UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGEIRÍAS

Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de

Ingeniero Civil

Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de mortero con y sin la incorporación de nanosílice al 1%, 3% y 5%.

Katherine Michelle Tapia Ontaneda

Quito, mayo ,2025

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, Katherine Michelle Tapia Ontaneda, con cédula de identidad # 171773221-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual que correspondan relacionados a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

.

D. M. Quito, mayo de 2025

_____

Katherine Michelle Tapia Ontaneda
Correo electrónico: katherine.tapia@uisek.edu.ec

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO CON Y SIN INCORPORACIÓN DE NANOSÍLICE AL 1%, 3% y 5%"

Realizado por:

KATHERINE TAPIA

Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA CIVIL

Ha sido dirigido por el profesor

HUGO OTAÑEZ

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de mortero con y sin la incorporación de nanosílice al 1%, 3% y 5%.

Por

Katherine Michelle Tapia Ontaneda

Mayo 2025

Aprobado:

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Tutor

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, presidente del Tribunal

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Miembro del Tribunal

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Miembro del Tribunal

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

_____ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.
Presidente(a) del Tribunal
Universidad Internacional SEK

Dedicatoria

Dedico esta tesis, fruto de un camino desafiante pero lleno de aprendizajes, al amor y apoyo incondicional de personas extraordinarias. Principalmente, a mi madre, pilar de mi vida, cuya fe inquebrantable en mí, amor infinito y sacrificios silenciosos iluminaron mis momentos oscuros y me fortalecieron. Su dedicación y perseverancia es mi mayor inspiración. Por su apoyo constante le agradezco a mis hermanos. Y de manera especial, a mi novio, cuyo apoyo constante, paciencia infinita y amor fueron mi refugio y motivación. Tus palabras de aliento me dieron fuerza para no rendirme. Compartir este sueño contigo ha sido un regalo invaluable.

Esta tesis lleva una parte del corazón de cada uno de ustedes. Gracias por ser mi fortaleza e inspiración.

Agradecimiento

La culminación de esta tesis es un testimonio del apoyo de personas significativas en mi vida. A Dios por la bendición de finalizar mi carrera le doy las gracias. Mi corazón agradece especialmente a mi madre, Rita Ontaneda por su amor incondicional y fe constante fueron mi mayor fortaleza durante toda mi vida. A mis hermanos, sus palabras de aliento me impulsaron a seguir adelante. Un agradecimiento especial al amor de mi vida Germahint Herrera, mi compañero, cuyo apoyo incondicional en cada momento, fue esencial desde el inicio de esta hermosa etapa. Sin su presencia, este logro no sería el mismo. A mi tutor, Hugo Otáñez, su paciencia, dedicación y aguda visión fueron cruciales para este trabajo. A todos los que me acompañaron, gracias por ser parte de este inolvidable camino.

Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación:

Nombre de Programa

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Y con el financiamiento de

(colocar el que aplique)

Proyecto de Investigación de la Dirección de Investigación e Innovación

DII-UISEK-PXXXXX_X.X

Resumen

Uno de los problemas principales del mortero es la baja resistencia a la compresión, con la incorporación del nanosílice, se busca analizar la probabilidad de solucionar dicho problema. Las investigaciones realizadas al respecto han demostrado resultados alentadores, evidenciando un aumento significativo en la resistencia a la compresión del mortero cuando se incorpora nanosílice. Este avance tecnológico representa un paso significativo hacia la construcción del futuro, donde los materiales se adaptan a las necesidades de un mundo en constante cambio. Dando un paso adelante en la tecnología de aditivos para hormigón, este producto innovador se presenta como una alternativa al microsílice, un aditivo tradicional en hormigones de alto rendimiento, buscando superar sus limitaciones y ofrecer mejoras significativas en las propiedades tanto físicas como mecánicas del hormigón. (Bombón y Rosero 2021). No obstante, la mayoría de investigaciones existentes de la inclusión de nanosílice son para hormigones de alta resistencia y no para morteros, con esta tesis pretendo estimar el aumento de la resistencia a la compresión del mortero con inclusión de nanosílice realizando ensayos de compresión para cilindros utilizando normativas ecuatorianas.

Palabras Clave: Mortero, Nanosílice, Ensayos, Compresión, Incorporación, Aditivo.

Abstract

One of the main problems of mortar is its low compressive strength. With the addition of nanosilica, the aim is to analyze the possibility of solving this problem. Research conducted in this regard has shown encouraging results, evidencing a significant increase in mortar's compressive strength when nanosilica is incorporated. This technological advancement represents a significant step toward the construction of the future, where materials adapt to the needs of a constantly changing world. Taking a step forward in concrete additive technology, this innovative product is presented as an alternative to microsilica, a traditional additive in high-performance concrete, seeking to overcome its limitations and offer significant improvements in both the physical and mechanical properties of concrete. (Bombon and Rocero 2021). However, most existing research on the inclusion of nanosilica is for high-strength concrete and not for mortars. With this thesis, I intend to estimate the increase in mortar compressive strength with the inclusion of nanosilica by performing compression tests on cylinders using Ecuadorian standards.

Keywords: Mortar, Nanosilica, Testing, Compression, Incorporation, Additive

Contenido

Lista de Tablas ..... **v**

Lista de Figuras ..... **vii**

Capítulo 1: Introducción **1**

1.1 Problema de la investigación. 1

1.2 Antecedentes. 1

1.3 Justificación y significado. 2

1.4 Objetivos. 3

1.4.1 Objetivo General. 3

1.4.2 Objetivos Específicos. 3

Capítulo 2: Marco Teórico **5**

2.1 Mortero. 5

2.2 Componentes del mortero. 6

2.2.1 Cemento. 6

2.2.2 Agua. 6

2.2.3 Agregado fino. 6

2.3 Aplicaciones del mortero. 7

2.4 Ensayo de compresión. 7

2.5 Nanosílice. 8

2.6 Dosificación del mortero. 10

2.7 Propiedades del mortero fresco. 10

2.7.1 Trabajabilidad. 10

2.7.2 Tiempo de fraguado. 11

2.7.3 Consistencia. 11

2.7.4 Retención del agua. 12

2.7.5 Densidad. 12

2.8 Propiedades del mortero endurecido. 13

2.8.1 Resistencia a la compresión. 13

Capítulo 3: Metodología 14

3.1 Caracterización de los materiales. 14

3.2 Origen de los agregados. 14

3.2.1 Agregado Fino. 14

3.2.2 Cemento. 15

3.3 Ensayo determinación del contenido total de humedad (NTE INEN 862). 15

3.4 Ensayo de granulometría y módulo de finura (NTE INEN 696). 17

3.5 Ensayo cantidad de material más fino que 75µm (NTE INEN 697). 21

3.6 Ensayo de impurezas orgánicas (NTE INEN 855). 24

3.7 Ensayo de terrones de arcilla y partículas desmenusables (NTE INEN 698). 25

3.8 Ensayo determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858). 27

3.9 Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. (NTE INEN 856) 31

3.10 Cemento Hidráulico. Determinación de la Densidad. (NTE INEN 156). 36

3.11 Cemento Hidráulico. Determinación del flujo en Morteros. (NTE INEN 2502). 38

3.12 Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. (NTE INEN 488) 39

Capítulo 4: Levantamiento de información en laboratorio. 44

4.1 Ensayo contenido total de humedad. 44

4.2 Ensayo de granulometría agregado fino. 45

4.3 Cantidad de material más fino que 75µm. 46

4.4 Impurezas orgánicas. 47

4.5 Terrones de arcilla y partículas desmenusables. 47

4.6 Masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. 48

4.7 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. 49

4.8 Cemento Hidráulico. Determinación de la Densidad. 51

4.9 Cemento Hidráulico. Determinación del flujo en Morteros. 51

4.10 Dosificación del Mortero. 51

4.10.1 Relación agua-cemento 52

4.10.2 Consistencia del mortero. 53

4.10.3 Factores que influyen en el contenido de agua. 53

4.10.4 Cálculo de valor de b. 54

4.10.5 Cálculo de factor de n. 55

4.10.6 Cálculo contenido de cemento. 55

4.10.7 Cálculo contenido de agua. 56

4.10.8 Cálculo contenido de agregado fino. 56

4.11 Dosificación en estado seco. 57

4.12 Corrección de agua por humedad de agregados. 57

4.13 Dosificación en estado natural para 1 metro cúbico. 58

4.14 Cantidades para cubos con y sin nanosílice. 58

4.15 Nanosílice para 24 cubos en diferentes porcentajes. 60

Capítulo 5: Resultados. 62

5.1 Resistencia a la compresión de cubos de mortero con y sin inclusión de nanosílice a los 7 días. 62

5.2 Resistencia a la compresión de cubos de mortero con y sin inclusión de nanosílice a los 14 días. 63

5.3 Resistencia a la compresión de cubos de mortero con y sin inclusión de nanosílice a los 28 días. 64

5.4 Promedio de resultados. 65

5.5 Análisis de resultados. 65

5.6 Gráfica Influencia del nanosílice en el desarrollo de la resistencia a la compresión del mortero a distintas edades. 66

Conclusiones y Recomendaciones 67

Conclusiones: 67

Recomendaciones: 68

Bibliografía: 69

ANEXOS: 71

ANEXOS INFORMES DEL LABORATORIO: 71

ANEXOS FOTOGRAFIAS: 75

Lista de Tablas

Tabla 1 *Cálculo y resultado contenido de humedad árido fino* 44
Tabla 2 *Verificación de perdida en agregado fino* 45
Tabla 3 *Resultado cantidad más fino que 75µm* 46
Tabla 4 *Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables* 47
Tabla 5 *Cálculo y resultados densidad suelta árido fino* 48
Tabla 6 *Cálculo y resultados densidad compactada árido fino* 48
Tabla 7 *Cálculo y resultados densidad relativa SH* 49
Tabla 8 *Cálculo y resultados densidad relativa SSS* 49
Tabla 9 *Cálculo y resultados densidad relativa aparente SSS* 49
Tabla 10 *Cálculo y resultados densidad SH en kg/m^3* 50
Tabla 11 *Cálculo y resultados densidad SSS en kg/m^3* 50
Tabla 12 *Cálculo y resultados densidad aparente en kg/m^33* 50
Tabla 13 *Cálculo y resultados porcentaje de absorción* 50
Tabla 14 *Flujo de muestras 1,2 y 3 del mortero* 51
Tabla 15 *Datos generales para la dosificación del mortero* 52
Tabla 16 *Cálculo relación agua cemento* 53
Tabla 17 *Cálculo factor k* 54
Tabla 18 *Cálculo valor de b* 55
Tabla 19 *Resumen de cantidades para estado seco* 57
Tabla 20 *Dosificación final del mortero patrón* 58
Tabla 21 *Datos de cubos para ensayo* 58
Tabla 22 *Cálculo de cantidad de cemento para 24 cubos* 59
Tabla 23 *Cálculo de cantidad de arena para 24 cubos* 59
Tabla 24 *Cálculo de cantidad de agua para 24 cubos* 59
Tabla 25 *Cálculo de cantidad de agregados para 24 cubos* 59
Tabla 26 *Cálculo de peso de nanosílice con relación 1% respecto al peso cemento* 60
Tabla 27 *Cálculo dosificación para 24 cubos con 1% de nanosílice* 60
Tabla 28 *Cálculo de peso de nanosílice con relación 3% respecto al peso cemento* 60
Tabla 29 *Cálculo dosificación para 24 cubos con 3% de nanosílice* 60
Tabla 30 *Cálculo de peso de nanosílice con relación 5% respecto al peso cemento* 61
Tabla 31 *Cálculo dosificación para 24 cubos con 5% de nanosílice* 61
Tabla 32 *Tabla promedio de resistencia* 65

Tabla 33 *Tabla análisis de resultados a los 7 días* 65
Tabla 34 *Tabla análisis de resultados a los 14 días* 65
Tabla 35 *Tabla análisis de resultados a los 28 días* 66

Lista de Figuras

Imagen 1 *Mortero de albañilería* 5
Imagen 2 *Nanosílice* 9
Imagen 3 *Propiedades químicas del nanosílice* 10
Imagen 4 *Ensayo de fluidez* 12
Imagen 5 *Agregado fino* 14
Imagen 6 *Cemento campeón* 15
Imagen 7 *Tamaño de la muestra del árido* 16
Imagen 8 *Máxima cantidad de material retenido sobre un tamiz* 19
Imagen 9 *Límites de curva granulométrica agregado fino* 19
Imagen 10 *Curva granulométrica, límite superior e inferior* 20
Imagen 11 *Criterios para clasificación de arena* 21
Imagen 12 *Lavado del árido* 21
Imagen 13 *Escala de Gardner* 25
Imagen 14 *Colorímetro* 25
Imagen 15 *Tamaño de las partículas del árido fino* 27
Imagen 16 *Edad de ensayo* 43
Imagen 17 *Resultados ensayo granulométrico, agregado fino* 45
Imagen 18 *Curva granulométrica, agregado fino* 46
Imagen 19 *Ensayo colorimetría* 47
Imagen 20 *Densidad del cemento muestra 1* 51
Imagen 21 Ábaco relación agua-cemento 52
Imagen 22 *Tabla de fluidez del mortero* 53
Imagen 23 *Tabla elección valor de K* 53
Imagen 24 *Valores de b para distintas consistencias* 54
Imagen 25 *Resultados de ensayo de compresión a los 7 días de edad* 62
Imagen 26 *Resultados de ensayo de compresión a los 14 días de edad* 63
Imagen 27 *Resultados de ensayo de compresión a los 28 días de edad* 64
Imagen 28 *Gráfica resistencia a la compresión simple (MPa) vs Edad.* 66

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema de la investigación.

El mortero tradicional, compuesto por cemento, arena y agua, ha sido el material de unión preferido en la construcción durante siglos, presenta algunas limitaciones que no podemos ignorar. Comparado con otros materiales de construcción, el mortero tradicional muestra una menor resistencia a la compresión. Esto significa que, bajo cargas elevadas, puede agrietarse o incluso romperse, comprometiendo la integridad de algunos elementos estructurales. Esta limitación nos permitirá evaluar la posibilidad de aumentar la resistencia a la compresión incluyendo partículas de nanosílice en la composición del mortero tradicional.

¿Qué resistencia a la compresión tiene el mortero simple?

¿Existe diferencias significativas del aumento a la compresión entre el mortero simple y el mortero con inclusión de nanosílice?

1.2 Antecedentes.

Según la normativa Astm C1180-10 en el mundo de la construcción en mampostería, el mortero se rige como un elemento indispensable, aunque a menudo se los suele subestimar. Este material, equilibrado por una mezcla de arena, cemento, agua y, aditivos, en ocasiones, realiza un papel fundamental en la unión y adhesión de conjuntos de mampostería como bloques de concreto, ladrillos, piedras o ladrillos de barro. Entre sus propiedades esenciales se encuentra la resistencia a la compresión, una característica crucial que determina la capacidad del mortero para resistir cargas y esfuerzos no cediendo a la presión.

El mortero es un producto listo para usar que se emplea para unir bloques de mampostería y realizar enlucidos, revestimientos de elementos estructurales. Está compuesto por cemento, agregado fino y otros aditivos, y se presenta en forma premezclada.

Dando un paso adelante en la tecnología de aditivos para hormigón, según Bombón y Rosero este producto innovador se presenta como una alternativa al microsílice, un aditivo tradicional en hormigones de alto rendimiento, buscando superar sus limitaciones y ofrecer mejoras significativas en las propiedades mecánicas y físicas del hormigón.

Según Said, A se ha comprobado que la incorporación de nanosílice en las mezclas de hormigón produce un notable incremento en la reactividad, el desarrollo de la resistencia, el refinamiento de la estructura. Estos avances se atribuyen principalmente a la gran superficie de las partículas de nanosílice, que generan efectos puzolánicos y de relleno.

1.3 Justificación y significado.

El mortero es una parte fundamental en la construcción, ya que se utiliza para unir partes de mampostería como ladrillos, bloques de hormigón y piedras. Una de sus funciones principales es formar una estructura sólida y resistente, además de sellar las juntas entre los elementos para evitar la entrada de agua y otros agentes externos

El mortero tradicional, compuesto por cemento, arena y agua, ha sido el material de unión preferido en la construcción durante siglos, presenta algunas limitaciones que no podemos ignorar. Comparado con otros materiales de construcción, el mortero tradicional muestra una menor resistencia a la compresión. Esto significa que, bajo cargas elevadas, puede agrietarse o incluso romperse, comprometiendo la integridad

estructural de la edificación. Esta limitación nos permitirá evaluar la posibilidad de aumentar la resistencia a la compresión incluyendo partículas de nanosílice en la composición del mortero tradicional.

En el ámbito de la construcción, la nanotecnología ha irrumpido como una revolución, ofreciendo materiales con propiedades inigualables que superan las limitaciones de los materiales tradicionales. La nanosílice, un material nanoestructurado a base de sílice, se presenta como un aditivo prometedor para el mortero, con el potencial de significativamente aumentar su resistencia a la compresión.

Los estudios realizados al respecto han demostrado resultados alentadores, evidenciando considerable un aumento en la resistencia a la compresión del mortero cuando se incorpora nanosílice. Este avance tecnológico representa un paso significativo hacia la construcción del futuro, donde los materiales se adaptan a las necesidades de un mundo en constante cambio. La investigación desarrollará una metodología experimental donde inicialmente se diseñará la dosificación del mortero para llegar a las resistencias a la compresión simple descritas.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Estimación de la resistencia a la compresión simple de probetas para mortero de 18 MPa con y sin adición de 1%, 3% y 5% de nanosílice mediante ensayos de compresión a edades de curado de 7, 14 y 28 días para la evaluación de la resistencia a la compresión una variación.

1.4.2 Objetivos Específicos.

Diseñar la dosificación de un mortero simple mediante metodología ACI para medir su resistencia a la compresión.

Realizar probetas con la dosificación de mortero simple para medir la resistencia a la compresión a edades de 7, 14, 28 días mediante ensayo de compresión simple.

Adicionar porciones de nanosílice a la mezcla de mortero mediante el incremento de 1%, 3% y 5% respecto al cemento usado en la mezcla para relacionar la resistencia a la compresión simple de probetas con y sin inclusión de nanosílice en edades de 7, 14 y 28 días.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Mortero.

El precursor del cemento moderno es el mortero. Este material, presente desde la antigüedad, se compone fundamentalmente de arena, agua y un aglutinante que en el tiempo ha ido avanzando. El tipo de aglutinante utilizado depende del uso final del mortero. Los más comunes son la cal, el yeso y el cemento, que, al mezclarse con agua, fraguan lentamente.

Imagen 1. Mortero de albañilería.
Fuente: *Mortero para albañilería: definición, clasificación y aplicación*, Artículos Técnicos de Albañilería, 2024. (Derechos reservados).

El mortero según S. Pazmiño, compuesto por cemento, arena y agua se caracteriza por su alta resistencia en exteriores. Posee una notable dureza e impermeabilidad, aunque presenta una propensión a la formación de grietas. Para esta problemática se incorporará partículas de nanosílice al mortero de mampostería con la finalidad de relacionar la resistencia de un mortero simple y un mortero con la incorporación de nanosílice.

Se afirma que las propiedades mecánicas y físicas del mortero son comparables a las del hormigón. Esta similitud permite su uso extendido en la construcción, tanto para unir elementos de mampostería como para revestimientos. En esencia, el mortero es un material versátil con características similares al hormigón, lo que lo convierte en

una valiosa herramienta en diversos proyectos de construcción.

2.2 Componentes del mortero.

2.2.1 Cemento.

Según Castro Aguirre Julio Cesar un material como el cemento que se endurece al mezclarse con agua, esta propiedad lo convierte en un ligante hidráulico de gran utilidad en la construcción. Su principal aplicación se encuentra en la elaboración de hormigones y morteros, donde se combinan con otros materiales para formar estructuras resistentes y duraderas.

2.2.2 Agua.

Según Diego Sanches de Guzmán es crucial que el agua utilizada para preparar morteros no contenga impurezas disueltas, ya que estas podrían afectar el proceso de fraguado del cemento. Un agua limpia y libre de contaminantes garantiza el correcto desarrollo de las propiedades del mortero, como la durabilidad y resistencia. En otras palabras, la calidad del agua de amasado es un factor determinante para obtener un mortero de calidad. La presencia de impurezas en el agua puede provocar alteraciones en el fraguado del cemento, lo que se traduce en un mortero con menor resistencia y más propenso a fallos.

2.2.3 Agregado fino.

En la fabricación de morteros, el agregado fino, también conocido como arena, juega un papel fundamental. La arena según D. Sánchez se caracteriza por tener partículas de menos de 5 mm de diámetro, y las de río son consideradas las de mejor calidad debido a su bajo contenido de limos. En el mortero, el agregado fino actúa como material inerte, aportando solidez a la mezcla y evitando el resquebrajamiento que podría ocurrir si solo se utilizara el aglomerante (cal o cemento).

2.3 Aplicaciones del mortero.

El mortero, un material versátil, desempeña funciones cruciales en la construcción. Su aplicación en muros huecos, reparaciones y rejuntado lo convierte en un elemento clave para la estabilidad, estética y protección de las estructuras. En muros huecos el mortero rellena el interior creando una masa sólida que aumenta la resistencia estructural. Otra de sus propiedades es la reducción de la transmisión de sonido a través de las paredes. El mortero es un elemento crucial en la construcción, ya que permite unir ladrillos, bloques y otras unidades de mampostería para crear paredes, muros y diversas estructuras.

Según la norma técnica colombiana NTC 3356 El mortero no solo sirve para crear estructuras nuevas, sino que también es útil para reparar pequeños desperfectos y grietas en el hormigón existente. La elección del tipo de mortero adecuado para la reparación dependerá del tipo de hormigón que se vaya a reparar y de la gravedad del daño.

2.4 Ensayo de compresión.

El ensayo según Bombón y Rosero de compresión simple en morteros es una evaluación crucial para establecer la capacidad de resistir cargas de este material sin romperse. Este procedimiento se lleva a cabo en laboratorios de ingeniería civil y materiales de construcción con el objetivo de evaluar la resistencia a la compresión del mortero, una propiedad fundamental para su uso en estructuras.

En esencia, el ensayo consiste en aplicar una carga creciente sobre un espécimen cilíndrico de mortero hasta que este falle. El ensayo permite determinar si el mortero a usar en las construcciones podrá resistir las cargas esperadas. La resistencia a la compresión de un material es su aptitud para resistir el aplastamiento cuando se le aplica

una fuerza. Se determina dividiendo la carga máxima para la muestra puede soportar antes de fallar por el área de su sección transversal.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \qquad Ecuación\ N°\ 1$$

Dónde:

σc: resistencia a la compresión del material.

F: carga máxima aplicada al espécimen.

A: área de la sección transversal del espécimen.

Es fundamental verificar que la resistencia a la compresión del mortero utilizado en una construcción cumpla con los valores especificados en el proyecto o en las normas de construcción vigentes. Si la resistencia del mortero es inferior a la requerida, podría comprometer la seguridad de la estructura y generar problemas como grietas, deformaciones o incluso el colapso de la misma. El ensayo de compresión a cilindros de mortero es una herramienta crucial para evaluar su capacidad de soportar las cargas compresivas a las que se verá sometido en la estructura. Este ensayo permite determinar si el mortero cumple con los requisitos de resistencia.

2.5 Nanosílice.

El nanosílice según B. Pantoja, un material revolucionario en la ingeniería, está formado por partículas de sílice extremadamente pequeñas, de entre 1 y 100 nanómetros. Estas diminutas partículas poseen características únicas que las hacen muy prometedoras para diversas aplicaciones en ingeniería. El nanosílice se destaca por su alta actividad química ya que permite modificar las propiedades de los materiales. Una de sus propiedades es aumentar la resistencia a la compresión de los materiales que incluyan nanosílice ya que sus partículas rellenan poros y aumenta la resistencia. Se

dispersa fácilmente en diversos medios, como agua, cemento y polímeros, facilitando su incorporación en mezclas y materiales compuestos.

Imagen 2. Nanosílice.
Fuente: *Estudio de la incorporación de Nano Sílice en Concreto de Alto Desempeño (HPC),* Bombón y Rosero, 2021. (Derechos reservados).

El mortero, un material versátil, desempeña funciones cruciales en la construcción. Su aplicación en muros huecos, reparaciones y rejuntado lo convierte en un elemento clave para la estabilidad, estética y protección de las estructuras. En muros huecos el mortero rellena el interior creando una masa sólida que aumenta la resistencia estructural. Otra de sus propiedades es la reducción de la transmisión de sonido a través de las paredes.

El nanosílice, un material revolucionario con propiedades únicas, abre varias posibilidades en el campo de la ingeniería. Su versatilidad permite mejorar las propiedades de materiales existentes, desarrollar nuevos compuestos y crear tecnologías innovadoras en diversas áreas. A medida que la investigación avanza, el nanosílice se perfila como un elemento transformador del futuro de la ingeniería.

Punto de fusión (°C):	aprox. 1700
Solubilidad (agua):	Solubilidad difícil en agua
Solubilidad (disolventes orgánicos):	Insoluble/ligeramente soluble
Peso específico (agua = 1) (g/cm3):	2.2
Valor de pH:	3.7-4.5 (4 % peso sólido en agua)
Reflectancia:	94%

Imagen 3. Propiedades químicas del nanosílice.
Fuente: *Estudio de la incorporación de Nano Sílice en Concreto de Alto Desempeño (HPC)*, Bombón y Rosero, 2021. (Derechos reservados).

2.6 Dosificación del mortero.

El diseño de dosificación según D. Sánchez basado en pesos resulta más económico y preciso, logrando un equilibrio entre costos y propiedades mínimas requeridas, optimizando el uso de recursos. La práctica común de dosificar morteros por volumen en Latinoamérica, motivada por la tecnología limitada y los volúmenes de mezcla diarios que se practican en obra, es un error crítico, especialmente en proyectos grandes. Este método es impreciso, ya que no considera la humedad de la arena, lo que resulta en un control deficiente de los materiales y, por ende, en pérdidas económicas significativas.

2.7 Propiedades del mortero fresco.

2.7.1 Trabajabilidad.

La trabajabilidad según J. L. Pérez del mortero fresco es una cualidad crucial que define qué tan fácil resulta mezclarlo, transportarlo, colocarlo, compactarlo y darle un acabado sin que se separe en exceso. Un mortero con buena trabajabilidad permite una aplicación uniforme y eficiente, lo que se traduce en un trabajo de mayor calidad y una estructura más resistente. Un mortero con mala trabajabilidad se vuelve un obstáculo en el proceso de construcción. Se mezcla con dificultad, se adhiere mal a las superficies, se segrega y exuda, generando un trabajo tedioso y poco preciso. El resultado final es una mampostería irregular y propensa a grietas y fallas estructurales.

2.7.2 Tiempo de fraguado.

El fraguado según J. L. Pérez del mortero fresco es una transformación fundamental que lo convierte de una masa plástica y moldeable a un material sólido y resistente. Este proceso, también conocido como "endurecimiento", resulta crucial para la correcta aplicación del mortero y la adecuada unión entre los elementos de mampostería. El tiempo de fraguado del mortero fresco es una propiedad fundamental que debe considerarse cuidadosamente en todo proceso de construcción. Un fraguado adecuado garantiza la correcta aplicación del mortero, la adherencia entre los elementos de mampostería y el desarrollo de la resistencia necesaria para la estructura. La selección de materiales, el control de las condiciones ambientales y el uso de aditivos cuando sea necesario son claves para controlar el tiempo de fraguado y obtener resultados óptimos en la construcción.

2.7.3 Consistencia.

La consistencia según J. L. Pérez del mortero fresco es una cualidad fundamental que define qué tan fácil resulta mezclarlo, transportarlo, colocarlo, compactarlo y darle un acabado sin que se separe o exude en exceso. Un mortero con buena consistencia permite una aplicación uniforme y eficiente, lo que se traduce en un trabajo de mayor calidad y una estructura más resistente. Esto permite que exista una buena adherencia a las unidades de mampostería para garantizar una unión duradera y sólida.

Imagen 4. Ensayo de fluidez.
Fuente: *Morteros de mampostería*, Nilson Trochez, 2014. (Derechos reservados).

2.7.4 Retención del agua.

En el mundo de la construcción, el mortero fresco juega un papel crucial como elemento aglutinante. Entre sus propiedades según J. L. Pérez la retención de agua destaca como una característica fundamental que determina su desempeño y calidad. Esta capacidad del mortero para mantener el agua necesaria durante el mezclado, colocación y fraguado es esencial para lograr resultados óptimos.

2.7.5 Densidad.

En esencia, la densidad del mortero fresco tiene como característica fundamental que es su trabajabilidad es decir que tan fácil se trabaja con la mezcla, qué tan resistente será una vez seco y otras propiedades importantes para su uso en la construcción. La densidad del mortero según J. L. Pérez fresco es una propiedad importante que debe ser considerada al preparar morteros para diferentes aplicaciones en construcción, entender los factores que influyen en la densidad del mortero fresco y cómo medirla con precisión nos abre las puertas a un uso más inteligente de este material.

2.7.6 Adherencia.

Según J. L. Pérez el mortero fresco está formado por una mezcla de cemento, arena, agua y, en ocasiones, aditivos. Al entrar en conexión con el agua, el cemento se hidrata y genera una pasta que, al combinarse con los áridos, crea una red de enlaces microscópicos. Estos enlaces, como pequeños "ganchos" invisibles, se adhieren a las irregularidades de las superficies, uniéndolas con gran fuerza. La adherencia del mortero fresco es una propiedad fundamental para el éxito de las construcciones.

2.8 Propiedades del mortero endurecido.

2.8.1 Resistencia a la compresión.

Según Oscar Rodríguez Mora el mortero, una mezcla de cemento, arena y agua, cumple una función crucial en la construcción al actuar como elemento de unión entre ladrillos, bloques u otros elementos. Su capacidad para soportar cargas y mantener la integridad estructural de la obra depende de diversas propiedades, entre las que destaca la resistencia a la compresión. En cuestión de un mortero compuesto con el mismo cemento, pero diferentes tamaños de agregado, dos leyes fundamentales se implementan a su resistencia. La primera establece que, con un mismo agregado, la resistencia y la impermeabilidad del mortero son mayores cuando se utiliza un mayor porcentaje de cemento en un volumen determinado. La segunda ley indica que, manteniendo el mismo porcentaje de cemento en el volumen del mortero, la resistencia y la impermeabilidad son superiores en aquel que posee una mayor densidad, es decir, que contiene un mayor porcentaje de materiales sólidos en una unidad de volumen.

Capítulo 3: Metodología

3.1 Caracterización de los materiales.

Según Salcedo, J. (2024), la caracterización de materiales en ingeniería civil implica la identificación y el análisis exhaustivo de sus atributos físicos, químicos, mecánicos y de durabilidad. Este estudio detallado busca correlacionar la composición interna del material con su desempeño en situaciones prácticas, posibilitando la predicción de su conducta y confiabilidad a largo plazo en las construcciones.

3.2 Origen de los agregados.

La procedencia de los agregados utilizados en la construcción se categoriza fundamentalmente por su forma geológica, es decir, el tipo de roca madre y los procesos naturales involucrados en su formación, así como por la manera en que son extraídos y procesados para su uso.

3.2.1 Agregado Fino.

Según Salcedo, J. (2024), las arenas manufacturadas de Holcim están compuestas por andesitas basálticas provenientes de flujos lávicos asociados a los volcánicos de Guambi.

Imagen 5. Agregado fino.
Fuente: *Propia,2025.*

3.2.2 Cemento.

Este tipo de cemento permite lograr las resistencias a la compresión necesarias en cualquier momento, alcanzando fácilmente los 35 MPa en condiciones estándar. Además, su resistencia continúa aumentando significativamente después del período usual de 28 días, llegando incluso a superar en un 20% este valor a los 90 días.

Imagen 6. Cemento campeón.
Fuente: *Ficha técnica cemento campeón*, UNACEM, 2024. (Derechos reservados).

3.3 Ensayo determinación del contenido total de humedad (NTE INEN 862).

Esta norma describe el procedimiento para cuantificar el porcentaje de humedad que puede evaporarse al secar una muestra de áridos, abarcando tanto la humedad presente en la superficie de las partículas como la absorbida dentro de sus poros.

Procedimiento:

Se debe obtener una porción de árido que represente fielmente el nivel de humedad del material que se va a analizar, con una masa igual o superior a la indicada en la Tabla 1. Antes de pesar esta muestra, es crucial protegerla para evitar cualquier pérdida de humedad.

TABLA 1. Tamaño de la muestra de árido

Tamaño máximo nominal del árido (mm) [A]	Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (kg) [B]
4,75	0,5
9,5	1,5
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

[A] Basado en tamices que cumplen la NTE INEN 154.
[B] Para áridos de baja densidad, determinar la masa mínima de la muestra multiplicando el valor señalado por la masa unitaria seca (peso volumétrico) del árido, en kg/m³ (determinado utilizando el procedimiento señalado en la NTE INEN 858) y dividiendo para 1 600

Imagen 7. Tamaño de la muestra del árido.
Fuente: *Determinación del contenido total de humedad*, NTE INEN 862:2011. (Derechos reservados).

Se determina la masa de la muestra con una exactitud del 0,1%.

Para secar completamente la muestra dentro de su recipiente, se debe usar la fuente de calor seleccionada con cuidado, evitando que las partículas se dispersen, ya que un aumento brusco de temperatura podría provocar que estalle.

Se sugiere utilizar un horno con control de temperatura si el calor intenso puede afectar las características del árido o cuando se necesita mayor exactitud. Si se opta por otro método de calentamiento, es importante remover la muestra durante el secado para agilizar el proceso y evitar que zonas específicas se calienten en exceso; sin embargo, esta agitación no es obligatoria al emplear un microondas.

Cálculos:

Contenido de humedad evaporable:

$$P = 100 * \frac{(W - D)}{D} \qquad Ecuación\ N°2$$

Donde:

P: Porcentaje de humedad total evaporable presente en la muestra.

W: masa de la muestra original, g.

D: masa de la muestra seca, g.

3.4 Ensayo de granulometría y módulo de finura (NTE INEN 696).

El método de tamizado se utiliza para analizar la granulometría de áridos finos y gruesos, utilizando una serie de tamices con mallas de diferentes tamaños que permiten separar las partículas según su diámetro.

Ciertas especificaciones para áridos, relacionadas con este método de ensayo, establecen requisitos granulométricos que abarcan tanto áridos finos como gruesos. En estos casos, se incluyen instrucciones específicas para realizar el análisis granulométrico de estos materiales.

Este método permite analizar la distribución granulométrica de áridos, ya sea en su estado natural o después de su empleo. Los datos obtenidos ayudan a comprobar el cumplimiento de los estándares establecidos para los tamaños de partícula, además de ser clave para monitorear la fabricación de productos derivados de áridos y mezclas que los contengan. Asimismo, los resultados aportan datos relevantes para estudiar características como la porosidad y la estructura del material compactado.

Procedimiento para realizar el ensayo:

La muestra de áridos (finos y gruesos) debe secarse en un horno regulado a una temperatura de 110 °C ± 5 °C. El secado se prolonga hasta obtener masa constante, garantizando así la eliminación completa del agua contenida en el material.

Sacar del horno y dejar que la muestra llegue a una temperatura de 50°C.

Registrar los pesos de las muestras en estado seco.

Se pesa el recipiente sin el agregado fino.

Obtener una muestra representativa del agregado fino.

Se procede a pesar el recipiente incluido la muestra del agregado fino.

Se aplica la fórmula para obtener el peso del agregado fino:

$$Peso.Af = (Peso.Af + Peso.recipiente) - Peso.recipiente \qquad Ecuación\ N°\ 3$$

Limpiar los tamices a utilizar con el cepillo de cerdas de latón.

Registrar los pesos de los diferentes tamices a utilizar en el ensayo.

Se coloca los tamices: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200 en este orden como especifica la normativa.

Se coloca el agregado fino en el primer tamiz de manera uniforme para no saturarlo.

Tamizar el agregado por al menos 10 minutos.

Medir la masa retenida en cada tamiz utilizando una balanza y registrar los valores obtenidos.

Realizar el cálculo granulométrico.

TABLA 2. Máxima cantidad permitida de material retenido sobre un tamiz, en kg.

Tamaño de abertura del tamiz (mm)	Tamiz de dimensiones nominales				
	Ø = 203,2 mm [A]	Ø = 254 mm [A]	Ø = 304,8 mm [A]	350 X 350 mm	372 X 580 mm
	Área de tamizado, (m²)				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	[B]	[B]	[B]	[B]	67,4
100	[B]	[B]	[B]	30,6	53,9
90	[B]	[B]	15,1	27,6	48,5
75	[B]	8,6	12,6	23,0	40,5
63	[B]	7,2	10,6	19,3	34,0
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0	1,4	2,2	3,2	5,8	10,5
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,80	1,5	2,6

[A] El área para los tamices de marcos redondos se basa en un diámetro efectivo de 12,7 mm, menor que el diámetro nominal del marco, porque la NTE INEN 154 permite que el sello entre la tela del tamiz y el marco se extienda a 6,35 mm sobre la tela del tamiz. Así el diámetro efectivo de tamizado para un tamiz con un marco de diámetro de 203,2 mm es de 190,5 mm. En tamices elaborados por algunos fabricantes el sello no se extiende en la tela del tamiz los 6,35 mm completos.

[B] Los tamices indicados tienen menos de cinco aberturas completas y no deben ser utilizados para el ensayo de tamizado, excepto por lo indicado en el numeral 5.4.6.

Imagen 8. Máxima cantidad de material retenido sobre un tamiz.
Fuente: *Granulometría y módulo de finura*, NTE INEN 696:2011. (Derechos reservados).

Cálculos:

Graficar la curva granulométrica representando en el eje X (logarítmico) el tamaño de partícula (mm) y en el eje Y (lineal) el porcentaje acumulado que pasa.

Limites curva granulométrica			
Límite inferior		Límite superior	
Abertura	% que pasa	Abertura	% que pasa
9.5	100	9.5	100
4.75	95	4.75	100
2.36	80	2.36	100
1.18	50	1.18	85
0.6	25	0.6	60
0.3	5	0.3	30
0.15	0	0.15	10

Imagen 9. Límites de curva granulométrica agregado fino.
Fuente: *Granulometría y módulo de finura*, NTE INEN 696:2011. (Derechos reservados).

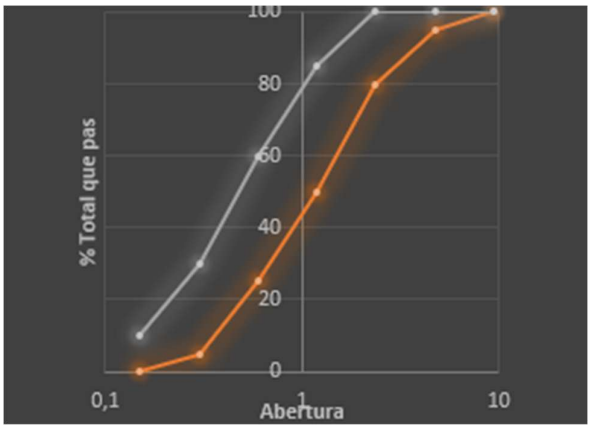


Imagen 10. Curva granulométrica, límite superior e inferior.
Fuente: *Granulometría y módulo de finura*, NTE INEN 696:2011. (Derechos reservados).

La norma INEN NTE 696 establece un límite máximo de pérdida de material del 0.3% durante el ensayo, asegurando así la integridad y calidad del material evaluado.

$$\frac{\sum Ret - mo}{\sum \%Ret} * 100 < 0.3 \qquad Ecuación\ N°4$$

Donde:

∑Ret = Sumatoria retenido en cada tamiz.

mo = Muestra original.

∑ %Ret=Sumatoria de porcentaje de retenido.

Módulo de finura.

Para calcular el módulo de finura del agregado fino, se utilizan todos los tamices de la serie que va desde 3/4" hasta el tamiz N° 100, incluyendo todos los tamices intermedios de esa serie.

$$Mf = \frac{\sum \%retenido\ acumulado}{100} \qquad Ecuación\ N°5$$

Donde:

Mf= Modulo de finura.

∑% retenido acumulado= sumatoria del porcentaje de retenidos acumulados de la serie de tamices que se incluyen en el ensayo para cálculo de módulo de finura.

Criterios para clasificación de arena.

Mf entre 2.3	3.1 arena fina
Mf entre 3.1	3.5 arena media
Mf entre 3.5	4 arena gruesa

Imagen 11. Criterios para clasificación de arena.
Fuente: *Granulometría y módulo de finura*, NTE INEN 696:2011. (Derechos reservados).

3.5 Ensayo cantidad de material más fino que 75µm (NTE INEN 697).

Este método de ensayo define cómo se debe realizar el lavado de un árido para determinar la cantidad de material fino (menor a 75 micrómetros o tamiz No. 200) que contiene. El proceso consiste en tamizar el material mientras se lava con agua, recolectando el material fino que pasa por el tamiz y pesándolo para calcular su porcentaje en la muestra original.

Imagen 12. Lavado del árido.
Fuente: *Propia, 2025.*

La norma presenta dos métodos para realizar el ensayo: A, lavado con agua: El árido se tamiza únicamente con agua, recolectando el material fino que pasa por el tamiz No. 200 y el procedimiento B, lavado con agente dispersor: Se agrega un dispersante al agua para facilitar la separación del material fino del material más grueso, mejorando la precisión del tamizado. La elección del método depende del tipo de árido y de la precisión requerida en la determinación del material fino.

En general, se debe utilizar el método A (lavado con agua solamente) para determinar el material fino en áridos, a menos que se indique lo contrario en las especificaciones del proyecto.

Procedimiento del ensayo tipo A:

La muestra debe secarse en horno a 110°C ± 5°C hasta alcanzar masa constante, determinando su peso con una precisión del 0.1% respecto a la masa total de la muestra.

Para determinar la cantidad de material que pasa por el tamiz 75 μm (No. 200), se separa la muestra por el tamiz designado y se pesa la fracción que pasa con precisión de 0,1%. Esta masa se considera la masa seca original de la muestra de ensayo.

Una vez seca y pesada la muestra, se coloca en un recipiente adecuado y se agrega agua hasta cubrirla completamente. Es importante no añadir al agua detergente, agentes dispersantes u otras sustancias.

Se agita la muestra vigorosamente para lograr la completa separación de las partículas más finas (menos de 75 μm) de las más gruesas, dispersando el material fino en la suspensión.

El agua de lavado con los sólidos en suspensión y disolución se filtra directamente a través de la batería de tamices, dispuestos en orden descendente (de mayor a menor abertura), evitando la sedimentación prematura de las partículas gruesas.

Se añade una nueva porción de agua al recipiente con la muestra, se agita y se decanta siguiendo el mismo procedimiento inicial. Esta operación se repite iterativamente hasta que el agua de lavado presente claridad visual.

Todo el material retenido en los tamices se recupera mediante enjuague con agua de lavado usando una boquilla de spray, devolviéndolo al recipiente original. Posteriormente, el árido se seca en horno a 110±5°C hasta obtener masa constante.

Finalmente, se determina la masa con una precisión de 0,1% de la masa original de la muestra.

Cálculos:

Para este ensayo se utilizará el método A como indica en la normativa.

$$A = \frac{B - C}{B} * 100\% \qquad Ecuación\ N°6$$

Dónde:

A: porcentaje de partículas finas que atraviesan el tamiz N°200 (75 μm) determinado mediante el método de lavado.

B: masa seca original de la muestra en g.

C: masa seca de la muestra después del lavado en g.

3.6 Ensayo de impurezas orgánicas (NTE INEN 855).

Este análisis permite identificar la posible presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en arenas destinadas a la producción de morteros de cemento o concreto. Constituye un método indicativo que evalúa si el material contiene sustancias orgánicas capaces de comprometer las propiedades del producto final. Cabe señalar que se trata de una prueba preliminar que no sustituye a ensayos más rigurosos cuando se detectan concentraciones relevantes de contaminantes.

Procedimiento para realizar el ensayo:

Pesar una muestra de aproximadamente 450g del agregado fino seco.

Colocar en una botella de vidrio la muestra del agregado fino a ensayar.

Incorporar la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen total de la mezcla, conformada por el agregado fino y el líquido, alcance las 7 onzas fluidas una vez agitada cuidadosamente.

Una vez cerrada herméticamente, la botella debe agitarse vigorosamente y posteriormente dejarse en reposo durante un período de 24 horas.

Para una determinación precisa del color del líquido en una muestra de ensayo, se requiere el uso de cinco vidrios de color normalizado. Estos vidrios actúan como un estándar visual, permitiendo comparar el color del líquido con una referencia conocida y objetiva. Al utilizar estos vidrios de color normalizado, se minimizan las variaciones subjetivas en la apreciación del color, asegurando una evaluación más precisa y consistente del líquido sobrenadante.

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5
NOTA. Se debe utilizar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 5.7.1, excepto que se debe reportar el número del vidrio del comparador que es más cercano al color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo. Cuando se utiliza este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color normalizado.	

Imagen 13. Escala de Gardner.
Fuente: *Impurezas orgánicas*, NTE INEN 855:2010. (Derechos reservados).

Cálculos:

Comparar la botella que contiene el árido fino con la paleta de vidrios de color normalizado.

Imagen 14. Colorímetro.
Fuente: *Propia*, 2025.

3.7 Ensayo de terrones de arcilla y partículas desmenusables (NTE INEN 698).

Esta norma define un procedimiento para estimar la cantidad de terrones de arcilla y partículas que se deshacen fácilmente presentes en los áridos utilizados en la producción de hormigón. El objetivo principal de este método de ensayo es evaluar si los áridos cumplen con los requisitos de calidad necesarios para su uso en la fabricación de

hormigón, asegurando así la integridad y durabilidad de las estructuras construidas con este material.

Procedimiento para realizar el ensayo:

Las muestras de árido fino deben consistir en partículas que no pasen a través de un tamiz de 1,18 mm (No. 16) y deben tener un peso de al menos 25 gramos.

Para llevar a cabo el ensayo, se pesa la muestra con la precisión indicada, se distribuye uniformemente en el fondo del recipiente, se cubre completamente con agua destilada y se deja en remojo durante un periodo de 24 horas, con una tolerancia de más o menos 4 horas.

El procedimiento implica manipular cada partícula individualmente, haciéndolas rodar y apretándolas entre el pulgar y el índice, con el fin de determinar si se desintegran bajo esta presión manual.

Es crucial realizar esta acción sin recurrir al uso de las uñas, ni presionar las partículas contra superficies duras o entre sí, para evitar una fragmentación indebida que altere los resultados del ensayo.

Cualquier partícula que se desintegre bajo la presión de los dedos en fragmentos finos, los cuales puedan ser eliminados mediante un tamizado con agua, debe ser catalogada como un terrón de arcilla o una partícula desmenuzable.

Una vez desagregados todos los terrones de arcilla y partículas friables visibles, se realiza la separación de los residuos mediante lavado sobre el tamiz indicado en la tabla adjunta:

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Masa de la muestra de ensayo, mínimo (g)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a ⅜")	1 000
9,5 mm a 19,0 mm (⅜" a ¾")	2 000
19,0 mm a 37,5 mm (¾" a 1½")	3 000
Sobre 37,5 mm (1½")	5 000

Imagen 15. Tamaño de las partículas del árido fino.
Fuente: *Terrones de arcillas y partículas desmenuzables*, NTE INEN 698:2010. (Derechos reservados).

Efectuar el tamizado húmedo haciendo circular agua a través del tamiz con la muestra mientras se agita manualmente, hasta que todo el material fino haya sido completamente removido.

Finalizado el tamizado húmedo, se recolectan las partículas retenidas en el tamiz, las cuales se secan en horno a 110±5°C hasta peso constante. Tras enfriar a temperatura ambiente, se pesan con precisión de 0.1% respecto a la masa inicial de la muestra.

Cálculos:

$$P = \left[\left(\frac{M - R}{M}\right)\right] * 100\% \qquad Ecuación\ N°7$$

P= porcentaje de terrones de arcillas y partículas desmenuzables.

M= masa de la muestra de ensayo.

R= masa de las partículas retenidas en el tamiz.

3.8 Ensayo determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858).

Concluido el proceso de tamizado húmedo, se recupera meticulosamente el material retenido en el tamiz, sometiéndolo a secado en horno regulado a 110°C (±5°C) hasta alcanzar masa invariable. Posterior al enfriamiento en condiciones ambientales controladas (25±2°C), se determina su peso con una exactitud del 0.1% en relación al peso original de la muestra.

El método consiste en compactar el árido dentro de un molde calibrado mediante uno de los tres procedimientos normalizados, para luego determinar su densidad aparente y porcentaje de huecos mediante las ecuaciones establecidas en la norma.

Procedimiento:

El llenado por paladas para determinar la masa unitaria suelta únicamente se aplicará cuando la normativa lo establezca de manera explícita; en los demás casos, la masa unitaria compactada deberá obtenerse mediante varillado para áridos con tamaño máximo nominal ≤37,5 mm o mediante sacudidas cuando el tamaño se encuentre entre 37,5 mm y 125 mm, siguiendo los protocolos estandarizados correspondientes.

Se vierte el árido hasta cubrir un tercio de la capacidad del molde, se nivela manualmente la superficie, y luego se compacta aplicando 25 golpes uniformemente distribuidos con la varilla de compactación.

Se continúa el llenado hasta alcanzar dos tercios de la capacidad del molde, nivelando y compactando igual que la capa anterior; luego se completa hasta rebasar el borde, repitiendo la compactación, y finalmente se enrasa manualmente o con regla, permitiendo que las partículas prominentes compensen los vacíos superficiales justo bajo el borde superior.

Durante la compactación de la primera capa, se deben evitar impactos fuertes contra el fondo del molde, mientras que en las capas segunda y tercera la compactación debe ser más enérgica, cuidando que la varilla no penetre en las capas inferiores ya compactadas.

Es necesario pesar y registrar tanto la masa del molde vacío como la del molde con el árido, empleando una balanza con resolución mínima de 0,05 kg para garantizar la precisión requerida en ambas mediciones.

Cálculos:

Masa unitaria (peso volumétrico):

$$M = \frac{(G - T)}{V} \qquad Ecuación\ N° 8$$

Donde:

M: masa unitaria.

G: masa del árido más el molde, kg.

T: masa del molde, kg.

V: volumen del molde, m³.

Masa unitaria (peso volumétrico) en condición SSS:

$$Msss = M\left[1 + (\frac{A}{100})\right] \qquad Ecuación\ N° 9$$

Donde:

Msss: masa unitaria en condición SSS, kg/m³.

A: % de absorción.

Contenido de vacíos:

$$Vacíos, \% = \frac{[(S\ M) - Da]100}{(S \quad Da)} \qquad Ecuación\ N° 10$$

Donde:

M: masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³.

S: gravedad específica (en condición seca).

Da: densidad del agua, 998 kg/m³.

Volumen del molde:

$$V = \frac{(W - M)}{D} \qquad Ecuación\ N° 11$$

$$F = \frac{D}{(W - M)} \qquad Ecuación\ N° 12$$

Donde:

V: volumen del molde, m³.

W: masa del agua, placa de vidrio y molde, kg.

M: masa de la placa de vidrio y molde, kg.

D: densidad del agua para la temperatura de medición, kg/m³.

F: factor del molde, 1/m³.

3.9 Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. (NTE INEN 856).

Este ensayo determina la densidad promedio (en estados seco al horno - SH, saturado superficialmente seco - SSS o aparente), la densidad relativa (gravedad específica en sus tres variantes) y la absorción de árido fino, excluyendo vacíos interpartículas. Las mediciones SH se realizan post-secado, mientras que las SSS y absorción requieren previa saturación controlada en agua.

Procedimiento para realizar el ensayo:

La muestra se seca en un horno a una temperatura de 110 °C con una tolerancia de ±5 °C hasta alcanzar peso constante, luego se enfría a aproximadamente 50 °C para facilitar su manejo. Posteriormente, se humedece con agua hasta obtener un mínimo del 6% de humedad y se deja reposar durante un período de 24 horas, con un margen de ±4 horas.

Se elimina el exceso de agua por decantación, evitando la pérdida significativa de material fino. Luego, la muestra se extiende sobre una superficie lisa y no absorbente, exponiéndola a una corriente suave de aire caliente mientras se mezcla con frecuencia para garantizar un secado homogéneo. Cuando sea posible, pueden emplearse equipos mecánicos, como un agitador, para lograr una humedad superficial uniforme.

El primer ensayo se realiza con la muestra aún húmeda, secándola y agitándola constantemente mientras se realizan pruebas frecuentes para determinar el punto de saturación superficialmente seca; si la prueba inicial indica ausencia de humedad superficial, se humedece la muestra con unos pocos centímetros cúbicos de agua y se deja reposar cubierta durante 30 minutos.

Humedad superficial

Para la compactación, se ubica el molde sobre una base plana y no porosa, se vierte el árido fino parcialmente seco y se agrega más material hasta llenarlo. Luego, se compacta mediante 25 golpes suaves con el pisón, iniciando cada uno a unos 5 mm por encima de la superficie y dejando que el compactador caiga libremente por su propio peso.

Después de cada golpe de compactación, se ajusta la altura del compactador a la nueva elevación del árido y se distribuyen los golpes uniformemente; se retira cualquier árido que haya caído fuera del molde y se levanta el molde verticalmente, donde si el árido conserva la forma del molde indica presencia de humedad superficial, mientras que, si se desmorona ligeramente, se ha alcanzado la condición de superficie seca.

Procedimiento Gravimétrico

El ensayo se lleva a cabo llenando un picnómetro parcialmente con agua, incorporando luego 500 g ± 10 g de árido fino en condición saturada y superficialmente seco. Posteriormente, se completa con agua hasta alcanzar cerca del 90% de su capacidad total, procediendo a agitar manualmente el picnómetro según el método establecido.

Para eliminar las burbujas de aire visibles dentro del picnómetro, se deben realizar movimientos de rotación, inversión y agitación, o una combinación de estos, asegurando que el líquido y el árido fino se mezclen adecuadamente y que el aire atrapado sea liberado.

Tras eliminar las burbujas de aire, se estabiliza la temperatura del picnómetro y su contenido a 23,0 °C ± 2,0 °C mediante inmersión parcial en un baño de agua circulante si fuera necesario. A continuación, se ajusta el nivel del líquido hasta alcanzar la marca

de calibración y finalmente se registra la masa total del conjunto: picnómetro, muestra y agua.

El procedimiento finaliza extrayendo el árido fino del picnómetro y secándolo en horno a 110 °C ± 5 °C hasta peso constante. Posteriormente, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 hora ± 30 minutos y se registra su masa. Como etapa final, se mide la masa del picnómetro completamente lleno de agua hasta la marca de calibración, manteniendo el líquido a 23,0 °C ± 2,0 °C.

Cálculos:

Densidad Relativa:

$$SH = \frac{A}{B + S - C} \qquad Ecuación\ N°13$$

Donde:

SH = Densidad relativa (gravedad especifica).

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

Densidad Relativa:

$$SSS = \frac{S}{B + S - C} \qquad Ecuación\ N°14$$

Donde:

SSS = Densidad relativa (gravedad especifica), saturada superficialmente seca.

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

Densidad relativa aparente:

$$Da = \frac{A}{B + A - C} \qquad Ecuación\ N°15$$

Donde:

Da = Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

A = Masa de la muestra seca al horno.

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

Densidad SH:

$$DSH = \frac{997.5A}{B + S - C} \qquad Ecuación\ N°16$$

Donde:

DSH = Densidad (SH), kg/m³

A = Masa de la muestra seca al horno.

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

Densidad SSS:

$$DSSS = \frac{997.5S}{B + S - C} \qquad Ecuación\ N°17$$

Donde:

DSSS = Densidad (SSS), kg/m (saturada superficialmente seca).

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

Densidad aparente:

$$DASSS = \frac{997.5A}{B + A - C} \qquad Ecuación\ N°18$$

Donde:

DSSS = Densidad aparente (SSS), kg/m (saturada superficialmente seca).

B= Masa del picnómetro lleno solamente con agua.

C= Masa del picnómetro lleno con agua y muestra.

A = Masa de la muestra seca al horno.

Absorción:

$$As = \frac{S - A}{A} * 100 \qquad Ecuación\ N°\ 19$$

Donde:

As= Absorción (%).

A = Masa de la muestra seca al horno.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca utilizada para picnómetro.

3.10 Cemento Hidráulico. Determinación de la Densidad. (NTE INEN 156).

Se empleó cemento hidráulico Campeón de Selva Alegre tipo HS, diseñado para morteros de alta resistencia y adecuado para cumplir las resistencias a compresión requeridas a diferentes edades.

Esta normativa se enfoca en otros aspectos y no aborda completamente las consideraciones de seguridad relacionadas con su aplicación. Por lo tanto, es deber del usuario implementar las medidas de seguridad y salud adecuadas, así como verificar las regulaciones pertinentes antes de utilizarla.

El cálculo de la densidad del cemento hidráulico se fundamenta en cuantificar el peso de una muestra de cemento y medir el volumen desplazado por esta al sumergirse en un líquido inerte contenido en un frasco Le Chatelier, determinando finalmente la proporción entre estos dos valores medidos.

Procedimiento:

Para cemento portland se procederá a tomar una muestra de 64g con una aproximado de 0.05g.

El procedimiento requiere llenar el frasco con queroseno o nafta hasta que el nivel del líquido se sitúe entre las graduaciones de 0 cm^3 y 1 cm^3 localizadas en la base del cuello del recipiente. Una vez alcanzado el nivel adecuado, debe eliminarse cualquier resto de líquido en las paredes internas del frasco por encima de la superficie del fluido.

Finalmente, se anota la primera lectura una vez que el frasco se haya sumergido en un baño de agua.

El cemento, cuya masa ya se ha determinado, se añade al frasco en pequeñas porciones, manteniendo la misma temperatura que el líquido y procurando no salpicar ni que se adhiera a las paredes del frasco por encima del nivel del líquido. Para facilitar la introducción del cemento y evitar obstrucciones en el cuello, se puede emplear un vibrador.

Una vez introducido todo el cemento, se tapa el frasco y se hace rodar inclinado o se gira suavemente en círculos horizontales para eliminar las burbujas de aire hasta que cese su ascenso. Si la cantidad de cemento es correcta, el nivel del líquido alcanzará una posición dentro de las graduaciones superiores del cuello, cuya lectura final se registrará tras sumergir nuevamente el frasco en el baño de agua.

Para asegurar la precisión de las lecturas, el frasco debe sumergirse en un baño de agua a temperatura constante durante el tiempo necesario para que la variación de temperatura dentro del frasco entre la lectura inicial y la final no exceda los 0,2°C.

Cálculos:

Densidad del cemento:

$$\rho\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \left(\frac{Mg}{m^3}\right) = \frac{masa\ del\ cemento, g}{volumen\ desplazado, cm^3} \qquad Ecuación\ N°\ 20$$

Gravedad Específica:

$$Gr.esp = \frac{densidad\ del\ cemento}{densidad\ del\ agua\ a\ 4°C} \qquad Ecuación\ N°\ 21$$

3.11 Cemento Hidráulico. Determinación del flujo en Morteros. (NTE INEN 2502).

Esta normativa se enfoca en la medición de la fluidez tanto de morteros de cemento hidráulico como de aquellos que incorporan otros materiales cementantes. Aunque la fluidez no suele especificarse en las normas del cemento hidráulico, sí es un parámetro común en los procedimientos de ensayo que exigen un contenido de agua en el mortero capaz de alcanzar un nivel de fluidez determinado.

El procedimiento establecido en esta norma consiste en determinar el porcentaje de expansión del diámetro inferior de una muestra de mortero de cemento hidráulico, medida en la mesa de fluidez. Esta expansión se genera mediante la aplicación de 25 golpes en un intervalo de 15 segundos, salvo que se indiquen condiciones diferentes.

Procedimiento:

El procedimiento inicia con la limpieza y secado de la mesa de flujo, seguido del posicionamiento del molde en su centro. Se vierte una primera capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor, la cual se compacta mediante 20 golpes uniformes del pisón, asegurando una distribución homogénea. Posteriormente, se completa el llenado del molde y se repite la compactación con otros 20 golpes. Para finalizar, se nivela la superficie del mortero al ras del borde del molde utilizando movimientos de vaivén con una llana o espátula, garantizando así una superficie completamente plana y uniforme.

Después de limpiar y secar la superficie de la mesa, y de retirar cuidadosamente cualquier resto de agua alrededor del molde, se levanta este un minuto después de haber completado el llenado. Acto seguido, se deja caer la mesa 25 veces en un lapso de 15 segundos, a menos que se indique otro procedimiento.

Al medir el diámetro del mortero expandido, si se emplea un calibrador específico, se deben registrar las lecturas a lo largo de las cuatro líneas marcadas en la mesa, expresando cada diámetro en divisiones del calibrador con una estimación de hasta una décima de división. En caso de usar otro tipo de calibrador, la medición del diámetro en las mismas cuatro líneas se registrará con una precisión de un milímetro.

Cálculos:

Suma de diámetros obtenidos en el ensayo.

3.12 Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. (NTE INEN 488).

Esta norma establece el método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico utilizando probetas cúbicas de 50 mm de arista. El procedimiento descrito permite cuantificar la capacidad resistente tanto del cemento como de otros morteros, proporcionando datos fundamentales para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos. Además, el método constituye una referencia técnica empleada en diversas especificaciones y protocolos de ensayo relacionados.

Procedimiento:

El ensayo utiliza un mortero compuesto por 1 parte de cemento y 2,75 partes de arena en peso. Para cementos portland (convencionales o con aire incluido), se emplea una relación agua/cemento definido, mientras que en otros tipos de cemento se regula el agua hasta alcanzar una fluidez de 110±5% tras 25 golpes en la mesa de fluidez. El mortero se compacta en moldes cúbicos de 50 mm en dos capas apisonadas, que tras 24 horas de curado en moldes se desencofran y sumergen en agua saturada de cal hasta el ensayo de

compresión, donde se determina su resistencia máxima mediante carga progresiva. Este método garantiza condiciones estandarizadas para evaluar la capacidad resistente del material.

Preparación muestras de ensayo:

Para cada etapa o edad en la que se vaya a realizar la prueba, se deben preparar dos o tres muestras a partir de la misma mezcla de mortero.

Para garantizar un desmolde adecuado, se debe recubrir las caras internas del molde y las placas base no absorbentes con una fina capa de desmoldante (aceite o grasa), aplicándolo con un trapo o herramienta adecuada y distribuyéndolo uniformemente mediante frotación para eliminar el exceso y obtener una película delgada y homogénea que facilite la liberación de las probetas.

Cuando se emplee un desmoldante en aerosol, este deberá pulverizarse uniformemente sobre las superficies del molde y la placa base desde una distancia de 15 a 20 cm, garantizando una cobertura completa. A continuación, se recomienda retirar el exceso de producto mediante un ligero frotado con un paño, dejando únicamente una película mínima que permita distinguir claramente la huella digital al tacto con una suave presión del dedo, asegurando así una óptima liberación de las probetas.

Para asegurar un cierre hermético del molde, se deben sellar las uniones de sus mitades aplicando una capa delgada de grasa, como vaselina, en cantidad suficiente para que una pequeña porción se expulse al unirlas. El exceso de grasa se debe retirar con un paño.

Tras colocar y asegurar el molde en su base (ajustando las abrazaderas si corresponde), se eliminarán meticulosamente los excedentes de lubricante con un trapo seco en las zonas a sellar. Para el sellado hermético, se fundirá parafina, cera microcristalina o una mezcla 3:5 de parafina-resina a 110-120 °C, aplicándose en estado líquido en las juntas externas molde-base, garantizando así un cierre impermeable que evite fugas durante el

proceso.

De acuerdo a la normativa NTE INEN 2502 determinar la fluidez del mortero.

Proceso de creación de probetas a ensayar:

El mortero se debe introducir en los moldes y consolidar mediante apisonado manual o utilizando algún método alternativo que haya demostrado ser adecuado. Estas técnicas alternativas pueden incluir, pero no se limitan a, el uso de mesas vibratorias u otros equipos mecánicos.

La colocación del mortero en los moldes debe comenzar dentro de los 2 minutos y 30 segundos siguientes a la finalización del mezclado inicial. El llenado se realizará en dos capas, depositando primero una capa de aproximadamente 25 mm de espesor en cada compartimento del molde. Esta primera capa se compactará mediante 32 golpes de apisonador distribuidos en cuatro rondas de ocho golpes cada una, alternando la dirección de los golpes en cada ronda. La presión aplicada durante la compactación debe ser la mínima necesaria para asegurar un llenado homogéneo de los moldes, completando las cuatro rondas de apisonado (32 golpes) en un cubo antes de proceder con el siguiente.

Tras compactar la primera capa en todos los moldes cúbicos, se completa el llenado con el mortero restante y se repite el mismo procedimiento de compactación. Durante este proceso, cualquier excedente de mortero que sobresalga del borde superior debe recogerse con el pisón y guantes, reincorporándolo al interior del molde antes de continuar con los siguientes golpes. Finalizada la compactación, se debe asegurar que la superficie del mortero en todos los cubos quede ligeramente elevada respecto al borde superior de los moldes.

Con una espátula, se retira el exceso de mortero que sobresale de los bordes del molde y se alisan las superficies de los cubos pasando una vez el lado plano de la espátula perpendicularmente a lo largo del molde, manteniendo el borde guía ligeramente elevado.

Luego, para nivelar el mortero y uniformizar el espesor del material que sobresale, se repite este paso suavemente a lo largo del molde. Finalmente, se corta el mortero al ras del borde del molde pasando el borde recto de la espátula, sostenida casi verticalmente, con un movimiento de vaivén a lo largo del molde.

Almacenamiento de las muestras de ensayo:

Una vez finalizado el moldeo, las probetas deben colocarse inmediatamente en un ambiente húmedo controlado, como un gabinete o cámara de curado, y mantenerse en sus moldes sobre las placas base durante un lapso de 20 a 72 horas. Durante este tiempo, las caras superiores de las muestras deben quedar expuestas a la humedad del aire, pero protegidas de cualquier goteo de agua.

Si las probetas se desmoldan antes de las 24 horas, deben permanecer en las estanterías del ambiente húmedo hasta completar ese período. Posteriormente, aquellas muestras que no se ensayen a las 24 horas deben sumergirse en agua saturada con cal, contenida en tanques resistentes a la corrosión, manteniendo el agua limpia mediante cambios periódicos.

Procedimiento de la resistencia a la compresión de los cubos:

Las probetas deben someterse a ensayo inmediatamente después de ser retiradas del ambiente húmedo, si tienen 24 horas de edad, o del agua de almacenamiento, para el resto de las muestras. Es crucial que todas las probetas destinadas a una misma edad de ensayo se prueben dentro de los márgenes de tiempo permitidos que se especifican en la Tabla 3.

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± ½ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Imagen 16. Edad de ensayo.
Fuente: *Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista*, NTE INEN 488:2009. (Derechos reservados).

Para las pruebas de 24 horas, si se extraen varias muestras del ambiente húmedo simultáneamente, deben cubrirse con un paño humedecido hasta el momento de su ensayo. De igual manera, si se sacan varias muestras del agua de almacenamiento para su análisis, deben permanecer sumergidas en agua a una temperatura de 23 °C ± 2 °C, con una profundidad que las cubra por completo, hasta que se realice la prueba.

Antes del ensayo, cada probeta debe secarse superficialmente y eliminarse cualquier residuo (como arena o partículas adheridas) de las superficies que contactarán con los bloques de carga de la máquina. La planitud de estas caras se verificará con una regla metálica; si presentan irregularidades superiores a 0.5 mm (o el criterio aplicable), deberán rectificarse con herramientas adecuadas o descartarse. Adicionalmente, se controlará periódicamente el área transversal de las probetas para garantizar la precisión de los cálculos de resistencia.

La probeta se coloca cuidadosamente en la máquina, centrada bajo el cabezal superior, asegurando que la carga se aplique sobre las caras opuestas previamente medidas (las que estuvieron en contacto con las superficies del molde). Antes de iniciar, se confirma la libre movilidad del cabezal esférico sin emplear amortiguadores. El cabezal se ajusta hasta lograr contacto uniforme con la probeta, aplicando luego una carga constante a

una velocidad de 900–1800 N/s. Esta velocidad debe alcanzarse en la primera mitad de la carga máxima estimada y mantenerse durante la fase crítica de deformación acelerada previa a la rotura. El ensayo finaliza registrando la carga máxima indicada por el equipo.

Cálculos:

Resistencia a la compresión de los cubos de mortero de 50mm de arista:

$$fm = \frac{P}{A} \qquad Ecuación\ N°\ 22$$

Donde:

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 mm2.

Capítulo 4: Levantamiento de información en laboratorio.

4.1 Ensayo contenido total de humedad.

Árido fino ver ecuación N°2.

Contenido de humedad árido fino				
Muestra	Peso inicial	Peso final	% Humedad	Promedio %
1	500.3	492.6	1.56	1.62
2	500.6	492.9	1.56	
3	500.4	491.8	1.75	

Tabla 1: cálculo y resultados contenido de humedad árido fino.
Fuente: Propia, 2025.

4.2 Ensayo de granulometría agregado fino.

Tabulación de datos ensayo granulométrico.

Muestra inicial		490.5				g
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	retenido acumulado (g)	% total que retiene	% total que pasa	% ret acumulado
3/8"	9.5	0	0	0	100	0
N°4	4.75	2.4	1.5	1.5	98.5	1.5
N°8	2.36	110.6	112.1	22.55	74.45	24.05
N°16	1.1	120.7	232.8	24.61	51.34	48.66
N°30	0.59	86.4	319.2	17.61	33.73	66.27
N°50	0.297	53.3	372.5	10.87	22.86	77.14
N°100	0.149	37.4	409.9	7.62	15.24	84.76
N°200	0.075	33.8	443.7	6.89	8.35	91.65
Pasa 200		45.2		9.22		
	Sumatoria	489.8			Sumatoria	302.37

Estos tamices no se incluyen en los cálculos finales del ensayo, ya que la norma no los contempla para la clasificación granulométrica del material.

Imagen 17. Resultados ensayo granulométrico, agregado fino.
Fuente: *Propia, 2025.*

Verificación de perdida.

Verificación de norma requisito 5.4.7 NTE INEN 696 No debe ser mayor a 0.3%
0.00014
0.14
Nota: ver capítulo 3 ensayo granulométrico “verificación de perdida"

Tabla 2: Verificación de perdida en agregado grueso
Fuente: Propia, 2025.

Cálculo de módulo de finura.

Módulo de finura calculado = 3.01 (ver ecuación N°5).

Curva Granulométrica:

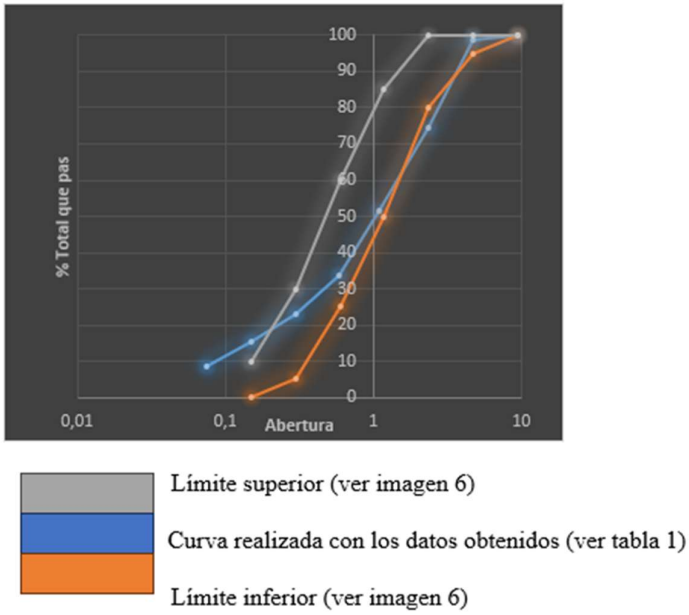


Imagen 18. Curva granulométrica, agregado fino.
Fuente: *Propia, 2025.*

El análisis granulométrico del agregado fino revela que la mayor parte de su curva se sitúa dentro de los límites establecidos por las curvas granulométricas inferior y superior de referencia. Adicionalmente, su módulo de finura promedio de 3.1 se encuentra dentro del rango de 2.5 a 3.2 especificado por la norma INEN 696. En base a estos resultados, se concluye que el agregado fino si cumple con los requisitos de granulometría, por lo tanto, es apto para el uso en la elaboración del mortero en la presente tesis.

4.3 Cantidad de material más fino que 75µm.

Muestra	B	C	A (%) ver ecuación N° 6	Promedio
1	300,5	259,9	13,51	
2	300,7	262,9	12,57	
3	300,1	267,5	18,86	14,98

Tabla 3: Resultado cantidad más fino que 75µm
Fuente: Propia, 2025.

4.4 Impurezas orgánicas.

ENSAYO DE COLORIMETRÍA		
ESCALA DE COLOR	COLOR	PROPIEDADES
1	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.

Imagen 19. Ensayo colorimetría.
Fuente: *Propia, 2025.*

4.5 Terrones de arcilla y partículas desmenusables.

Muestra	M	R	P (%) ver ecuación N°7	Promedio
1,1	40	38,2	4,5	2,83333333
1,2	40	39,9	0,25	
2,1	40	39,6	1	
2,2	40	39,8	0,5	
3,1	40	38,9	4,5	
3,3	40	39,3	1,75	

Tabla 4: Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.
Fuente: Propia, 2025.

4.6 Masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.

Densidad suelta árido fino.

Densidad suelta agregado fino.					
Peso cilindro (kg)		0.6287		d= (P. árido /Volumen cilindro) ver ecuación N°8	
Volumen cilindro (m^3)		0.000991634			
		P. Árido +P cilindro(kg)	P. Árido	d. suelta kg/m^3	d. suelta T/m^3
Ensayo 1	Muestra 1	2.2824	1.6537	1667.7	1.668
	muestra 2	2.2812	1.6525	1666.4	1.666
	muestra 3	2.2938	1.6651	1679.1	1.679
Ensayo 2	Muestra 1	2.297	1.6683	1682.4	1.682
	muestra 2	2.2939	1.6652	1679.2	1.679
	muestra 3	2.3041	1.6754	1689.5	1.690
Ensayo 3	Muestra 1	2.3124	1.6837	1697.9	1.698
	muestra 2	2.3033	1.6746	1688.7	1.689
	muestra 3	2.3046	1.6759	1690.0	1.690
Densidad suelta promedio.				1682.3	1.682

Tabla 5: Cálculo y resultados densidad suelta árido fino.
Fuente: Propia, 2025.

Densidad compactada árido fino.

Peso cilindro (kg)		0.6287		d= (P. árido /Volumen cilindro) ver ecuación N°9	
Volumen cilindro (m^3)		0.000991634			
		P. Árido +P cilindro(kg)	P. Árido	d. suelta kg/m^3	d. suelta T/m^3
Ensayo 1	Muestra 1	2.46	1.8313	1846.7	1.847
	muestra 2	2.45	1.8213	1836.7	1.837
	muestra 3	2.46	1.8313	1846.7	1.847
Ensayo 2	Muestra 1	2.44	1.8113	1826.6	1.827
	muestra 2	2.44	1.8113	1826.6	1.827
	muestra 3	2.45	1.8213	1836.7	1.837
Ensayo 3	Muestra 1	2.5	1.8713	1887.1	1.887
	muestra 2	2.48	1.8513	1866.9	1.867
	muestra 3	2.48	1.8513	1866.9	1.867
Densidad compactada promedio				1849.0	1.849

Tabla 6: Cálculo y resultados densidad compactada árido fino
Fuente: Propia, 2025.

4.7 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

Densidad relativa (SH) ver ecuación N°13.

	DENSIDAD RELATIVA SH				
	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	SH (promedio)
ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2.37	2.41
ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.45	
ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2.41	

Tabla 7: Cálculo y resultados densidad relativa SH
Fuente: Propia, 2025.

Densidad relativa (SSS) ver ecuación N°14.

DENSIDAD RELATIVA SSS					
	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SSS	SSS (promedio)
ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2.46	2.49
ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.514	
ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2.495	

Tabla 8: Cálculo y resultados densidad relativa SSS
Fuente: Propia, 2025.

Densidad relativa aparente (SSS) ver ecuación N°15.

DENSIDAD RELATIVA APARENTE SSS					
	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SSS	SSS (promedio)
ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2.62	2.62
ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.61	
ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2.62	

Tabla 9: Cálculo y resultados densidad relativa aparente SSS
Fuente: Propia, 2025.

Densidad SH en kg/m³ver ecuación N°16.

DENSIDAD SH					SH (promedio) Kg/m^3
	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	
ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2364.75	2407.32
ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2447.61	
ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2409.60	

Tabla 10: Cálculo y resultados densidad SH en kg/m^3
Fuente: Propia, 2025.

Densidad SSS en kg/m³ver ecuación N°17.

DENSIDAD SSS					SSS (promedio) Kg/m^3
	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	
ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2458.09	2484.746
ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2507.57	
ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2488.57	

Tabla 11: Cálculo y resultados densidad SSS en kg/m^3
Fuente: Propia, 2025.

Densidad aparente en kg/m³ver ecuación N°18.

DENSIDAD APARENTE					D.A(promedio) Kg/m^3
	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	SH	
ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	2608.86	2609.93
ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2604.14	
ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	2616.79	

Tabla 12: Cálculo y resultados densidad aparente en kg/m^3
Fuente: Propia, 2025.

Porcentaje de absorción ver ecuación N°19.

ABSORCION					ABSORCION (promedio) %
	Masa en aire seca	Masa en aire saturada	Masa aparente en agua	ABSORCION %	
ensayo 1	2911.2	3026.1	1798.1	3.95	3.22
ensayo 2	2931	3002.8	1808.3	2.45	
ensayo 3	2959.4	3056.4	1831.3	3.28	

Tabla 13: cálculo y resultados porcentaje de absorción
Fuente: Propia, 2025.

4.8 Cemento Hidráulico. Determinación de la Densidad.

Ensayo 1: Densidad del cemento (Método de Le Chatelier) ver ecuación N°20		
Masa muestra (g)	100	64
Datos Experimentales		
Balón + Diésel		
Masa inicial (g)	322,05	
Lectura inical (cm^3)	0,2	
Densidad agua a 5 °C (g/cm^	0,99997	
Balón + Diésel + Cemento		
Masa final (g)	385,94	
Lectura final (cm^3)	23,1	
Cálculos y Resultados		
Densidad (g/cm^3)	**2,7899563**	
Gravedad específica (-)	**2,79004**	

Imagen 20. Densidad del cemento muestra 1.
Fuente: *Propia, 2025.*

4.9 Cemento Hidráulico. Determinación del flujo en Morteros.

Cálculos y Resultados	
RÉPLICA 1	
Flujo (%)	131
RÉPLICA 2	
Flujo (%)	130
RÉPLICA 3	
Flujo (%)	133

Tabla 14: Flujo de muestras 1,2 y 3 del mortero
Fuente: Propia, 2025.

4.10 Dosificación del Mortero.

Una vez caracterizado los materiales, se recopilaron datos esenciales para realizar una dosificación precisa del mortero, dado que en el país no existe una norma específica para la dosificación de morteros que garantice la resistencia requerida. Para lograr la dosificación se aplicó el método de Sánchez Diego del libro Tecnología del concreto y del mortero, Capítulo 14. Este método es reconocido por su aplicabilidad y precisión en el diseño de mezclas morteros para diferentes objetivos.

Datos Generales	
Modulo finura	3,1(ver ecuaciónN°5)
Resistencia kg/cm^2	180(ver tabla 20)
Relación agua cemento	0,8
Peso específico cemento	2800kg/cm^3
Densidad relativa sh	2,41
Densidad relativa sss	2,49
Densidad relativa aparente	2,61
Densidad sh (kg/m^3)	2407,3
Densidad sss (kg/m^3)	2484
Densidad aparente sss (kg/m^3)	2609,9
Absorción %	3,2
Humedad	1,62%

Tabla 15: Datos generales para la dosificación del mortero
Fuente: Propia, 2025.

4.10.1 Relación agua-cemento

La relación agua-cemento se encuentra tomando relacionando el módulo de finura y la resistencia de diseño del mortero se usa el siguiente ábaco.

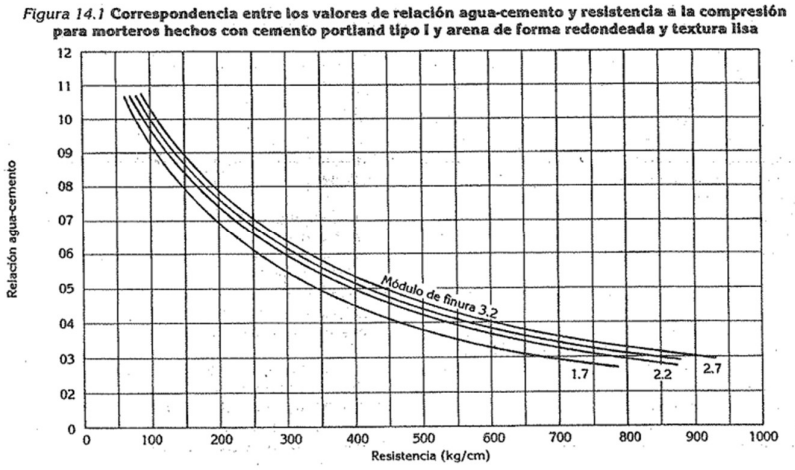


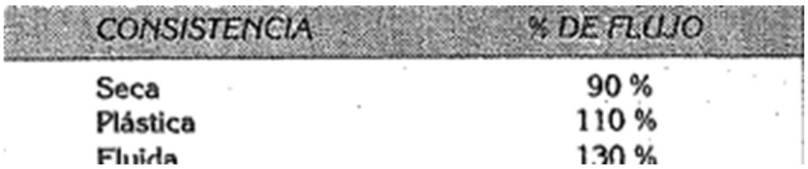
Imagen 21. Ábaco relación agua-cemento.
Fuente: *Tecnología del concreto y del mortero*, Diego Sánchez, 2001. (Derechos reservados).

Relación agua cemento	
Modulo finura	3,1
Resistencia kg/cm^2	180
Relación agua cemento	0,8

Tabla 16: Calculo relación agua cemento
Fuente: Propia, 2025.

4.10.2 Consistencia del mortero.

Según el libro tecnología del concreto y del mortero Diego Sánchez propone elegir una consistencia de acuerdo el módulo de finura y uso que se dará al mortero en este caso se elige consistencia fluida ver imagen 11.



CONSISTENCIA	% DE FLUJO
Seca	90 %
Plástica	110 %
Fluida	130 %

Imagen 22. Tabla de fluidez del mortero.
Fuente: *Tecnología del concreto y del mortero*, Diego Sánchez, 2001. (Derechos reservados).

4.10.3 Factores que influyen en el contenido de agua.

Para encontrar el factor (k) que influye en el contenido de agua se usa el siguiente un ábaco el cual relaciona el flujo con la relación agua cemento. En caso que los valores no se aprecien en el ábaco se procede a interpolar.

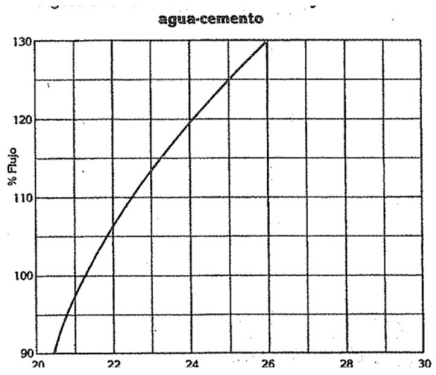


Imagen 23. Tabla elección valor de K.
Fuente: *Tecnología del concreto y del mortero*, Diego Sánchez, 2001. (Derechos reservados).

Valor de k	
Valor K apreciado en tabla	0,27

Tabla 17: Calculo factor k
Fuente: Propia, 2025.

4.10.4 Cálculo de valor de b.

El valor b se usa para encontrar el valor n que a su vez se usa para calcular el contenido de cemento de nuestro mortero. El valor de b se lo encuentra en la siguiente tabla y donde se relaciona la fluides con el módulo de finura si este valor no es exacto se debe interpolar.

Tabla 21

Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de la arena

Consistencia	Módulo de Finura	Aren 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
Plática (110%)	1.7	0.3242	0.3238
	2.2	0.3033	0.2947
	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: Para valores de módulo de finura distintos, interpolar.
Fuente: Sánchez. 2001.

Imagen 24. Valores de b para distintas consistencias.
Fuente: *Tecnología del concreto y del mortero*, Diego Sánchez, 2001. (Derechos reservados).

Interpolación para valor b	
MF calculado (ver tabla 19)	3,1
Consistencia	Fluida
MF	Arena angular
2,7	0,2949
3,1	x
3,2	0,2629
b=	0,2693

Tabla 18: Calculo valor de b
Fuente: Propia, 2025.

4.10.5 Cálculo de factor de n.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A}{C}\right) - \ln(k)}{b} \qquad Ecuación\ N°23$$

$$n = \frac{\ln(8) - \ln(0.27)}{0.2693} = 4.033$$

Donde:

n= factor n.

A/C= Relación agua cemente (ver tabla 20).

k=factor k (ver tabla 21).

b=factor b (ver tabla 22).

4.10.6 Cálculo contenido de cemento.

$$Cc = \frac{1000}{\frac{1}{Dc} + \frac{n}{Dcas} + \frac{A}{C}} \qquad Ecuación\ N°24$$

$$Cc = \frac{1000}{\frac{1}{2.8g/cm\text{^}3} + \frac{4.033}{2.61g/cm\text{^}3} + 0.8} = 370.027\ kg\ (\ metro\ cúbico\ de\ mortero)$$

Donde:

Cc: Contenido de cemento.

Dc: Peso específico del cemento (ver tabla 19).

Dcas: Densidad aparente seca (sss) arena (ver tabla 19).

4.10.7 Cálculo contenido de agua.

$$Ca = \frac{A}{C} * Cc \qquad Ecuación\ N°25$$

$$Ca = 0.8 * 370.027\ kg = 296.022\ kg$$

Donde:

Ca: Contenido de agua.

Cc: Contenido de cemento (ver ecuación 24).

A/C: Relación agua cemento (ver tabla 20).

4.10.8 Cálculo contenido de agregado fino.

$$Caf = n * Cc \qquad Ecuación\ N°26$$

$$Caf = 4.033 * 370.027\ kg = 1492.46$$

Donde:

Caf: Contenido de agregado fino.

n: Factor n (ver ecuación 23).

Cc: Contenido de cemento (ver ecuación 24).

4.11 Dosificación en estado seco.

Cantidades de materiales para 1 metro cubico			
	Peso Seco	Peso Específico	Volumen
Material	kg	kg/m3	1m^3
Cemento	370,0277603	2800	0,1322
Arena	1492,463303	2609,9	0,5718
Agua	296,0222083	1000	0,2960
Total	2158,513271		1,00

Tabla 19: Resumen de cantidades para estado seco
Fuente: Propia, 2025.

4.12 Corrección de agua por humedad de agregados.

$$Cag = \frac{(H\% - ABS\%)Caf}{100} \qquad Ecuación\ N°27$$

$$Cag = \frac{(1.62\% - 3.33\%)1492.46}{100}$$

$$Cag = \ 0.25\ kg$$

Donde:

Cag: Corrección de agua por agregado fino.

H: Humedad (ver tabla 19).

Abs: Absorción (ver tabla 19).

Caf: Contenido de agregado fino (ver tabla 23)

$$Ncaf = caf * \frac{H\%}{100} + 1 \qquad Ecuación\ N°28$$

$$Ncaf = 1492.46\ kg * \frac{1.62\%}{100} + 1 = 1492.70\ kg$$

Donde:

Ncaf: Nueva cantidad de agregado fino.

H: Humedad (ver tabla 19).

Caf: Contenido de agregado fino (ver tabla 23)

$Af = Ao - Cag$ $Ecuación\ N°29$

$Af = 296.022\ kg - 0.25\ kg = 295.77kg$

Af: Agua final.

Ao: contenido de agua inicial (ver tabla 23)

Cag: Corrección de agua por agregado fino (ver tabla 27)

4.13 Dosificación en estado natural para 1 metro cúbico.

	Peso Seco
Material	kg
Cemento	370,02776
Arena	1492,70508
Agua	295,771474

Tabla 20: Dosificación final mortero patrón
Fuente: Propia, 2025.

4.14 Cantidades para cubos con y sin nanosílice.

Se calcula la cantidad requerida de agregados para 24 cubos por edad debido a que se ensayaran 6 sin inclusión de nanosílice, 6 con inclusión de 1% de nanosílice, 6 con inclusión de 3% de nanosílice y 6 con inclusión del 5% de nanosílice.

Datos de los cubos	
Altura (m)	0,05
Base (m)	0,05
Profundidad (m)	0,05
volumen unitario m^3	0,0001250
Cantidad de cubos	24
Volumen total m^3	0,003

Tabla 21: Datos de cubos para ensayo
Fuente: Propia, 2025.

Regla de tres para cemento	
volumen (m^3)	peso (kg)
1	370,0277603
0,003 m^3	X
X (peso para 24 cubos)	1,110083281

Tabla 22: Cálculo de cantidad de cemento para 24 cubos
Fuente: Propia, 2025.

Regla de tres para arena	
volumen (m^3)	peso (kg)
1	1492,705082
0,003 m^3	X
X (peso para 24 cubos)	4,478115245

Tabla 23: Cálculo de cantidad de arena para 24 cubos
Fuente: Propia, 2025.

Regla de tres para agua	
volumen (m^3)	peso (kg)
1	0,887314423
0,003 m^3	X
X (peso para 24 cubos)	0,002661943

Tabla 24: Cálculo de cantidad de agua para 24 cubos
Fuente: Propia, 2025.

Material	kg
Cemento	1,110083281
Arena	4,478115245
Agua	0,887314423

Tabla 25: Cálculo de cantidades de agregados para 24 cubos
Fuente: Propia, 2025.

4.15 Nanosílice para 24 cubos en diferentes porcentajes.

Regla de 3 para 1% de nanosílice	
peso cemento (g)	1110,083281
% 1 peso cemento (g)	11,10083281
volumen nanosílice gramos	11,10083281

Tabla 26: Cálculo de peso de nanosílice con relación 1% respecto al peso cemento
Fuente: Propia, 2025.

Dosificación de mortero con 1% de nanosílice	
Material	Peso (g)
Cemento	1098,982448
Arena	4478,115245
Agua	887,3144233
Nanosílice	11,10083281

Tabla 27: Cálculo dosificación para 24 cubos con 1% de nanosílice
Fuente: Propia, 2025.

Regla de 3 para 3% de nanosílice	
peso cemento (g)	1110,083281
% 1 peso cemento (g)	33,30249843
volumen nanosílice gramos	33,30249843

Tabla 28: Cálculo de peso de nanosílice con relación 3% respecto al peso cemento
Fuente: Propia, 2025.

Dosificación de mortero con 3% de nanosílice	
Material	Peso (g)
Cemento	1076,780783
Arena	4478,115245
Agua	887,3144233
Nanosílice	33,30249843

Tabla 29: Cálculo dosificación para 24 cubos con 3% de nanosílice
Fuente: Propia, 2025.

Regla de 3 para 5% de nanosílice	
peso cemento (g)	1110,083281
% 1 peso cemento (g)	55,50416405
volumen nanosílice gramos	55,50416405

Tabla 30: Cálculo de peso de nanosílice con relación 5% respecto al peso cemento
Fuente: Propia, 2025.

Dosificación de mortero con 5% de nanosílice	
Material	Peso (g)
Cemento	1054,579117
Arena	4478,115245
Agua	887,3144233
Nanosílice	55,50416405

Tabla 31: Cálculo dosificación para 24 cubos con 5% de nanosílice
Fuente: Propia, 2025.

Capítulo 5: Resultados.

5.1 Resistencia a la compresión de cubos de mortero con y sin inclusión de nanosílice a los 7 días.

Institucion	INECYC	Observaciones					
Origen:	Agregados cantera holcim		Dimensiones cubo:	5x5x5 cm		Edad	7 dias
Realizado por:	Egda. Michelle Tapia		Tipo de ensayo:	compresion simple			
Probeta	% nanosilose	Fecha elaboracion	Fecha de ensayo	Area cm^2	volumen cm^3	carga maxima (kn)	Resistencia a la compresion
1	0			25	125	31,48	128,48472
2	0			25	125	31,98	130,52416
3	0			25	125	34,48	140,72136
4	0			25	125	31,73	129,50444
5	0			25	125	32,98	134,60304
6	0			25	125	33,48	136,64248
7	1			25	125	37,72	153,97772
8	1			25	125	38,47	157,03688
9	1			25	125	41,97	171,31296
10	1			25	125	36,73	149,89884
11	1			25	125	40,47	165,19464
12	1			25	125	38,47	157,03688
13	3			25	125	40,47	165,19464
14	3			25	125	42,72	174,37212
15	3			25	125	43,47	177,43128
16	3			25	125	43,72	178,451
17	3			25	125	40,97	167,23408
18	3			25	125	41,97	171,31296
19	5			25	125	43,97	179,47072
20	5			25	125	42,22	172,33268
21	5			25	125	42,97	175,39184
22	5			25	125	44,47	181,51016
23	5			25	125	44,72	182,52988
24	5			25	125	43,22	176,41156

Imagen 25. Resultados de ensayo de compresión a los 7 días de edad.
Fuente: *Propia, 2025.*

5.2 Resistencia a la compresión de cubos de mortero con y sin inclusión de nanosílice a los 14 días.

Institucion	INECYC	Observaciones					
Origen:	Agregados cantera holcim		Dimensiones cubo:	5x5x5 cm		Edad	14 dias
Realizado por:	Egda. Michelle Tapia		Tipo de ensayo:	compresion simple			
Probeta	% nanosilose	Fecha elaboracion	Fecha de ensayo	Area cm^2	volumen cm^3	carga maxima (kn)	Resistencia a la compresion
1	0			25	125	38,97	159,07632
2	0			25	125	39,47	161,11576
3	0			25	125	36,98	150,91856
4	0			25	125	37,72	153,97772
5	0			25	125	36,73	149,89884
6	0			25	125	37,22	151,93828
7	1			25	125	46,72	190,68764
8	1			25	125	43,72	178,451
9	1			25	125	45,97	187,62848
10	1			25	125	46,47	189,66792
11	1			25	125	45,72	186,60876
12	1			25	125	46,72	190,68764
13	3			25	125	47,97	195,78624
14	3			25	125	49,47	201,90456
15	3			25	125	49,22	200,88484
16	3			25	125	49,22	200,88484
17	3			25	125	49,97	203,944
18	3			25	125	48,97	199,86512
19	5			25	125	50,72	207,00316
20	5			25	125	51,47	210,06232
21	5			25	125	51,72	211,08204
22	5			25	125	50,22	204,96372
23	5			25	125	51,22	209,0426
24	5			25	125	51,96	212,10176

Imagen 26: Resultados de ensayo de compresión a los 14 días de edad.
Fuente: Propia

5.3 Resistencia a la compresión de cubos de mortero con y sin inclusión de nanosílice a los 28 días.

Institucion	INECYC	Observaciones					
Origen:	Agregados cantera holcim		Dimensiones cubo:	5x5x5 cm		Edad	28 dias
Realizado por:	Egda. Michelle Tapia		Tipo de ensayo:	compresion simple			
Probeta	% nanosilose	Fecha elaboracion	Fecha de ensayo	Area cm^2	volumen cm^3	carga maxima (kN)	Resistencia a la compresion
1	0			25	125	43,97	179,47072
2	0			25	125	44,47	181,51016
3	0			25	125	44,47	181,51016
4	0			25	125	43,72	178,451
5	0			25	125	43,22	176,41156
6	0			25	125	44,72	182,52988
7	1			25	125	53,21	217,20036
8	1			25	125	54,46	222,29896
9	1			25	125	52,21	213,12148
10	1			25	125	52,96	216,18064
11	1			25	125	53,71	219,2398
12	1			25	125	53,96	220,25952
13	3			25	125	57,21	233,51588
14	3			25	125	56,71	231,47644
15	3			25	125	58,71	239,6342
16	3			25	125	59,46	242,69336
17	3			25	125	58,71	239,6342
18	3			25	125	57,71	235,55532
19	5			25	125	62,21	253,91028
20	5			25	125	61,96	252,89056
21	5			25	125	63,46	259,00888
22	5			25	125	62,21	253,91028
23	5			25	125	61,21	249,8314
24	5			25	125	60,71	247,79196

Imagen 27: Resultados de ensayo de compresión a los 28 días de edad.
Fuente: Propia, 2025.

5.4 Promedio de resultados.

Tabla promedios de resistencias		
Edad	% nanosílice	Prom. Resistencia
7	0	13,08344863
7	1	15,60013747
7	3	16,90014893
7	5	17,45015378
14	0	15,15013351
14	1	18,36682852
14	3	19,66683998
14	5	20,50018065
28	0	17,65015554
28	1	21,38352177
28	3	23,25020489
28	5	24,80021855

Tabla 32: Tabla promedio de resistencia.
Fuente: Propia, 2025.

5.5 Análisis de resultados.

Análisis de resultados			
Edad	% nanosílice	Resistencia promedio	% incremento resistencia
7	0	13,08344863	xx
7	1	15,60013747	19,236
7	3	16,90014893	29,172
7	5	17,45015378	33,376

Tabla 33: Tabla análisis de resultados a los 7 días.
Fuente: Propia, 2025.

Análisis de resultados			
Edad	% nanosílice	Resistencia promedio	% incremento resistencia
14	0	15,15013351	xx
14	1	18,36682852	21,232
14	3	19,66683998	29,813
14	5	20,50018065	35,314

Tabla 34: Tabla análisis de resultados a los 14 días.
Fuente: Propia, 2025.

Análisis de resultados			
Edad	% nanosílice	Resistencia promedio	% incremento resistencia
28	0	17,65015554	xx
28	1	21,38352177	21,152
28	3	23,25020489	31,728
28	5	24,80021855	40,510

Tabla 35: Tabla análisis de resultados a los 28 días.
Fuente: Propia, 2025.

5.6 Gráfica Influencia del nanosílice en el desarrollo de la resistencia a la compresión del mortero a distintas edades

Los resultados gráficos muestran un aumento progresivo y significativo en la resistencia a compresión del mortero con la adición de nanosílice (1%, 3% y 5%), observándose un crecimiento continuo en los valores de resistencia a los 7, 14 y 28 días de curado. Este incremento exhibió una relación directa con el contenido de nanosílice, alcanzando su máximo desempeño con el 5% de nanosílice, el cual registró los valores más altos de resistencia en todos los periodos de evaluación.

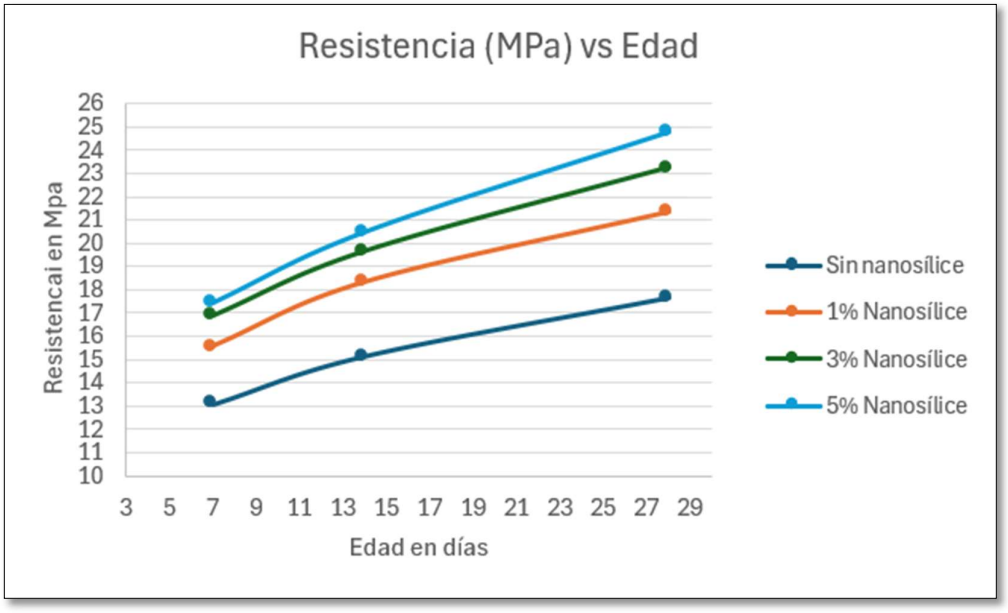


Imagen 28. Gráfica resistencia a la compresión simple (MPa) vs Edad.
Fuente: *Propia, 2025*

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones:

La incorporación de nanosílice como aditivo en matrices de mortero demostró un incremento significativo en la resistencia a la compresión, evidenciado mediante ensayos de compresión simple según la norma NTE INEN 488:2009, donde las probetas modificadas con nanosílice presentaron valores de resistencia superiores en comparación con los morteros de referencia, lo cual se atribuye a la eficacia del nanomaterial en la densificación de la microestructura y la optimización de la interfaz pasta-agregado, mejorando así las propiedades mecánicas del material.

La incorporación de nanosílice en el mortero demostró una correlación directa entre el porcentaje de adición y el incremento en la resistencia a la compresión, evidenciándose que las proporciones evaluadas (1%, 3% y 5%) generaron mejoras significativas, siendo el 5% el más efectivo, alcanzando un aumento del 40% a 28 días en comparación con el mortero de referencia. Además, a edades tempranas (7 y 14 días), se registró un incremento aproximado del 34%, lo que sugiere que este aditivo es especialmente beneficioso en aplicaciones que requieren alta resistencia inicial, optimizando tanto el desarrollo temprano como la resistencia final del material mediante la densificación microestructural y la reducción de la porosidad.

La incorporación de nanosílice podría mejorar significativamente las características mecánicas del mortero, incrementando su idoneidad para aplicaciones estructurales o condiciones de servicio demandantes. Este reforzamiento en la resistencia compresiva sugiere una mayor durabilidad y capacidad portante del material.

Esta investigación aporta al entendimiento de la aplicación de la nanotecnología en la construcción, particularmente en la optimización de las propiedades del mortero. El análisis profundo de los datos posibilitará determinar la proporción ideal de nanosílice

para lograr un mortero de alta resistencia, confirmando su potencial como un aditivo efectivo para desarrollar materiales cementicios de mejor desempeño.

Recomendaciones:

Resulta fundamental analizar las características de los materiales empleados en la producción de morteros para asegurar su calidad y cumplimiento con las regulaciones actuales, como la Norma Técnica Ecuatoriana. Esta caracterización es clave para obtener morteros con un rendimiento óptimo y resultados de alta calidad en las pruebas.

Aunque se observó un incremento en la resistencia del mortero con la adición de nanosílice, se sugiere en futuras investigaciones explorar un espectro más detallado de porcentajes de adición (como aumentos de 0.5% o inferiores). Esto permitiría identificar con mayor exactitud la cantidad ideal de nanosílice que maximiza la resistencia a la compresión de forma precisa y rentable.

Para ampliar el estudio, se podría investigar el efecto de distintos tipos y dimensiones de nanopartículas de sílice, así como la manera en que su incorporación en la mezcla del mortero se realiza, con el fin de identificar posibles diferencias importantes en las propiedades del material resultante.

Se sugiere ampliar la investigación evaluando un rango más extenso de porcentajes de nanosílice (por ejemplo, entre 6% y 10%) para determinar el límite ideal de adición que maximice las propiedades mecánicas del mortero sin comprometer su trabajabilidad o estabilidad dimensional, considerando posibles efectos de saturación o aglomeración de nanopartículas a mayores concentraciones. Adicionalmente, se recomienda analizar la influencia de la nanosílice en otras propiedades, como la durabilidad, permeabilidad y comportamiento frente a agentes agresivos, para establecer criterios técnicos más robustos en su aplicación como aditivo en materiales cementicios.

Bibliografía:

Norma Técnica Colombiana, NTC 3356, "Mortero premezclado para Mampostería". Lcontec, Bogotá, 2000.

B. Pantoja y R. Pozo, "Estudio de la incorporación de Nano Sílice en Concreto de Alto Desempeño (HPC)" Proyecto de titulación, Universidad Central del Ecuador, 2021.

D. D. Pacheco Tipan, "Estabilización de taludes con morteros de cemento," Green World J, 2023.

Oscar Rodríguez Mora, "Morteros guía general", Madrid 2003.

NTE INEN 2380, "Ficha Técnica Campeón", Selvalegre, Otavalo,2012.

Mscis. Diego Sánchez de Guzmán, "Tecnología del concreto y del Mortero", 2001.

M. Aslani, H. Johari, y M. Taraghi, "El Nanosílice como Refuerzo en Materiales Compuestos de Cemento", 2016.

Densidad en estado húmedo ASTM C138.

NTE INEN 858, "Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.

NTE INEN 696, "Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos fino y grueso", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2011.

NTE INEN 697, "Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (No. 200), mediante lavado", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010

NTE INEN 855, "Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010

NTE INEN 698, "Áridos para hormigón. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.

NTE INEN 856, “Áridos. Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido fino,” Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.

NTE INEN 156, “Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,” Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2009.

NTE INEN 2502, “Cemento Hidráulico. Determinación del Flujo en Morteros,” Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2009.

NTE INEN 488, “Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de 50 mm de Arista,” Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2009.

ANEXOS:

ANEXOS INFORMES DEL LABORATORIO:

INFORME DE LABORATORIO

ENSAYO: Áridos para hormigón. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables. NTE INEN 698:2010

INSTITUCIÓN: INECYC

REALIZADO POR: Germahint Herrera, Katherine Tapia, Juan Espinel.

FECHA: 06 de septiembre 2024

ÁRIDO UTILIZADO: Cantera Holcim

Para realizar el tamizado por lavado utilizamos la siguiente tabla:

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Tamaño del tamiz para remover los residuos de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Árido fino (retenido sobre el tamiz de 1,18 mm (No. 16))	850 µm (No. 20)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a ⅜")	2,36 mm (No. 8)
9,5 mm a 19,0 mm (⅜" a ¾")	4,75 mm (No. 4)
19,0 mm a 37,5 mm (¾" a 1½")	4,75 mm (No. 4)
Sobre 37,5 mm (1½")	4,75 mm (No. 4)

CÁLCULOS:

$$P = \left[\left(\frac{M - R}{M}\right)\right] * 100\%$$

P= porcentaje de terrones de arcillas y partículas desmenuzables.

M= masa de la muestra de ensayo (para árido fino la masa de la porción más gruesa que el tamiz de 1.18 mm (No.16), tal como se describe en el numeral 4.3.3)

R= masa de las partículas retenidas en el tamiz estipulado, determinado de acuerdo al numeral 4.4.2.

Árido fino:

Muestra 1.1

$$P = \left[\left(\frac{M - R}{M}\right)\right] * 100\%$$

$$P = \left[\left(\frac{40 - 38.2}{40}\right)\right] * 100\%$$

$$P = 4.5$$

Muestra 1.2

$$P = \left[\left(\frac{40 - 39.9}{40}\right)\right] * 100\%$$

$$P = 0.25$$

Muestra 2.1

$$P = \left[\left(\frac{40 - 39.6}{40}\right)\right] * 100\%$$

$$P = 1$$

Muestra 2.2

$$P = \left[\left(\frac{40 - 39.8}{40}\right)\right] * 100\%$$

$$P = 0.5$$

Muestra 3.1

$$P = \left[\left(\frac{40.7 - 38.9}{40}\right)\right] * 100\%$$

$$P = 4.5$$

Muestra 3.2

$$P = \left[\left(\frac{40 - 39.3}{40}\right)\right] * 100\%$$

$$P = 1.75$$

INFORME DE LABORATORIO

ENSAYO: Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (N°200), mediante lavado. NTE INEN 697:2010

INSTITUCIÓN: INECYT

REALIZADO POR: Germahint Herrera, Katherine Tapia, Juan Espinel.

FECHA: 06 de septiembre 2024

ÁRIDO UTILIZADO: Cantera Holcim

TABLA 1. Masa mínima para la muestra de ensayo

Tamaño máximo nominal	Masa mínima (g)
4,75 mm (No. 4) o menor	300
Mayor que 4,75 mm (No. 4) hasta 9,5 mm	1 000
Mayor que 9,5 mm hasta 19,0 mm	2 500
Mayor que 19,0 mm	5 000

Para este ensayo se utilizará el método A como indica en la normativa.

$$A = \frac{B - C}{B} * 100\%$$

Dónde:

A: porcentaje del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (N°200) mediante lavado.

B: masa seca original de la muestra en g.

C: masa seca de la muestra después del lavado en g.

Agregado fino

MUESTRA 1

$$A_1 = \frac{300.5 - 259.9}{300.5} * 100\% = 13.51$$

MUESTRA 2

$$A_2 = \frac{300.7 - 262.9}{300.7} * 100\% = 12.57$$

MUESTRA 3

$$A_3 = \frac{300.1 - 267.5}{300.1} * 100\% = 18.86$$

PROMEDIO ÁRIDO FINO

$$\frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} = \frac{13.51 + 12.57 + 18.86}{3} = 14.98$$

ANEXOS FOTOGRAFIAS:

Homogenización de muestras.

Homogenización de muestras.

Cantidad de material más fino que 75 µm

Impurezas orgánicas

Terrones de arcilla y partículas desmenuzables

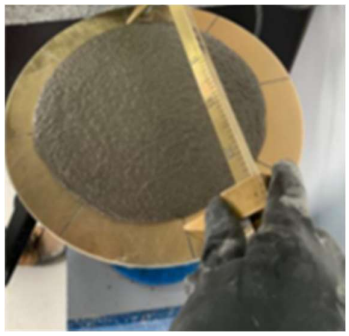
Densidad aparente

Densidad relativa y absorción del árido fino

Densidad del cemento

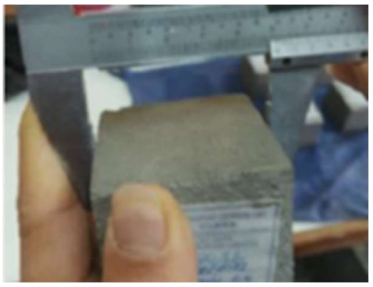
Determinación del flujo en Mortero

Amasada y colocado de mortero en moldes.



Medición en la mesa de flujo con calibrador especial.

Fraguado inicial



Desencofrado de cubos de mortero

Curado de especímenes de diferentes edades

RCS en cubos de mortero.