

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"Evaluación de la resistencia a compresión y módulo elástico del hormigón simple con adición de granito triturado como reemplazo parcial del agregado fino"

Trabajo de titulación, modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

AUTOR: Martha Gabriela Curicama Gualli

TUTOR: Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

Ambato – Ecuador

Junio 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"Evaluación de la resistencia a compresión y módulo elástico del hormigón simple con adición de granito triturado como reemplazo parcial del agregado fino"**, elaborado por el estudiante Martha Gabriela Curicama Gualli, portador de la cedula de ciudadanía número 1805208061, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Junio 2025

.....

Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg

C.C.: 1802324481

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Martha Gabriela Curicama Gualli**, con C.C.:1805208061 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"Evaluación de la resistencia a compresión y módulo elástico del hormigón simple con adición de granito triturado como reemplazo parcial del agregado fino"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Junio 2025



.....

Martha Gabriela Curicama Gualli

C.C.: 1805208061

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio 2025



.....

Curicama Gualli Martha Gabriela

C.C.: 1805208061

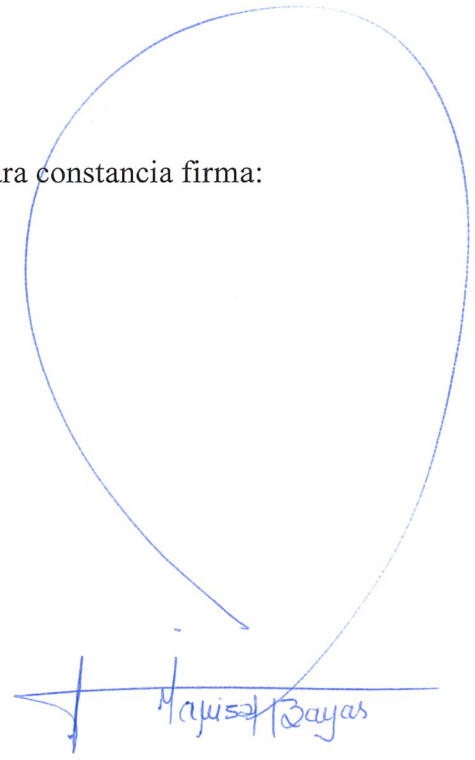
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante Martha Gabriela Curicama Gualli, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"**.

Ambato, Junio 2025

Para constancia firma:



.....

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano Mg.
C.C.:1802939205
MIEMBRO CALIFICADOR



.....

Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera Mg.
C.C.:1802163038
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, porque ha sido mi guía, mi fuerza y mi refugio en cada etapa de este camino. Gracias a Él he logrado culminar esta carrera, superando pruebas, dudas y momentos de debilidad con fe y esperanza.

A mi familia, por su amor incondicional y su constante apoyo.
A mis padres, quienes han sido los cimientos de mi vida. Gracias por su amor firme ante cada obstáculo, por enseñarme con el ejemplo que los sueños se construyen con esfuerzo, fe y perseverancia.

A mis hermanos, cómplices en las caídas y aliados en los nuevos comienzos. Sus palabras se transformaron en abrazos cuando más los necesité, y su compañía me recordó, una y otra vez, que la persistencia vence al miedo.

Este trabajo es el fruto de un árbol que ustedes regaron con paciencia, sacrificio y amor. Gracias por estar, por creer en mí, y por acompañarme hasta aquí.

Martha Gabriela Curicama Gualli

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi fortaleza en cada paso, por permitirme alcanzar este logro y por guiarme con sabiduría a lo largo de todo mi trayecto académico.

A mis padres, José Antonio y María, por sacrificar tiempo, esfuerzos e incluso sus propios sueños para que yo pudiera dedicarme plenamente a mi formación. Su ejemplo de perseverancia y amor es la base de todo lo que he logrado. Sin ustedes, este momento no habría sido posible.

A mis hermanos, Rebeca, Rosa, Jean y Antonio, por ser mi columna en los momentos más críticos. Su respaldo incondicional transformó los obstáculos en valiosas lecciones de vida.

A mi hermana Rocío y a mi cuñado Santiago, por ser esa voz de aliento que aparecía justo cuando mis fuerzas comenzaban a flaquear. Sus palabras fueron el empujón que me permitió continuar cada vez que lo necesité.

A mis sobrinos, por llenar mis días de risas, esperanza y ternura. Ustedes me recordaron, cada día, que el futuro se construye con amor y alegría.

A mi amiga Allison, compañera de clases, desvelos y también de risas. Gracias por transformar cada reto en una aventura compartida, por tu amistad leal e inquebrantable, y por demostrarme que ningún esfuerzo es en vano cuando se avanza con convicción.

Finalmente, agradezco de manera especial a mi tutor, el Ing. Santiago Medina, por su paciencia y orientación a lo largo del desarrollo de este proyecto. Gracias a su guía, fue posible alcanzar un resultado que refleja esfuerzo y aprendizaje.

Este logro no es solo mío: es de todos los que tejieron su apoyo en esta historia.

Martha Gabriela Curicama Gualli

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA i
APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABLAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xiii
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xv
RESUMEN EJECUTIVO xvi
ABSTRACT xvii
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 2
III. OBJETIVOS 6
A. OBJETIVO GENERAL 6
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 6
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 7
I. EQUIPOS Y MATERIALES 7
II. MÉTODOS 8
A. PRIMERA FASE 9
1) Ensayos de laboratorio 9
a) Densidad del cemento hidráulico 9
b) Análisis granulométrico de los agregados 10

c) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino 12
d) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso 13
e) Peso volumétrico suelto y compactado de los agregados 14
f) Densidad aparente combinada de los agregados 15
g) Contenido de humedad de los agregados 16
2) Dosificación del Hormigón 16
a) Método de las densidades optimas 17
b) Corrección por humedad 18
3) Elaboración de la mezcla de hormigón con granito triturado 19
4) Propiedades en estado fresco 20
a) Densidad del hormigón fresco 21
b) Densidad del hormigón estado endurecido 22
5) Resistencia a la compresión 22
B. SEGUNDA FASE 23
1) Modulo elástico del Hormigón 23
a) Experimental 23
b) Método teórico 24
C. TERCERA FASE 25
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
I. ANÁLISIS Y discusión de resultados 27
A. PRIMERA FASE 27
1) Ensayos de laboratorio 27
a) Densidad del cemento hidráulico 27
b) Granulometria de los agregados 27
c) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino 30
d) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso 31
e) Peso volumétrico suelto y compactado de los agregados 31
f) Densidad aparente combinada de los agregados 31
g) Contenido de humedad de los agregados 32
2) Dosificación del hormigón 32
3) Propiedades en estado fresco 33
4) Densidad del hormigón fresco 34
5) Densidad del hormigón estado endurecido 34
6) Resistencia a la compresión 37

A. SEGUNDA FASE 39
1) Módulo elástico del hormigón 39
2) Módulo de elasticidad estático teórico 42
B. TERCERA FASE 42
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 45
A. HIPÓTESIS 45
Resumen de resultados 45
1) Análisis ANOVA 45
2) Análisis Estadístico Prueba Tukey 46
3) Conclusión 47
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 48
I. CONCLUSIONES 48
II. RECOMENDACIONES 50
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 51
ANEXOS 57

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ensayo de Densidad real del cemento 10
Fig. 2. Ensayo de Gradación de los Agregados. 11
Fig. 3. Ensayo de Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino 13
Fig. 4. Ensayo de Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso. 14
Fig. 5. Ensayo de Peso volumétrico suelto y compactado de los agregados 15
Fig. 6. Ensayo de densidad aparente combinada de los agregados 15
Fig. 7. Ensayo de contenido de humedad 16
Fig. 8. Elaboración de cilindros de hormigón 19
Fig. 9. Encofrado cilindros de hormigón 20
Fig. 10. Curado cilindros de hormigón 20
Fig. 11. Asentamiento Del Hormigón 21
Fig. 12. Peso del hormigón fresco 21
Fig. 13. Peso del cilindro 22
Fig. 14. Ensayo a compresión 23
Fig. 15. Ensayo del MEE 24
Fig. 16. Curva granulométrica del agregado fino. 28
Fig. 17. Curva granulométrica del agregado grueso. 29
Fig. 18. Curva granulométrica del granito triturado 30
Fig. 19. Curva granulométrica del agregado fino con % granito combinado 30
Fig. 20 Densidad aparente combinada de los agregados 32
Fig. 21 Densidades promedios en estado fresco de f´c de 240 kg/cm2. 34
Fig. 22 Densidades promedios en estado endurecido / Patrón 35
Fig. 23 Densidades promedios en estado endurecido / 10% granito 35
Fig. 24 Densidades promedios en estado endurecido / 15% granito 36
Fig. 25 Densidades promedios en estado endurecido / 20% granito 36
Fig. 26 Densidades promedios en estado endurecido de f´c de 240 kg/cm2 37
Fig. 27 Promedio porcentual de la resistencia a compresión a los 7 días 37
Fig. 28 Promedio porcentual de la resistencia a compresión a los 14 días 38
Fig. 29 Promedio porcentual de la resistencia a compresión a los 28 días 38
Fig. 30 Gráfica de la resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de edad 39
Fig. 31 Resistencia promedio a compresión del hormigón con % de granito 43
Fig. 32 Comparación de la resistencia a compresión a los 28 días 43
Fig. 33 Gráfico comparativo del módulo de elasticidad (experimental vs. teórico) 44

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I 11
TAMAÑO ESTÁNDAR DE TAMICES AGREGADO FINO [28], [29] 11
TABLA II 11
TAMAÑO ESTÁNDAR DE TAMICES AGREGADO GRUESO [28], [29] 11
TABLA III 17
NOMENCLATURA MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA 17
TABLA IV 18
CANTIDAD DE PASTA EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO REQUERIDO 18
TABLA V 33
DOSIFICACIÓN PARA EL VOLUMEN NECESARIO DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN 33
TABLA VI 33
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO 33
TABLA VII 40
MÓDULO de ELASTICIDAD ESTÁTICO / PATRÓN 40
TABLA VIII 40
MÓDULO de ELASTICIDAD ESTÁTICO / 10% GRANITO 40
TABLA IX 41
MÓDULO de ELASTICIDAD ESTÁTICO / 15% GRANITO 41
TABLA X 41
MÓDULO de ELASTICIDAD ESTÁTICO / 20% GRANITO 41
TABLA XI 42
MÓDULO de ELASTICIDAD ESTÁTICO / TEÓRICO 42
TABLA XII 44
MÓDULO de ELASTICIDAD ESTÁTICO EXPERIMENTAL VS TEÓRICO 44
TABLA XIV 60
MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO [31] 60
RELACIÓN AGUA/CEMENTO 66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Densidad del cemento 57
Anexo 2: Granulometría del agregado fino 57
Anexo 3: Granulometría del agregado grueso 58
Anexo 4: Granulometría del granito triturado 58
Anexo 5: Granulometría del agregado fino 10% combinado 59
Anexo 6: Granulometría del agregado fino 15% combinado 59
Anexo 7: Granulometría del agregado fino 20% combinado 60
Anexo 8: Tamaño de la muestra para áridos 60
Anexo 9: Densidad real del agregado fino 61
Anexo 10: Densidad real del granito triturado 62
Anexo 11: Densidad real del agregado grueso 63
Anexo 12: Densidad Aparente Suelta y Compactada agregado fino 63
Anexo 13: Densidad Aparente Suelta y Compactada agregado grueso 64
Anexo 14: Densidad Compactada de la Mezcla 65
Anexo 15: Contenido de humedad de los agregados 65
Anexo 16: Ensayos preliminares Método de la Densidad Óptima 65
Anexo 17: Relación agua/cemento 66
Anexo 18: Dosificación Método Densidad Óptima 66
Anexo 19: Densidad del hormigón fresco 68
Anexo 20: Densidad del hormigone en estado endurecido 69
Anexo 21: Resistencia a la compresión 7 días 70
Anexo 22: Resistencia a la compresión 14 días 70
Anexo 23: Resistencia a la compresión 28 días 71
Anexo 24: Cuadro resumen de resistencias obtenidas 71
Anexo 25: MEE Patron#1 72
Anexo 26: MEE Patron#2 73
Anexo 27: MEE Patron#3 74
Anexo 28: MEE 10% Granito#1 75
Anexo 29: MEE 10% Granito#2 76
Anexo 30: MEE 10% Granito#3 77
Anexo 31: MEE 15% Granito#1 78
Anexo 32: MEE 15% Granito#2 79
Anexo 33: MEE 15% Granito#3 80

Anexo 34: MEE 20% Granito#1 81
Anexo 35: MEE 20% Granito#2 82
Anexo 36: MEE 20% Granito #3 83

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

NTE INEN	Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización
NEC-15	Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
f'c	Resistencia a compresión del hormigón
MEE	Módulo de Elasticidad Estático
DHF	Densidad del Hormigón Fresco
DHE	Densidad del Hormigón Endurecido
PAT	Mezcla Patrón

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación experimental tuvo como finalidad evaluar la influencia del reemplazo parcial del agregado fino por granito triturado en las propiedades mecánicas del hormigón simple, enfocado en la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad estático. Para tal efecto, se elaboraron mezclas con porcentajes de sustitución del diez, quince y veinte por ciento, las cuales fueron comparadas con una mezcla patrón sin adición de granito, utilizando una dosificación diseñada para alcanzar una resistencia característica de doscientos cuarenta kilogramos por centímetro cuadrado.

A lo largo del estudio, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio destinados a caracterizar los materiales empleados, tales como granulometría, densidad real, absorción y contenido de humedad de los agregados. Asimismo, se ejecutaron ensayos en estado fresco, incluyendo trabajabilidad, asentamiento y densidad, así como pruebas en estado endurecido, tales como resistencia a compresión y módulo de elasticidad.

Los resultados obtenidos demostraron que el uso de granito triturado como reemplazo parcial del agregado fino, en proporciones controladas, no generó efectos negativos sobre la trabajabilidad del hormigón en estado fresco. Asimismo, la mezcla con una sustitución del quince por ciento evidenció un desempeño mecánico superior, alcanzando mayores niveles de resistencia a compresión y módulo de elasticidad en comparación con la mezcla patrón. Este comportamiento sugiere que dicha proporción de reemplazo optimiza la rigidez y resistencia del hormigón simple, posicionándose como una alternativa técnicamente efectiva dentro de los parámetros establecidos para el diseño estructural.

PALABRAS CLAVE: HORMIGÓN SIMPLE**,** GRANITO TRITURADO**,** PROPIEDADES MECÁNICAS, RESISTENCIA A COMPRESIÓN, MÓDULO DE ELASTICIDAD,

ABSTRACT

The purpose of this experimental investigation was to evaluate the influence of the partial replacement of fine aggregate by crushed granite on the mechanical properties of plain concrete, focusing on compressive strength and static modulus of elasticity. For this purpose, mixtures with replacement percentages of ten, fifteen and twenty percent were prepared and compared with a standard mixture without granite addition, using a dosage designed to achieve a characteristic strength of two hundred and forty kilograms per square centimeter.

Throughout the study, laboratory tests were carried out to characterize the materials used, such as granulometry, real density, absorption and moisture content of the fine aggregate. Tests were also carried out in the fresh state, including workability, slump and density, as well as tests in the hardened state, such as compressive strength and modulus of elasticity.

The results obtained showed that the use of crushed granite as a partial replacement of the fine aggregate, in controlled proportions, did not generate negative effects on the workability of the concrete in its fresh state. Likewise, the mix with a fifteen percent replacement evidenced a superior mechanical performance, reaching higher levels of compressive strength and modulus of elasticity compared to the standard mix. This behavior suggests that this replacement ratio optimizes the stiffness and strength of plain concrete, positioning it as a technically effective alternative within the parameters established for structural design.

KEYWORDS: PLAIN CONCRETE, CRUSHED GRANITE, MECHANICAL PROPERTIES, COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY,

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

El hormigón es uno de los materiales fundamentales para el desarrollo urbano, industrial y social de las sociedades modernas. Debido a su resistencia mecánica, durabilidad, versatilidad y bajo costo, su aplicación abarca desde la construcción residencial hasta las grandes obras de ingeniería civil [1], [2]. Sin embargo, su producción depende en gran medida de los agregados, que representan entre el 60% y 75% de su composición, lo cual ejerce presión creciente sobre los recursos naturales, especialmente la arena de río, usada como agregado fino [3], [4].

En respuesta a esta crisis, en la década de 2000 surgió el enfoque Materiales y Diseño Estructural Integrado (MIDCS), cuyo objetivo es optimizar el rendimiento estructural mediante el uso de nuevos materiales sostenibles [2]. En este contexto, el uso de residuos industriales como sustituto parcial de la producción de hormigón se ha identificado como una estrategia viable.

Por lo tanto, es necesario desarrollar alternativas que puedan reducir los impactos medioambientales y tecnológicos del uso de áridos convencionales en el hormigón. Una solución estratégica es la incorporación de restos de granito, como reemplazo parcial de la arena. Estudios previos han demostrado que la sustitución parcial del agregado fino con granito mejora su resistencia, cuando se utiliza en las proporciones adecuadas, ofreciendo una alternativa sostenible e innovadora para la industria de la construcción [5], [6], [7].

El presente estudio propone sustituir parcialmente el agregado fino por granito triturado, en determinadas proporciones para la elaboración del hormigón. La estrategia consiste en reutilizar los subproductos procedentes de la fabricación de muebles de granito específicamente, los recortes de granito, que no sólo reducen la producción de residuos, sino que también optimizan las propiedades mecánicas del hormigón.

Este estudio, pretende evaluar el módulo elástico del material en diferentes porcentajes de reemplazo del agregado fino y analizar su influencia en el desempeño estructural del hormigón, determinando si puede utilizar como una alternativa viable. Además, este enfoque innovador podría reducir la dependencia del agregado fino durante el proceso de producción, optimizando su uso en la industria de la construcción.

Finalmente, esta investigación compartirá información validada con la industria de la construcción para crear nuevas alternativas en la producción de hormigón y sugerir nuevos agregados que ayuden a mejorar las propiedades del hormigón[8].

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En primer lugar, la crisis mundial de sobreexplotación de la arena natural ha sido ampliamente documentada. Según la Naciones Unidas, el 75% de los sedimentos fluviales están amenazados, lo que provoca la pérdida de biodiversidad y el aumento de inundaciones [9]. Las investigaciones han demostrado que el uso de áridos reciclados, en cantidades relativamente pequeñas, no altera significativamente las propiedades del hormigón. Actualmente, algunas normativas técnicas europeas permiten el uso de hasta un 30% de áridos reciclados en la producción de hormigón estructural[10].

En este sentido, estudios pioneros como el de Felixkala y Partheeban [11] investigaron sobre el uso de polvo de granito como sustituto parcial de la arena natural en hormigón. Su estudio determinó que una sustitución del 25% de arena por polvo de granito mejora la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad en comparación con el concreto convencional. Sin embargo, porcentajes más altos reducen la resistencia mecánica y aumentan la retracción plástica.

Posteriormente, la investigación de A. Arivumangai y T. Felixkala [12], titulada "Strength and Durability Properties of Granite Powder Concrete", donde los autores evaluaron las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto al incorporar polvo de granito como reemplazo parcial de la arena. Los hallazgos indicaron que una sustitución del 25% de la arena por polvo de granito mejora significativamente la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto, sugiriendo su viabilidad como material alternativo en la construcción.

Además, S. Muthu Lakshmi y R. R. Nivedhitha [13] llevaron a cabo, una investigación centrada en la reutilización de residuos de demolición como agregados reciclados en concreto. En su artículo "Effect of Partial Replacement of Aggregates by Recycled Concrete Debris on Strength of Concrete", evaluaron reemplazos del 10 %, 20 % y 30 % de agregados gruesos y finos naturales por agregados reciclados provenientes de desechos de construcción. Los resultados mostraron que hasta un 20 % de reemplazo mejoraba la resistencia a compresión y tracción, mientras que la resistencia a flexión disminuía levemente. Este trabajo refuerza la idea de que los reemplazos parciales controlados de materiales tradicionales por residuos pueden mantener e incluso mejorar las propiedades mecánicas del concreto, principio sobre el que se basa la presente investigación.

Así mismo, el artículo "Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste" publicado por Vijayalakshmi *et al.* [14], considero las propiedades técnicas y

la durabilidad del concreto fabricado con desechos de polvo de granito (GP) en reemplazos del 0% al 25% del agregado fino, analizando propiedades mecánicas y de durabilidad. Los resultados demostraron que sustituciones de hasta el 15% de GP mantienen la integridad estructural y durabilidad del hormigón, sin afectar adversamente su desempeño. No obstante, para mejorar la resistencia a sulfatos, recomienda un pretratamiento de blanqueo químico del GP.

A su vez, el artículo "Use of Crushed Granite Fine as Replacement to River Sand in Concrete Production" publicado por Manasseh Joel [15], analizo la sustitución parcial de arena fluvial con Crushed *Granite Fine (granito triturado fino)* al 20%, obteniendo resistencias a compresión y tracción indirecta de 40.70 N/mm² y 2.30 N/mm² a 28 días, superiores a los valores de 35.00 N/mm² y 1.75 N/mm² del hormigón convencional.

Según el artículo "Durability of Ultra High Strength Concrete with Waste Granite Sand", determino que el uso de residuos industriales como el Waste Granite Sand (WGS) se ha evaluado positivamente, permitiendo alcanzar mejores propiedades físico-mecánicas. Rajasekar et al. [16] analizaron la incorporación de WGS en proporciones de hasta 40 %, mostrando mejoras en resistencia a compresión y durabilidad frente a agentes agresivos.

Mas recientemente, Ahmed y Tobbala[17], analizaron el uso de polvo de granito como reemplazo parcial del agregado fino en concretos reforzados de alto desempeño. Su investigación, mostró que, al sustituir parcialmente la arena natural con polvo de granito, la resistencia a compresión y a flexión aumentó considerablemente, especialmente cuando el reemplazo no excedía el 30 %. Este estudio es fundamental, ya que confirma que el granito triturado mejora la compacidad de la mezcla y reduce la porosidad, aspectos claves para el comportamiento estructural del hormigón.

En el ámbito del hormigón de alto desempeño, el artículo "Rheological and mechanical properties of concrete containing crushed granite fine aggregate" publicado por Cordeiro *et al.* [18], evalua el Crushed Granite Aggregate (CGA) como reemplazo parcial de la arena en hormigón de alto desempeño. Con sustituciones del 10%, 30% y 50%, analizaron propiedades reológicas y mecánicas. A los 28 días, la resistencia a compresión (50 MPa) y el módulo de Young se mantuvieron, y la absorción de agua disminuyó con 30%-50% de CGA. Los resultados confirman que el CGA es una alternativa sostenible sin afectar el rendimiento estructural.

Es así como, diversas investigaciones internacionales han propuesto el uso de residuos de polvo de granito como reemplazo parcial de arena en concreto, destacando mejoras en resistencia mecánica y beneficios ambientales. En países como Pakistán, Brasil e India, se ha comprobado que estos residuos optimizan propiedades físicas del concreto.[19]

De forma complementaria, Atoche Zamora [8]desarrolló un estudio experimental en el que incorporó polvo de granito como reemplazo parcial del agregado fino en proporciones de 10 %, 15 %, 20 % y 30 %. Sus resultados evidenciaron que el uso del 20 % de polvo de granito incrementó la resistencia a compresión del concreto en aproximadamente un 13 % respecto al diseño convencional, sin comprometer la trabajabilidad ni la durabilidad del material.

Sin embargo, no todos los estudios coinciden en los porcentajes óptimos de sustitución. “Performance evaluation of geopolymer concrete with waste granite powder as a sustainable alternative to sand” publicado por Minhajuddin y Saha [20], evalúa el uso de Waste Granite Powder (WGP) en sustituciones de hasta 40%, observando mejoras del 40% en resistencia a compresión y rigidez. Sin embargo, superar este umbral reduce la trabajabilidad.

En Ecuador, la extracción de arena está regulada por normativas legales que restringen su uso principalmente a la construcción de viviendas y vías. Aunque un 30% de esta actividad se realiza con tecnología avanzada en provincias como Guayas y Pichincha, en otras regiones, como Manabí, la extracción sigue siendo mayormente manual, causando impactos ambientales significativos.[21]. A nivel nacional, aunque existen pocos antecedentes sobre la sustitución de agregados finos con residuos de granito, sí se han realizado estudios sobre la sostenibilidad de materiales de construcción.

En el proyecto de investigación realizada por Cevallos O. et al. [22] realizaron un análisis de la producción y calidad de materiales de construcción en la región andina del Ecuador, detectando que, aunque los agregados tradicionales cumplen normativas técnicas, no se aprovechan adecuadamente los residuos industriales, como el polvo de cantera, que podría tener un alto potencial como material alternativo. Este vacío representa una oportunidad para el presente estudio.

Robayo M. [23] en su investigación “Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones”, analizó el impacto de incorporar fibra de acero y caucho reciclado en el hormigón, evaluando diferentes dosificaciones. Los resultados indicaron que la adición de estos materiales, en proporciones del 5% al 10%, no solo mantiene propiedades mecánicas similares al hormigón tradicional, sino

que también contribuye a la sostenibilidad al reutilizar residuos industriales. Este estudio respalda la viabilidad de utilizar materiales reciclados en la construcción, promoviendo prácticas más ecológicas sin comprometer la calidad estructural.

A su vez, Carrión et al. [24] realizo una evaluación de sostenibilidad de materiales autóctonos en Ecuador, concluyendo que, si bien el país ha avanzado en el uso de materiales como el bambú y el adobe, en el ámbito del concreto aún falta investigación sobre alternativas para reducir el uso de arena natural.

En el contexto local, destacan diversos antecedentes que permiten sustentar la viabilidad técnica del presente proyecto. La gestión de residuos de construcción y demolición ha cobrado especial importancia en los últimos años, impulsada por el crecimiento urbano sostenido en la región y la necesidad de adoptar prácticas constructivas sostenibles.

Desde el ámbito de la ingeniería civil, Rodríguez y Valle [25] realizaron un estudio experimental enfocado en la fabricación de hormigones a partir de materiales reciclados recolectados en la ciudad de Ambato. Gracias a una adecuada clasificación de los residuos de construcción, lograron producir mezclas de hormigón con valores de resistencia a la compresión superiores a los 280 kg/cm², lo cual demuestra el potencial técnico de aprovechar desechos locales como insumos para nuevos materiales de construcción [24].

Por su parte, Mayorga et al. [26] desarrollaron una investigación comparativa sobre la resistencia a compresión del hormigón tradicional frente a mezclas elaboradas con escombros de hormigón como agregado reciclado. El estudio mostró que reemplazos del 10 % y 15 % del agregado grueso por escombros lograron resistencias favorables de 214,54 kg/cm² y 211,57 kg/cm² a los 28 días, respectivamente. No obstante, también se evidenció que al aumentar el porcentaje de reemplazo, la resistencia mecánica disminuía de manera significativa, resaltando la necesidad de establecer límites técnicos adecuados en las proporciones de sustitución.

Finalmente, los antecedentes locales muestran que, tal como se ha reportado en estudios experimentales previos, es posible reemplazar parcialmente los agregados finos sin comprometer la resistencia estructural del hormigón, siempre y cuando se controle adecuadamente la cantidad y el manejo del material. En conjunto, estos datos sugieren que la incorporación de materiales reciclados en las mezclas de hormigón no sólo es técnicamente factible, sino también una estrategia eficaz para reducir los impactos ambientales y promover prácticas de construcción más sostenibles en la provincia de Tungurahua.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de granito como reemplazo parcial del agregado fino en la resistencia a compresión y el módulo elástico del hormigón simple, con el fin de determinar su viabilidad como material estructural.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1) Evaluar la resistencia a compresión de las mezclas a distintas edades (7, 14 y 28 días), comparándolas con un hormigón de referencia sin adición de granito.

2) Determinar el módulo elástico de las mezclas mediante ensayos experimentales, analizando su comportamiento en función del 10%, 15%, 20% de reemplazo del agregado fino por granito.

3) Comparar y analizar los resultados obtenidos, estableciendo la influencia del granito en las propiedades mecánicas del hormigón.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

En este capítulo se describieron los materiales, equipos y procedimientos utilizados para llevar a cabo la evaluación experimental de la resistencia a compresión y del módulo elástico del hormigón, considerando el reemplazo parcial del agregado fino por granito triturado. La investigación se estructuró en tres fases, cada una alineada con los objetivos específicos del estudio. En la primera fase se realizó la caracterización física de los materiales utilizados, lo que permitió establecer parámetros fundamentales para la dosificación del hormigón y se ejecutaron los ensayos correspondientes para determinar la resistencia a compresión. En la segunda fase se evaluó el módulo elástico del hormigón. Finalmente, la tercera fase consistió en un análisis comparativo e interpretativo de los resultados obtenidos en las fases anteriores.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

En la primera fase, se utilizaron los siguientes materiales para la elaboración de las mezclas: cemento Portland tipo GU de uso general; agua potable, libre de impurezas y apta para la hidratación del cemento; agregado grueso de piedra triturada con un tamaño máximo nominal de 25.4 mm y agregado fino provenientes de la mina CAO; y granito triturado, obtenido a partir de recortes de la industria marmolera, triturado y tamizado para cumplir con los requisitos granulométricos del agregado fino (menores a 4.75 mm).

Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y la elaboración de las mezclas se emplearon equipos disponibles en el laboratorio de Ingeniería Civil, entre los cuales se incluyeron: tamizadora vibratoria marca CONTROLS con juegos de tamices marca Humboldt para el análisis granulométrico; balanza electrónica de precisión SHIMADZU (modelo AUW220D) con capacidad de 2200 g y sensibilidad de 0.01 g; horno eléctrico CONTROLS (modelo 51-V1172) y recipientes metálicos para la determinación de humedad y absorción de los agregados; picnómetro, pipeta, embudo y canastilla de alambre para la determinación de la densidad real de los agregados; matraz Le Chatelier con capacidad de 250 ml y baño maría marca HUMBOLDT para la determinación de la densidad del cemento; así como probeta, pala, guantes y una concretera de eje horizontal de 200 litros (marca Century) para la preparación del concreto. Para el moldeo de especímenes se utilizaron moldes cilíndricos de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, además de una varilla de acero de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud para la compactación del concreto fresco. Las muestras fueron curadas en una cámara con temperatura controlada de 23 ± 2 °C.

Durante la segunda fase, máquina de ensayo universal SHIMADZU CONCRETO 2000X para realizar las pruebas de resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días; y extensómetros

lineales acoplados al sistema de carga para determinar el módulo de elasticidad del material. Todo el procedimiento experimental se desarrolló bajo condiciones de laboratorio estandarizadas, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Finalmente, en la tercera fase, se utilizó una computadora para organizar, comparar y analizar los resultados obtenidos, permitiendo establecer con claridad la influencia del granito triturado en las propiedades mecánicas del hormigón.

II. MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, utilizando principalmente métodos primarios con base experimental. El objetivo fue comparar el comportamiento mecánico de diferentes mezclas de hormigón modificadas mediante la incorporación de granito triturado como sustituto parcial del agregado fino. Este enfoque permitió obtener datos objetivos y medibles que respaldaran el análisis técnico del material estudiado. Los procedimientos aplicados estuvieron orientados a generar evidencia útil para la comunidad académica y profesional de la ingeniería civil, particularmente en lo referente a la implementación de soluciones sostenibles en la producción de hormigón.

Previo al desarrollo experimental, se ejecutó una fase preliminar enfocada en la recolección y preparación del granito. El material se obtuvo como retazos descartados de talleres, los fragmentos recolectados eran de tamaño medio, sin tratamiento superficial. Debido a la variedad de tipos y colores disponibles, se seleccionaron exclusivamente piezas de granito de color gris, con el fin de mantener la uniformidad visual y compositiva del agregado reciclado a lo largo de toda la investigación.

El proceso de reducción de tamaño se realizó de forma manual, mediante trituración en seco con combo, hasta obtener partículas menores a 4.75 mm, límite superior definido para agregados finos. Luego, el material triturado fue tamizado manualmente para eliminar partículas fuera del rango deseado, asegurando una granulometría compatible con el agregado fino utilizada en el diseño de mezcla.

Para llevar a cabo los ensayos experimentales, se elaboraron un total de 48 cilindros de hormigón, en los cuales se reemplazó parcialmente el agregado fino natural por granito triturado en proporciones del 10%, 15% y 20%. De estos especímenes, 36 se destinaron a ensayos de resistencia a compresión, evaluados a los 7, 14 y 28 días de curado. Adicionalmente, se prepararon 12 probetas con el propósito específico de determinar el módulo elástico del hormigón bajo distintas condiciones de sustitución.

A. PRIMERA FASE

En la primera etapa de la investigación se determinaron las propiedades físicas fundamentales de los materiales mediante la realización de ensayos de laboratorio, lo que permitió establecer los parámetros necesarios para la dosificación del hormigón. Esta fase se desarrolló aplicando un método primario de tipo experimental, enmarcado dentro del enfoque cuantitativo, ya que se obtuvieron datos a partir de procedimientos normados. Se evaluaron características como las densidades, granulometrías, absorción de los agregados y contenido de humedad.

De manera complementaria, se aplicó también un método secundario de tipo documental, basado en la revisión de literatura científica y técnica. Este análisis incluyó estudios previos sobre el empleo de agregados alternativos en el hormigón, con énfasis en la reutilización de residuos de granito. La información recopilada permitió contrastar enfoques, respaldar el diseño experimental y orientar el análisis de resultados a partir de experiencias previas en contextos similares.

1) Ensayos de laboratorio

a) Densidad del cemento hidráulico

La determinación de la densidad del cemento hidráulico es un procedimiento esencial para establecer correctamente la relación agua/cemento durante el diseño de mezclas de hormigón. Este ensayo se realizó siguiendo lo establecido en la norma NTE INEN 156, la cual especifica el uso del frasco de Le Chatelier como método de medición [27].

El procedimiento consistió en llenar el frasco hasta una marca de referencia con el líquido seleccionado, registrar la lectura inicial del nivel y, posteriormente, introducir cuidadosamente 64 g de cemento utilizando un embudo, evitando la formación de burbujas de aire. Luego, se registró la nueva lectura del nivel de líquido. La diferencia entre ambas lecturas permitió calcular el volumen desplazado, y, por tanto, la densidad del cemento como la relación entre la masa del material y el volumen desplazado del líquido.

$$\rho c = \frac{Mc}{Vc} \qquad (1)$$

Donde,

ρc Densidad del cemento (gr/ cm³)

Mc Masa del cemento (gr)

Vc Volumen desplazado (cm³)



Fig. 1. Ensayo de Densidad real del cemento

b) Análisis granulométrico de los agregados

El análisis granulométrico constituye un procedimiento esencial para determinar la distribución del tamaño de las partículas que componen los agregados utilizados en la elaboración de hormigón. Este ensayo se llevó a cabo conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 696 [28].

- Procedimiento para el agregado fino

La muestra de agregado fino se secó previamente en horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C hasta alcanzar masa constante. Posteriormente, se extrajo una porción representativa de 1000 g, la cual fue colocada en la tamizadora vibratoria, equipada con un juego de tamices con abertura estándar dispuestos en orden descendente. El tamizado se realizó en seco durante 10 minutos, conforme a las especificaciones de la norma.

El granito triturado fue sometido al mismo procedimiento aplicado al agregado fino, ya que su tamaño máximo era inferior a 4.75 mm.

- Procedimiento para el agregado grueso

Para el agregado grueso, se utilizó una muestra representativa de 10 000 g, determinada en función del tamaño máximo nominal del material, cumpliendo con la masa mínima establecida. El agregado fue previamente secado en horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C hasta alcanzar masa constante, con el fin de asegurar la precisión en los resultados del análisis granulométrico. El tamizado se llevó a cabo en seco, utilizando tamices con aberturas cuadradas, específicos para áridos gruesos, según lo establece la NTE INEN 696[28].

Este procedimiento consiste en clasificar los áridos según el tamaño de partícula, utilizando un conjunto de tamices con aberturas normalizadas dispuestos en orden descendente. La

secuencia utilizada para cada tipo de agregado se presenta en la TABLA I Y TABLA II correspondientes al agregado fino y agregado grueso, respectivamente.

TABLA I

TAMAÑO ESTÁNDAR DE TAMICES AGREGADO FINO [28], [29]

Tamiz	**Abertura / Tamaño**	**Límites % que Pasa**
3/8"	9.50 mm	100
#4	4.75 mm	95 a 100
#8	2.36 mm	80 a 100
#16	1.18 mm	50 a 85
#30	600 μm	25 a 60
#50	300 μm	5 a 30
#100	150 μm	0 a 10

TABLA II

TAMAÑO ESTÁNDAR DE TAMICES AGREGADO GRUESO [28], [29]

Tamiz	**Abertura (mm)**	**Límites % que Pasa**
2"	50.0	100
1 1/2"	37.5	100
1"	25.0	95 a 100
3/4"	19.0	-
1/2"	12.5	25 a 60
3/8"	9.5	-
# 4	4.75	0 a 10

Además, se calculó el módulo de finura, el cual representa el grado de fineza del agregado fino. Este valor se determinó sumando los porcentajes de material retenido en los tamices estándar, desde el 3/8" hasta el No. 100, y dividiendo el resultado para 100. Es importante señalar que, durante la ejecución del ensayo, la pérdida de material registrada entre el peso inicial y la suma de los pesos retenidos en los tamices no superó el margen permitido, debe mantenerse entre 0.5 % y 2 % para garantizar la validez de los resultados.



Fig. 2. Ensayo de Gradación de los Agregados.

c) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

La determinación de la densidad real y la capacidad de absorción del agregado fino fue un paso fundamental para la caracterización del material utilizado en las mezclas de hormigón. Este proceso se desarrolló conforme a la norma NTE INEN 856 [30], utilizando una muestra de 500 g previamente secada en horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante. Luego, se humedeció la muestra hasta llegar a su condición de saturado superficialmente seco (SSS), a fin de asegurar la precisión de los datos.

A partir de estos datos se calculó también la capacidad de absorción, que representa el porcentaje de agua retenida por el agregado en relación con su masa seca. Este valor fue necesario para realizar las correcciones por humedad en el momento de la dosificación, ya que una absorción inadecuada podría alterar la relación agua/cemento de la mezcla. Durante el procedimiento se tuvo especial cuidado en evitar errores por burbujas de aire o exceso de humedad superficial, lo cual aseguró que los resultados fueran confiables. La variación entre ensayos fue mínima y se mantuvo dentro de los rangos permitidos por la norma, lo que confirmó la precisión del método aplicado y la validez de los datos obtenidos. Finalmente, para calcular la densidad del agregado fino y absorción, se aplicó las fórmulas correspondientes.

$$DRA = \frac{Msss}{Vm} \quad (2)$$

Donde,

DRA	Densidad del agregado fino (gr/ cm³)
$Msss$	Masa en condición saturada superficie seca (gr)
Vm	Volumen desplazado (gr)

$$\%Abs = \frac{Msss - Ms}{Ms} * 100 \quad (3)$$

Donde,

$\%Abs$	Porcentaje de absorción (%)
$Msss$	Masa en condición saturada superficie seca (gr)
Ms	Masa de la muestra seca (gr)



Fig. 3. Ensayo de Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

d) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

La determinación de la densidad real y la capacidad de absorción del agregado grueso se llevó a cabo según lo establecido en la norma NTE INEN 857 [31], con el propósito de conocer las propiedades fundamentales del material, necesarias para el diseño de la mezcla. Para ello, se utilizó una muestra en base a su tamaño nominal máximo Anexo 8, la cual fue secada previamente en horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante. Una vez enfriada, la muestra fue sumergida en agua durante 24 horas para asegurar la saturación completa de las partículas. Posteriormente, se escurrió y se dejó reposar hasta que alcanzara el estado saturado superficialmente seco (SSS).

A continuación, se utilizó una canastilla metálica sumergida en agua y un recipiente calibrado. Se registraron los pesos del agregado en estado seco, SSS y sumergido. Con estos valores se calculó también la capacidad de absorción, expresada como el incremento porcentual de masa entre el estado SSS y el estado seco. Finalmente, para obtener la densidad real del agregado grueso y su absorción, se aplicaron las fórmulas correspondientes establecidas por la norma, las cuales se presentan a continuación.

$$DRR = \frac{Msss}{\frac{Msss - Msss\ agua}{pw}} \qquad (4)$$

Donde,

DRR	Densidad real del agregado grueso (gr/ cm³)
$Msss$	Masa de la muestra en estado saturado superficialmente seco en el aire (gr)
$Msss\ agua$	Masa de la muestra en estado saturado superficialmente seco en el agua (gr)
pw	Densidad del agua (gr/ cm³)

$$\%Abs = \frac{Msss - Ms}{Ms} * 100 \quad (5)$$

Donde,

$\%Abs$	Porcentaje de absorción (%)
$Msss$	Masa en condición saturada superficie seca (gr)
Ms	Masa de la muestra seca (gr)



Fig. 4. Ensayo de Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

e) Peso volumétrico suelto y compactado de los agregados

El ensayo para determinar el peso volumétrico suelto y compactado de los agregados se realizó conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 858[32], con el propósito de evaluar la densidad aparente de los materiales en dos condiciones: sin compactación y con compactación. Esta información fue fundamental para estimar correctamente los volúmenes de cada componente en la dosificación del hormigón.

Dentro de este método, se determinó el peso volumétrico suelto y compactado del agregado, se utilizó un recipiente cilíndrico metálico. En primer lugar, el agregado seco fue vertido libremente sin compactación para la condición suelta. En cambio, para la condición compactada, se llenó en tres capas y se aplicaron 25 golpes por capa con una varilla, conforme a norma técnica. Finalmente, se niveló la superficie y se pesó el contenido, aplicando las fórmulas correspondientes para calcular el peso volumétrico suelto y compactado.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (6)$$

Donde,

ρ	densidad (kg/m³)
m	masa de la muestra (kg)
v	volumen del molde (m³)



Fig. 5. Ensayo de Peso volumétrico suelto y compactado de los agregados

f) Densidad aparente combinada de los agregados

El ensayo para determinar la densidad aparente combinada de los agregados tuvo como objetivo establecer la relación óptima entre el agregado fino y el agregado grueso dentro de una mezcla, permitiendo identificar la combinación que genera la mayor densidad con el menor porcentaje de vacíos. Este procedimiento, basado en los principios de la NTE INEN 858, es una extensión del ensayo de masa unitaria suelta y compactada, pero aplicado a mezclas combinadas de agregados [32].

Para la realización del ensayo se preparó una mezcla de agregados con una proporción de 60 % de agregado fino y 40 % de agregado grueso en peso, la cual fue colocada en un recipiente metálico de volumen conocido. La arena se introdujo en tres capas, cada una compactada con 25 golpes de una varilla metálica, para asegurar una distribución uniforme y simular condiciones reales de compactación. Posteriormente, se agregó el ripio en una sola capa y se compactó ligeramente. Finalmente, se pesó el contenido del recipiente para determinar la densidad aparente combinada.



Fig. 6. Ensayo de densidad aparente combinada de los agregados

g) Contenido de humedad de los agregados

La determinación del contenido de humedad de los agregados se realizó conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 862 [33] , con el objetivo de ajustar adecuadamente la cantidad de agua en la mezcla de hormigón. El procedimiento consistió en pesar una muestra representativa como se muestra en el Anexo 8, de cada agregado, tal como lo indica la norma. Las muestras fueron colocadas en recipientes metálicos y llevadas al horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante. Posteriormente, se enfriaron a temperatura ambiente y se registró la masa seca. El contenido de humedad se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\%W = (\frac{Ww}{Ws}) * 100 \quad (7)$$

Donde,

$\%W$	Contenido húmedo
Ww	Peso del agua (gr)
Ws	Muestra seca (gr)



Fig. 7. Ensayo de contenido de humedad

2) Dosificación del Hormigón

La dosificación de las mezclas de hormigón, destinada a alcanzar una resistencia característica de 240 kg/cm² a los 28 días, se realizó empleando el método de densidades óptimas de la Universidad Central del Ecuador, complementado con la corrección por contenido de humedad de los agregados [34]. En función de este procedimiento, se definieron los parámetros y variables necesarias para el cálculo de las proporciones de los materiales. La nomenclatura utilizada en el proceso se presenta en la TABLA III.

TABLA III

NOMENCLATURA MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA

Descripción	Nomenclatura
Densidad Real del Cemento	DRC
Densidad Real de la Arena	DRA
Densidad Real del Ripio	DRR
Densidad Aparente Suelta de la Arena	DAAs
Densidad Aparente Suelta del Ripio	DARs
Densidad Aparente Compactada de la Arena	DAAc
Densidad Aparente Compactada del Ripio	DARc
Módulo de Finura de la Arena	MFA
Densidad Óptima de la Mezcla	DOM
Porcentaje Óptimo del Ripio	POR
Porcentaje Óptimo de la Arena	POA
Capacidad de Absorción de la Arena	CAA
Capacidad de Absorción del Ripio	CAR
Contenido de Humedad de la Arena	CHA
Contenido de Humedad del Ripio	CHR

a) Método de las densidades optimas

La densidad aparente combinada óptima de los agregados fue determinada considerando una proporción de 60 % de agregado fino y 40 % de agregado grueso, según los resultados obtenidos en el ensayo de densidad aparente compactada combinada [35]. A partir de este valor, se procedió a establecer la relación agua/cemento, la cual fue definida en función de la resistencia de diseño esperada, correspondiente a 240 kg/cm² a los 28 días. Dichos valores se encuentran detallados en la TABLA XIV. En este caso, se seleccionó una relación agua/cemento de 0.56

Seguidamente, se calculó la densidad real de la mezcla de agregados (DRM) aplicando la siguiente fórmula:

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR + POR}{100} \quad (8)$$

Donde,

DRM Densidad real de la mezcla de hormigón, en kg/m³

A continuación, se procedió al cálculo del porcentaje óptimo de vacíos (POV), los cuales deben ser llenados por la pasta compuesta de agua y cemento.

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100 \quad (9)$$

Seguidamente, se estimó la cantidad de pasta (cp) necesaria para garantizar una adecuada trabajabilidad. En este caso, ver TABLA IV.

TABLA IV

CANTIDAD DE PASTA EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO REQUERIDO

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta CP (%)
0 - 3	POV+2%+0.03 (POV)
3 - 6	POV+2%+0.06 (POV)
6 - 9	POV+2%+0.08 (POV)
9 - 12	POV+2%+0.11 (POV)
12 - 15	POV+2%+0.13 (POV)

Nota: Tomado del Seminario sobre el módulo de elasticidad del hormigón del Ing. Marco Garzón C. 2010 [36] .

Una vez determinado *CP*, se calculó la cantidad de cemento (*C*) para 1 m3 de hormigón, mediante la ecuación:

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}} \quad (10)$$

Y a su vez, la cantidad de agua (*W*) fue obtenida con:

$$W = \frac{W}{C} * C \quad (11)$$

Después, se procedió a calcular la cantidad de agregado fino (*A*) y agregado grueso (*R*) empleando las siguientes fórmulas:

$$A = (100 - CP) * \frac{DRA - POA}{100} \quad (12)$$

$$R = (100 - CP) * \frac{DRR - POR}{100} \quad (13)$$

Finalmente, se realizó la dosificación al peso, normalizando todos los componentes con respecto a la cantidad de cemento:

$$DOSIFICACIÓN\ (W.C.A.R) = \frac{Cantidad\ de\ material\ (W.C.A.R)\ por\ m3}{Cantidad\ de\ cemento\ (C)} \quad (14)$$

Cabe destacar que los cálculos anteriores asumieron los materiales en condición saturada superficialmente seca (SSS), por lo cual fue necesario aplicar una corrección por humedad, ajustando la cantidad de agua efectiva y el peso seco de los agregados para evitar alterar la relación agua/cemento.

b) Corrección por humedad

Previo a la dosificación, se aplicó la corrección por humedad de los agregados finos y gruesos, conforme a lo estipulado en las normas NTE INEN 862[33] . Esta corrección se realizó un día antes del mezclado, luego de determinar experimentalmente el contenido de humedad natural presente en los materiales.

3) Elaboración de la mezcla de hormigón con granito triturado

La elaboración de las mezclas de hormigón se llevó a cabo siguiendo los parámetros definidos en la dosificación previamente determinada mediante el método de las densidades óptimas. Para ello, se pesaron con precisión todos los materiales que conformaban la mezcla: cemento, agua, agregado fino natural, granito triturado y agregado grueso, de acuerdo con las proporciones establecidas para cada una de las variantes experimentales.

Inicialmente, la preparación se realizó en una concretera de eje horizontal con capacidad de 200 litros, considerando las proporciones de agregado fino (arena) y agregado grueso (ripio) especificadas en la dosificación, en las cuales se reemplazó el 10 %, 15 % y 20 % del agregado fino por granito triturado. En primer lugar, se introdujo el agregado grueso junto con aproximadamente la mitad del agua total; luego, se incorporó el agregado fino y el granito triturado. Posteriormente, se añadió el cemento junto con el resto del agua. La mezcla se mantuvo en reposo durante 3 minutos para permitir la hidratación inicial del cemento, y finalmente se mezcló por 3 minutos adicionales hasta lograr una masa homogénea y libre de segregación[37], [38].



Fig. 8. Elaboración de cilindros de hormigón

Los especímenes se desmoldaron a las 24 h y se trasladaron a una cámara de curado con temperatura controlada de 23 ± 2 °C, se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la norma NTE INEN 1576 [39]. El curado se mantuvo hasta alcanzar las edades de ensayo (7, 14 y 28 días), garantizando una hidratación adecuada y desarrollo de resistencia[40], [41].



Fig. 9. Encofrado cilindros de hormigón



Fig. 10. Curado cilindros de hormigón

4) Propiedades en estado fresco

Durante el proceso de elaboración de las mezclas de hormigón, fue fundamental evaluar las propiedades en estado fresco para garantizar una adecuada colocación y consolidación del material [42].

La trabajabilidad se valoró de manera cualitativa observando la facilidad con la que la mezcla se pudo manipular, colocar y compactar sin presentar segregación. Esta propiedad fue observada durante la fase de llenado de moldes y durante el asentamiento. El ensayo de asentamiento se ejecutó siguiendo la norma NTE INEN 1578 [43], utilizando el cono de Abrams. El procedimiento consistió en llenar el molde en tres capas de igual volumen, compactando cada una mediante 25 golpes aplicados con una varilla metálica lisa de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud. Al retirar el molde, se midió la diferencia de altura inicial y final de la mezcla, lo cual permitió determinar el asentamiento y, por tanto, el grado de fluidez del concreto [44], [45].



Fig. 11. Asentamiento Del Hormigón

Adicionalmente, se evaluó la homogeneidad de la mezcla mediante la inspección visual de la distribución uniforme de los materiales durante y después del mezclado. Esta característica aseguró que no existieran zonas con acumulación de finos o presencia de lechada superficial. Por otra parte, la consistencia se verificó con base en el comportamiento del concreto al ser manipulado, observando si mantenía su forma sin colapsar prematuramente. Estos controles permitieron establecer que la mezcla era adecuada para la ejecución de los especímenes, cumpliendo con las condiciones necesarias para las fases posteriores del ensayo[46].

a) Densidad del hormigón fresco

Se determinó la densidad del hormigón en estado fresco con base en los lineamientos establecidos por la norma ASTM C138/C138M [47], que permite la evaluación del peso unitario mediante la relación entre la masa del concreto y el volumen del recipiente utilizado.

Es importante señalar que esta propiedad está directamente influenciada por múltiples factores como la granulometría, la humedad de los agregados, la cantidad de agua de amasado y el grado de asentamiento de la mezcla. En efecto, mientras mayor sea la densidad de los agregados utilizados y más eficiente la compactación, mayor será la densidad del hormigón resultante. Esta medición es clave para el control de calidad, ya que permite identificar posibles desviaciones en la mezcla que pueden afectar el desempeño estructural del concreto.



Fig. 12. Peso del hormigón fresco

b) Densidad del hormigón estado endurecido

La determinación de la densidad del hormigón en estado endurecido se efectuó a los 7, 14 y 28 días de curado, conforme a lo establecido en la norma ASTM C642[48] y complementado con las recomendaciones de la norma NTE INEN 1576 [39]. Para ello, se utilizaron cilindros de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, previamente curados bajo condiciones controladas. El procedimiento consistió en secar superficialmente las probetas con un paño húmedo para eliminar el exceso de agua sin alterar su masa, y posteriormente se pesaron en con una balanza de precisión. La densidad se calculó mediante la relación entre la masa del hormigón seco superficialmente y el volumen del cilindro.



Fig. 13. Peso del cilindro

5) Resistencia a la compresión

La evaluación de la resistencia a la compresión del hormigón se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM C39/C39M-23[49] y NTE INEN 1573 [50]. Dado que no existe una normativa específica para hormigón con adición de granito triturado, se recurrió a los lineamientos convencionales utilizados para mezclas de hormigón simple.

En primer lugar, los cilindros fueron extraídos de la cámara de curado en estado húmedo, conforme lo exige la norma, y ensayados inmediatamente para evitar variaciones en la humedad del espécimen. Posteriormente, se colocaron en una prensa hidráulica para la aplicación de una carga axial continua hasta provocar la falla del material, manteniendo una velocidad de carga de 0.25 ± 0.05 MPa/s [50].

Finalmente, la resistencia a compresión fue calculada mediante la relación entre la carga máxima registrada y el área de la sección transversal del cilindro, utilizando la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (15)$$

Donde,

σ Resistencia a compresión (MPa)

P Carga axial máxima soportada (N)

A Área promedio de la sección transversal del cilindro [mm2].

Este procedimiento fue replicado para los especímenes a los 7, 14 y 28 días, lo cual permitió comparar el desarrollo de la resistencia mecánica en función del tiempo y del porcentaje de reemplazo del agregado fino por granito triturado (10 %, 15 % y 20 %).



Fig. 14. Ensayo a compresión

B. SEGUNDA FASE

1) Modulo elástico del Hormigón

a) Experimental

En esta segunda fase de la investigación, se evaluó el módulo de elasticidad estático del hormigón simple mediante ensayos de compresión axial, siguiendo los lineamientos establecidos por la norma ASTM C469 [51]. El objetivo principal fue analizar la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria para cada tipo de mezcla, elaborada con sustituciones del 10 %, 15 % y 20 % del agregado fino por granito triturado. Para ello, se trabajó con tres probetas cilíndricas por cada dosificación, las cuales fueron extraídas de las mezclas previamente preparadas y curadas durante 28 días.

Ahora bien, para garantizar condiciones adecuadas durante el desarrollo del ensayo, se utilizó una prensa hidráulica Shimadzu modelo 2000X equipada con extensómetros lineales, lo que permitió registrar de forma precisa la deformación unitaria correspondiente a cada carga

aplicada. Además, antes del inicio del ensayo, se procedió a la preparación de las superficies de carga, asegurando que fueran planas y uniformes para evitar errores de contacto durante la aplicación de la carga.

El procedimiento consistió en aplicar una carga axial creciente hasta alcanzar el 40 % de la resistencia máxima a compresión promedio previamente determinada para cada mezcla. Es preciso insistir en que el módulo de elasticidad se obtuvo como la pendiente de la recta definida entre dos puntos: uno correspondiente a un esfuerzo que generó una deformación unitaria de 0.000050 mm/mm, y otro correspondiente al esfuerzo desarrollado al alcanzar el 40 % de la carga máxima. Además, para el cálculo del MEE del hormigón se utilizó la formula expresada en la norma ASTM C469 [51]

$$\mathrm{E} = \frac{s_2 - s_1}{\varepsilon_{2-0.000050}} \qquad (16)$$

Donde,

E Módulo de elasticidad secante, en Mpa

s_2 Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

s_1 Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal , de las 50 millonésimas, en Mpa

ε_2 Deformación longitudinal producida por el esfuerzo, s_2



Fig. 15. Ensayo del MEE

b) Método teórico

Para estimar el módulo de elasticidad del hormigón de forma teórica, se utilizó la ecuación empírica propuesta por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-15 [52], la cual permite calcular el módulo de elasticidad estático a partir de la resistencia a compresión a los 28 días.

Esta relación se encuentra definida en el numeral 4.3.3 de dicha norma [52], donde se indica que [53].

$$\mathrm{Ec} = 4.7\sqrt{f'c} \quad (17)$$

Donde,

Ec Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

$f'c$ Resistencia a compresión del hormigón (MPa)

$$\mathrm{Ec} = 4700\sqrt{f'c} \quad (18)$$

Donde,

Ec Módulo de elasticidad para el hormigón (MPa)

$f'c$ Resistencia a compresión del hormigón (MPa)

Cabe señalar que esta fórmula es aplicable para hormigones normales con una densidad aproximada de 2400 kg/m3. Para cada una de las mezclas estudiadas, se utilizó el valor promedio de resistencia a compresión obtenido experimentalmente a los 28 días, a fin de calcular su respectivo módulo de elasticidad teórico.

Este procedimiento fue indispensable para realizar la comparación entre los valores experimentales obtenidos conforme a la norma ASTM C469/C469M [51] y los valores estimados teóricamente, lo que permitió evaluar la precisión del modelo empírico en función del comportamiento real de las mezclas desarrolladas en el estudio.

Además, este método resulta útil como referencia inicial para proyectar el comportamiento mecánico del hormigón. No obstante, se debe tener en cuenta que el valor teórico obtenido puede diferir del módulo real debido a la influencia de otros factores como la relación agua/cemento, la porosidad y la calidad del curado [53], [54], [55].

C. TERCERA FASE

En la tercera fase del estudio, se llevó a cabo un análisis comparativo de los resultados experimentales obtenidos en las fases anteriores para evaluar el efecto de la sustitución parcial del agregado fino por granito triturada en las propiedades mecánicas del hormigón. En otras palabras, se intentó establecer tendencias de comportamiento para determinar si la incorporación progresiva de granito (en proporciones del 10%, 15% y 20%) tenía un efecto positivo o negativo sobre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del hormigón.

Para ello, se organizaron los datos recolectados de las pruebas de resistencia a compresión a edades de 7, 14 y 28 días, así como los valores del módulo de elasticidad calculados según la norma ASTM C469 [51]. En este sentido, se establecieron comparaciones gráficas y porcentuales entre la mezcla patrón y las mezclas modificadas con adición de granito. Cabe destacar que el análisis consideró tanto la evolución del comportamiento mecánico con el tiempo de curado como la correlación entre el porcentaje de granito y las variaciones observadas en los resultados.

Asimismo, se interpretaron los valores del módulo elástico, evaluando la relación esfuerzo-deformación unitaria registrada en cada uno de los ensayos, con el objetivo de identificar posibles incrementos o disminuciones en la rigidez del hormigón conforme aumentaba el contenido de granito. Específicamente, se contrastaron los valores de E obtenidos experimentalmente frente a la mezcla patrón, con lo cual fue posible determinar el grado de viabilidad técnica del uso de granito como sustituto parcial del agregado fino.

Finalmente, todo este análisis fue guiado por criterios técnicos y normativos, y se apoyó en literatura especializada reciente. Así, se generó una base argumentativa para validar o cuestionar la incorporación de granito triturado como alternativa funcional en la elaboración de hormigones estructurales.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de los ensayos experimentales, conforme a la metodología establecida previamente. Las evaluaciones se realizaron sobre mezclas de hormigón con y sin incorporación de granito triturado como reemplazo parcial del agregado fino. Los resultados se estructuran en función de las propiedades mecánicas evaluadas, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, de acuerdo con los objetivos específicos del estudio. Finalmente, se lleva a cabo la verificación de la hipótesis, a fin de validar o descartar las suposiciones planteadas en la etapa inicial del trabajo investigativo.

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. PRIMERA FASE

En la primera fase se realizaron ensayos de laboratorio destinados a la caracterización física de los materiales que integran la mezcla de hormigón: cemento hidráulico, agregado fino, granito triturado y agregado grueso. Con base en estos resultados, se procedió a realizar la dosificación de las mezclas mediante el método de densidades óptimas de la Universidad Central del Ecuador [56], incorporando el granito como sustituto parcial del agregado fino en proporciones del 10 %, 15 % y 20 %. Las proporciones ajustadas permitieron la elaboración de probetas cilíndricas, las cuales se utilizaron en las siguientes fases para evaluar el comportamiento mecánico del hormigón.

1) Ensayos de laboratorio

a) Densidad del cemento hidráulico

En base al ensayo realizado ver Anexo 1, se obtuvo una densidad real promedio de 3.010 g/cm³ para el cemento Portland tipo GU, valor que se encuentra dentro del rango técnico aceptado para este tipo de material, comprendido entre 2.90 y 3.15 g/cm³, según lo reportado en la norma NTE INEN 156 [27]. Además, la desviación entre repeticiones fue mínima y no superó el umbral de ± 0.03 g/cm³ permitido por la norma para ensayos realizados por un mismo operador, lo que garantiza la precisión del procedimiento y la confiabilidad de los datos empleados en la dosificación.

b) Granulometria de los agregados

El análisis granulométrico se aplicó a los agregado fino , agregado grueso y granito , se registraron los pesos retenidos en cada tamiz. Con estos datos, se elaboraron las curvas granulométricas correspondientes para los agregados fino y grueso, evaluando así la

distribución del tamaño de las partículas. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 2 y Anexo 3.

- Agregado fino

En base al análisis granulométrico realizado, ver Fig. 16 y Anexo 2, el agregado fino presentó una curva de distribución de partículas continua y dentro de los rangos establecidos por la NTE INEN 872 [29]. El módulo de finura obtenido fue de 2.893, valor que se ubica dentro del intervalo aceptable de 2.30 a 3.10 para arenas utilizadas en mezclas de hormigón. Además, el porcentaje que pasó por el tamiz No. 200 (75 µm) fue inferior al 5 %, cumpliendo con los límites establecidos para impurezas perjudiciales. Asimismo, la pérdida por manipulación fue menor al 2 %, lo que garantiza la precisión del ensayo y la validez de los resultados obtenidos.

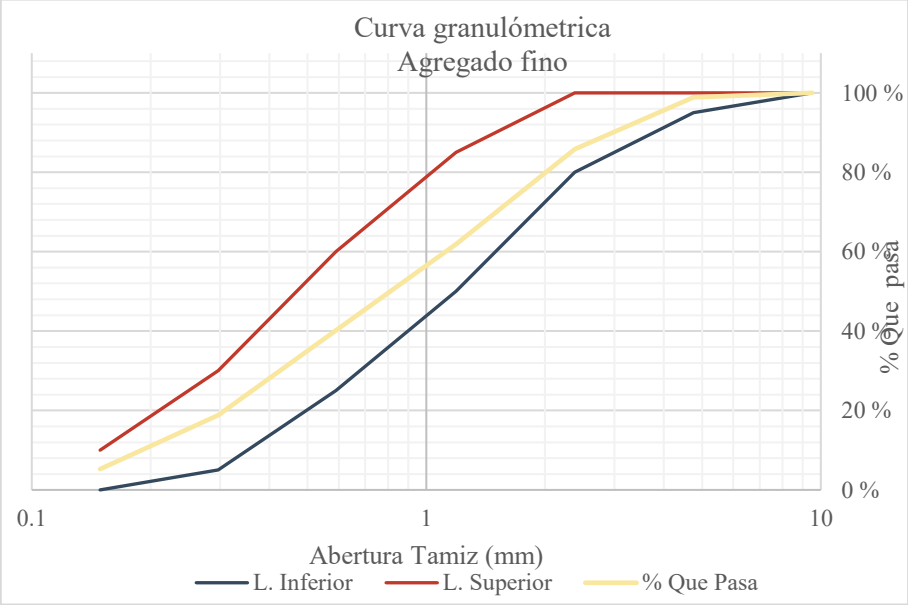


Fig. 16. Curva granulométrica del agregado fino.

- Agregado grueso

En el caso del agregado grueso, ver Fig. 17 y Anexo 3 la curva granulométrica mostró una distribución bien graduada y una clasificación correspondiente a un tamaño nominal máximo de 1”, definido por el tamiz que retiene entre el 5 % y 15 % de la muestra. Todos los porcentajes retenidos y pasantes se ubicaron dentro de los límites indicados por la NTE INEN 872 [29], lo que confirma la idoneidad del material para su uso en hormigón estructural. La distribución observada favorece una buena compactación y reduce la necesidad de exceso de pasta en la mezcla. Asimismo, la pérdida por manipulación fue menor al 2 %, lo que garantiza la precisión del ensayo y la validez de los resultados obtenidos.

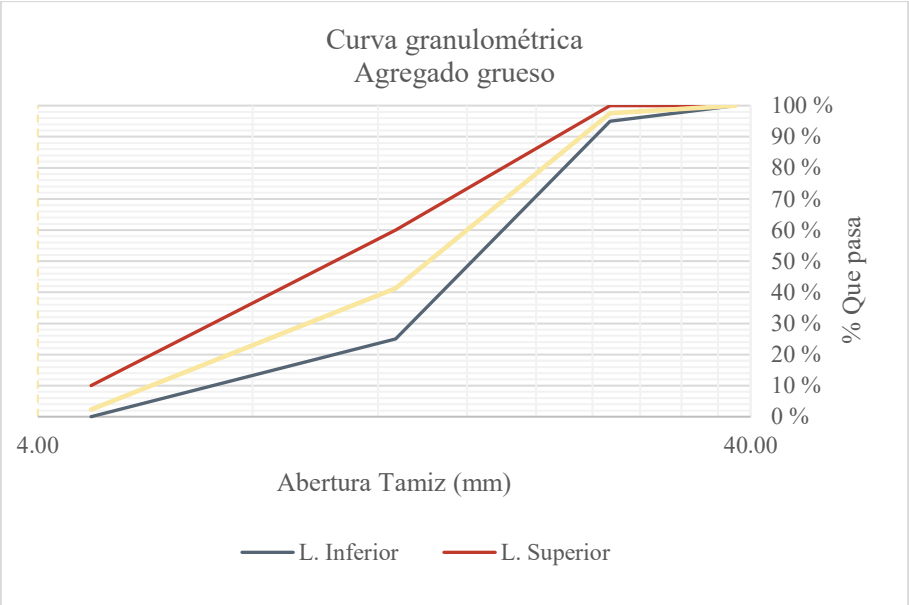


Fig. 17. Curva granulométrica del agregado grueso.

- Granito triturado

Los datos utilizados para la elaboración de la curva granulométrica del agregado del granito triturado se encuentran detallados en el Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, y Anexo 7. Los resultados mostraron curvas de distribución de partículas continuas y compatibles con los rangos establecidos por la NTE INEN 872 [29] lo que confirma su aptitud para ser utilizados en mezclas de hormigón.

Además, su módulo de finura individual fue de 3.18, valor ligeramente superior al rango normativo, pero aceptable si se emplea de forma parcial. Al evaluar las mezclas con reemplazo parcial del agregado fino natural, se obtuvieron módulos de finura de 2.84 para el 10 % de reemplazo, 2.80 para el 15 %, y 2.82 para el 20 %, todos ellos dentro del intervalo establecido por la normativa (2.30 – 3.10), establecida en la norma ASTM C33[57] , lo que refleja una gradación adecuada y un buen desempeño potencial en términos de trabajabilidad y cohesión[58]. Además, la pérdida de masa por manipulación durante el ensayo fue inferior al 2 %, valor aceptable según buenas prácticas de laboratorio, lo cual garantiza la precisión de las mediciones y la confiabilidad de los datos obtenidos.

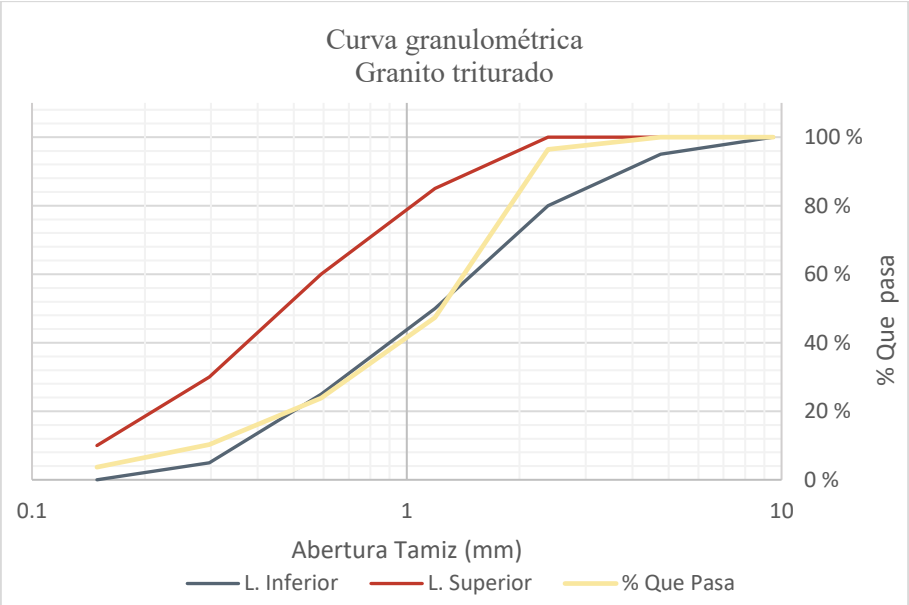


Fig. 18. Curva granulométrica del granito triturado

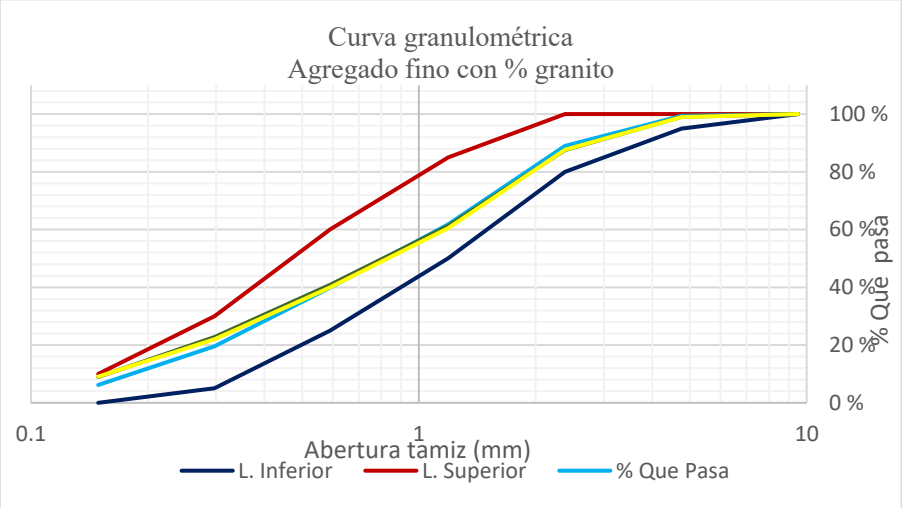


Fig. 19. Curva granulométrica del agregado fino con % granito combinado

c) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Los resultados del ensayo para la determinación de la densidad y absorción del agregado fino se presentan en el Anexo 9. El valor promedio obtenido para la densidad en estado saturado superficialmente seco (SSS) fue de 2.631 g/cm, estos valores se encuentran dentro del rango que varía 2.4 y 2.9 gr/cm3 [59], [60]. De la misma manera, la capacidad de absorción calculada fue de 1.980 %, lo cual se encuentra dentro del rango comúnmente aceptado para agregados naturales, que generalmente oscila entre 0.5 % y 3 % [30], [61].

- Granito triturado

En el caso del granito triturado se presenta en el Anexo 10, presentó una densidad real promedio de 2.604 g/cm³, siguiendo el procedimiento descrito en la NTE INEN 856 [30]. Este

resultado indica que el material posee una densidad similar a la de una arena natural [60], lo cual es característico de los agregados graníticos por su composición mineralógica. En cuanto a la capacidad de absorción, se obtuvo un valor promedio de 0.180 %, lo que refleja un comportamiento no poroso y una baja retención de humedad, favorable para aplicaciones en hormigón estructural[62].

d) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

En cuanto al agregado grueso, los valores obtenidos en los ensayos de densidad y absorción se encuentran también detallados en el Anexo 11. La densidad en condición SSS fue de 2.584 g/cm³, que se encuentran dentro del rango aceptable [59], [60]. Además, la capacidad de absorción resultante fue de 2.217 %, valor que se encuentra dentro de los límites típicos establecidos para agregados gruesos de origen triturado, los cuales suelen variar entre 2% y 3% [57]. Además, las variaciones entre repeticiones fueron mínimas, lo que valida la correcta ejecución del procedimiento y la confiabilidad de los resultados.

e) Peso volumétrico suelto y compactado de los agregados

Como parte de la caracterización física de los materiales, se determinó el peso volumétrico en estado suelto y compactado tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 858 [30]. En el caso de la arena, se obtuvo un peso volumétrico suelto de 1.603 kg/dm³ y un peso volumétrico compactado de 1.718 kg/dm³, ver Anexo 12, ambos dentro del rango establecido por la norma ASTM C29, que define estos valores entre 1,200 y 1,750 kg/m³ para agregados finos[63].

Por su parte, el agregado grueso presentó un peso volumétrico suelto de 1.459 kg/dm³ y un peso volumétrico compactado de 1.554 kg/dm³, valores consistentes con lo esperado para materiales de mayor tamaño de partícula, ambos se encuentran entre los valores de 1 280 y 1 920 kg/m³. El detalle se presenta en el Anexo 13.

f) Densidad aparente combinada de los agregados

Se puede apreciar en el Anexo 14 y Fig. 20 un resumen de los principales datos obtenidos y la densidad aparente óptima de la mezcla se tiene un valor de 1.893 Kg/dm3. Asimismo, se definieron las proporciones óptimas de participación de cada agregado en la mezcla, siendo del 46 % para el agregado fino y del 54 % para el agregado grueso.

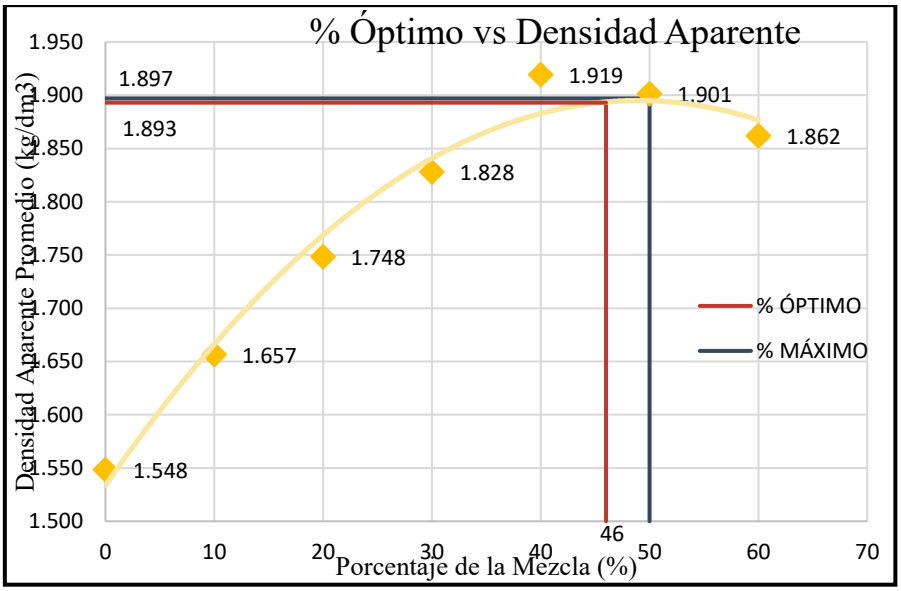


Fig. 20 Densidad aparente combinada de los agregados

g) Contenido de humedad de los agregados

Conforme a los procedimientos establecidos en la norma NTE INEN 862 y ASTM C566 [33], [64] , se determinó el contenido de humedad del agregado fino y del agregado grueso utilizado en la elaboración del hormigón. Para el caso de la arena, el resultado promedio fue de 0.225 %, mientras que el ripio presentó un contenido de humedad de 0.475%, se muestra en el Anexo 15.

2) Dosificación del hormigón

Con base en los resultados experimentales obtenidos, ver Anexo 16, durante la caracterización física de los materiales, se procedió a realizar la dosificación del hormigón mediante el método de las densidades óptimas, el cual fue propuesto por la Universidad Central del Ecuador. Este procedimiento permitió definir de manera precisa las proporciones de cada componente de la mezcla con el objetivo de alcanzar una resistencia característica de 240 kg/cm² a los 28 días. Los cálculos detallados se encuentran en el Anexo 16 y Anexo 18, en donde se describen las fórmulas, valores y resultados obtenidos para la mezcla. La TABLA V muestra el resumen de la dosificación de hormigón convencional. En particular, la cantidad de cemento para alcanzar una resistencia de 240 kg/cm².

TABLA V

DOSIFICACIÓN PARA EL VOLUMEN NECESARIO DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Tema:	***"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MODULO ELASTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"***
Realizado por:	Martha Curicama
Mina:	CAO
Fecha:	11 de Mayo 2025

Dosificación - Método Densidad Óptima

Material	Cantidad en kg por cada m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad por saco de 50 kg de cemento (kg)	Dosificación al volumen en obra	Cantidad requerida por rendimiento y/o humedad (kg)
W	197.94	0.56	32.50	32.50 L	4.36
C	353.47	1.00	50.00	1.00 Sac. 50kg	6.73
A	828.58	2.34	115.00	2.70 Parh.	15.50
R	955.30	2.70	133.00	3.40 Parh.	17.87

Adicionalmente, se utilizó el programa "Hormigón Maestro", desarrollado por Valeria Velastegui como parte de su trabajo de titulación, con el objetivo de comprobar y validar los resultados obtenidos mediante el método de las densidades óptimas. Este software permite automatizar el cálculo de dosificaciones para diferentes resistencias de diseño, considerando parámetros como la densidad de los materiales, relación agua/cemento, contenido de humedad y tipo de asentamiento requerido [65].

3) Propiedades en estado fresco

Con base en los ensayos realizados, se evaluaron las propiedades del hormigón en estado fresco, a saber: trabajabilidad, asentamiento, homogeneidad y consistencia, conforme a los procedimientos estipulados en la norma NTE INEN 1578 [43].

TABLA VI

PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**NTE INEN 1578 - ASTM C143**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**FECHA:**	

Prpiedades en estado fresco f'c=240 Kg/cm2

Propiedades	Patrón	Porcentaje de granito		
		10%	15%	20%
TRABAJABILIDAD	MB	B	B	R
ASENTAMIENTO	3	3.5	3.5	4.0
HOMOGENEIDAD	MB	MB	MB	MB
CONSISTENCIA	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda

Estos resultados permiten afirmar que las mezclas, tanto patrón como aquellas con reemplazo parcial del agregado fino por granito triturado, mantuvieron condiciones favorables de desempeño en estado fresco, garantizando así su correcta manipulación y colocación en la elaboración de los cilindros de hormigón. Sin embargo, la mezcla con 20 % de granito presentó una trabajabilidad clasificada como regular, lo que sugiere una ligera pérdida de fluidez posiblemente asociada al mayor contenido de partículas angulosas. Sin embargo, esta mezcla mantuvo una homogeneidad aceptable y una consistencia blanda, sin indicios de segregación.

4) Densidad del hormigón fresco

La densidad del hormigón fresco, ver Fig. 21 y Anexo 19, la incorporación progresiva de granito como reemplazo parcial del agregado fino generó variaciones en la densidad del hormigón en estado fresco.

Por lo tanto, la mezcla patrón registró una densidad de 2308.52 kg/m³, mientras que al incluir 10 % de granito, la densidad aumento en un 0.06 %, registrando un valor de 2309.84 kg/m³. Para el 15 % de reemplazo, el incremento fue de 0.12% con una densidad de 2311,30 kg/m³. Finalmente, el 20 % de granito presentó una densidad promedio de 2312,84 kg/m³, lo que representa un incremento del 0.19% en comparación con la mezcla patrón, se obtuvieron valores superiores a los 2160 kg/m³ especificados en la ACI 318 [66] para el mismo tipo de hormigón.

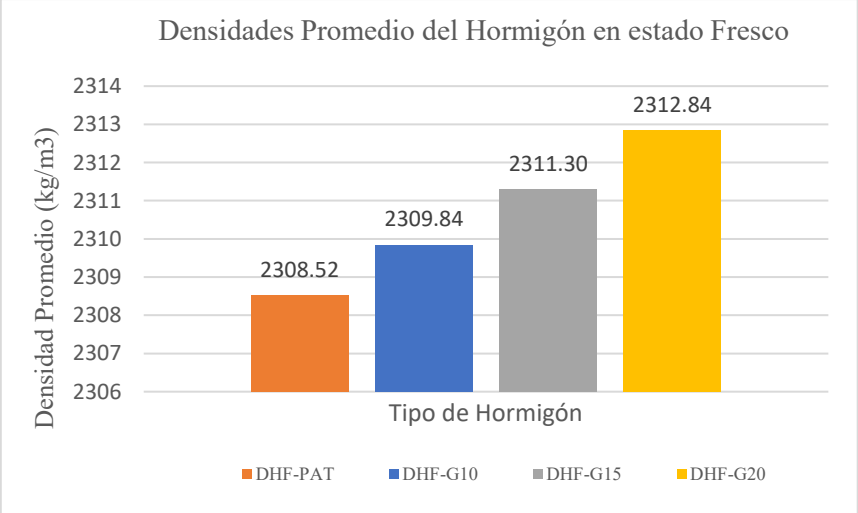


Fig. 21 Densidades promedios en estado fresco de f´c de 240 kg/cm2.

5) Densidad del hormigón estado endurecido

En cuanto a la densidad del hormigón en estado endurecido, los valores promedio se determinaron a los 7, 14 y 28 días de curado, conforme a los lineamientos establecidos en las

normas ASTM C642 y NTE INEN 1576 [39], [48]. Los resultados mostraron un incremento progresivo en la densidad conforme avanzó el tiempo de curado.

Tal como se ilustra en la Fig. 22 y en el Anexo 20, se reportaron las siguientes densidades del hormigón endurecido para la mezcla patrón sin adición de granito, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado: 2324.30 kg/m³, 2326.10 kg/m³ y 2330.35 kg/m³, respectivamente, variación que puede ser atribuida al contenido de humedad de las muestras al momento del ensayo.

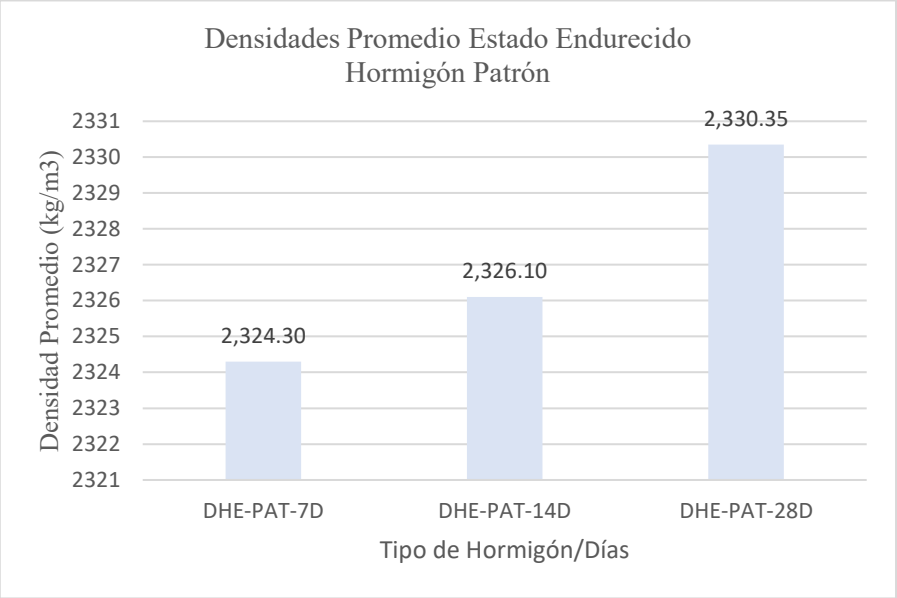


Fig. 22 Densidades promedios en estado endurecido / Patrón

Por otro lado, se ilustra en la Fig. 23 y en el Anexo 20, se reportaron las siguientes densidades del hormigón endurecido para la mezcla con 10% de granito, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado: 2336.50 kg/m³, 2342.95 kg/m³ y 2345.07 kg/m³, respectivamente, variación que puede ser atribuida al contenido de humedad de las muestras al momento del ensayo.

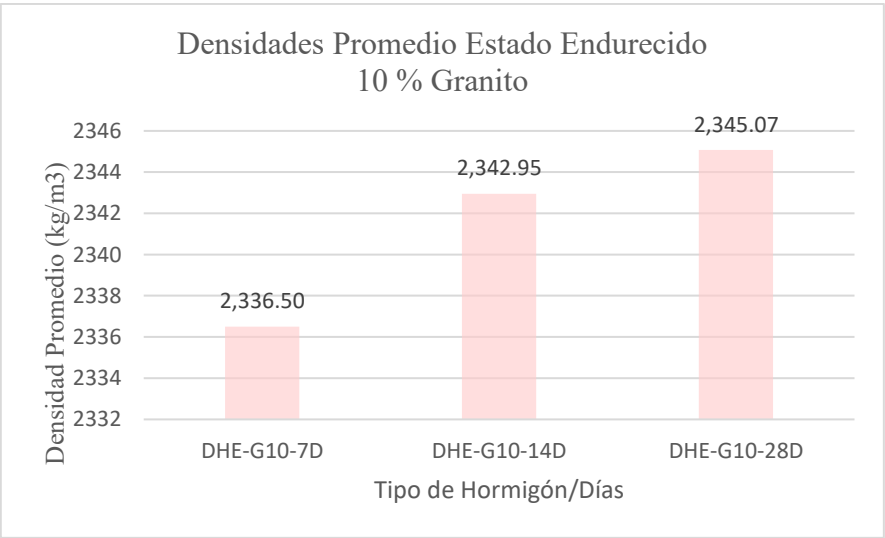


Fig. 23 Densidades promedios en estado endurecido / 10% granito

Además, se ilustra en la Fig.24 y en el Anexo 20, se reportaron las siguientes densidades del hormigón endurecido para la mezcla con 15% de granito, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado: 2361.22 kg/m³, 2374.80 kg/m³ y 2377.14 kg/m³, respectivamente, variación que puede ser atribuida al contenido de humedad de las muestras al momento del ensayo.

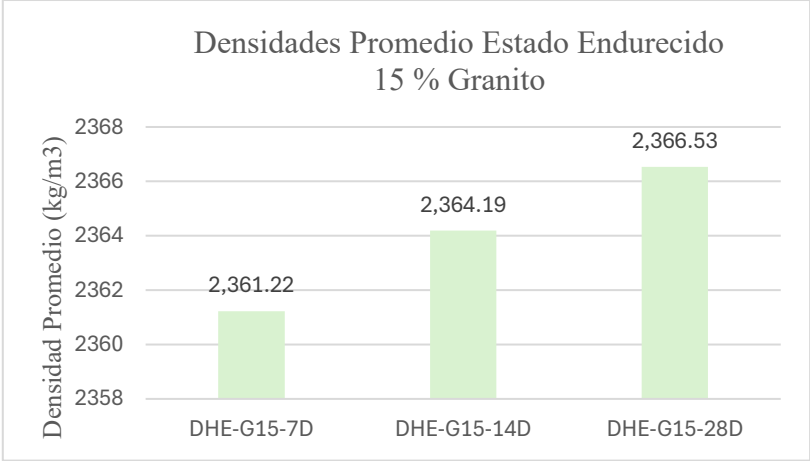


Fig. 24 Densidades promedios en estado endurecido / 15% granito

Luego, se ilustra en la Fig. 25 y en el Anexo 20, se reportaron las siguientes densidades del hormigón endurecido para la mezcla con 20 % de granito, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado: 2366.95 kg/m³, 2375.65 kg/m³ y 2386.16 kg/m³, respectivamente, variación que puede ser atribuida al contenido de humedad de las muestras al momento del ensayo.

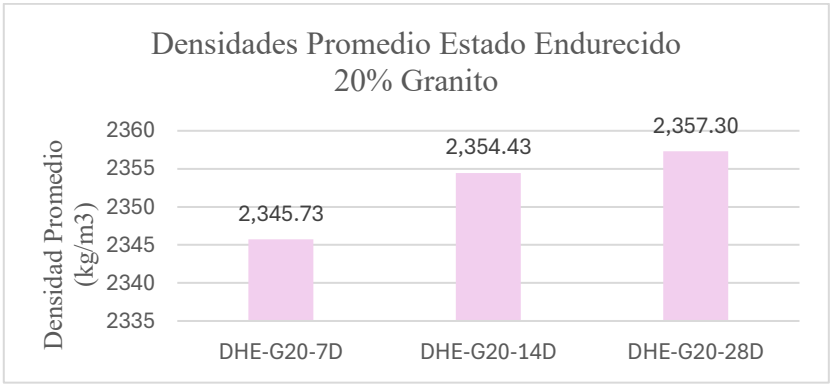


Fig. 25 Densidades promedios en estado endurecido / 20% granito

Por último, al comparar las densidades promedio del hormigón endurecido entre las distintas mezclas, según la Fig. 26, se evidenció un aumento progresivo de la densidad al incorporar granito triturado como reemplazo parcial del agregado fino. Específicamente, la mezcla con un 15 % de granito alcanzó la mayor densidad, lo que sugiere un nivel superior de compactación del material. Asimismo, las mezclas con 10 % y 20 % de granito también mostraron densidades superiores respecto a la mezcla patrón, aunque en menor proporción. Este comportamiento

indica que, al actuar como un material de mayor densidad, el granito contribuye a disminuir la cantidad de vacíos dentro de la matriz del hormigón, favoreciendo una compactación más eficiente y homogénea de la mezcla.

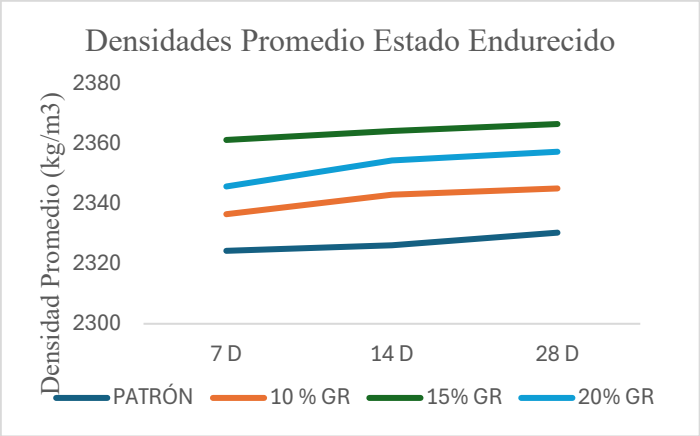


Fig. 26 Densidades promedios en estado endurecido de f´c de 240 kg/cm2

6) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue evaluada a los 7, 14 y 28 días conforme a los procedimientos establecidos en la norma ASTM C39/C39M y NTE INEN 1576 [39], [49]. Los valores obtenidos se muestran en los Anexo 21, Anexo 22 y Anexo 23.

Por lo tanto, la mezcla patrón sin sustitución de agregado fino alcanzó una resistencia promedio de 155.80 kg/cm² a los 7 días, lo que representa aproximadamente el 64.9 % de la resistencia de diseño establecida en 240 kg/cm². En el caso del reemplazo parcial del 10 % con granito triturado, la resistencia obtenida fue de 162.72 kg/cm², correspondiente al 67.8 % de la resistencia de diseño. Para la mezcla con 15 % de granito, se registró un valor de 168.35 kg/cm², lo que equivale al 70.1 %. Finalmente, el reemplazo del 20 % alcanzó una resistencia de 157.53 kg/cm², equivalente al 65.6 %.

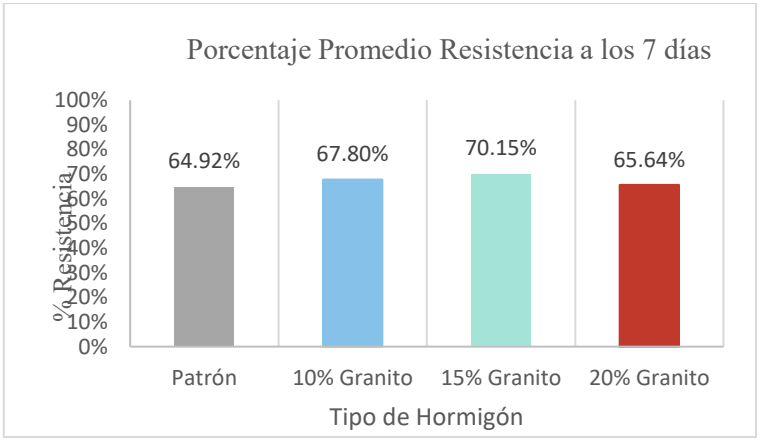


Fig. 27 Promedio porcentual de la resistencia a compresión a los 7 días

A los 14 días, los valores de resistencia mostraron un incremento progresivo. La mezcla patrón alcanzó 193.02 kg/cm², equivalente al 80.42% de la resistencia esperada. Las mezclas con adición de granito presentaron las siguientes resistencias: 209.90 kg/cm² para el 10 % (87.46%), 226.77 kg/cm² para el 15 % (94.49%) y 194.75 kg/cm² para el 20 % (81.15%).

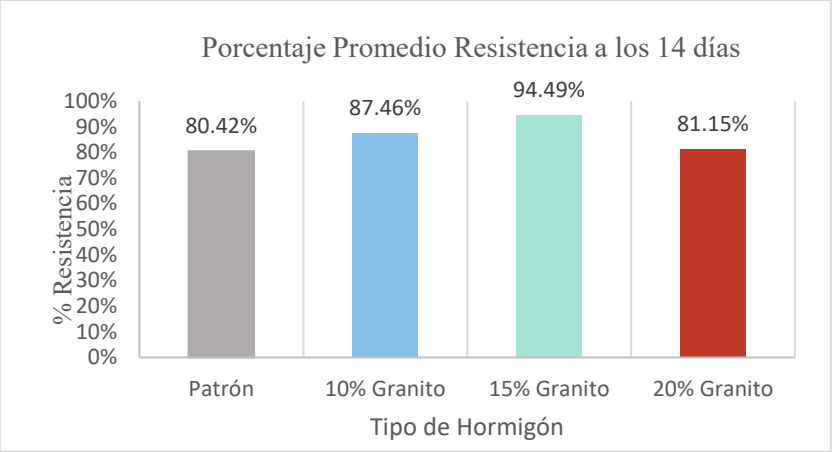


Fig. 28 Promedio porcentual de la resistencia a compresión a los 14 días

Además, a los 28 días, las resistencias superaron o se acercaron a la meta establecida. La mezcla patrón alcanzó una resistencia promedio de 237.59 kg/cm², lo cual representa el 99.00% de la resistencia de diseño. Las mezclas con granito mostraron: 240.62 kg/cm² para el 10 % (100.26 %), 263.56 kg/cm² para el 15 % (109.82%) y 234.13 kg/cm² para el 20 % (97.55%).

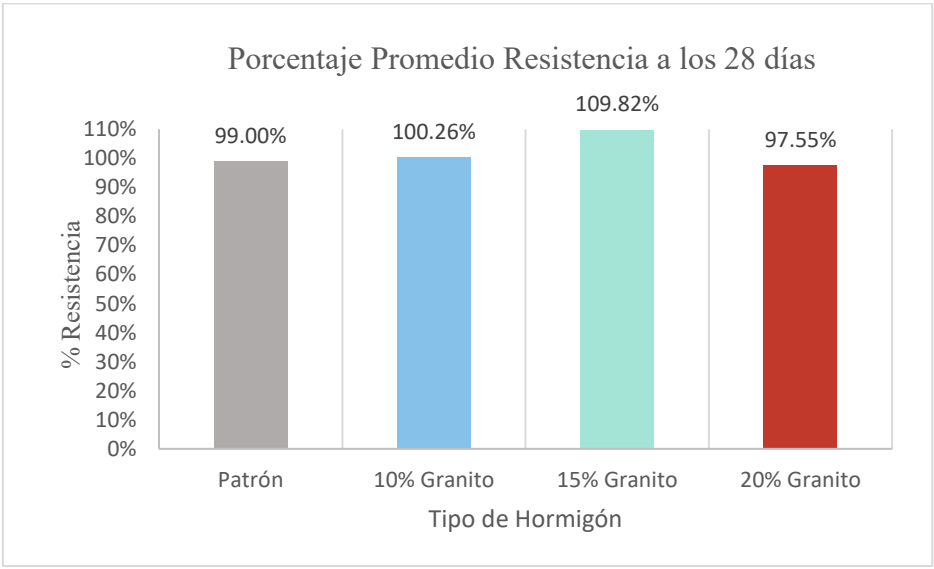


Fig. 29 Promedio porcentual de la resistencia a compresión a los 28 días

Así mismo, a partir de la Fig. 30 y Anexo 24, se puede observar el comportamiento de la resistencia a compresión del hormigón a los 7, 14 y 28 días para cada mezcla, comparadas con la mezcla patrón. En primer lugar, todas las mezclas mostraron un incremento progresivo de

resistencia conforme aumentó el tiempo de curado, lo que evidencia el desarrollo esperado de las propiedades mecánicas del hormigón.

Específicamente, se destaca que la mezcla con un 15 % de reemplazo de agregado fino por granito triturado presentó las mayores resistencias a todas las edades de 7, 14 y 28 días, superando tanto a las demás mezclas como a la mezcla patrón. Este comportamiento sugiere que dicha proporción optimiza significativamente el desempeño estructural del hormigón simple.

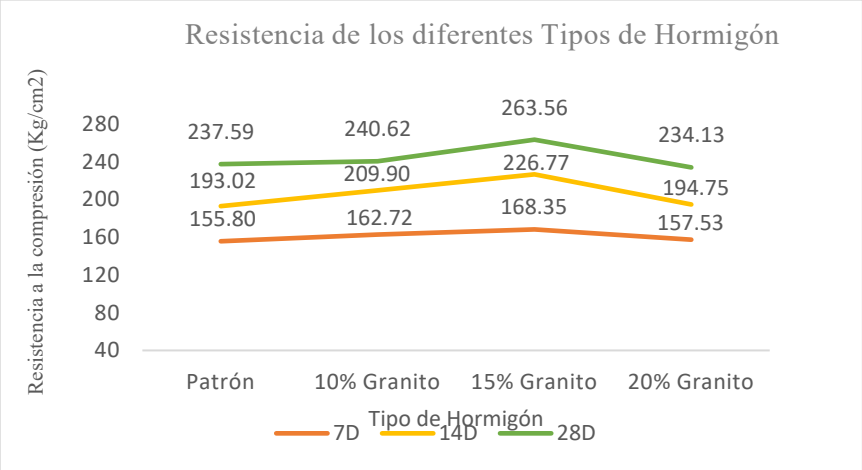


Fig. 30 Gráfica de la resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de edad

A. SEGUNDA FASE

1) Módulo elástico del hormigón

En esta etapa, se determinaron los valores experimentales del módulo de elasticidad estático del hormigón para las distintas proporciones de reemplazo parcial del agregado fino por granito triturado (10 %, 15 % y 20 %), conforme a los procedimientos establecidos en la norma ASTM C469/C469M-14[51]. El ensayo se realizó sobre cilindros curados durante 28 días, registrando el comportamiento esfuerzo-deformación mediante el uso de extensómetros lineales acoplados a una prensa hidráulica Shimadzu modelo 2000X.

En cuanto a la mezcla patrón, se ensayaron tres cilindros, cuya resistencia promedio a compresión fue de 23.30 MPa. Tal como se indica en la TABLA VII, así como en los Anexo 25, Anexo 26 y Anexo 27, los módulos obtenidos para cada una de las tres probetas fueron 194857.649 kg/cm², 185882.421 kg/cm² y 206160.827 kg/cm², lo que representa una variación aceptable entre valores, manteniéndose por debajo del 8% de precisión establecido por la normativa C469/C469M-14[51]. El valor promedio del módulo de elasticidad para la mezcla patrón fue de 195633.632 kg/cm².

TABLA VII

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO / PATRÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

Datos

EDAD:	28	Días	Def. Unit.	0.00005
f'c:	23.30	MPa	40% Resistencia Máx.:	9.32

Módulo de elasticidad estático (Patrón)

Datos Probeta				Lectura		MEE (MPa)	MEE (Kg/cm²)	PROMEDIO MEE (Kg/cm²)
Nº Probeta	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (MPa)	e2 x 10^4			
PATRÓN#1	100	200	3.674	1.618	0.00045	19109.311	194857.649	
PATRÓN#2	102	200	3.655	1.568	0.00046	18229.128	185882.421	195633.632
PATRÓN#3	100	199	3.654	1.592	0.00043	20217.792	206160.827	

Asimismo, para la mezcla con un 10 % de reemplazo de agregado fino por granito triturado, se obtuvo una resistencia promedio a compresión de 23.60 MPa. Estos resultados se encuentran detallados en la en la TABLA VIII, así como en los Anexo 28, Anexo 29 y Anexo 30, donde se presentan los resultados obtenidos del módulo de elasticidad estático de cada ensayo que fueron de 201158.593 kg/cm², 188373.532 kg/cm² y 197131.357 kg/cm², respectivamente. Esto dio como resultado un valor promedio de 195554.494 kg/cm².

TABLA VIII

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO / 10% GRANITO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

Datos

EDAD:	28	Días	Def. Unit.	0.00005
f'c:	23.60	MPa	40% Resistencia Máx.:	9.44

Módulo de elasticidad estático (10% Granito)

Datos Probeta				Lectura		MEE (MPa)	MEE (Kg/cm²)	PROMEDIO MEE (Kg/cm²)
Nº Probeta	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (MPa)	e2 x 10^4			
10% GR#1	100	201	3.632	1.366	0.00046	19727.23	201158.593	
10% GR#2	101	200	3.658	1.326	0.00048	18473.43	188373.532	195554.494
10% GR#3	100	200	3.761	1.385	0.00047	19332.29	197131.357	

De manera similar, para la mezcla con un 15 % de reemplazo de agregado fino por granito triturado, se obtuvo una resistencia promedio a compresión de 25.85 MPa. Tal como se detalla en la TABLA IX, así como en los Anexo 31, Anexo 32 y Anexo 33, se presentan los resultados obtenidos del módulo de elasticidad estático para esta variante, evaluada a los 28 días de curado.

En consecuencia, los valores obtenidos para cada uno de los tres ensayos fueron 269 357.755 kg/cm², 261 410.139 kg/cm² y 253 953.081 kg/cm², dando un promedio de 261573.658 kg/cm².

TABLA IX

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO / 15% GRANITO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

Datos

EDAD:	28	Días	Def. Unit.	0.00005
f'c:	25.85	MPa	40% Resistencia Máx.:	10.34

Módulo de elasticidad estático (15% Granito)

Datos Probeta				Lectura		MEE (MPa)	MEE (Kg/cm²)	PROMEDIO MEE (Kg/cm²)
Nº Probeta	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (MPa)	e2 x 10^4			
15% GR#1	101	200	3.732	3.536	0.00030	26415.392	269357.755	
15% GR#2	100	200	3.745	3.506	0.00032	25635.985	261410.139	261573.658
15% GR#3	102	200	3.725	3.385	0.00032	24904.686	253953.081	

Finalmente, para la mezcla con un 20 % de reemplazo del agregado fino por granito triturado, se obtuvo una resistencia promedio a compresión de 22.96 MPa. Tal como se detalla en la TABLA X, así como en los Anexo 34, Anexo 35 y Anexo 36, se presentan los resultados obtenidos del módulo de elasticidad estático para esta dosificación, evaluada a los 28 días de curado. En este contexto, los módulos determinados para cada una de las tres probetas fueron 189 435.495 kg/cm², 184 266.592 kg/cm² y 178 425.976 kg/cm², respectivamente. En consecuencia, el valor promedio del módulo de elasticidad para esta mezcla fue de 184 042.688 kg/cm².

TABLA X

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO / 20% GRANITO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

DATOS

EDAD:	28	Días	Def. Unit.	0.00005
f'c:	22.96	MPa	40% Resistencia Máx.:	9.18

Módulo de elasticidad estático (20% Granito)

Datos Probeta				Lectura		MEE (MPa)	MEE (Kg/cm²)	PROMEDIO MEE (Kg/cm²)
Nº Probeta	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (MPa)	e2 x 10^4			
20% GR#1	100	200	3.732	1.457	0.00047	18577.571	189435.495	
20% GR#2	100	200	3.688	1.400	0.00048	18070.667	184266.592	184042.688
20% GR#3	100	200	3.659	1.338	0.00050	17497.889	178425.976	

2) Módulo de elasticidad estático teórico

Asimismo, se procedió a estimar el módulo de elasticidad teórico del hormigón empleando la formulación establecida en la norma ecuatoriana NEC-15 [52], la cual permite calcular este parámetro estructural a partir del valor promedio de la resistencia a compresión a los 28 días, como se indica en la TABLA XI, para la mezcla patrón, cuya resistencia promedio fue de 23.30 MPa, el módulo de elasticidad teórico alcanzó un valor de 22.69 GPa, equivalente a 22 386.55 MPa.

Por otra parte, para la mezcla con un 10 % de reemplazo de agregado fino por granito, se obtuvo una resistencia promedio de 23.60 MPa, lo cual se tradujo en un módulo teórico de 22.83 GPa (22 457.68 MPa). De manera similar, la mezcla con un 15 % de granito presentó una resistencia de 25.85 MPa, generando un módulo de 23.89 GPa, equivalente a 22974.53 MPa. Finalmente, la mezcla con un 20 % de adición de granito registró una resistencia de 22.96 MPa, resultando en un módulo teórico de 22.52 GPa, equivalente a 22 304.53 MPa.

TABLA XI

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO / TEÓRICO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL

FECHA:	16/6/2025
NORMA:	**NEC-15**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI

Módulo de elasticidad estático teórico

Identificación	f'c (MPa)	MEE Teórico NEC-15 (GPa)	MEE Teórico NEC-15 (MPa)
PATRÓN	23.30	22.69	22386.55
10 % GRANITO	23.60	22.83	22457.68
15 % GRANITO	25.85	23.89	22974.53
20 % GRANITO	22.96	22.52	22304.53

B. TERCERA FASE

En la fase tres se compara el comportamiento a compresión de las probetas de hormigón con adición de granito triturado respecto a un hormigón convencional, diseñado para alcanzar una resistencia característica de 240 kg/cm² a los 28 días. En esta etapa se centró en interpretar y contrastar los resultados obtenidos en cada mezcla experimental con 10 %, 15 % y 20 % de

reemplazo parcial del agregado fino por granito, en comparación con la mezcla patrón, permite establecer la influencia del granito en las propiedades mecánicas del hormigón.

Seguidamente, se observa en la Fig. 31 y Anexo 24, cuyos resultados experimentales de resistencia a compresión para un diseño de 240 kg/cm² reflejan una tendencia creciente con respecto al tiempo de curado y al porcentaje de adición de granito triturado, hasta una proporción del 15 %. Es decir, conforme aumentó el tiempo de curado de los especímenes de 7, 14 y 28 días, también lo hizo su capacidad de resistencia, evidenciando un adecuado proceso de ganancia de propiedades mecánicas.

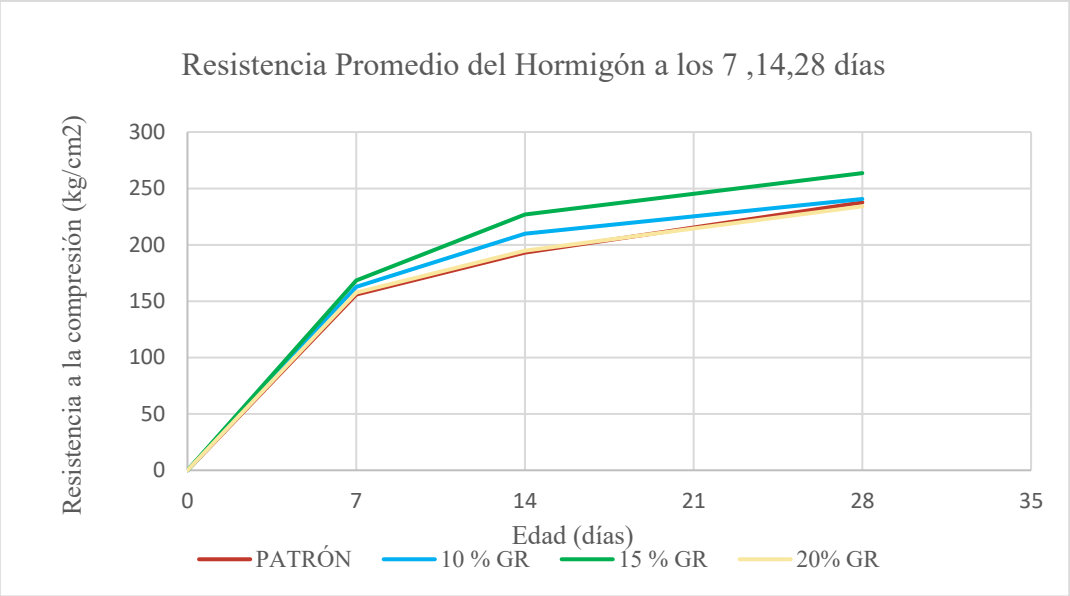


Fig. 31 Resistencia promedio a compresión del hormigón con % de granito

Por ende, en la Fig. 32 se muestran los valores de resistencia a la compresión a 28 días en la que se evidencio, que la mezcla con 15 % de granito alcanzó el mejor desempeño mecánico, con un promedio de 25.85 MPa, superando tanto al hormigón patrón de 23.30 MPa como a las otras mezclas.

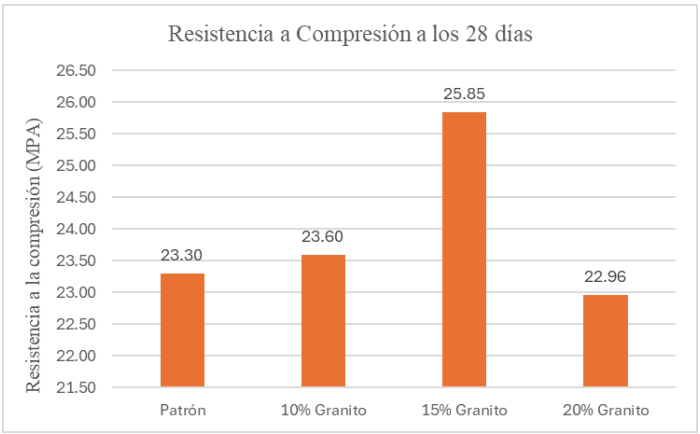


Fig. 32 Comparación de la resistencia a compresión a los 28 días

Por otro lado, la TABLA XIV, muestra de forma comparativa los valores promedio del módulo de elasticidad estático (MEE) obtenido mediante ensayos experimentales conforme a la norma ASTM C469/C469M-14 [51], frente a los valores teóricos estimados con base en la ecuación empírica propuesta por la normativa ecuatoriana NEC-15 [52]. Esta comparación incluyó las cuatro mezclas evaluadas: patrón, 10 %, 15 % y 20 % de reemplazo parcial del agregado fino por granito triturado.

TABLA XII

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EXPERIMENTAL VS TEÓRICO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

MEE Teórico vs Experimental

Identificación	f'c (MPa)	MEE Experimental ASTM C469 (Kg/cm²)	MEE Experimental ASTM C469 (MPa)	MEE Teórico NEC-15 (MPa)	Porcentaje de variación Teórico/ Experimental
PATRÓN	23.30	195633.63	19185.11	22386.55	-16.7%
10 % GRANITO	23.60	195554.49	19177.34	22457.68	-17.1%
15 % GRANITO	25.85	261573.66	25651.61	22974.53	10.4%
20 % GRANITO	22.96	184042.69	18048.42	22304.53	-23.6%

Dicho de otro modo, los resultados evidencian una variación porcentual que oscila entre el 10.4 % y el 23.6 % entre el módulo experimental y el teórico. Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza del agregado reciclado utilizado, cuya granulometría y propiedades físico-mecánicas pueden influir en la respuesta elástica del hormigón. A pesar de estas diferencias, los módulos experimentales se mantuvieron en rangos aceptables, lo cual valida la fiabilidad del método aplicado.

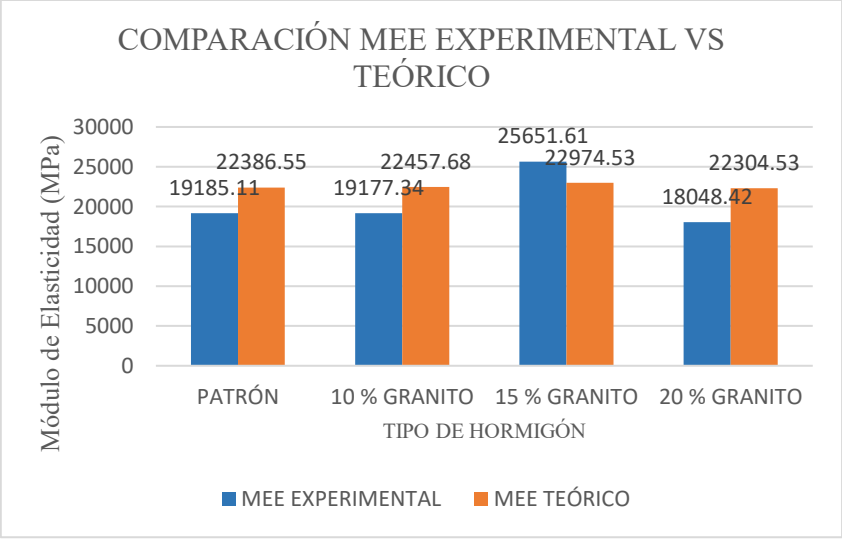


Fig. 33 Gráfico comparativo del módulo de elasticidad (experimental vs. teórico)

En la Fig. 33 se presenta la comparativa del módulo de elasticidad estático experimental vs teórico donde se observó que la mezcla con 15 % de granito alcanzó el valor más alto de 25651.61 MPa, superando tanto a la mezcla patrón como a las variantes con 10 % y 20 %. Es decir, un reemplazo controlado de hasta 15 % podría optimizar el desempeño estructural del hormigón, mientras que proporciones mayores, como el 20 %, podrían afectar la compacidad de la mezcla y, por consiguiente, disminuir su rigidez.

Por consiguiente, se concluye que el uso de granito triturado como reemplazo parcial del agregado fino puede representar una alternativa viable desde el punto de vista técnico y mecánico, siempre que se mantenga dentro de un rango de adición moderado. En efecto, el 15 % se presenta como la proporción más eficiente para mejorar el módulo de elasticidad sin comprometer la trabajabilidad ni la calidad estructural del hormigón.

Estos resultados se alinean con investigaciones recientes que sugieren rangos óptimos de reemplazo entre el 10 % y 15 %, como estrategia para mantener o incluso mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La presente investigación planteó la hipótesis de que, el reemplazo parcial de agregado fino por granito triturado mejora las propiedades mecánicas como resistencia a compresión y modulo elástico del hormigón simple.

Resumen de resultados

Tras el análisis de 48 probetas cilíndricas sometidas a ensayos de compresión y módulo elástico, se evaluó la hipótesis de que el reemplazo parcial del agregado fino por granito triturado mejora las propiedades mecánicas del hormigón simple. Como se muestra en los resultados experimentales, la mezcla con un 15 % de granito alcanzó una resistencia a compresión promedio de 25.85 MPa, superando en 9.85 % a la mezcla patrón (23.30 MPa). En cuanto al módulo de elasticidad, esta misma mezcla logró el valor más alto, con 25,651.61 MPa, frente a los 19,185.11 MPa de la mezcla patrón, representando una mejora del 25.22 %.

1) Análisis ANOVA

Para validar estadísticamente estas diferencias, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) entre los grupos, obteniéndose un valor F de 14.12 y un p-valor de 0.0021, menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Esto permite rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis

alternativa (H_1), evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre las mezclas analizadas.

Hipótesis: El reemplazo parcial de agregado fino por granito triturado mejora las propiedades mecánicas como resistencia a compresión y modulo elástico del hormigón simple.

- *H_0 (nula):* No hay diferencia significativa entre las resistencias de las distintas mezclas.
- *H_1 (alternativa):* Al menos una mezcla tiene una resistencia significativamente distinta.

Datos experimentales:

Mezcla	Resistencia a compresión a 28 días (MPa)
Patrón (0% granito)	23.30
10% granito	23.60
15% granito	25.85
20% granito	22.96

Resultado del ANOVA

- F = 14.12
- p = 0.0021

Como $p < 0.05$, se rechaza H_0. Es decir, existe una diferencia estadísticamente significativa entre al menos una de las mezclas respecto a las demás.

Conclusión:

El reemplazo parcial del agregado fino por granito triturado sí tiene un efecto significativo sobre la resistencia a compresión del hormigón. En particular, el 15% de granito muestra un rendimiento superior, como también lo indican los resultados descriptivos.

2) Análisis Estadístico Prueba Tukey

Comparación	Diferencia de medias	p-valor
Patrón vs 10% granito	0.27	0.92
Patrón vs 15% granito	2.45	0.003

Patrón vs 20% granito	0.17	0.97
10% vs 15% granito	2.18	0.005
10% vs 20% granito	0.10	0.99
15% vs 20% granito	2.28	0.004

3) Conclusión

La mezcla con 15% de granito tiene diferencias significativas respecto a todas las demás, las otras mezclas no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí. Por lo tanto, se valida la hipótesis de que el 15% de reemplazo es óptimo para mejorar la resistencia a compresión.

Se aplicó un análisis de varianza ANOVA de un factor con los resultados experimentales de resistencia a compresión a los 28 días para las cuatro mezclas: patrón, 10 %, 15 % y 20 % de reemplazo de agregado fino por granito triturado. El resultado fue estadísticamente significativo ($F = 100.39$, $p < 0.001$), indicando que al menos una mezcla difiere en su resistencia.

Posteriormente, se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD. Esta confirmó que la mezcla con 15 % de granito mostró una resistencia significativamente mayor en comparación con todas las demás mezclas ($p < 0.001$). Asimismo, la mezcla con 10 % de granito presentó una mejora leve pero significativa frente a la mezcla patrón ($p = 0.045$), mientras que la mezcla con 20 % no presentó una diferencia estadísticamente relevante.

Estos resultados validan la hipótesis de que el reemplazo parcial del agregado fino con granito triturado mejora las propiedades mecánicas del hormigón, particularmente cuando se utiliza una proporción del 15 %.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- Se determino la dosificación del hormigón simple para una resistencia de 240 kg/cm² mediante el método de las densidades óptimas. Como resultado se obtuvo una relación agua/cemento de 0.56, y una dosificación por m³ de 197.94 kg de agua, 353.47 kg de cemento, 828.58 kg de agregado fino y 955.30 kg de agregado grueso, lo que permitió la elaboración de mezclas homogéneas, aptas para los ensayos requeridos.

- En cuanto a la densidad en estado fresco, se observó un ligero incremento progresivo conforme aumentaba el porcentaje de granito triturado, alcanzando valores promedios de 2309.85, 2311.30 y 2312.84 kg/m³ para los reemplazos del 10 %, 15 % y 20 %, respectivamente, frente a la mezcla patrón de 2308.52 kg/m³. Esta variación se atribuye a la mayor densidad específica del granito respecto a la arena natural.

- En el estado fresco, todas las mezclas conservaron una consistencia blanda y niveles adecuados de homogeneidad. La mezcla patrón presentó una trabajabilidad “muy buena” (MB), mientras que las mezclas con 10 % y 15 % de granito mostraron una trabajabilidad “buena” (B), y la del 20 % fue clasificada como “regular” (R). A medida que se incrementó el porcentaje de reemplazo con granito, el asentamiento aumentó de 3.0 cm a 4.0 cm. Se evidenció que, al aumentar el contenido de granito, se requería menos agua para alcanzar el mismo asentamiento, lo cual favorece la eficiencia de la mezcla.

- En términos de resistencia a compresión, los resultados muestran un incremento hasta el 15 % de reemplazo: la mezcla con 15 % de granito alcanzó 25.85 MPa a los 28 días, superando tanto a la mezcla patrón de 23.30 MPa como a las de 10 % y 20 %. La mezcla con 20 % presentó una ligera disminución, lo que sugiere un límite óptimo en torno al 15 %.

- En cuanto al módulo de elasticidad estático experimental, se observó un comportamiento similar con los resultados de resistencia a compresión. El valor más alto obtenido fue en la mezcla con un 15 % de granito, alcanzando los 25 651.61 MPa. A esta le siguieron las mezclas con 10 % y el patrón, con valores de 19 177.34 MPa y 19 185.11 MPa, respectivamente. En cambio, la mezcla con 20 % de granito mostró una disminución en el módulo de elasticidad, situándose en 18 048.42 MPa.

- Al comparar los resultados experimentales con los módulos teóricos calculados mediante la fórmula establecida en la NEC-15, se observó una variación porcentual significativa. En particular, la mezcla con un 15 % de reemplazo por granito superó al valor teórico en un 10.4 %, lo cual evidencia una mejora en el comportamiento elástico del hormigón en esta proporción. Por el contrario, las demás mezclas no alcanzaron los valores teóricos estimados. Estos resultados indican que un reemplazo moderado con un 15 % optimiza el módulo de elasticidad del hormigón, mientras que proporciones superiores al 20 % tienden a disminuir su desempeño estructural.
- Se concluye que el uso de granito triturado como sustituto parcial del agregado fino, en una proporción del 15 %, resulta técnica y mecánicamente viable. En efecto, dicho reemplazo contribuye a la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón, como la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad.

II. RECOMENDACIONES

- Se recomienda limitar el porcentaje de reemplazo del agregado fino por granito triturado hasta un 15 %, ya que este porcentaje demostró una mejora significativa en la resistencia a compresión y en el módulo de elasticidad del hormigón, sin afectar negativamente sus propiedades en estado fresco.
- Es conveniente aplicar el método de las densidades óptimas para futuras dosificaciones, puesto que permitió alcanzar mezclas homogéneas, técnicamente consistentes y con buena trabajabilidad, adaptadas a la resistencia de diseño establecida.
- Se sugiere realizar un control riguroso del contenido de humedad y absorción de los agregados, especialmente del granito triturado, para ajustar correctamente la relación agua/cemento y evitar desviaciones en la resistencia esperada.
- Se recomienda realizar un tratamiento de blanqueamiento o lavado químico al granito triturado antes de su incorporación en la mezcla, con el objetivo de reducir la presencia de compuestos potencialmente reactivos, como el hierro libre u óxidos metálicos, que podrían favorecer procesos de corrosión en presencia de acero de refuerzo.
- Desde una perspectiva de sostenibilidad, se recomienda fomentar el uso de residuos como el granito triturado en obras civiles, ya que su aprovechamiento contribuye a la reducción de desechos y a la conservación de recursos naturales no renovables.
- Vale la pena considerar el análisis del comportamiento del hormigón a edades superiores a los 28 días, lo que permitiría validar el desarrollo continuo de propiedades mecánicas en el tiempo, especialmente en mezclas con contenidos de granito cercanos al 20 %.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] R. Villao-Vera, "Las nuevas técnicas para el desarrollo y evaluaciones de las estructuras de hormigón", *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 7, nº 3–1, pp. 176–190, may 2022, doi: 10.33386/593dp.2022.3-1.1134.

[2] X. Ming, J. C. Huang, y Z. Li, "Materials-oriented integrated design and construction of structures in civil engineering—A review", *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 16, nº 1, pp. 24–44, ene. 2022, doi: 10.1007/s11709-021-0794-9.

[3] "Sand mining: how it impacts the environment and solutions | World Economic Forum", World Economic Forum. [En línea]. Disponible en: https://www.weforum.org/stories/2023/09/global-sand-mining-demand-impacting-environment/

[4] "La explotación insostenible de arena destruye ríos y mares | Noticias ONU". [En línea]. Disponible en: https://news.un.org/es/story/2019/05/1455611

[5] G. C. Cordeiro, L. M. S. C. de Alvarenga, y C. A. A. Rocha, "Rheological and mechanical properties of concrete containing crushed granite fine aggregate", *Constr Build Mater*, vol. 111, pp. 766–773, may 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.178.

[6] L. Fuentes y L. Jaramillo, "Materiales Alternativos para la Sustitución de Agregados y/o Cemento en la Producción de Concreto de Ultra Alto Desempeño", Universidad Industrial de Santander , Bucaramanga, 2022. [En línea]. Disponible en: https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/0d0d48c2-6941-464b-b4e4-9369975d1a51/content

[7] M. Vijayalakshmi, A. S. S. Sekar, y G. Ganesh prabhu, "Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste", *Constr Build Mater*, vol. 46, pp. 1–7, sep. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.04.018.

[8] S. P. Muñoz Pérez y J. J. Atoche Zamora, "Effects of incorporating granite powder in the mechanical properties of concrete", *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, vol. 32, nº 1, pp. 18–33, 2023, doi: 10.22630/SREES.4479.

[9] "La explotación insostenible de arena destruye ríos y mares | Noticias ONU". Accedido: 27 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://news.un.org/es/story/2019/05/1455611

[10] V. Letelier, R. Osses, G. Valdés, y G. Moricomi, "Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados", *Ing Cienc*, vol. 10, nº 19, pp. 179–195, 2014, [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652014000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=es

[11] T. Felixkala, "Granite powder concrete", *Indian J Sci Technol*, vol. 3, nº 3, pp. 311–317, mar. 2010, doi: 10.17485/ijst/2010/v3i3.6.

[12] A. Arivumangai y T. Felixkala, “Strength and durability properties of granite powder concrete”, Journal of civil Engineering Research. [En línea]. Disponible en: http://article.sapub.org/10.5923.c.jce.201401.01.html

[13] S. Lakshmi, Muthu, y Nivedhitha, “Effect of partial replacement of aggregates by recycled concrete debris on strength of concrete”, Malaysian Journal of Civil Engineering . [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/285074986_EFFECT_OF_PARTIAL_REPLACEMENT_OF_AGGREGATES_BY_RECYCLED_CONCRETE_DEBRIS_ON_STRENGTH_OF_CONCRETE

[14] M. Vijayalakshmi, A. S. S. Sekar, y G. Ganesh prabhu, “Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste”, *Constr Build Mater*, vol. 46, pp. 1–7, sep. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.04.018.

[15] J. Manasseh, “Use of Crushed Granite Fine as Replacement to River Sand in Concrete Production”, *Leonardo Electronic Journal of Practiveand Technologies*, pp. 85–96, jul. 2010, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/49596579_Use_of_Crushed_Granite_Fine_as_Replacement_to_River_Sand_in_Concrete_Production

[16] A. Rajasekar, K. Arunachalam, y M. Kottaisamy, “Durability of Ultra High Strength Concrete with Waste Granite Sand as Partial Substitute for Aggregate”, *J Comput Theor Nanosci*, vol. 15, nº 2, pp. 446–452, feb. 2018, doi: 10.1166/jctn.2018.7108.

[17] T. I. Ahmed y D. E. Tobbala, “The role of granite dust in engineered cement composites as a partial replacement of fine aggregate”, *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 7, nº 1, p. 104, feb. 2022, doi: 10.1007/s41062-021-00699-3.

[18] G. C. Cordeiro, L. M. S. C. de Alvarenga, y C. A. A. Rocha, “Rheological and mechanical properties of concrete containing crushed granite fine aggregate”, *Constr Build Mater*, vol. 111, pp. 766–773, may 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.178.

[19] B. A. Zamora, J. Junior, M. Muñoz Pérez, y S. Pedro, “Incorporación de residuos de polvo de granito como reemplazo parcial de arena en el concreto”, *Repositorio Institucional - USS*, 2022, Accedido: 27 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/10074

[20] A. Minhajuddin y A. Saha, “Performance evaluation of geopolymer concrete with waste granite powder as a sustainable alternative to sand”, *Journal of Materials Science: Materials in Engineering 2025 20:1*, vol. 20, nº 1, pp. 1–20, feb. 2025, doi: 10.1186/S40712-025-00227-6.

[21] G. A. Cantos Victores, “Impactos ambientales de extracción artesanal de arena, comunidad Las Gilces, Portoviejo”, *Revista Ciencia y Líderes*, vol. 2, nº 2, pp. 83–88, dic. 2023, doi: 10.47230/revista.ciencia-lideres.v2.n2.2023.83-88.

[22] O. A. Cevallos, D. Jaramillo, C. Ávila, y X. Aldaz, “Production and Quality Levels of Construction Materials in Andean Regions: A Case Study of Chimborazo, Ecuador”, *Journal of Construction in Developing Countries*, vol. 22, nº 1, pp. 115–136, 2017, doi: 10.21315/jcdc2017.22.1.7.

[23] C. Técnicas Aplicadas y M. I. Carmen Robayo-Sarmiento, “Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones”, *Dominio de las Ciencias, ISSN-e 2477-8818, Vol. 8, Nº. 2, 2022 (Ejemplar dedicado a: Abril-Junio 2022), 1333 págs.*, vol. 8, nº 2, pp. 1315–1333, 2022, doi: 10.23857/dc.v8i2.2707.

[24] J. S. Martínes *et al.*, “Assessing the Sustainability of Local Construction Materials in Ecuador Through an Interdisciplinary Approach”, *Sustainability*, vol. 17, nº 5, p. 1775, feb. 2025, doi: 10.3390/su17051775.

[25] G. Peñafiel Valla, L. F. Contreras-Vásquez, W. J. Ramírez Cabrera, y S. Medina-Robalino, “Concrete prepared from recycled materials, in Ambato - Tungurahua”, p. eUTA076, sep. 2022, doi: 10.5867/MEDWAVE.2022.S2.UTA076.

[26] L. Contreras Vásquez, D. Mayorga-Amaguaya, G. Peñafiel-Valla, y C. Navarro-Peñaherrera, “Análisis Comparativo de la Resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y el preparado con escombros de hormigón”, *Investigación y Desarrollo*, vol. 18, nº 1, dic. 2023, doi: 10.31243/id.v18.2023.2020.

[27] NTE INEN 156, “Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad”, 2009

[28] NTE INEN 696, “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso”, 2011.

[29] NTE INEN 872, “Áridos para Hormigón. Requisitos”, 2011.

[30] NTE INEN 856, “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad especifíca) y absorción del árido fino”, 2010.

[31] NTE INEN 857, “Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido grueso.”, 2010.

[32] NTE INEN 858, “Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos”, 2010.

[33] NTE INEN 862, “Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad”.

[34] C. R. Rodríguez Vaca y E. S. Torres Chamorro, “Fabricación de un dispositivo, para generar el curado acelerado en cilindros de hormigón, para evaluar la resistencia a la compresión en un tiempo menor a las 24 horas”, 2018, *Quito: UCE*. Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17016

[35] E. L. Chochos Muyón y I. D. Jácome Quitiaquez, “Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón tradicional y el hormigón con inclusión de residuos de mármol”, 2020, *Quito: UCE*. Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20811

[36] S. Medina, *Folleto de Ensayo de Materiales II*. Ambato.

[37] J. Dils, G. De Schutter, y V. Boel, “Influence of mixing procedure and mixer type on fresh and hardened properties of concrete: a review”, *Mater Struct*, vol. 45, nº 11, pp. 1673–1683, nov. 2012, doi: 10.1617/s11527-012-9864-8.

[38] P. T. Rajvardhan, “Concrete Mix Design By Packing Density Method”, may 2023, [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/search?q=R.+Padmasinha+Tanpure%2C+Concrete+Mix+Design+by+Packing+Density+Method.+D.Y.+Patil+College+of+Engineering&rlz=1C1UUXU_esEC1056EC1056&oq=R.+Padmasinha%E2%80%AFTanpure%2C+Concrete+Mix+Design+by+Packing+Density+Method.+D.Y.%E2%80%AFPatil+College+of+Engineering&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzQ3N2owajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8

[39] “NTE INEN 1576 - Hormigón. Elaboración y curado en obra de especímenes - INSTITUTO ECUATORIANO DE - Studocu”. Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/hormigon-armado/nte-inen-1576-hormigon-elaboracion-y-curado-en-obra-de-especimenes/47008206

[40] L. D. Zambrano Navarrete, R. J. Alava Santos, W. E. Ruíz Párraga, y E. A. Menéndez Menéndez, “Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón”, *Gaceta Técnica*, vol. 23, nº 1, pp. 35–47, ene. 2022, doi: 10.51372/GACETATECNICA231.4.

[41] “Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes”, dic. 2021, doi: 10.1520/C0511-21.

[42] ACI Committee 211, *Selecting Proportions for Normal-Density and High - Density Concrete-Guide*. 2022.

[43] NTE INEN, “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento”, 2010.

[44] A. M. Neville, “Chapter 5. Admixtures”, *Properties of Concrete*, pp. 821–904, 2011.

[45] U. Sajjad, M. N. Sheikh, y M. N. S. Hadi, “Experimental study of the effect of graphene on properties of ambient-cured slag and fly ash-based geopolymer paste and mortar”, *Constr Build Mater*, vol. 313, p. 125403, dic. 2021, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125403.

[46] ACI COMMITTEE 309, *Guide For Consolidation of Concrete*. 2024.

[47] “Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete”, 15 de marzo de 2017, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/C0138_C0138M-17A.

[48] “Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete”, feb. 2013, doi: 10.1520/C0642-13.

[49] “ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, 2001. [En línea]. Disponible en: https://store.astm.org/c0039_c0039m-23.html

[50] Q.-E. Quito -Ecuador y P. E. Primera Edición, “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.”, 2010.

[51] A. S. T. M. Standard, “C469/C469M-14 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression”, 2014. [En línea]. Disponible en: https://store.astm.org/c0469_c0469m-14.html

[52] “Estructuras de hormigón armado”, 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf

[53] S. O. Diego M. *et al.*, “Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricado con Agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador.”, *Revista Politécnica*, vol. 46, nº 1, pp. 29–38, ago. 2020, doi: 10.33333/RP.VOL46N1.03.

[54] L. Trifone, “A Study of the Correlation Between Static and Dynamic Modulus of Elasticity on Different Concrete Mixes”, West Virginia University Libraries, 2017. doi: 10.33915/etd.6833.

[55] C. Tena, P. De Napo, D. Alexander, V. Valle, I. M. A. Xavier, y F. Torres, “La resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el módulo de elasticidad estático en el cantón Tena, provincia de Napo”, 2022, *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil*. Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35951

[56] M. DE Estático Elasticidad Del Hormigón En Base A Su, “Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión fc= 21 MPa, fabricado con materiales de la Mina Villacres, ubicada en el sector de la Península, Cantón Ambato en la Provincia de Tungurahua y cemento Holcim.”, 2013, *Quito: UCE*. Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2220

[57] “C33-03 Standard Specification for Concrete Aggregates”, 2003. Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/363156459/ASTM-C33-03-Espanol

[58] A. B. Abubakar y W. H. Khushefati, “Influence of fineness modulus of fine aggregate on the durability properties of alkali-activated slag composites: An exprimental and statistical study”, *CEMENT*, vol. 20, p. 100144, jun. 2025, doi: 10.1016/J.CEMENT.2025.100144.

[59] Okechukwu Kingsley Obi, Peter D. Onodagu, y Chukwurah H. Aginam, “Comparative study of engineering properties of fine aggregates from omamballa river and river niger in anambra state on strength and workability of concrete”, 2023, Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.naujcve.com/index.php/NAUJCVE/article/view/100

[60] Portland Cement Association, “Portland Cement Association (PCA) - Diseño y control de mezclas de concreto”, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, p. 452, 2004, Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/359910158/PCA-Diseno-y-control-de-mezclas-de-concreto-pdf

[61] E. G. Nawy, Ed., *Concrete Construction Engineering Handbook*. CRC Press, 2008. doi: 10.1201/9781420007657.

[62] G. Prokopski, V. Marchuk, y A. Huts, “The effect of using granite dust as a component of concrete mixture”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 13, p. e00349, dic. 2020, doi: 10.1016/J.CSCM.2020.E00349.

[63] “C29/C29M Standard Test Method for Bulk Density (‘Unit Weight’) and Voids in Aggregate”, 2023. [En línea]. Disponible en: https://store.astm.org/c0029_c0029m-23.html

[64] “C566 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”, jun. 2019. [En línea]. Disponible en: https://store.astm.org/c0566-19.html

[65] V. N. Velastegui Solis, “Desarrollo de un software para el diseño de dosificaciones de hormigón en base al método ACI y densidad óptima”, 2025, *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.* Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/44176

[66] ACI-318M, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14)”, *American Concrete Institute*, p. 592, 2014, Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.slideshare.net/slideshow/aci-318s-14-espaol-sistema-metrico/256184718

[67] “Requisitos de Reglamento para concreto estructural”, 2019.

ANEXOS

Anexo 1: Densidad del cemento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

CEMENTO:	TIPO GU	**NORMA:**	**NTE INEN 156**
PESO MUESTRA:	64 gr.	**FECHA:**	4/4/2025
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI		

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del frasco + gasolina	M1	305.80	305.80	gr
Lectura inicial de la gasolina	Vi	0.50	0.50	cm^3
Masa del frasco+gasolina+cemento	M2	369.80	369.75	gr
Lectura final de la gasolina	Vf	21.71	21.80	cm^3
Volumen desalojado de gasolina	Vc	21.21	21.30	cm^3
Masa del cemento usado	Mc	64.00	63.95	gr
Densidad del cemento	ρc	3.02	3.00	gr/cm^3

DENSIDAD PROMEDIO DEL CEMENTO :	3.010	gr/cm^3

PRECISIÓN Y DESVIACIÓN (PARA UN SOLO OPERADOR)

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
Desviación estándar máxima	Dmax	0.03	REQUISITO NTE INE 156
Desviación estándar calculada	Dcal	0.02	CUMPLE DESVIACIÓN

Anexo 2: Granulometría del agregado fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ORIGEN:	MINA CAO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**0696 : 2011**
PESO MUESTRA:	1000 gr.	**FECHA:**	8/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**PÉRDIDA DE MUESTRA:**	0.13 %	

ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

Tamiz	*Abertura (mm)*	*Pesos retenidos*		*% Retenido acumulado*	*% Que pasa*	*LÍMITES NTE INEN 872*	
		Parcial (gr)	*Acumulado (gr)*			*Inferior*	*Superior*
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
#4	4.76	11.40	11.40	1.14%	98.86%	95	100
#8	2.38	130.00	141.40	14.16%	85.84%	80	100
#16	1.19	239.70	381.10	38.16%	61.84%	50	85
#30	0.59	216.60	597.70	59.85%	40.15%	25	60
#50	0.297	213.30	811.00	81.21%	18.79%	5	30
#100	0.149	135.30	946.30	94.75%	5.25%	0	10
#200	0.075	45.60	991.90	99.32%	0.68%	-	-
Bandeja		6.8	998.70	100.00%	0.00%	-	-

MÓDULO DE FINURA:	2.893

Anexo 3: Granulometría del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ORIGEN:	MINA CAO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**0696 : 2011**
PESO MUESTRA:	10000 gr.	**FECHA:**	11/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**PÉRDIDA DE MUESTRA:**	0.02 %	

ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

Tamiz	*Abertura (mm)*	*Pesos retenidos*		*% Retenido*	*% Que pasa*	*LÍMITES NTE INEN 872*	
		Parcial (gr)	*Acumulado (gr)*			*Inferior*	*Superior*
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
1"	25.4	243.50	243.50	2.44%	97.56%	95	100
3/4"	19.05	2213.50	2457.00	24.57%	75.43%	-	-
1/2"	12.7	3419.50	5876.50	58.77%	41.23%	25	60
3/8"	9.53	2237.00	8113.50	81.15%	18.85%	-	-
# 4	4.75	1655.50	9769.00	97.70%	2.30%	0	10
Bandeja		229.5	9998.50	100.00%	0.00%	-	-

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:	1 "

Anexo 4: Granulometría del granito triturado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ORIGEN:	RETAZOS DE GRANITO TRITURADO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**0696 : 2011**
PESO MUESTRA:	1000 gr.	**FECHA:**	8/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**PÉRDIDA DE MUESTRA:**	0.13 %	

ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO GRANITO TRITURADO

Tamiz	*Abertura (mm)*	*Pesos retenidos*		*% Retenido acumulado*	*% Que pasa*	*LÍMITES NTE INEN 872*	
		Parcial (gr)	*Acumulado (gr)*			*Inferior*	*Superior*
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
#4	4.76	0.00	0.00	0.00%	100.00%	95	100
#8	2.38	35.20	35.20	3.52%	96.48%	80	100
#16	1.19	490.60	525.80	52.65%	47.35%	50	85
#30	0.59	235.20	761.00	76.20%	23.80%	25	60
#50	0.297	135.00	896.00	89.72%	10.28%	5	30
#100	0.149	65.80	961.80	96.31%	3.69%	0	10
#200	0.075	35.40	997.20	99.85%	0.15%	-	-
Bandeja		1.5	998.70	100.00%	0.00%	-	-

MÓDULO DE FINURA:	3.18

Anexo 5: Granulometría del agregado fino 10% combinado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ORIGEN:	AGREGADO FINO CON **10%** GRANITO TRITURADO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**0696 : 2011**
PESO MUESTRA:	1000 gr.	**FECHA:**	10/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**PÉRDIDA DE MUESTRA:**	0.03 %	

ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO / 10% COMBINADO

Tamiz	*Abertura (mm)*	*Pesos retenidos*		*% Retenido acumulado*	*% Que pasa*	*LÍMITES NTE INEN 872*	
		Parcial (gr)	*Acumulado (gr)*			*Inferior*	*Superior*
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
#4	4.76	5.70	5.70	0.57%	99.43%	95	100
#8	2.38	104.70	110.40	11.04%	88.96%	80	100
#16	1.19	271.70	382.10	38.22%	61.78%	50	85
#30	0.59	219.30	601.40	60.16%	39.84%	25	60
#50	0.297	202.20	803.60	80.38%	19.62%	5	30
#100	0.149	134.30	937.90	93.82%	6.18%	0	10
#200	0.075	53.70	991.60	99.19%	0.81%	-	-
Bandeja		8.1	999.70	100.00%	0.00%	-	-

MÓDULO DE FINURA:	2.84

Anexo 6: Granulometría del agregado fino 15% combinado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ORIGEN:	AGREGADO FINO CON **15%** GRANITO TRITURADO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**0696 : 2011**
PESO MUESTRA:	1000 gr.	**FECHA:**	10/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**PÉRDIDA DE MUESTRA:**	0.07 %	

ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO / 15% COMBINADO

Tamiz	*Abertura (mm)*	*Pesos retenidos*		*% Retenido acumulado*	*% Que pasa*	*LÍMITES NTE INEN 872*	
		Parcial (gr)	*Acumulado (gr)*			*Inferior*	*Superior*
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
#4	4.76	9.80	9.80	0.98%	99.02%	95	100
#8	2.38	115.20	125.00	12.50%	87.50%	80	100
#16	1.19	262.10	387.10	38.72%	61.28%	50	85
#30	0.59	204.70	591.80	59.20%	40.80%	25	60
#50	0.297	180.60	772.40	77.26%	22.74%	5	30
#100	0.149	138.00	910.40	91.07%	8.93%	0	10
#200	0.075	69.43	979.83	98.01%	1.99%	-	-
Bandeja		19.5	999.33	99.96%	0.04%	-	-

MÓDULO DE FINURA:	2.80

Anexo 7: Granulometría del agregado fino 20% combinado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ORIGEN:	AGREGADO FINO CON **20%** GRANITO TRITURADO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**0696 : 2011**
PESO MUESTRA:	1000 gr.	**FECHA:**	10/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**PÉRDIDA DE MUESTRA:**	0.05 %	

ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO / 20% COMBINADO

Tamiz	*Abertura (mm)*	*Pesos retenidos*		*% Retenido acumulado*	*% Que pasa*	*LÍMITES NTE INEN 872*	
		Parcial (gr)	*Acumulado (gr)*			*Inferior*	*Superior*
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
#4	4.76	11.00	11.00	1.10%	98.90%	95	100
#8	2.38	112.10	123.10	12.31%	87.69%	80	100
#16	1.19	271.80	394.90	39.50%	60.50%	50	85
#30	0.59	204.80	599.70	59.99%	40.01%	25	60
#50	0.297	180.00	779.70	77.99%	22.01%	5	30
#100	0.149	129.30	909.00	90.93%	9.07%	0	10
#200	0.075	65.70	974.70	97.50%	2.50%	-	-
Bandeja		24.8	999.50	99.98%	0.02%	-	-

MÓDULO DE FINURA:	2.82

Anexo 8: Tamaño de la muestra para áridos

TABLA XIII

MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO [31]

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	**Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (kg)**
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

Anexo 9: Densidad real del agregado fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

TIPO:	MINA CAO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**856**
PESO MUESTRA:	500 gr.	**FECHA:**	15/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI			

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del picnómetro	M1	145.50	145.50	gr.
Masa Picnómetro + muestra SSS	M2	644.80	645.50	gr.
Masa picnómetro + muestra SSS + Agua	M3	955.10	953.60	gr.
Masa agua añadida	M4=M3-M2	310.30	308.10	gr.
Picnómetro + 500cc agua	M5	644.10	644.00	gr.
Masa 500cc de agua	M6=M5-M1	498.60	498.50	gr.
Densidad de el agua	*pw*	0.997	0.997	gr/cm^3
Masa de la agua desalojada	M7=M6-M4	188.30	190.40	gr.
Masa del agregado	Msss=M2-M1	499.30	500.0	gr.
Volumen de la agua desalojado	Vm=M7/pw	188.87	190.97	cm^3
Densidad real del agregado fino	DRA=Msss/Vm	2.64	2.62	gr/cm^3

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO :	2.631	gr/cm^3

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*		*UNIDAD*
Masa del recipiente	Mr	24.70	24.90	gr.
Masa recipiente + muestra SSS	M8	524.00	524.90	gr.
Masa del agregado fino	M9	499.30	500.00	gr.
Masa del recipiente + muestra seca	M10	513.60	515.90	gr.
Masa muestra seca	M11	488.90	491.00	gr.
Capacidad de absorción	M5	2.127	1.833	%

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO :	1.980	%

PRECISIÓN (PARA UN SOLO OPERADOR)

Rango aceptable de dos resultados (d2s)^ - Densidad relativa	0.027	0.025	RANGO ACEPTABLE
Rango aceptable de dos resultados (d2s)^ - Absorción %	0.31%	0.29%	RANGO ACEPTABLE

Anexo 10: Densidad real del granito triturado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

TIPO:	GRANITO TRITURADO	**NORMA:**	**NTE INEN**	**856**
PESO MUESTRA:	500 gr.	**FECHA:**	15/4/2025	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI			

DENSIDAD REAL DEL GRANITO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del picnómetro	M1	149.50	149.50	gr.
Masa Picnómetro + muestra SSS	M2	649.40	649.50	gr.
Masa picnómetro + muestra SSS + Agua	M3	957.80	956.20	gr.
Masa agua añadida	M4=M3-M2	308.40	306.70	gr.
Picnómetro + 500cc agua	M5	648.60	648.30	gr.
Masa 500cc de agua	M6=M5-M1	499.10	498.80	gr.
Densidad de el agua	*pw*	0.997	0.997	gr/cm^3
Masa de la agua desalojada	M7=M6-M4	190.70	192.10	gr.
Masa del granito	Msss=M2-M1	499.90	500.00	gr.
Volumen de la agua desalojado	VSSS=M7/pw	191.27	192.68	cm^3
Densidad real del granito	DRA=MSSS/VSSS	2.61	2.60	gr/cm^3

DENSIDAD REAL DEL GRANITO :	2.604	gr/cm^3

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL GRANITO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del recipiente	Mr	115.70	24.90	gr.
Masa recipiente + muestra SSS	M8	615.70	524.90	gr.
Masa del granito	M9	499.90	500.00	gr.
Masa del recipiente + muestra seca	M10	614.90	523.80	gr.
Masa muestra seca	M11	499.20	498.90	gr.
Capacidad de absorción	M5	0.14	0.22	%

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN :	0.180	%

PRECISIÓN (PARA UN SOLO OPERADOR)

Rango aceptable dos resultados (d2s)^ - Densidad relativa	0.027	0.02	RANGO ACEPTABLE
Rango aceptable de dos resultados (d2s)^ - Absorción %	0.31%	0.08%	RANGO ACEPTABLE

Anexo 11: Densidad real del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION Y MODULO ELASTICO DEL HORMIGON SIMPLE CON ADICION DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ORIGEN:	MINA CAO	**NORMA:**	**NTE INEN 857**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**FECHA:**	16/4/2025

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa canastilla en el aire	M1	1181.50	1185.00	gr
Masa canastilla en el agua	M2	1034.00	1034.00	gr
Masa canastilla + Muestra SSS en el aire	M3	5333.50	5326.00	gr
Masa canastilla + Muestra SSS en el agua	M4	3591.50	3592.50	gr
Densidad real del agua	DA	0.99	0.99	gr/cm^3
Masa de la muestra SSS en el aire	M5=M3-M1	4152.00	4141.00	gr
Masa de la muestra SSS en el agua	M6=M4-M2	2557.50	2558.50	gr
Volumen real de la muestra	VR=(M5-M6)/DA	1610.61	1598.48	cm^3
Densidad real del ripio	DRR=M5/VR	2.578	2.591	gr/cm^3

DENSIDAD PROMEDIO DEL AGREGADO GRUESO :	2.584	gr/cm^3

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del recipiente	M7	24.70	24.70	gr
Masa del recipiente + muestra SSS	M8	4176.70	4165.70	gr
Masa de la muestra SSS	M9-M8-M7	4152.00	4141.00	gr
Masa del recipiente + muestra seca	M10	4085.50	4077.00	gr
Masa de la muestra seca	M11=M10-M7	4060.80	4052.30	gr
Capacidad de absorción	Abs=((M9-M11)/M11)*100	2.25	2.19	%

CAPCIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO :	2.217	%

PRECISIÓN (PARA UN SOLO OPERADOR)

Rango aceptable (ds2) - Densidad Relativa (SSS)	0.02	0.01	RANGO ACEPTABLE

Anexo 12: Densidad Aparente Suelta y Compactada agregado fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION Y MODULO ELASTICO DEL HORMIGON SIMPLE CON ADICION DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

TIPO:	AGREGADO GRUESO	**NORMA:**	**858**
ORIGEN:	MINA CAO	**FECHA:**	
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI		

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del molde	T	9.98	9.98	kg
Masa del molde+Agregado Grueso	G	42.34	42.64	kg
Volumen del molde	V	0.020	0.020	m^3
Masa unitaria	M	1595.12	1609.91	Kg/m^3

Densidad Aparente Promedio:	1602.51	Kg/m^3

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del molde	T	9.98	9.98	kg
Masa del molde+Agregado Grueso	G	44.76	44.90	kg
Volumen del molde	V	0.020	0.020	m^3
Masa unitaria	M	1714.41	1721.31	Kg/m^3

Densidad Aparente Promedio:	1717.86	Kg/m^3

PRECISIÓN Y DESVIACIÓN (PARA UN SOLO OPERADOR)

Rango aceptable (ds2) - Masa Unitaria Fino	40	14.788	Kg/m^3	RANGO ACEPTABLE
Rango aceptable (ds2) - Masa Unitaria Grueso	40	6.901	Kg/m^3	RANGO ACEPTABLE

Anexo 13: Densidad Aparente Suelta y Compactada agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

TIPO:	AGREGADO GRUESO	**NORMA:**	**NTE INEN 858**
ORIGEN:	MINA CAO	**FECHA:**	16/4/2025
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI		

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del agua, placa del vidrio y molde	W	32.58	kg
Masa de la placa del vidrio y molde	M	12.32	kg
Densidad del agua para la temperatura de medición	D	998.68	Kg/m^3
Volumen del molde	V	0.0203	m^3

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del molde	T	9.98	9.98	kg
Masa del molde+Agregado Grueso	G	39.24	39.90	kg
Volumen del molde	V	0.020	0.020	m^3
Masa unitaria	M	1442.31	1474.84	Kg/m^3

Densidad Aparente Promedio:	1458.58	Kg/m^3

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del molde	T	9.98	9.98	kg
Masa del molde+Agregado Grueso	G	41.22	41.78	kg
Volumen del molde	V	0.020	0.020	m^3
Masa unitaria	M	1539.91	1567.52	Kg/m^3

Densidad Aparente Promedio:	1553.71	Kg/m^3

PRECISIÓN (PARA UN SOLO OPERADOR)

Rango aceptable (ds2) - Masa Unitaria Fino	40	32.533	Kg/m^3	RANGO ACEPTABLE
Rango aceptable (ds2) - Masa Unitaria Grueso	40	27.604	Kg/m^3	RANGO ACEPTABLE

Anexo 14: Densidad Compactada de la Mezcla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

TIPO:	AGREGADO COMBINADO	**NORMA:**	**858**
ORIGEN:	MINA CAO, AMBATO	**FECHA:**	17/4/2025
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI		

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del agua, placa del vidrio y molde	W	32.58	kg
Masa de la placa del vidrio y molde	M	12.32	kg
Masa del molde	T	9.98	kg
Densidad del agua para la temperatura de medición	D	998.68	Kg/m^3
Volumen del molde	V	0.0203	m^3

DENSIDAD COMPACTADA DE LA MEZCLA

Porcentaje de Mezcla (%)		*Cantidad (Kg)*		*Agregado Fino Añadido (Kg)*	*Agregado +Recipiente (Kg)*	*Agregado (Kg)*	*Densidad Aparente Mezcla (Kg/dm3)*	**Densidad Aparente Promedio (Kg/m3)**
A. Grueso	**A. Fino**	**A. Grueso**	**A. Fino**	**A. Fino**	**Agregado Fino + Agregado Grueso**			
100	0	40	0	0	41.44	31.46	1.551	1.548
					41.34	31.36	1.546	
90	10	40	4.44	4.44	43.30	33.32	1.642	1.657
					43.88	33.90	1.671	
80	20	40	10.00	5.56	45.58	35.60	1.755	1.748
					45.32	35.34	1.742	
70	30	40	17.14	7.14	47.06	37.08	1.828	1.828
					47.07	37.09	1.828	
60	40	40	26.67	9.52	48.85	38.87	1.916	1.919
					48.98	39.00	1.922	
50	50	40	40.00	13.33	48.66	38.68	1.907	1.901
					48.44	38.46	1.896	
40	60	40	60.00	20.00	47.88	37.90	1.868	1.862
					47.62	37.64	1.855	
Porcentaje Máximo de Agregado Fino							50	%
Porcentaje Máximo de Agregado Grueso							50	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Fino							46	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Grueso							54	%
Densidad Aparente Máxima del Agregado (Mezcla)							1.897	Kg/dm3
Densidad Aparente Óptimo del Agregado (Mezcla)							1.893	Kg/dm3

Anexo 15: Contenido de humedad de los agregados

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**NORMA:**	**NTE INEN 862**

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del recipiente + muestra	M1	1234.50	1035.30	gr
Masa del recipente +muestra seca	M2	1231.78	1033.20	gr
Masa del recipiente	Mr	25.00	435.30	gr
Peso del agua	Ww=M1-M2	2.72	2.10	gr
Peso muestra seca	Ws=M2-Mr	1206.78	597.90	gr
Contenido de humedad	% W= Ww/Ws	0.23	0.35	%

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	0.225	%

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*VALOR*	*UNIDAD*
Masa del recipiente + muestra	M1	1547.00	4480.00	gr
Masa del recipente +muestra seca	M2	1539.80	4467.30	gr
Masa del recipiente	Mr	25.00	180.00	gr
Peso del agua	Ww=M1-M2	7.20	12.70	gr
Peso muestra seca	Ws=M2-Mr	1514.80	4287.30	gr
Contenido de humedad	% W= Ww/Ws	0.48	0.30	%

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	0.475	%

Anexo 16: Ensayos preliminares Método de la Densidad Óptima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION Y MODULO ELASTICO DEL HORMIGON SIMPLE CON ADICION DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

ENSAYADO POR: MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI

DATOS DE ENSAYOS

DESCRIPCIÓN	*NOMENCLATURA*	*VALOR*	*UNIDAD*	*NORMA*
Densidad Real del Cemento	DRC	3.010	gr/cm^3	NTE INEN 156.
Densidad Real de la Arena	DRA	2.631	gr/cm^3	NTE INEN 856.
Densidad Real del Ripio	DRR	2.584	gr/cm^3	NTE INEN 857.
Densidad Aparente Suelta de la Arena	DAAs	1.603	Kg/dm^3	NTE INEN 858.
Densidad Aparente Suelta del Ripio	DARs	1.459	Kg/dm^3	NTE INEN 858.
Densidad Aparente Compactada de la Arena	DAAc	1.718	Kg/dm^3	NTE INEN 858.
Densidad Aparente Compactada del Ripio	DARc	1.554	Kg/dm^3	NTE INEN 858.
Módulo de Finura de la Arena	MFA	2.893	-	NTE INEN 872.
Densidad Óptima de la Mezcla	DOM	1.893	Kg/dm^3	NTE INEN 858.
Porcentaje Óptimo del Ripio	POR	54.000	%	NTE INEN 858.
Porcentaje Óptimo de la Arena	POA	46.000	%	NTE INEN 858.
Capacidad de Absorción de la Arena	CAA	1.980	%	NTE INEN 856.
Capacidad de Absorción del Ripio	CAR	2.217	%	NTE INEN 856.
Contenido de Humedad de la Arena	CHA	0.225	%	NTE INEN 862.
Contenido de Humedad del Ripio	CHR	0.475	%	NTE INEN 862.

Anexo 17: Relación agua/cemento

TABLA XIV

RELACIÓN AGUA/CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS EN MPA (F'C)	RELACIÓN AGUA/CEMENTO (W/C)
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Nota: Tomado del Seminario sobre el módulo de elasticidad del hormigón del Ing. Marco Garzón

Anexo 18: Dosificación Método Densidad Óptima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DOSIFICACIÓN - MÉTODO DENSIDAD ÓPTIMA

Tema:	***"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"***
Realizado por:	Martha Curicama
Mina:	CAO
Fecha:	11 de Mayo 2025

DATOS DE ENSAYOS			**DATOS DE TABLAS**		
DRC	3.010	kg/dm³	f'c	240	kg/cm²
DRA	2.631	kg/dm³	W/C	0.56	
DRR	2.584	kg/dm³	Asentamiento	6	cm
DAAs	1.603	kg/dm³	**CÁLCULOS**		
DARs	1.459	kg/dm³	DRM	2.606	kg/dm³
DAAc	1.718	kg/dm³	POV	27.35	%
DARc	1.554	kg/dm³	CP	315.37	dm³
MFA	2.893		C	353.47	kg
DOM	1.893	kg/dm³	W	197.94	lts
POR	54	%	A	828.58	kg
POA	46	%	R	955.30	kg
CAA	1.98	%	Cantidad Requerida	12	Cil (D=10 cm)
CAR	2.217	%	Rendimiento	65.33	%
CHA	0.225	%	VR	0.014	m3
CHR	0.475	%	VN	0.019	m3

DOSIFICACIÓN

Material	**Cantidad en kg por cada m³ de hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad por saco de 50 kg de cemento (kg)**	**Dosificación al volumen en obra**	**Cantidad requerida por rendimiento y/o humedad (kg)**
W	197.94	0.56	32.50	32.50 L	4.36
C	353.47	1.00	50.00	1.00 Sac. 50kg	6.73
A	828.58	2.34	115.00	2.70 Parh.	15.50
R	955.30	2.70	133.00	3.40 Parh.	17.87

Anexo 19: Densidad del hormigón fresco

DESCRIPCIÓN/ IDENTIFICACIÓN		DIÁMETRO DEL MOLDE (CM)	ALTURA DEL MOLDE (CM)	ÁREA DEL MOLDE (CM2)	PESO DEL MOLDE (KG)	PESO DEL MOLDE + HORMIGON (KG)	PESO DEL HORMIGON (KG)	VOLUMEN DEL MOLDE (M3)	DENSIDAD (KG/M3)	DENSIDAD PROMEDIO (KG/M3)
DHF-PAT-01	PATRÓN	10	20	78.540	7.665	11.234	3.570	0.0016	2272.414	2308.516
DHF-PAT-02		10	20	78.540	7.659	11.269	3.610	0.0016	2298.197	
DHF-PAT-03		10	20	78.540	7.660	11.267	3.607	0.0016	2296.288	
DHF-PAT-04		10	20	78.540	7.660	11.275	3.615	0.0016	2301.062	
DHF-PAT-05		10	20	78.540	7.685	11.299	3.614	0.0016	2300.744	
DHF-PAT-06		10	20	78.540	7.674	11.315	3.641	0.0016	2317.933	
DHF-PAT-07		10	20	78.540	7.692	11.315	3.623	0.0016	2306.473	
DHF-PAT-08		10	20	78.540	7.663	11.251	3.588	0.0016	2284.192	
DHF-PAT-09		10	20	78.540	7.655	11.243	3.588	0.0016	2284.192	
DHF-PAT-10		10	20	78.540	5.169	8.899	3.731	0.0016	2374.910	
DHF-PAT-11		10	20	78.540	5.132	8.852	3.720	0.0016	2368.226	
DHF-PAT-12		10	20	78.540	7.673	11.282	3.609	0.0016	2297.561	
DHF-G10-01	10%	10	20	78.540	7.702	11.297	3.595	0.0016	2288.648	2309.845
DHF-G10-02		10	20	78.540	7.718	11.309	3.591	0.0016	2286.102	
DHF-G10-03		10	20	78.540	7.669	11.284	3.615	0.0016	2301.380	
DHF-G10-04		10	20	78.540	5.151	8.930	3.780	0.0016	2406.104	
DHF-G10-05		10	20	78.540	7.692	11.281	3.590	0.0016	2285.147	
DHF-G10-06		10	20	78.540	7.637	11.297	3.660	0.0016	2329.710	
DHF-G10-07		10	20	78.540	7.689	11.307	3.619	0.0016	2303.609	
DHF-G10-08		10	20	78.540	7.669	11.290	3.622	0.0016	2305.519	
DHF-G10-09		10	20	78.540	7.664	11.286	3.622	0.0016	2305.550	
DHF-G10-10		10	20	78.540	7.680	11.276	3.596	0.0016	2289.285	
DHF-G10-11		10	20	78.540	7.707	11.321	3.614	0.0016	2300.744	
DHF-G10-12		10	20	78.540	7.657	11.295	3.639	0.0016	2316.341	
DHF-G15-01	15%	10	20	78.540	7.665	11.244	3.580	0.0016	2278.780	2311.301
DHF-G15-02		10	20	78.540	7.659	11.275	3.616	0.0016	2302.017	
DHF-G15-03		10	20	78.540	7.660	11.262	3.602	0.0016	2293.104	
DHF-G15-04		10	20	78.540	7.660	11.288	3.628	0.0016	2309.657	
DHF-G15-05		10	20	78.540	7.685	11.295	3.610	0.0016	2298.197	
DHF-G15-06		10	20	78.540	7.674	11.287	3.613	0.0016	2300.107	
DHF-G15-07		10	20	78.540	7.692	11.283	3.592	0.0016	2286.420	
DHF-G15-08		10	20	78.540	7.663	11.276	3.613	0.0016	2300.107	
DHF-G15-09		10	20	78.540	7.655	11.269	3.614	0.0016	2300.426	
DHF-G15-10		10	20	78.540	5.169	8.933	3.764	0.0016	2396.237	
DHF-G15-11		10	20	78.540	5.132	8.856	3.725	0.0016	2371.090	
DHF-G15-12		10	20	78.540	7.673	11.285	3.612	0.0016	2299.471	
DHF-G20-01	20%	10	20	78.540	7.702	11.313	3.611	0.0016	2298.834	2312.842
DHF-G20-02		10	20	78.540	7.718	11.319	3.601	0.0016	2292.468	
DHF-G20-03		10	20	78.540	7.669	11.298	3.629	0.0016	2310.293	
DHF-G20-04		10	20	78.540	5.151	8.871	3.721	0.0016	2368.544	
DHF-G20-05		10	20	78.540	7.692	11.305	3.613	0.0016	2300.107	
DHF-G20-06		10	20	78.540	7.637	11.311	3.674	0.0016	2338.941	
DHF-G20-07		10	20	78.540	7.689	11.321	3.632	0.0016	2312.203	
DHF-G20-08		10	20	78.540	7.669	11.278	3.610	0.0016	2297.879	
DHF-G20-09		10	20	78.540	7.664	11.332	3.668	0.0016	2335.153	
DHF-G20-10		10	20	78.540	7.680	11.283	3.603	0.0016	2293.741	
DHF-G20-11		10	20	78.540	7.707	11.323	3.616	0.0016	2302.017	
DHF-G20-12		10	20	78.540	7.657	11.276	3.619	0.0016	2303.927	

Anexo 20: Densidad del hormigone en estado endurecido

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C642/NTE INEN 1576**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURI	**FECHA:**	14/6/2025

DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO F'C=240 KG/CM2

DESCRIPCIÓN/ IDENTIFICACIÓN		*PESO PROBETAS (KG)*	*DIÁMETRO (CM)*	*ALTURA (CM)*	*ÁREA (CM2)*	*VOLUMEN (M3)*	*DENSIDAD (KG/M3)*	*DENSIDAD PROMEDIO (KG/M3)*
DHE-7D-01	PATRÓN	3.643	10	20	78.54	0.0016	2318.888	2324.299
DHE-7D-02		3.617	10	20	78.54	0.0016	2302.335	
DHE-7D-03		3.694	10	20	78.54	0.0016	2351.673	
DHE-14D-04		3.644	10	20	78.54	0.0016	2319.524	2326.103
DHE-14D-05		3.665	10	20	78.54	0.0016	2332.893	
DHE-14D-06		3.654	10	20	78.54	0.0016	2325.890	
DHE-28D-07		3.674	10	20	78.54	0.0016	2338.623	2330.347
DHE-28D-08		3.655	10	20	78.54	0.0016	2326.527	
DHE-28D-09		3.654	10	20	78.54	0.0016	2325.890	
DHE-7D-01	10% GRANITO	3.623	10	20	78.54	0.0016	2306.155	2336.501
DHE-7D-02		3.764	10	20	78.54	0.0016	2395.919	
DHE-7D-03		3.625	10	20	78.54	0.0016	2307.428	
DHE-14D-04		3.632	10	20	78.54	0.0016	2311.885	2342.952
DHE-14D-05		3.658	10	20	78.54	0.0016	2329.010	
DHE-14D-06		3.751	10	20	78.54	0.0016	2387.961	
DHE-28D-07		3.632	10	20	78.54	0.0016	2311.885	2345.074
DHE-28D-08		3.658	10	20	78.54	0.0016	2329.010	
DHE-28D-09		3.761	10	20	78.54	0.0016	2394.327	
DHE-7D-01	15% GRANITO	3.623	10	20	78.54	0.0016	2306.473	2361.223
DHE-7D-02		3.793	10	20	78.54	0.0016	2414.699	
DHE-7D-03		3.711	10	20	78.54	0.0016	2362.496	
DHE-14D-04		3.693	10	20	78.54	0.0016	2351.037	2364.194
DHE-14D-05		3.711	10	20	78.54	0.0016	2362.496	
DHE-14D-06		3.737	10	20	78.54	0.0016	2379.048	
DHE-28D-07		3.722	10	20	78.54	0.0016	2369.499	2366.528
DHE-28D-08		3.715	10	20	78.54	0.0016	2365.042	
DHE-28D-09		3.715	10	20	78.54	0.0016	2365.042	
DHE-7D-01	20% GRANITO	3.694	10	20	78.54	0.0016	2351.355	2345.732
DHE-7D-02		3.709	10	20	78.54	0.0016	2361.223	
DHE-7D-03		3.652	10	20	78.54	0.0016	2324.617	
DHE-14D-04		3.637	10	20	78.54	0.0016	2315.068	2354.432
DHE-14D-05		3.722	10	20	78.54	0.0016	2369.180	
DHE-14D-06		3.737	10	20	78.54	0.0016	2379.048	
DHE-28D-07		3.732	10	20	78.54	0.0016	2375.865	2357.297
DHE-28D-08		3.698	10	20	78.54	0.0016	2354.220	
DHE-28D-09		3.679	10	20	78.54	0.0016	2341.806	

Anexo 21: Resistencia a la compresión 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**NTE INEN 1573**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**FECHA:**	22/5/2025

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN F'C=240 KG/CM2 (7 DÍAS DE EDAD)

DESCRIPCIÓN/ IDENTIFICACIÓN		*ÁREA (CM2)*	*CARGA P (KN)*	*CARGA P (KG)*	*ESF.COMPRESIÓN (KG/CM2)*	*ESF.COMPRESIÓN (KG/CM2) PROMEDIO*
Patrón	CH-07-01	78.54	121.00	12338.37	157.10	155.80
	CH-07-02	78.54	119.00	12134.43	154.50	
	CH-07-03	78.54	120.00	12236.40	155.80	
10% Granito	CH-07-04	78.54	128.00	13052.16	166.19	162.72
	CH-07-05	78.54	126.00	12848.22	163.59	
	CH-07-06	78.54	122.00	12440.34	158.40	
15% Granito	CH-07-07	78.54	130.00	13256.10	168.78	168.35
	CH-07-08	78.54	128.00	13052.16	166.19	
	CH-07-09	78.54	131.00	13358.07	170.08	
20% Granito	CH-07-10	78.54	120.00	12236.40	155.80	157.53
	CH-07-11	78.54	121.00	12338.37	157.10	
	CH-07-12	78.54	123.00	12542.31	159.69	

Anexo 22: Resistencia a la compresión 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**NTE INEN 1573**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**FECHA:**	29/5/2025

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN F'C=240 KG/CM2 (14 DÍAS DE EDAD)

DESCRIPCIÓN/ IDENTIFICACIÓN		*ÁREA (CM2)*	*CARGA P (KN)*	*CARGA P (KG)*	*ESF.COMPRESIÓN (KG/CM2)*	*ESF.COMPRESIÓN (KG/CM2) PROMEDIO*
Patrón	CH-14-01	78.54	148.00	15091.56	192.15	193.02
	CH-14-02	78.54	147.00	14989.59	190.85	
	CH-14-03	78.54	151.00	15397.47	196.05	
10% Granito	CH-14-04	78.54	160.00	16315.20	207.73	209.90
	CH-14-05	78.54	163.00	16621.11	211.63	
	CH-14-06	78.54	162.00	16519.14	210.33	
15% Granito	CH-14-07	78.54	176.00	17946.72	228.50	226.77
	CH-14-08	78.54	173.00	17640.81	224.61	
	CH-14-09	78.54	175.00	17844.75	227.21	
20% Granito	CH-14-10	78.54	151.00	15397.47	196.05	194.75
	CH-14-11	78.54	150.00	15295.50	194.75	
	CH-14-12	78.54	149.00	15193.53	193.45	

Anexo 23: Resistencia a la compresión 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**NTE INEN 1573**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA GUALLI	**FECHA:**	13/6/2025

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN F'C=240 KG/CM2 (28 DÍAS DE EDAD)

DESCRIPCIÓN/ IDENTIFICACIÓN		*ÁREA (CM2)*	*CARGA P (KN)*	*CARGA P (KG)*	*ESF.COMPRESIÓN (KG/CM2)*	*ESF.COMPRESIÓN (KG/CM2) PROMEDIO*
Patrón	CH-28-01	78.54	182	18558.54	236.29	237.59
	CH-28-02	78.54	184	18762.48	238.89	
	CH-28-03	78.54	183	18660.51	237.59	
10% Granito	CH-28-04	78.54	186	18966.42	241.49	240.62
	CH-28-05	78.54	183	18660.51	237.59	
	CH-28-06	78.54	187	19068.39	242.79	
15% Granito	CH-28-07	78.54	202	20597.94	262.26	263.56
	CH-28-08	78.54	204	20801.88	264.86	
	CH-28-09	78.54	203	20699.91	263.56	
20% Granito	CH-28-10	78.54	180	18354.60	233.70	234.13
	CH-28-11	78.54	179	18252.63	232.40	
	CH-28-12	78.54	182	18558.54	236.29	

Anexo 24: Cuadro resumen de resistencias obtenidas

DESCRIPCIÓN/ IDENTIFICACIÓN	CARGA P (KN) PROMEDIO	ESF.COMPRESIÓN (KG/CM2) PROMEDIO	ESF.COMPRESIÓN (MPA) PROMEDIO
Patrón	183.0	237.59	23.30
10% Granito	185.3	240.62	23.60
15% Granito	203.0	263.56	25.85
20% Granito	180.33	234.13	22.96

Anexo 25: MEE Patron#1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

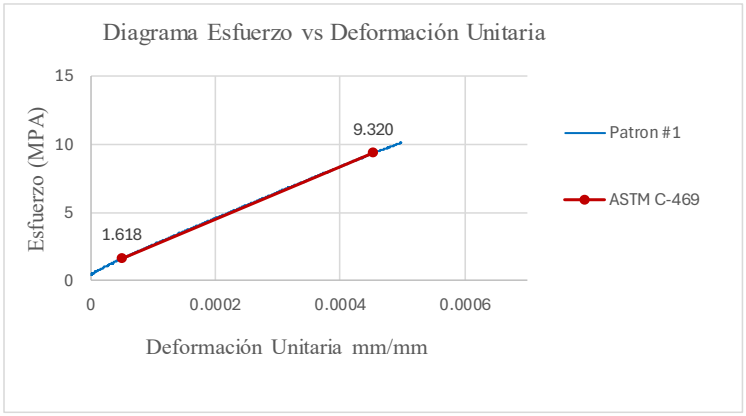
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.00	cm	Peso del especímen:	3.67	Kg	Fecha de elaboración:	14/5/2025
Altura	20.03	cm	Volumen especímen:	1573.15	cm3	Fecha de ensayo:	11/6/2025

CARGAS

Carga de rotura:	183.00	KN	Esfuerzo a compresión :	23.30	MPA
Carga 40% de rotura:	73.20	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura	9.32	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.320	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00045	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.618	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	19109.31	Mpa	=	194861.47 kg/cm²

Anexo 26: MEE Patron#2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

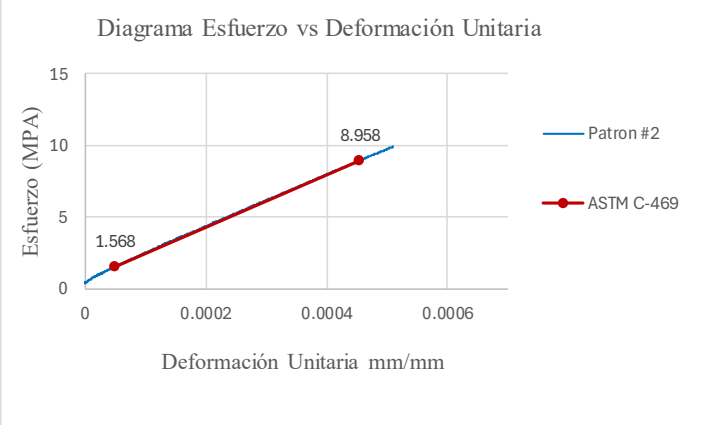
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.20	cm	Peso del especímen:	3.66	Kg	Fecha de elaboración:	14/5/2025
Altura:	20.02	cm	Volumen especímen:	1635.48	cm3	Fecha de ensayo:	11/6/2025

CARGAS

Carga de rotura:	183.00	KN	Esfuerzo a compresión (Promedio):	22.40	MPA
Carga 40% de rotura:	73.20	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	8.96	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	8.958	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.000455	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.568	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	18229.13	Mpa	=	185886.07 kg/cm²

Anexo 27: MEE Patron#3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

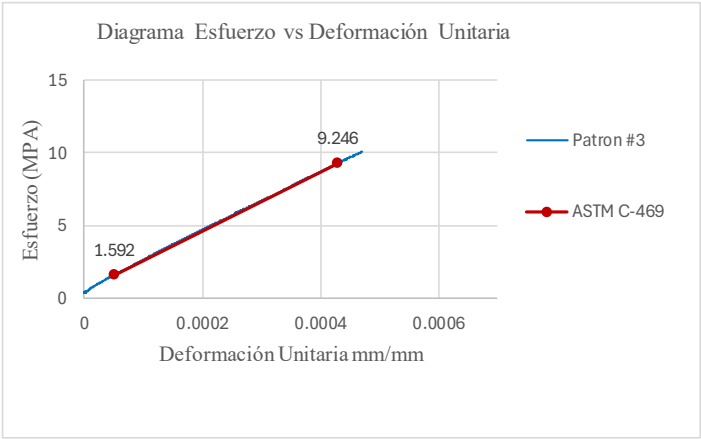
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.04	cm	Peso del especímen:	3.654	Kg	Fecha de elaboración:	14/5/2025
Altura:	19.94	cm	Volumen especímen:	1578.24	cm3	Fecha de ensayo:	11/6/2025

CARGAS

Carga de rotura :	183.00	KN	Esfuerzo a compresión :	23.11	Mpa
Carga 40% de rotura:	73.20	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	9.246	Mpa

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.246	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00043	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.592	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	20217.79 Mpa	=	206164.87	kg/cm²

Anexo 28: MEE 10% Granito#1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

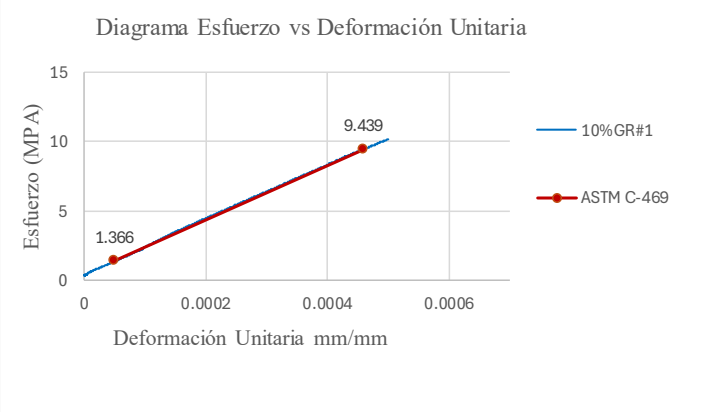
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.00	cm	Peso del especímen:	3.63	Kg	Fecha de elaboración:	14/5/2025
Altura:	20.08	cm	Volumen especímen:	1576.76	cm3	Fecha de ensayo:	11/6/2025

CARGAS

Carga de rotura:	185.30	KN	Esfuerzo a compresión :	23.60	MPA
Carga 40% de rotura:	74.12	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	9.44	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.439	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00046	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.366	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	19727.23	Mpa	=	201162.54 kg/cm²

Anexo 29: MEE 10% Granito#2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

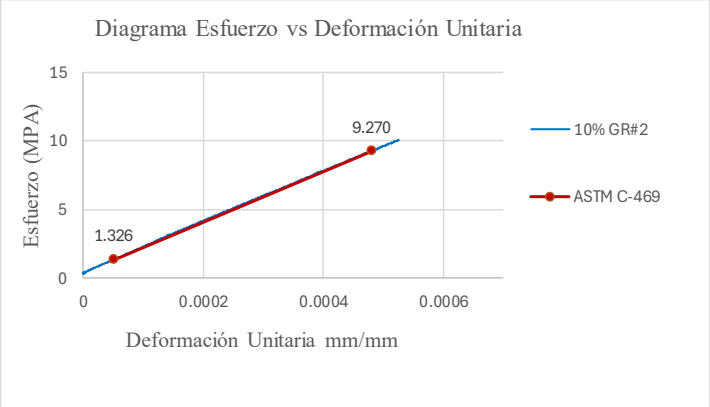
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.09	cm	Peso del especímen:	3.66	Kg	Fecha de elaboración:	14/5/2025
Altura:	20.01	cm	Volumen especímen:	1600.04	cm3	Fecha de ensayo:	11/6/2025

CARGAS

Carga de rotura:	185.30	KN	Esfuerzo a compresión:	23.17	MPA
Carga 40% de rotura:	74.12	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	9.27	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.270	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.000480	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.326	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	18473.43	Mpa	=	188377.23 kg/cm²

Anexo 30: MEE 10% Granito#3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	13/6/2025

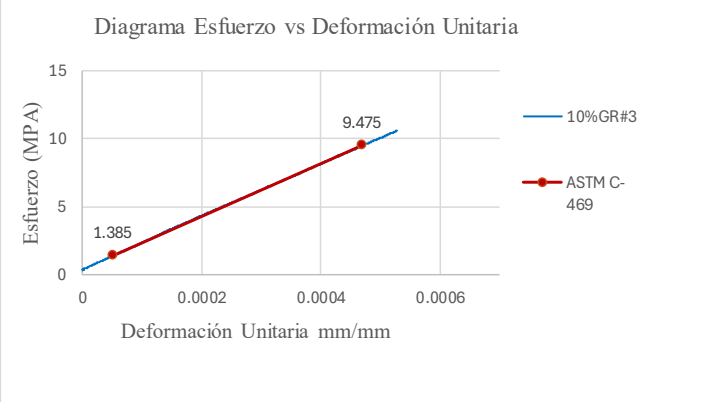
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	9.98	cm	Peso del especímen:	3.76	Kg	Fecha de elaboración:	14/5/2025
Altura:	20.03	cm	Volumen especímen:	1566.87	cm3	Fecha de ensayo:	11/6/2025

CARGAS

Carga de rotura:	185.30	KN	Esfuerzo a compresión :	23.69	MPA
Carga 40% de rotura:	74.12	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	9.48	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.475	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00047	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.385	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	19332.29	Mpa	=	197135.22 kg/cm²

Anexo 31: MEE 15% Granito#1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	14/6/2025

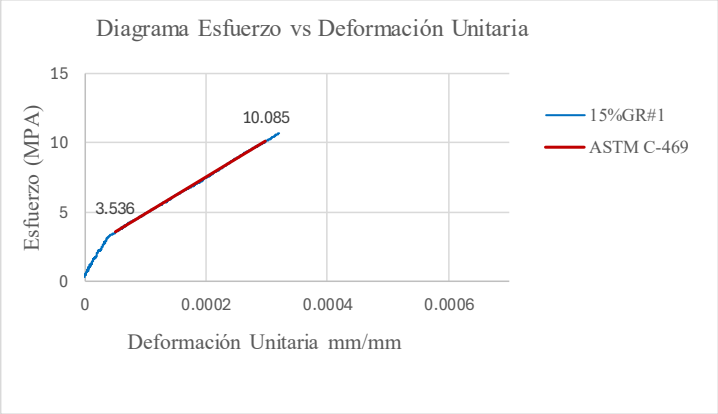
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.13	cm	Peso del especímen:	3.73	Kg	Fecha de elaboración:	15/5/2025
Altura:	20.00	cm	Volumen especímen:	1609.91	cm3	Fecha de ensayo:	12/6/2025

CARGAS

Carga de rotura :	203.00	KN	Esfuerzo a compresión :	25.21	MPA
Carga 40% de rotura:	81.20	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura :	10.085	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	10.085	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00030	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	3.536	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	26415.39	Mpa	=	269363.04 kg/cm²

Anexo 32: MEE 15% Granito#2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	14/6/2025

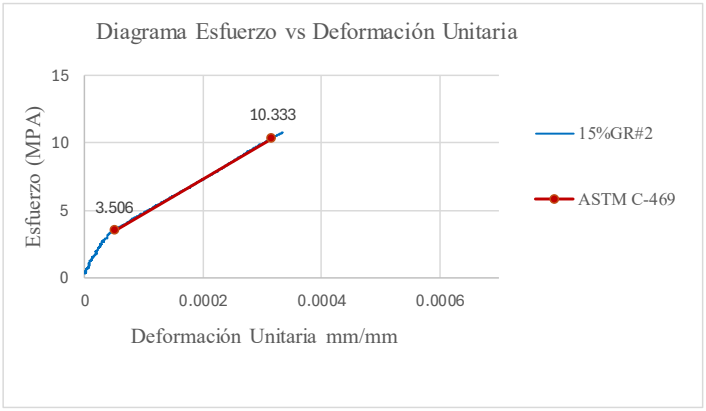
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.03	cm	Peso del especímen:	3.75	Kg	Fecha de elaboración:	15/5/2025
Altura:	19.97	cm	Volumen especímen:	1577.00	cm3	Fecha de ensayo:	12/6/2025

CARGAS

Carga de rotura :	204.00	KN	Esfuerzo a compresión :	25.83	MPA
Carga 40% de rotura:	81.60	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	10.333	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	10.333	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00032	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	3.506	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	25635.98	Mpa	=	261415.27 kg/cm²

Anexo 33: MEE 15% Granito#3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	14/6/2025

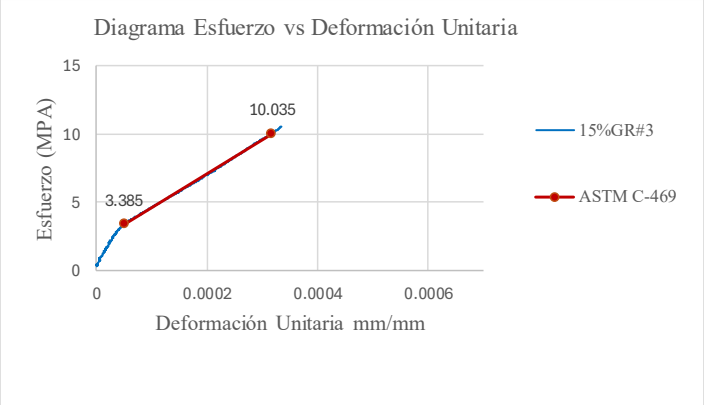
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.15	cm	Peso del especímen:	3.73	Kg	Fecha de elaboración:	15/5/2025
Altura :	20.02	cm	Volumen especímen:	1619.89	cm3	Fecha de ensayo:	12/6/2025

CARGAS

Carga de rotura :	203.00	KN	Esfuerzo a compresión :	25.09	MPA
Carga 40% de rotura:	81.20	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura :	10.035	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	10.035	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00032	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	3.385	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	24904.69	Mpa	=	253958.06 kg/cm²

Anexo 34: MEE 20% Granito#1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	14/6/2025

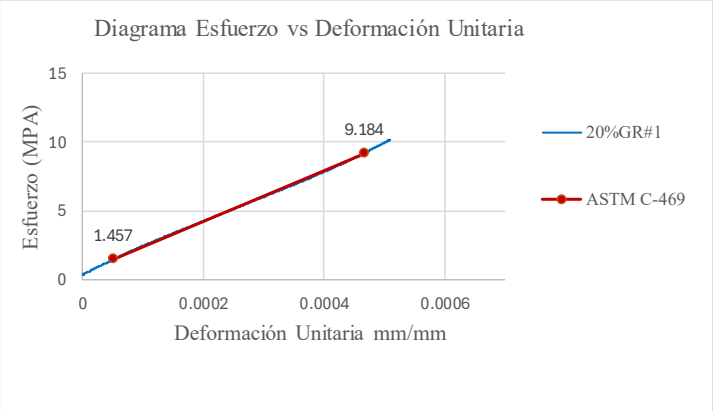
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.00	cm	Peso del especímen:	3.73	Kg	Fecha de elaboración:	15/5/2025
Altura	19.98	cm	Volumen especímen:	1569.23	cm3	Fecha de ensayo:	12/6/2025

CARGAS

Carga de rotura :	180.33	KN	Esfuerzo a compresión:	22.96	MPA
Carga 40% de rotura:	72.13	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	9.18	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.184	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.000466	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.457	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	18577.57	Mpa	=	189439.21 kg/cm²

Anexo 35: MEE 20% Granito#2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	14/6/2025

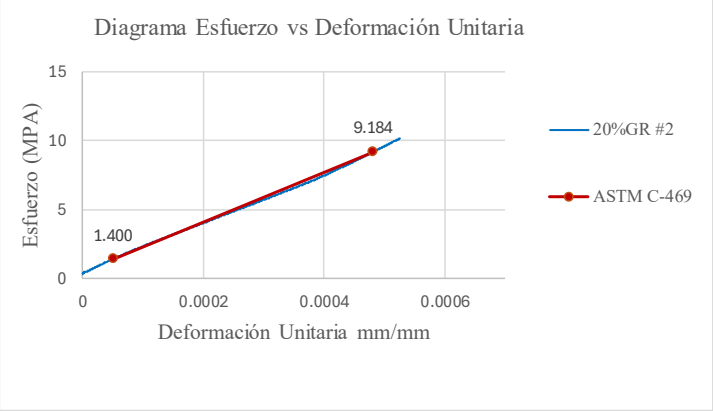
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.00	cm	Peso del especímen:	3.69	Kg	Fecha de elaboración:	15/5/2025
Altura:	20.01	cm	Volumen especímen:	1571.58	cm3	Fecha de ensayo:	12/6/2025

CARGAS

Carga de rotura :	180.33	KN	Esfuerzo a compresión :	22.96	MPA
Carga 40% de rotura:	72.13	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura:	9.18	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.184	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00048	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.400	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	18070.67	Mpa	=	184270.21 kg/cm²

Anexo 36: MEE 20% Granito #3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN SIMPLE CON ADICIÓN DE GRANITO TRITURADO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO"

LUGAR:	LABORATORIO FICM	**NORMA:**	**ASTM C-469**
ENSAYADO POR:	MARTHA GABRIELA CURICAMA	**FECHA:**	14/6/2025

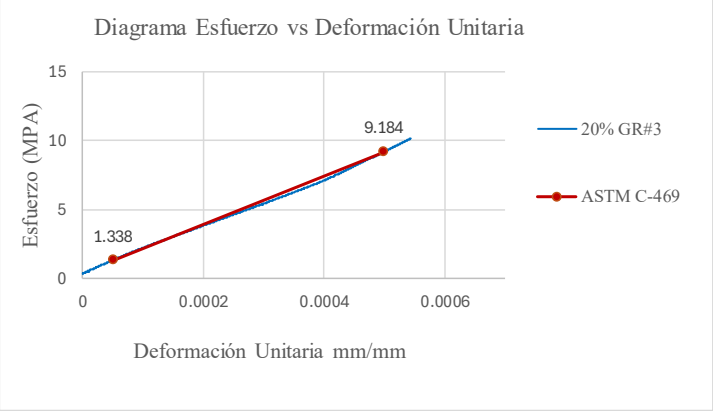
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Diametro:	10.00	cm	Peso del especímen:	3.66	Kg	Fecha de elaboración:	15/5/2025
Altura:	20.02	cm	Volumen especímen:	1572.17	cm3	Fecha de ensayo:	12/6/2025

CARGAS

Carga de rotura :	180.33	KN	Esfuerzo a compresión :	22.96	MPA
Carga 40% de rotura:	72.13	KN	Esfuerzo al 40% a la rotura	9.184	MPA

GRÁFICO



MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD

$0{,}4\ \mathcal{T}_{max}\ (s_2)$	9.184	MPA	$\mathcal{E}_{2\ (0{,}4\ \mathcal{T}_{max})}$	0.00050	mm/mm
$\mathcal{T}_{0{,}00005}\ (s_1)$	1.338	MPA	$Def.unit$	0.00005	mm/mm

E =	17497.89	Mpa	=	178429.48 kg/cm²