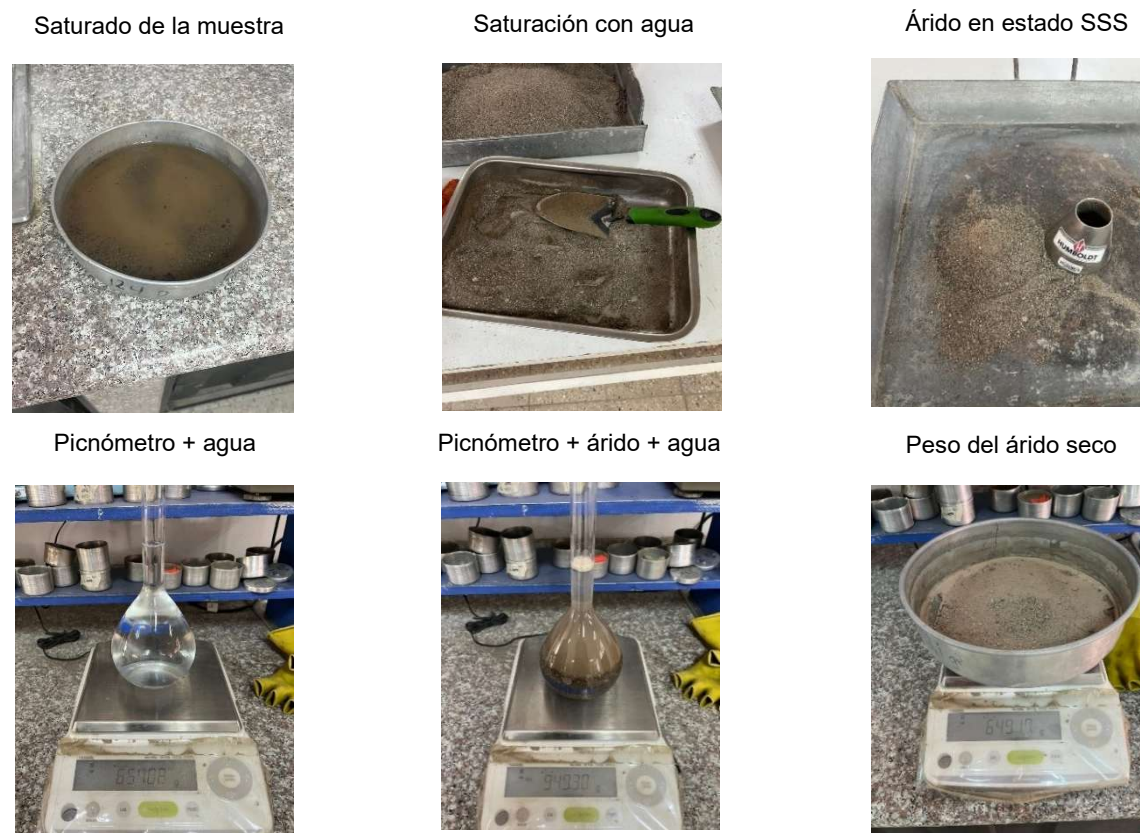
Proceso y resultado del ensayo de densidad, densidad relativa y absorción del árido fino natural

Ensayos de densidad, densidad relativa y absorción del árido fino, (Arena del río Jubones).		
Procedimiento		
La muestra se sumerge en agua durante 24 ± 4 horas para saturar completamente sus poros. Previamente, se seca en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Finalmente, se elimina el agua superficial de las partículas del árido y se registra su masa.		
Resultados		
Muestra del árido	Masa de la muestra seca al horno (A) =	493.11 g.
	Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración (B) =	657.08 g.
	Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración (C) =	949.30 g.
	Masa de la muestra saturada superficialmente seca (S) =	500.00 g.
Resultado	Densidad relativa (Gravedad específica) (SSS)	2.41 g/cm ³
	$SSS = S / (B + S - C)$	(4)
	Absorción = $[(S - A) / A] \times 100$	(5) 1.39 %

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Evidencia fotográfica



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 857, 2010)

Tabla 25

Proceso y resultado del ensayo de densidad, densidad relativa y absorción de la puzolana

Ensayos de densidad, densidad relativa y absorción de la puzolana, (Mina Déleg).		
Procedimiento		
Como se indicó anteriormente la muestra se seca en horno a 110 ± 5 °C, luego se sumerge en agua por 24 ± 4 horas para saturar sus poros. Finalmente, se retira el agua superficial y se registra su masa.		
Resultados		
Muestra del árido fino	Masa de la muestra seca al horno (A) =	462.12 g.
	Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración (B) =	656.97 g.
	Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración (C)	907.62 g.
	Masa de muestra saturada superficialmente seca (S)	500.00 g.

“Continúa en la siguiente página...”

“Viene de la página anterior...”

Resultado	Densidad relativa (Gravedad específica) (SSS) $SSS = S / (B + S - C)$ (4)	2.01 g/cm ³
	Absorción = $[(S - A) / A] \times 100$ (5)	8.19 %

Evidencia fotográfica

Saturado de la muestra



Picnómetro + agua



Saturado con agua



Picnómetro + puzolana + agua



Puzolana en estado SSS



Peso de la Puzolana





Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 857, 2010)

2.2.6 Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino y de la puzolana

Los módulos de finura de la arena y de la puzolana muestran que son materiales que poseen una gran cantidad de partículas finas, por lo que, se presume que contienen impurezas orgánicas en su composición. La norma NTE INEN 855 2010, establece el método para determinar su presencia en el árido fino mediante la comparación de color con una solución estándar.

Tabla 26

Determinación de las impurezas orgánicas.

Procedimiento	
<p>Se coloca una muestra de árido fino en una probeta transparente, se agrega una solución de hidróxido de sodio al 3%, luego se agita la mezcla y la dejamos reposar durante 24 horas. El tono del líquido se compara con los colores contenidos en la escala de Gardner, el círculo central -3-, hace referencia a la solución estándar de ácido tánico preparado a una concentración específica que proporciona un color característico de referencia. Si la solución resultante es más oscura que la estándar, se considera que el árido puede contener impurezas orgánicas que afectan la resistencia. Este ensayo es cualitativo y sirve como indicador de la posible presencia de materiales perjudiciales en los agregados finos.</p>	
Evidencia fotográfica	
Arena	Puzolana
	

Resultados

Los 2 materiales sometidos a este ensayo -arena proveniente del río Jubones y puzolana de la mina del Sector La Colina- al reposar las 24 horas, presentan un líquido de tono claro, que cotejado con los de la escala de Gardner, se sitúan en el círculo N° 2, por lo que, se concluye, que no contienen impurezas orgánicas y pueden ser utilizados en la fabricación de los morteros y hormigones.

Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 855, 2010)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL MORTERO DE PEGA

3.1 Diseño del mortero de pega por peso

El diseño de mortero puede realizarse de 2 maneras, por volumen y por peso. En obra, se tiende a dosificar el mortero por volumen, debido básicamente a las condiciones tecnológicas y a estándares que maneja el personal que participa de la construcción. Este error que se comete, en obra, es antitécnico, a esto se suma la falta de control en la calidad de los materiales utilizados en las mezclas. En la tabla 27 se compara los diseños por volumen y por peso que muestra Diego Sánchez de Guzmán, el ejemplo corresponde a un mortero de proporción 1:3, el peso específico del cemento es de $3,15 \text{ g/cm}^3$ y la masa unitaria suelta de la arena es de $2,5 \text{ g/cm}^3$.

Tabla 27

Comparación de diseños por volumen y por peso

Material	Diseño por volumen 1 m ³		Diseño por peso para 1 m ³		Diferencia Peso-Volumen
	(arena seca)		(arena seca)		
	Litro	Kg	Litro	Kg	Kg
Cemento	180 (1)	567	150	474 (1)	- 93
Arena	540 (3)	1.350	570	1.422 (3)	+ 72
Agua	280	280	280	280	0
TOTAL	1.000	2.197	1.000	2.176	- 21

Nota. Sánchez (2001, p. 311). Elaborado a partir de "Tecnología del Concreto y del Mortero"

El autor hace notar que, el diseño por peso es mucho más económico y con ventaja técnica, ya que, se dosifica de manera precisa. El procedimiento que se utiliza para diseñar el mortero de pega, se basa en el propuesto por Sánchez de Guzmán, quien desarrolla secuencialmente 10 pasos y define las cantidades de material a utilizar en la mezcla. (Sánchez, 2001)

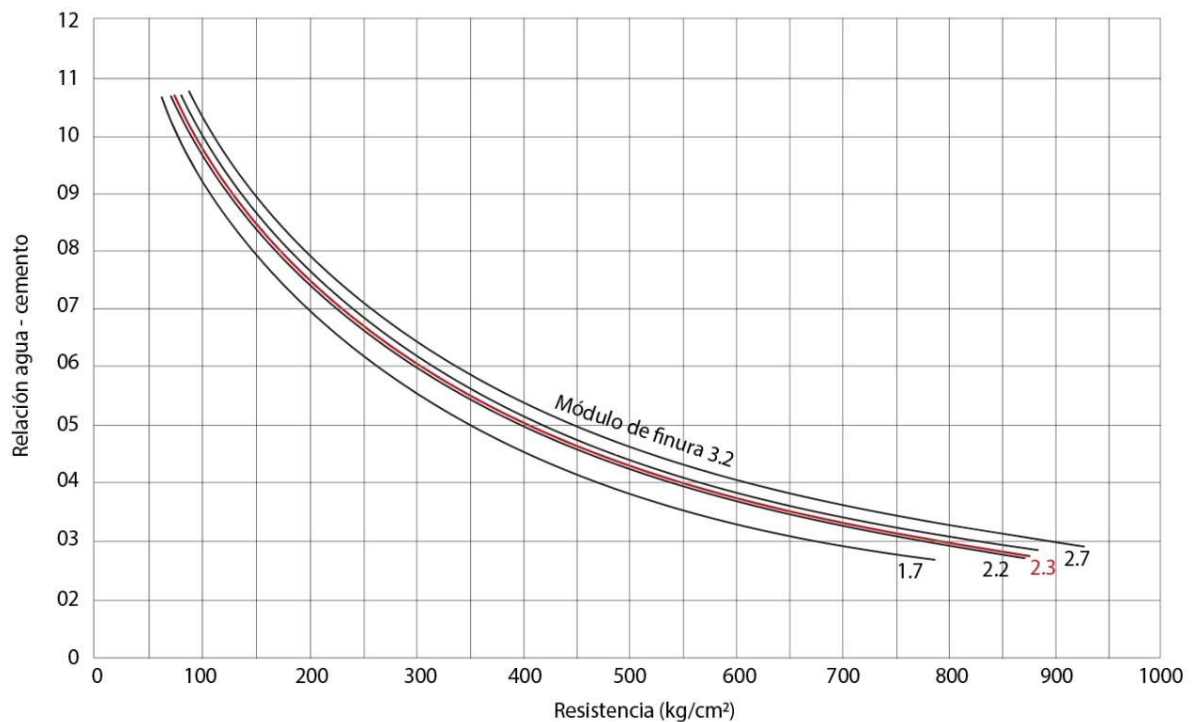
Paso I: Determinación del tipo de arena. En el capítulo anterior se realizó los estudios de la arena y de la puzolana que se utilizará como árido en el mortero. El módulo de finara de ambos materiales es bajo por lo que se requerirá más agua para obtener la consistencia deseada: así mismo, por las características del agregado aumentará el contenido de cemento.

Paso II: Determinación de la relación agua-cemento. Los diferentes tipos de áridos y de cementos producen resistencias distintas con una misma relación agua-cemento. Sánchez de Guzmán

desarrolla figuras que muestran esta correspondencia, pero hace notar que, los materiales a usarse, especialmente la arena, debe tener una forma y textura específica, así como, estar limpia de: arcillas y limos, materia orgánica, sales solubles y sustancias químicas. En la figura 3 se observa la correspondencia entre los valores de relación agua-cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos con cemento portland y arena de forma redondeada y textura lisa.

Figura 3

Correspondencia entre los valores de relación agua – cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos con cemento portland y arena de forma redondeada y textura lisa.



Nota. (Sánchez, 2001, p. 311). Elaborado a partir de “*Tecnología del Concreto y del Mortero*”.

* La curva en rojo, corresponde al módulo de finura de la arena a utilizar en este estudio. Elaborado por el autor.

Paso III: Selección de la consistencia. Sánchez desarrolla una tabla que define la manejabilidad del mortero, la misma que se relaciona con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero. El mortero utilizado para la pega de mampostería, baldosas, pañetes y revestimientos debe tener una consistencia plástica, con una fluidez del 100 – 120 %.

Paso IV: Determinación de los factores que influyen en el contenido de agua. El contenido de agua en el mortero está influenciado por la finura y el tipo de cemento, siendo mayor en cementos con puzolanas. También afecta la granulometría, forma y textura de la arena; partículas finas, angulosas y rugosas incrementan la demanda de agua. En el proceso se precisa que el

requerimiento de pasta de cemento, para una consistencia determinada se puede expresar en la ecuación de tipo exponencial:

$$A/C = Ke^{bn} \tag{6}$$

A/C , relación agua-cemento

K , es el valor de la relación agua-cemento para la consistencia requerida

e , es la base del logaritmo neperiano ($e = 2,7183$)

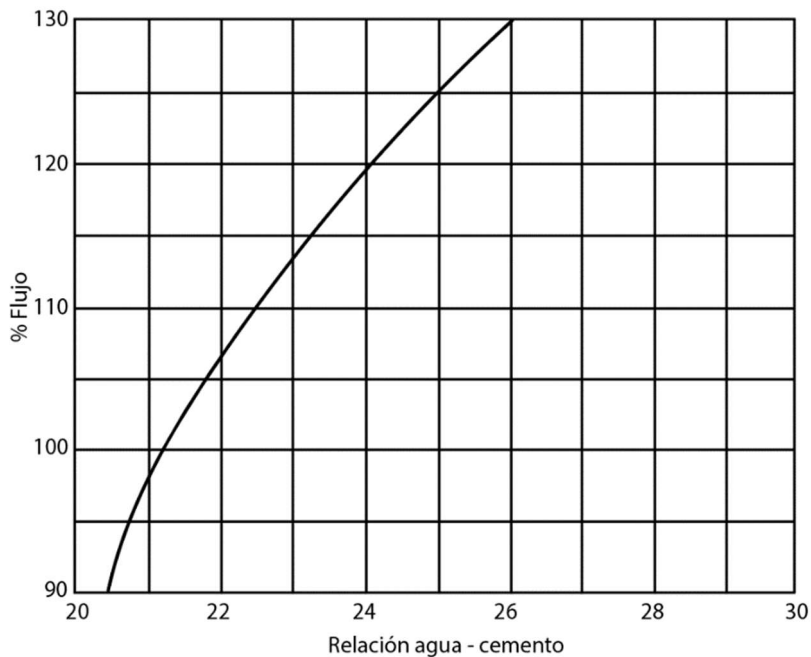
b , es un factor que relaciona: consistencia requerida, módulo de finura y forma y textura de la arena

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

Sánchez genera una figura para determinar el valor de K , en función del porcentaje de flujo versus la relación agua-cemento, en la figura 4 muestra la relación entre el porcentaje de fluidez y la relación agua-cemento

Figura 4

Relación entre porcentaje de fluidez y relación agua-cemento



Nota. (Sánchez, 2001, p. 314). Elaborado a partir de "Tecnología del Concreto y del Mortero".

Para determinar b , se usa la tabla 28, donde se muestran valores de la arena en función de la forma y textura de sus granos. Un mortero de pega según la NEC, debe tener una buena plasticidad y en el ensayo de granulometría del árido a utilizar, se establece que, el módulo de finura es de 2.32.

Tabla 28

Valores de (b) para distintas consistencias y módulos de finura 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
	2.32	0,2971	
	2.7	0.2734	0.2879
	3.2	0.2368	0.2477
Fluida (130%)	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. Sánchez (2001, p. 315). Elaborado a partir de "Tecnología del Concreto y del Mortero".

* Para el módulo de finura 2.32, se interpoló entre 2.2 y 2.7, y se obtuvo el valor de 0,2971. Elaborado por el autor.

Paso V: Determinación de la proporción n .

Se aplica la ecuación $n = [\ln (A/C) - \ln (K)] / b$ (7)

que se obtiene despejando de la fórmula: $A/C = Ke^{bn}$. (Sánchez, 2001)

Paso VI: Cálculo del contenido de cemento. La cantidad de cemento se obtiene, sumando los volúmenes de los materiales que conforman 1 m³ de mortero y aplicando la siguiente

ecuación: $C = [1000 / (1/G_c + n/G_a + A/C)]$ (8)

Paso VII: Determinación del contenido de agua. Como ya se conoce la cantidad de cemento y la relación agua-cemento, el contenido de agua es: $A = (A/C) \times C$ (9)

Paso VIII: Determinación del contenido de arena. Con el valor de n y definida la cantidad de cemento, el contenido de la arena en peso se obtiene con la ecuación: $a = n \times C$ (10)

Paso IX: Ajustes por humedad de arena. Dado que el agua absorbida por la arena no se considera parte del agua de mezclado y que la arena siempre posee cierto nivel de humedad

según las condiciones de almacenamiento y el clima, es imprescindible medir este grado de humedad en laboratorio y realizar los ajustes necesarios en la cantidad de agua utilizada en la mezcla.

Paso X: Ajustes a las mezclas de prueba. Después de completar los pasos anteriores, se procede a comprobar las proporciones calculadas mediante mezclas de prueba y realizar los ajustes necesarios en caso de ser requeridos. (Sánchez, 2001)

A continuación, se diseña un mortero de pega con las siguientes condiciones:

Módulo de finura = 2.32

Densidad aparente seca = $2.41\text{g/cm}^3 = G_a$

Densidad específica del cemento (Cemento Guapán) = $2.96\text{g/cm}^3 = G_c$

Resistencia a la compresión del mortero = $15\text{MPa} = 152.96\text{kg/cm}^2$

De la figura 3: Relación agua-cemento = 0.84

De la figura 4: Con una consistencia plástica y un flujo 110% se necesita una relación de agua-cemento, $K = 0.225$

En la tabla 28: Con una consistencia plástica y un módulo de finura 2.32, $b = 0.2971$

Aplicación de la formula

$$n = [\ln (A/C) - \ln (K)] / b \quad (7)$$

$$n = [\ln (0.84) - \ln (0.225)] / 0.2971$$

$$n = 4.43$$

Contenido de cemento

$$C = [1000 / (1/G_c + n/G_a + A/C)] \quad (8)$$

$$C = [1000 / (1/2.96 + 4.43/2.41 + 0.84)]$$

$$C = 331.56\text{Kg/m}^3$$

Contenido de agua

$$A = (A/C) \times C \quad (9)$$

$$A = (0.84 \times 331.56) = 278.51\text{Lts/m}^3$$

Contenido de arena

$$a = n \times C \quad (10)$$

$$a = 4.43 \times 331.56 = 1468.81\text{Kg/m}^3$$

Tabla 29*Contenido de materiales por metro cúbico de mortero de pega*

Material	Peso seco (Kg)	Peso específico (g/cm ³)	Volumen (litros)
Cemento	331.56	2.96	112.01
Arena	1468.81	2.41	609.46
Agua	278.51	1.00	278.51
	2078.88		999.98

Una vez diseñado y determinado las cantidades en peso de cada material para fabricar un metro cúbico de mortero, se define los porcentajes en los que se sustituirá la arena por puzolana. Cabe recordar que, en un estudio citado anteriormente, la puzolana se agrega a la mezcla de cal hidráulica – arena en dosificación 1:4 y la mejor resistencia se obtuvo con el 15% de adición; se experimenta en el mortero, sustituyendo la arena por puzolana natural en un 5% y un 20%. En la tabla 30 se muestra el contenido necesario de materiales para elaborar las unidades cubicas del mortero de pega.

Tabla 30

Contenido de materiales para elaborar ocho unidades cúbicas de mortero de pega para ensayo (cubos de 50 mm de arista)

Dosificación	Cemento (g)	Agua (cm ³)	Arena (g)	Puzolana (g)
Mortero cemento - arena	331	278	1468	
Mortero cemento - 95% arena - 5% puzolana	331	278	1394	74
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	331	278	1172	296

3.2 Elaboración del mortero

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488 establece el procedimiento para la preparación y ensayo de morteros en moldes cúbicos de 50 mm de arista, con el propósito de determinar la resistencia a la compresión. La norma específica el método para preparar, moldear, curar y ensayar los morteros de cemento y así, garantizar confiabilidad en los resultados, (ver tabla 31).

Tabla 31

Preparación de morteros de pega para ensayos de laboratorio

Equipo	
Mezcladora de mortero: Para asegurar una mezcla homogénea.	
Moldes cúbicos de 50 mm: Preferiblemente metálicos, resistentes a deformaciones.	
Varilla de compactación: Para eliminar burbujas de aire y lograr una compactación uniforme.	
Instrumentos de medición: Balanza de precisión, cronómetro y herramientas para medición de proporciones y tiempos.	
Procedimiento	
Preparación de la mezcla:	Colocamos aproximadamente el 90% del agua en la mezcladora, luego se agrega todo el cemento de manera gradual, a continuación, se incorpora la arena mientras la mezcladora está en funcionamiento, asegurando que se distribuya uniformemente y finalmente se agrega el agua restante para completar la hidratación del cemento.
Tiempos de batido:	Mezcla inicial. - Durante 30 segundos se mezclan los materiales para permitir la integración de los componentes, luego se detiene la mezcladora y se deja reposar 15 segundos para raspar las paredes de la olla asegurar que no queden materiales secos adheridos. Mezclado final. - Reiniciamos la marcha de la mezcladora y se continúa el batido por 60 segundos, así se obtiene una mezcla completamente homogénea. Tiempo total de mezcla. - Aproximadamente 1 minuto y 45 segundos.
Evidencia fotográfica	

Mortero estándar

Cemento



Arena



“Continúa en la siguiente página...”

"Viene de la página anterior..."

Mortero cemento – arena 95%, puzolana 5%

Cemento



Arena



Puzolana



Mortero cemento – arena 80%, puzolana 20%

Cemento



Arena



Puzolana



"Continúa en la siguiente página..."

Batido de mezcla

Colocación del cemento



Batido de la mezcla



Mortero en estado plástico



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 488, 2009)

3.3 Moldeado y curado de cubos de ensayo

La Norma NTE INEN 488, recomienda que se deben fabricar al menos tres probetas cúbicas de 50 mm de arista por cada edad de ensayo programada (generalmente a los 7 y 28 días). El resultado final se obtiene del promedio de las resistencias alcanzadas por estas tres probetas, (ver tabla 32).

Tabla 32

Proceso de moldeado y curado de cubos de ensayo de morteros de pega.

Moldeado de muestras	Los moldes deben estar correctamente ensamblados y lubricados para facilitar el desmolde. El llenado se realiza en dos capas iguales compactando cada una con 25 golpes de la varilla. Luego, se alisa la superficie y se cubre para evitar la evaporación, se deja reposar 24 horas para retirarlos del molde.
Curado	Las probetas desmoldadas se sumergen en agua saturada con cal a 23 ± 2 °C hasta el momento del ensayo. El curado asegura la hidratación completa del cemento, garantizando que se alcance la resistencia óptima a compresión.

"Continúa en la siguiente página..."

Moldeado de las muestras



Curado de las muestras



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 488, 2009)

3.4 Ensayos de los morteros en estado pastoso y endurecido

En la norma INEN 2 518 se establecen los ensayos que se realizan al mortero tanto en estado pastoso como en estado endurecido. En nuestro estudio, en estado plástico, se evalúan propiedades como la trabajabilidad y el flujo. La trabajabilidad se verifica observando la facilidad de manejo y aplicación del mortero, mientras que el flujo se mide mediante el incremento porcentual del diámetro de un cono truncado tras ser sometido a caídas controladas. Otro ensayo que se aplica en estado pastoso es la retención de agua, que evalúa la capacidad del mortero para conservar su humedad, este ensayo no se pudo realizar, ya que, no se cuenta con el equipo

necesario en el laboratorio de suelos de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Sede Azogues de la Universidad Católica de Cuenca.

En estado endurecido, se evalúa la resistencia a la compresión, medida mediante la ruptura de cubos de mortero de 50 mm de arista.

3.4.1 Fluidez

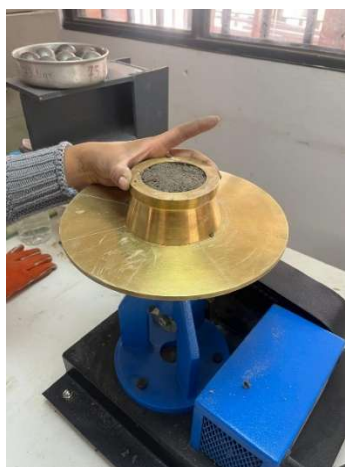
En la tabla 33 se describe el proceso que se utilizó para determinar el flujo en el mortero, definido en la norma NTE INEN 2502.

Tabla 33

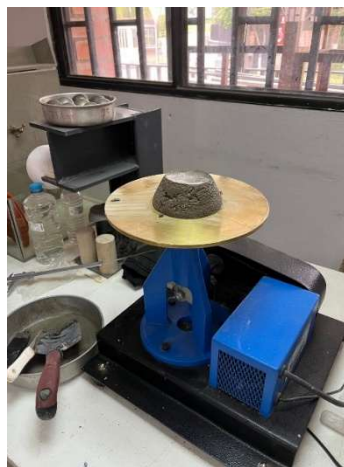
Determinación del flujo en el mortero de pega

Equipo	
El ensayo requiere de una mesa de flujo, molde, calibrador, compactador, espátula y enrasador.	
Procedimiento	El flujo se mide mediante el incremento del diámetro de la base de la masa de mortero en una mesa de flujo después de 25 caídas en 15 segundos.
	Se limpia la mesa de flujo, luego se llena el molde con mortero en dos capas que se compactan con 25 golpes cada una, se nivela con el enrasador, y luego levantar el molde. Tras dejar caer la mesa 25 veces, se mide el diámetro en cuatro puntos y se calcula el flujo como un porcentaje del incremento en el diámetro respecto. El flujo se determina sumando las lecturas de los puntos de medición y calculando el promedio o aplicando la fórmula correspondiente
Evidencia fotográfica	

Llenado de molde



Molde levantado



Diámetro incrementado mortero cemento-arena



“Continúa en la siguiente página...”

"Viene de la página anterior..."

Diámetro incrementado
mortero cemento-arena-
5% de puzolana



Diámetro incrementado
mortero cemento-arena-
10% de puzolana



Tabla general de flujo del mortero

Mortero	Diámetro (cm)	Promedio de flujo (cm)	Promedio de flujo (%)
Mortero estándar	14.70	14.60	108.56
	14.70		
	14.70		
	14.30		
Mortero cemento – arena 95% arena - 5% puzolana	14.90	14.88	112.50
	14.80		
	15.00		
Mortero cemento – arena 80% arena - 20% puzolana	14.80	15.20	117.14
	15.20		
	15.10		
	15.20		

3.4.2 Resistencia a la compresión

La norma NTE INEN 488 establece el método para determinar la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento, utilizando cubos de 50 mm de arista. Este ensayo permite evaluar el cumplimiento de la resistencia especificada en el diseño. En la tabla 34 se define el proceso realizado para realizar el ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla 34*Ensayo de resistencia a la compresión de los morteros*

Proceso				
Las muestras de mortero fabricadas se curaron en agua saturada con cal hasta el día del ensayo. Antes de la prueba, se secan y se eliminan partículas sueltas de sus superficies. El ensayo se realiza a los 3, 7 y 28 días de la fabricación, a dos muestras, luego se obtiene el promedio de la resistencia. La variación máxima aceptable en la resistencia entre especímenes de una misma amasada y edad, cuando se utilizan tres cubos, es de 8,7% del valor del promedio y de 7,6% cuando se emplean dos cubos. En el presente estudio, a los 28 días se prueba una muestra y a los 35 días la otra; esto, se decide, ya que es necesario obtener la absorción de agua y la densidad en seco de las muestras.				
Ensayo de resistencia a la compresión				
Cada cubo se coloca en una máquina de ensayo, asegurando un contacto uniforme entre el cabezal de carga y la muestra. Se aplica una carga progresiva entre 900 y 1.800 N/s hasta la falla del espécimen. La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima soportada por el área de la sección transversal del cubo. Se aplica la siguiente ecuación $fm = P/A$				
$fm =$ Resistencia a la compresión en MPa.				
P = Carga total máxima de la falla, en N				
A = Área de la sección transversal del cubo a la que se aplica la carga, en mm ²				
Resistencia a la compresión (3 días)				
Mortero	Masa de la muestra (g)	Carga total (kN)	Carga Promedio (kN)	Resistencia a la compresión (MPa)
Mortero cemento - arena	278.99	16.40	16.64	6,66
Mortero cemento - 95% arena - 5% puzolana	280.32	16.88		
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	283.83	17.70	18.15	7.26
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	284.67	18.60		
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	276.59	18.16	18.20	7.28
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	275.74	18.24		
Resistencia a la compresión (7 días)				
Mortero	Masa de la muestra (g)	Carga total (kN)	Carga Promedio (kN)	Resistencia a la compresión (MPa)
Mortero cemento - arena	283.50	23.70	24.10	9.64
Mortero cemento - 95% arena - 5% puzolana	283.93	24.50		
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	288.48	25.00	24.60	10.24
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	279.93	24.20		
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	273.67	26.40	27.20	10.88
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	280.82	28.00		

“Continúa en la siguiente página...”

"Viene de la página anterior..."

Resistencia a la compresión (28 días)

Mortero	Masa de la muestra (g)	Carga total (kN)	Carga Promedio (kN)	Resistencia a la compresión (MPa)
Mortero cemento - arena	278.38	38.60	39.90	15.96
Mortero cemento - 95% arena - 5% puzolana	287.49	40.70	42.15	16.86
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	281.63	42.60	46.40	18,56

Resistencia a la compresión (35 días)

Mortero	Masa de la muestra (g)	Carga total (kN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Incremento en la resistencia (%)
Mortero cemento - arena	255.95	41.20	16.48	6.74
Mortero cemento - 95% arena - 5% puzolana	263.78	43.60	17.44	7.13
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	257.18	50.20	20,08	17,84

Evidencia fotográfica

Carga progresiva hasta que falle la muestra



Nota. Elaborado a partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 488, 2009)

3.4.3 Porcentaje de absorción

Para determinar el porcentaje de absorción del mortero, tomamos como referencia la norma NTE INEN 3066, que establece los requisitos y métodos de ensayo de los bloques de hormigón, considerando a nuestras muestras como bloques macizos, (ver tabla 35).

Tabla 35

Ensayo para determinar el porcentaje de absorción

Procedimiento				
Se inicia con la saturación de las muestras y se sumergen en agua durante 24 a 28 horas, luego se determina su masa saturada. Posteriormente se seca en horno a una temperatura entre 100 °C y 115 °C hasta que su masa se estabilice, obteniendo la masa seca al horno. Después, se calcula la absorción utilizando la fórmula: $\text{Absorción (\%)} = ((\text{Masa de agua absorbida}) / (\text{Masa de la muestra seca})) \times 100$. Este procedimiento asegura que los bloques cumplan con los requisitos máximos de absorción establecidos para cada tipo de densidad				
Resultados				
Mortero	Masa de la muestra saturada (g)	Masa de la muestra seca (g)	Masa de agua absorbida (g)	Porcentaje absorción (%)
Mortero cemento - arena	281.20	255.95	25.25	9,86
Mortero cemento - 95% arena - 5% puzolana	280.49	256.78	23.71	9,23
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	278.35	257.18	21.17	8,23

3.4.4 Densidad del mortero

Para determinar la densidad de mortero, utilizamos la fórmula: $D(\text{kg/m}^3) = (M_d / V) \times 1000$, pues, se conocen todos estos datos. En la tabla 36 se muestra la densidad de los diferentes morteros.

Tabla 36*Densidad del mortero*

Resultados				
Mortero	Masa seca de la muestra (kg)	Volumen del cubo (m ³)	Densidad del mortero (kg/m ³)	Densidad del mortero (g/cm ³)
Mortero cemento - arena	0.25595	0.000125	2,047.60	2.048
Mortero cemento - 95% arena - 5% puzolana	0.25678	0.000125	2,054.24	2.054
Mortero cemento - 80% arena - 20% puzolana	0.25718	0.000125	2,057.44	2.057

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Interpretación de resultados

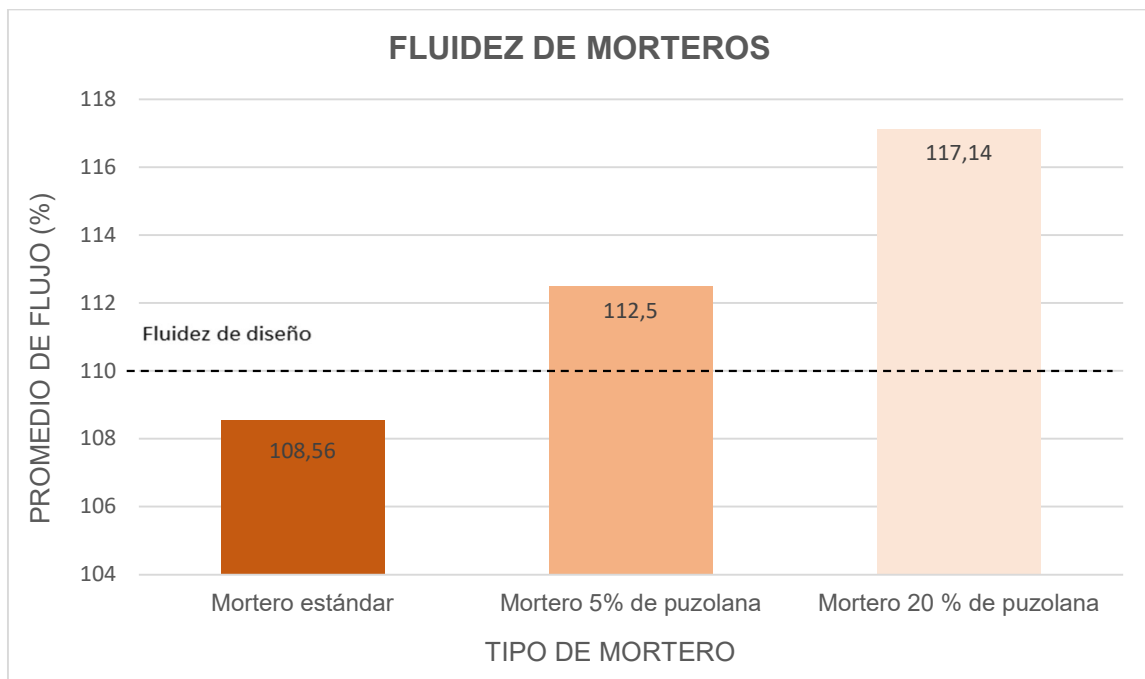
Se han realizado los ensayos de laboratorio a tres tipos de morteros de pega cemento – arena, a dos de estos se sustituye árido por puzolana natural del sector La Colina del cantón Déleg, en porcentajes de 5 y 20 %, el tercero, es la referencia estándar que nos permite comparar e interpretar los resultados. Los ensayos se realizaron a los morteros en estado plástico y endurecido.

4.1.1 Fluidez

Este ensayo se realizó a los tres morteros en su estado plástico, los resultados obtenidos indican el aumento del diámetro de la base mayor de la muestra y se expresa en porcentaje, (ver figura 5).

Figura 5

Fluidez del mortero



Como se puede observar, el mortero estándar es el que menor flujo tiene luego de ser sometido a 25 caídas en 10 segundos en la mesa de flujo. La mezcla adquiere mayor fluidez, al sustituir puzolana por arena, esto se puede advertir en el mortero que la contiene en un 20%.

4.1.2 Trabajabilidad

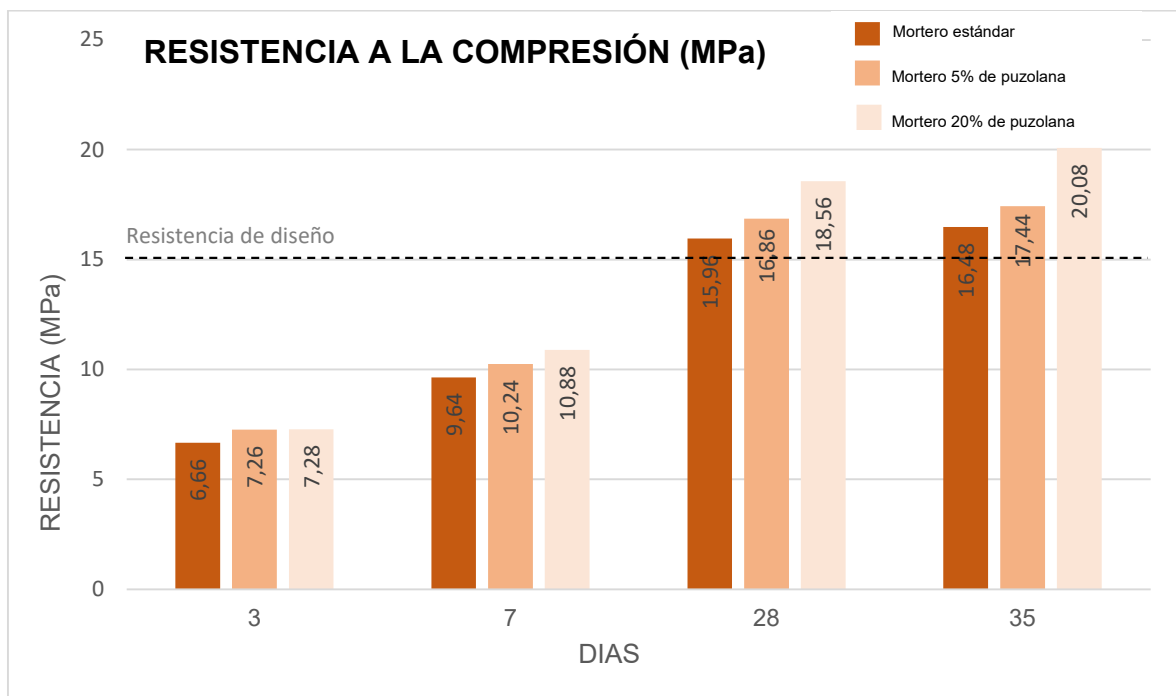
Una de las propiedades de la puzolana al reemplazar parte del cemento Portland común (OPC) es la mejora en la trabajabilidad de la mezcla. En este estudio, se sustituye una fracción del árido fino por puzolana, la cual, según el ensayo granulométrico, presenta un 20,9 % de partículas finas que no son retenidas en los tamices y que pueden aportar con mayor cohesión y reducir la segregación del árido en el mortero. Si bien la prueba de fluidez, está directamente relacionada con la consistencia, también sirve como un indicador de una buena trabajabilidad.

4.1.3 Resistencia a la compresión

En la figura 6 se observa el comportamiento de los morteros fabricados para el ensayo de resistencia a la compresión. A los tres días, el mortero con un 20 % de puzolana mostró una mayor resistencia, tendencia que se mantuvo hasta los 35 días, cuando se realizó la última prueba. Asimismo, se aprecia que la resistencia tanto del mortero estándar como de los elaborados con puzolana superan los valores de diseño, lo que confirma que las dosificaciones ensayadas mejoran la resistencia del mortero de pega.

Figura 6

Resistencia a la compresión

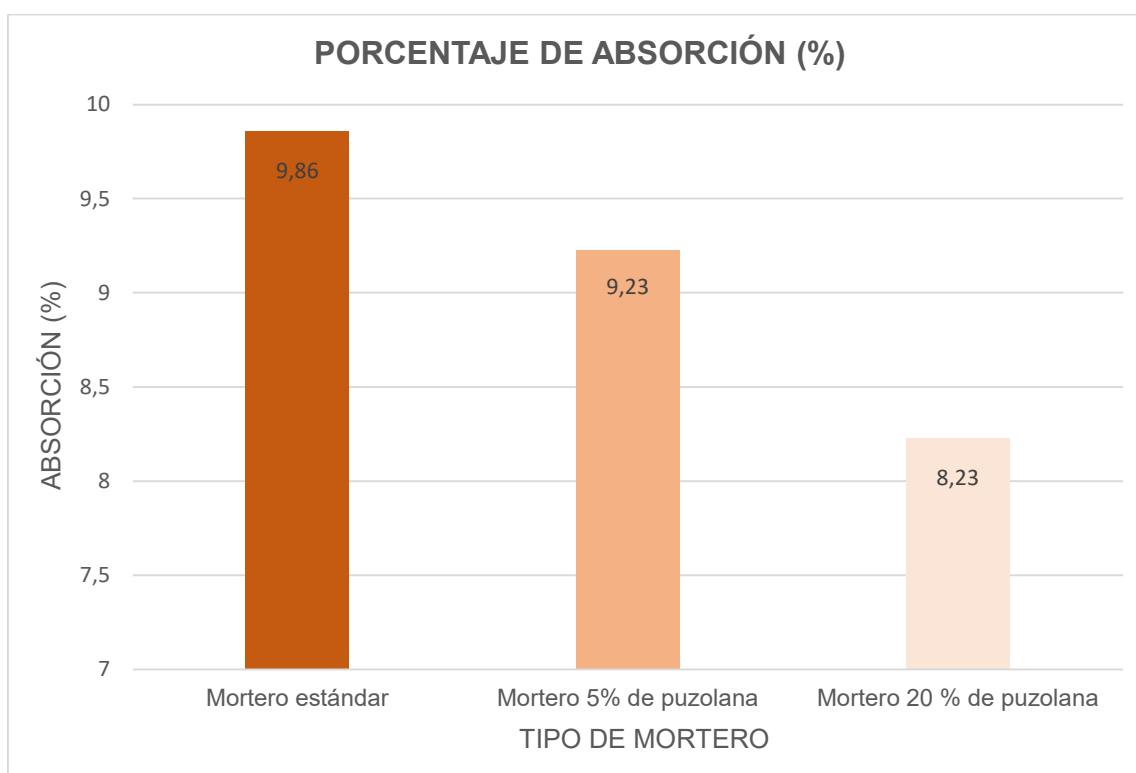


4.1.4 Porcentaje de absorción

En cuanto a la absorción, el mortero fue evaluado en forma de bloque macizo, siguiendo los lineamientos de la norma NTE INEN 3066. La norma establece que, los bloques con una densidad normal superior a $2,000.00 \text{ kg/m}^3$, la absorción máxima permitida es del 12 %. Los resultados obtenidos indican que todos los morteros ensayados cumplen con este requisito. Además, se observó que el mortero elaborado con un 20 % de puzolana presentó la menor absorción, con un valor de 8.23 %, lo que sugiere que la incorporación de este material reduce la porosidad del mortero, (ver figura 7).

Figura 7

Porcentaje de absorción



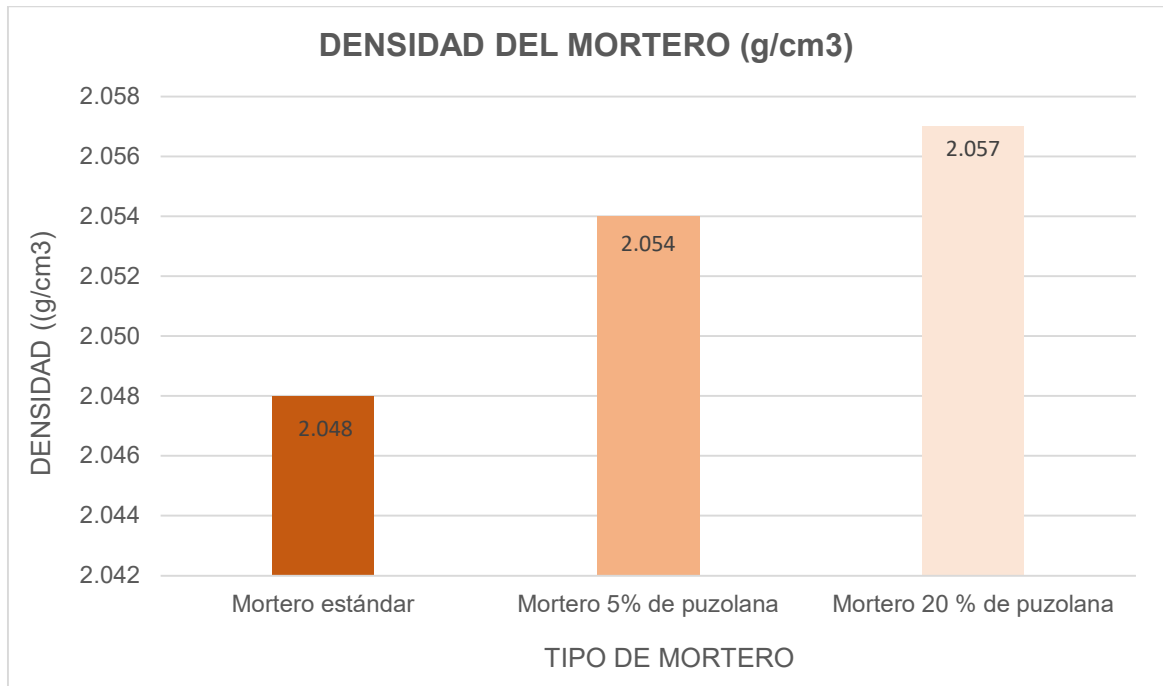
4.1.5 Densidad del mortero

La densidad del mortero varía en función de los agregados utilizados, del diseño de la mezcla, del método de fabricación, del proceso de curado y de la porosidad del material. En los ensayos realizados en el mortero de pega, se observó que los tres superan los $2,000.00 \text{ kg/m}^3$, siendo el de mayor densidad aquel que contiene un 20 % de puzolana. Esto se debe a que, un mayor contenido de puzolana en la mezcla reduce la cantidad de poros interconectados, disminuye la absorción de agua y aumenta la densidad del material endurecido. Además, las

partículas finas de la puzolana rellenan mejor los espacios vacíos entre los granos de cemento y agregados, mejorando la compactación y aumentando la masa por unidad de volumen.

Figura 8

Densidad del mortero



CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El mortero ensayado se diseñó a través de la metodología propuesta por Diego Sánchez de Guzmán, en su libro: Tecnología del concreto y del mortero. Se comprobó que la dosificación por peso es más precisa y eficiente que la dosificación por volumen, pues, reduce errores en la proporción de materiales y mejora la calidad del mortero.

La adición de puzolana natural obtenida del sector La Colina del Cantón Déleg, mejora la fluidez y trabajabilidad del mortero. Se observó un aumento significativo en la resistencia a la compresión, especialmente con una sustitución del 20% de la arena por puzolana. Esto podría deberse, a que, las partículas finas de la puzolana -20,9% en el fondo de la maquina tamizadora- llenan los vacíos entre los agregados, reduciendo la porosidad y aumentando la cohesión del mortero. También podríamos atribuirle a la reacción puzolánica que contribuye a la formación de compuestos cementantes adicionales, fortaleciendo el mortero con el tiempo.

Los resultados de los ensayos mostraron que la resistencia a la compresión del mortero con puzolana superó los valores de diseño, alcanzando su mayor rendimiento a los 35 días, luego de haberle retirado de proceso de curado, esto muestra que, el mortero fabricado con puzolana, continúa desarrollando resistencia incluso después del período estándar de 28 días, comprobando que es una opción viable para trabajos que requieren un desempeño prolongado.

Se evidenció que el mortero con un 20% de puzolana tuvo la menor absorción de agua (8.23%), lo que indica una reducción de la porosidad, lo que dificulta el paso del agua y otros líquidos. Asimismo, la densidad del mortero aumentó con la incorporación de puzolana, esto es relevante en climas húmedos o en estructuras expuestas a la intemperie, ya que una menor absorción reduce el riesgo de degradación por ciclos de congelación y descongelación.

La adición de puzolana incrementó la fluidez del mortero, facilitando su aplicación en obra y reduciendo la segregación de los materiales. Este factor es crucial en la construcción, ya que un mortero más fluido permite una colocación más eficiente y rápida, reduciendo el esfuerzo del personal y mejorando la adherencia con los materiales de construcción. Además, al reducirse la segregación, se obtiene una distribución más uniforme de los agregados y el cemento, mejorando la calidad general del mortero.

5.2 Recomendaciones

Una vez concluido el estudio y generado las conclusiones, podemos realizar las siguientes recomendaciones:

Fomentar el uso de la puzolana en la construcción contribuye a mejorar la resistencia y trabajabilidad de los morteros. Esta acción, reducirá la demanda de arena extraída de los lechos de río, generando un impacto ambiental positivo asociado al transporte de áridos desde las minas del río Jubones del cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay.

Promover la realización de pruebas periódicas de laboratorio en los áridos y la puzolana para garantizar su calidad. Esto asegurará que los materiales cumplan con las especificaciones técnicas requeridas, para así, evitar problemas del mortero en el desempeño en obra.

Continuar con los estudios sobre la utilización de la puzolana en morteros y hormigones, a fin de evaluar los resultados y ajustar las proporciones en función de las necesidades específicas de la mezcla.

Finalmente, expreso mi voluntad de continuar realizando estudios adicionales para evaluar la posibilidad de incrementar el porcentaje de sustitución de arena por puzolana en el mortero. Esto permitirá determinar si es viable aumentar aún más la proporción sin comprometer las propiedades mecánicas, de trabajabilidad y de durabilidad del mortero, lo que podría representar una alternativa más sostenible y eficiente en la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abel, J., & Orozco, V. (2023). *Estudio de morteros para reparación arqueológica y patrimonial: Ceniza Volcánica*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24957>
- Álvarez-Cedeño, F. J., Zambrano-Chavarría, J. D., & Eguez-Álava, H. E. (2023). Adición de puzolana natural (diatomita) para mejorar la resistencia en mortero estructural. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 6(11 Ed. esp.), 14–29. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespmar.0091>
- American Society for Testing and Materials ASTM C 1602. (2006). *Astm C1602 2006 Esp | PDF | Hormigón | Agua*. <https://es.scribd.com/document/537776095/ASTM-C1602-2006-ESP>
- Astm c270-91a-mortero | PDF*. (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2025, de <https://es.slideshare.net/slideshow/astm-c27091amortero/99394435>
- Aquilla, T. et al. (1991). *Utilización de la puzolana en la elaboración de bloques*. <https://vufind.ucuenca.edu.ec/vufind/Record/oai:dspace.ucuenca.edu.ec:123456789-5769>
- Fragoso, J. A., Julio, D., Visbal, E., Universidad, J., Cartagena, D. E., & De Ingeniería, F. (2021). *El uso de la puzolana de origen natural en concreto hidráulico*. <https://doi.org/10.57799/11227/7710>
- González, F. (2016). *Estudio del mortero de pega usado en el cantón Cuenca. Propuesta de mejora, utilizando adiciones de cal*. Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23664>
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2 518. (2010). *Norma 2518 H | PDF | Cemento | Agua*. <https://es.scribd.com/doc/177892630/NORMA-2518-H>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 152. (2012). *152-5 Cemento Portland Requisitos - Quito - Ecuador NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 152: Quinta - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-las-fuerzas-armadas-de-ecuador/business-management/152-5-cemento-portland-requisitos/6622917>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 155. (2009). *155 - normativa del Instituto Ecuatoriano de normalizacion - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/155-normativa-del-instituto-ecuadoriano-de-normalizacion/40963452>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 488. (2009). *Mortero Res Compresion 488 | PDF | Hormigón | Cemento*. <https://es.scribd.com/document/239497923/Mortero-Res-Compresion-488>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 490. (2011). *Nte inen 490-5 Requisitos DE Cementos - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Quito - Ecuador NORMA - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/pontificia-universidad-catolica-del-ecuador/ingenieria-en-sistemas/nte-inen-490-5-requisitos-de-cementos/4778823>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 695. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización: Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 695:2010 | PDF | Muestreo (Estadísticas) | Calidad (comercial)*. <https://es.scribd.com/document/529992433/695>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 696. (2011). *Nte inen 696 p5 (Granulometria) - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Quito - Ecuador NORMA - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/nte-inen-696-p5-granulometria/22646391>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 855. (2010). *855 - Normas NTE INEN 855 para los ensayos respectivos de los agregados gruesos y - INSTITUTO - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/855-normas-nte-inen-855-para-los-ensayos-respectivos-de-los-agregados-gruesos-y/31180405>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 857. (2010). *857 - Normativa - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Quito - Ecuador NORMA TÉCNICA ECUATORIANA - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/857-normativa/63322875>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 858. (2010). *Norma NTE INEN 858 Trabajo Grupal - NORMA NTE INEN 858 PRIMERA EDICION ÁRIDOS. Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/nte-inen-858-1-determinacion-de-la-masa-unitaria/23206033>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 862. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 862:2011*. <https://es.scribd.com/document/427734426/862-1>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2380. (2011). *Nte inen 2380 - requisitos de desempenio para cementos - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/nte-inen-2380-requisitos-de-desempenio-para-cementos/23206067>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2536. (2010). *Inen 2536 | PDF | Hormigón | Materiales*. <https://es.scribd.com/document/364335743/inen2536>
- Norma Chilena NCh163. (2013). *NCh163 Of 2013 Áridos para morteros y hormigones- Requisitos - Número de referencia NCh 163 :201 3 © - Studocu*. <https://www.studocu.com/cl/document/instituto-profesional-virginio-gomez/construccion-en-hormigon/nch163-of-2013-aridos-para-morteros-y-hormigones-requisitos/30014712>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 CAP.1. (2013). *NEC2011-CAP.1- Cargas Y Materiales-021412 - NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC CAPÍTULO 1 - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/estructuras-i/nec2011-cap1-cargas-y-materiales-021412/28627154>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM. (2014). *Norma Ecuatoriana de La Construcción Nec | PDF | Estructuras de Hormigón Armado*. <https://es.scribd.com/document/588887944/Norma-Ecuatoriana-de-La-Construccion-Nec>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MP. (2014). *NEC-SE-MP - NEC - NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC NEC-SE-MP MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/geotecnia/nec-se-mp-nec/80157357>
- Perez-Díaz, E. D., Bosco, J., & Zaragoza, H. (2018). Comportamiento mecánico a la compresión de un mortero con sustitución parcial de zeolita natural en diferentes granulometrías. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, 1(1), 20–29. <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/426>


- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero - Diego Sánchez 5ta Edición*.
https://www.academia.edu/49045048/Tecnolog%C3%ADa_del_concreto_y_del_mortero_Diego_S%C3%A1nchez_5ta_Edici%C3%B3n
- Standard Specification for Reinforced Concrete Arc ASTM C 506. (2008). *ASTM C 506 : 2008 Standard Specification for Reinforced Concrete Arc*. https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/astm-c-506-2008-148812_saig_astm_astm_343615/?srsltid=AfmBOopywYZNrrBrB3PAHyChW3G2dngqg36N_0dxD9ddI51UssKQPM9O
- Villamizar Contreras, K. E. (2024). *Estudio experimental de hormigones sostenibles para el análisis del porcentaje óptimo de cal hidráulica con adición de puzolanas para diferentes aplicaciones*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/410265>



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Pablo Jacinto Cantos Coronel portador de la cédula de ciudadanía N° **0302286588**. En calidad de autor/ y titular de los derechos patrimoniales del proyecto de titulación “ELABORACIÓN DE MORTEROS DE PEGA CON PUZOLANA DEL SECTOR LA COLINA DEL CANTÓN DÉLEG, CAÑAR – ECUADOR” 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 éste proyecto de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 11 de marzo de 2025

F: 

Pablo Jacinto Cantos Coronel

C.I. **0302286588**