



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
CONCRETO UTILIZANDO DISTINTOS PORCENTAJES DE POLVO DE CANTERA
COMO AGREGADO FINO ALTERNATIVO DE LAS MINERAS ROOKA AZUL Y
ÁRIDOS DEL AUSTRO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTORES: BRITNEY MABEL CHIMBO GÓMEZ

SEBASTIAN MATEO SHUILEMA YASACA

TUTOR: ING. CRISTIAN DANILO BUSTOS CABRERA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2026

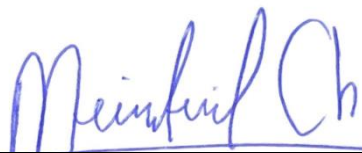
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Britney Mabel Chimbo Gómez con documento de identificación N° 0106231798 y Sebastian Mateo Shuilema Yasaca con documento de identificación N° 0650093974; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

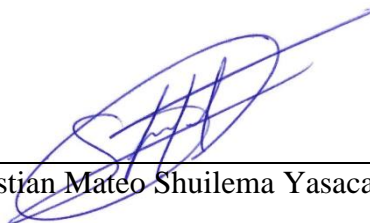
Cuenca, 10 de febrero del 2026.

Atentamente,



Britney Mabel Chimbo Gómez

0106231798



Sebastian Mateo Shuilema Yasaca

0650093974

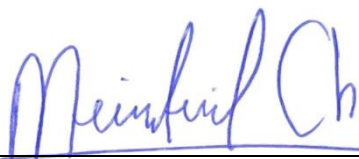
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Britney Mabel Chimbo Gómez con documento de identificación N° 0106231798 y Sebastian Mateo Shuilema Yasaca con documento de identificación N° 0650093974, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Evaluación comparativa de la resistencia a compresión del concreto utilizando distintos porcentajes de polvo de cantera como agregado fino alternativo de las mineras Rooka Azul y Áridos del Austro”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 10 de febrero del 2026.

Atentamente,



Chimbo Gómez Britney Mabel

0106231798



Shuilema Yasaca Sebastian Mateo

0650093974

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Danilo Bustos Cabrera con documento de identificación N° 0301288262, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO UTILIZANDO DISTINTOS PORCENTAJES DE POLVO DE CANTERA COMO AGREGADO FINO ALTERNATIVO DE LAS MINERAS ROOKA AZUL Y ÁRIDOS DEL AUSTRO, realizado por Britney Mabel Chimbo Gómez con documento de identificación N° 0106231798 y por Sebastian Mateo Shuilema Yasaca con documento de identificación N° 0650093974, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 10 de febrero del 2026.

Atentamente,



Ing. Cristian Danilo Bustos Cabrera, MSc.

0301288262

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Autora: Chimbo Gómez Britney Mabel

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios, por brindarme la salud, fortaleza y sabiduría para preservar esta etapa de mi formación académica.

A mis padres, Wilmer Chimbo y Noemí Gómez, quienes con su esfuerzo, apoyo incondicional y valores inculcados han sido mi pilar fundamental para alcanzar este logro, motivándome siempre a no rendirme ante las dificultades de la vida.

A mis hermanos, Justin Chimbo y Amelia Chimbo, por su comprensión, paciencia y palabras de aliento, que fueron un apoyo constante durante mi desarrollo académico

Este logro es el reflejo del sacrificio y acompañamiento de cada uno de ellos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a la Universidad Politécnica Salesiana y a la carrera que me formaron académica y profesionalmente, brindándome los conocimientos y herramientas necesarias para el desarrollo de mi proyecto de titulación.

Mi profundo agradecimiento a los profesores de mi carrera, cuyo profesionalismo, dedicación y vocación académica fueron esenciales en mi proceso de formación universitaria, contribuyendo de forma notable a mi crecimiento académico y personal.

A mi amiga Mayle Ortiz, quien estuvo presente en el transcurso de toda la carrera, presente en los momentos de esfuerzo y también en aquellos de descanso, brindándome el apoyo necesario.

para no darme por vencida, agradezco su compañerismo y palabras de aliento cuando más las necesite.

De Manera especial agradezco a toda mi familia, por su respaldo permanente, inspiración y presencia durante todo este camino académico, y a quienes, directa o indirectamente, aportaron al desarrollo y finalización de este trabajo de titulación.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Autor: Shuilema Yasaca Sebastian Mateo

DEDICATORIA

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por acompañarme en cada etapa de mi vida y por darme la fortaleza necesaria para afrontar los desafíos con fe, constancia y esperanza. A mis padres, Mercedes Yasaca y Manuel Shuilema, por su esfuerzo incansable, su apoyo incondicional y por confiar siempre en mis capacidades, incluso en los momentos más difíciles. Asimismo, agradezco de manera especial a mi hermana Fanny Shuilema y a mi primo Wilson Shuilema, así como a los demás miembros de mi familia, quienes, con su respaldo, palabras de aliento y cariño han sido un pilar fundamental durante este proceso.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana por ofrecerme la oportunidad de realizar mis estudios superiores, convirtiéndose en el lugar donde pude reforzar mis conocimientos académicos y cultivar valores humanos.

Mi agradecimiento más sincero va hacia los profesores de mi carrera que, con su profesionalismo, dedicación y pasión, fueron fundamentales en mi formación universitaria, contribuyendo de manera significativa a mi desarrollo tanto académico como personal.

Asimismo, quiero agradecer a mis compañeros de estudio por fomentar un ambiente de apoyo mutuo, camaradería y las vivencias compartidas que hicieron de esta etapa un verdadero aprendizaje integral.

Por último, deseo reconocer a mi madre, Mercedes Yasaca, a mi padre, Manuel Shuilema, a mi hermana, Fanny Shuilema, y a mi primo, Wilson Shuilema, por su incondicional apoyo, inspiración y presencia durante este trayecto académico, así como a todas las personas que, de forma directa o indirecta, jugaron un papel en la realización y finalización de este trabajo de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE ANEXOS	XVIII
RESUMEN	XX
ABSTRACT.....	XXI
INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Importancia y alcances	4
1.4 Delimitaciones.....	5
1.4.1 Espacial y geografía	5
1.4.2 Temporal	6
1.4.3 Sectorial o institucional.....	6
1.5 Objetivos	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
2. MARCO TEÓRICO	7

2.1	Hormigón	7
2.2	Características del agregado fino tradicional	8
2.2.1	Arena	8
2.2.2	Requisitos normativos del agregado fino según normativas ecuatorianas	8
2.2.2.1	NTE INEN 872.....	9
2.2.2.2	NTE INEN 969.....	9
2.2.2.3	NTE INEN 856.....	9
2.2.3	Impacto ambiental por la extracción de la arena natural.....	9
2.2.4	Costos asociados a la obtención de arena.....	10
2.2.5	Polvo de cantera	11
2.2.6	Composición y características del polvo de cantera.....	11
2.2.7	Comparación del polvo de cantera con la arena.....	11
2.3	Ventajas y desventajas del uso de polvo de cantera.....	12
2.3.1	Ventajas del uso de polvo de cantera	12
2.3.2	Desventajas del uso de polvo de cantera.....	12
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	13
3.1	Características del árido grueso.....	13
3.1.1	Origen del árido grueso	13
3.1.2	Granulometría del árido grueso.....	14
3.1.2.1	Cálculo de gravedad específica	16

3.1.2.2	Cálculo de absorción	16
3.1.2.3	Cálculo de densidad	16
3.1.3	Granulometría del árido grueso.....	17
3.2	Características del árido fino.....	17
3.2.1	Origen del árido fino	17
3.2.2	Granulometría del árido fino.....	17
3.2.3	Densidad, gravedad específica y absorción del árido fino.....	18
3.2.3.1	Cálculo de gravedad específica	19
3.2.3.2	Cálculo de densidad	19
3.2.4	Humedad del árido fino.....	19
3.3	Características del cemento.....	20
3.4	Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1.....	21
3.4.1	Asentamiento.....	21
3.4.2	Determinación del tamaño máximo nominal	22
3.4.3	Determinación del contenido de aire.....	23
3.4.4	Determinación de la cantidad de agua.....	24
3.4.5	Determinación de la relación a/c.....	24
3.4.6	Determinación del volumen de los agregados fino y grueso	25
3.4.7	Determinación del contenido de cemento	27
3.4.8	Humedad y absorción.....	29

3.4.9	Elaboración de cilindros y ensayo a compresión	29
3.5	Polvo de cantera	30
3.5.1	Densidad del polvo de cantera	30
3.5.2	Determinación de la granulometría del polvo de cantera.....	31
3.5.3	Sustitución parcial de la cantidad de árido fino por polvo de cantera.....	31
4.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	32
4.1	Árido grueso.....	32
4.1.1	Granulometría del árido grueso de la minera Áridos del Austro	32
4.1.2	Granulometría del árido grueso de la minera Rooka Azul.....	33
4.1.3	Densidades del árido grueso de la minera Áridos del Austro	34
4.1.4	Densidades del árido grueso de la minera Rooka Azul.....	35
4.1.5	Absorción del árido grueso de la minera Áridos del Austro	35
4.1.6	Absorción del árido grueso de la minera Rooka Azul	35
4.1.7	Humedades del árido grueso de la minera Áridos del Austro.....	36
4.1.8	Humedades del árido grueso de la minera Rooka Azul	36
4.2	Árido fino	37
4.2.1	Granulometría del árido fino de la minera Áridos del Austro.....	37
4.2.2	Granulometría del árido fino de la minera Rooka Azul	38
4.2.3	Densidades del árido fino de la minera Áridos del Austro	40
4.2.4	Densidades del árido fino de la minera Rooka Azul.....	40

4.2.5	Absorción del árido fino de la minera Áridos del Austro	40
4.2.6	Absorción del árido fino de la minera Rooka Azul.....	41
4.2.7	Humedad del árido fino de la minera Áridos del Austro	41
4.2.8	Humedad del árido fino de la minera Rooka Azul.....	41
4.3	Polvo de cantera	42
4.3.1	Granulometría del polvo de cantera de Áridos del Austro y Rooka Azul.....	42
4.3.2	Sustitución parcial del árido fino con polvo de cantera	44
4.3.3	Análisis comparativo de la granulometría del polvo de cantera	44
4.4	Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1.....	45
4.4.1	Asentamiento para las mineras Áridos del Austro y Rooka Azul.....	45
4.4.2	Contenido de aire	46
4.4.3	Elección del tamaño máximo nominal TMN.....	46
4.4.4	Cantidad de agua	46
4.4.5	Relación a/c	47
4.4.6	Contenido de cemento.....	47
4.4.7	Contenido de agregado grueso y agregado fino	48
4.4.8	Ajuste por humedad y absorción	50
4.4.9	Dosificaciones para elaboración de los cilindros de hormigón.....	51
4.4.10	Análisis de la resistencia a compresión de 14 días según procedencia del árido.....	53
	CONCLUSIONES.....	56

RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Cantidad mínima del árido grueso para ensayar según la norma NTE INEN 969.....</i>	15
Tabla 2	<i>Serie de tamices para la granulometría del árido grueso según la NTE INEN 872</i>	15
Tabla 3	<i>Secuencia de tamices para el ensayo del agregado fino</i>	18
Tabla 4	<i>Características físicas del cemento Atenas tipo GU.....</i>	20
Tabla 5	<i>Asentamiento de la muestra de hormigón.....</i>	22
Tabla 6	<i>Contenido de aire para la muestra de hormigón.....</i>	24
Tabla 7	<i>Relación a/c de la muestra de hormigón</i>	25
Tabla 8	<i>Clasificación de los tipos de cemento</i>	28
Tabla 9	<i>Granulometría del árido grueso Áridos del Austro</i>	32
Tabla 10	<i>Granulometría del árido grueso de la minera Rooka Azul.....</i>	33
Tabla 11	<i>Densidades del árido grueso minera Áridos del Austro</i>	34
Tabla 12	<i>Densidades del árido grueso de la minera Rooka Azul.....</i>	35
Tabla 13	<i>Porcentaje de absorción de la minera Áridos del Austro.....</i>	35
Tabla 14	<i>Porcentaje de absorción de la minera Rooka Azul.....</i>	35
Tabla 15	<i>Humedades del árido grueso de la minera Áridos del Austro.....</i>	36
Tabla 16	<i>Humedades del árido grueso de la minera Rooka Azul.....</i>	36
Tabla 17	<i>Granulometría del árido fino de la minera Áridos del Austro</i>	37
Tabla 18	<i>Granulometría del árido fino de la minera Rooka Azul</i>	39
Tabla 19	<i>Densidades del árido fino de la minera Áridos del Austro.....</i>	40
Tabla 20	<i>Densidades del árido fino de la minera Rooka Azul.....</i>	40
Tabla 21	<i>Porcentaje de absorción del árido fino de la minera Áridos del Austro</i>	40
Tabla 22	<i>Porcentaje de absorción del árido fino de la minera Rooka Azul</i>	41

Tabla 23	<i>Porcentaje de humedad de la minera Áridos del Austro</i>	41
Tabla 24	<i>Porcentaje de humedad de la minera Rooka Azul</i>	41
Tabla 25	<i>Granulometría del polvo de cantera Áridos del Austro</i>	42
Tabla 26	<i>Granulometría del polvo de cantera Rooka Azul</i>	43
Tabla 27	<i>Cantidad de cemento con a/c Áridos del Austro</i>	48
Tabla 28	<i>Cantidad de cemento con a/c Rooka Azul</i>	48
Tabla 29	<i>Resistencia obtenida con diferentes porcentajes de polvo de cantera Rooka Azul</i>	52
Tabla 30	<i>Resistencia con diferentes porcentajes de polvo de cantera Áridos del Austro</i>	52
Tabla 31	<i>Promedio de la resistencia de los cilindros Rooka Azul</i>	53
Tabla 32	<i>Promedio de la resistencia de los cilindros Áridos del Austro</i>	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Vista aérea de la ciudad de Cuenca</i>	5
Figura 2 <i>Ubicación de las mineras sector El Descanso</i>	14
Figura 3 <i>Optimización de las granulometrías</i>	27
Figura 4 <i>Curva granulométrica Áridos del Austro</i>	33
Figura 5 <i>Curva granulométrica de la minera Rooka Azul</i>	34
Figura 6 <i>Curva granulométrica árido fino de la minera Áridos del Austro</i>	38
Figura 7 <i>Curva granulométrica del árido fino de la minera Rooka Azul</i>	39
Figura 8 <i>Curva granulométrico del polvo de cantera Áridos del Austro</i>	43
Figura 9 <i>Curva granulométrico del polvo de cantera Rooka Azul</i>	44
Figura 10 <i>Asentamiento del hormigón simple Áridos del Austro</i>	45
Figura 11 <i>Asentamiento del hormigón simple de Rooka Azul</i>	46
Figura 12 <i>Método gráfico Rooka Azul</i>	49
Figura 13 <i>Método gráfico Áridos del Austro</i>	50
Figura 14 <i>Resistencia del hormigón simple y con polvo de cantera a los 14 días</i>	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Ensayos de granulometría del árido fino</i>	62
Anexo 2 <i>Ensayos de granulometría del árido grueso</i>	62
Anexo 3 <i>Ensayos de granulometría del polvo de cantera</i>	63
Anexos 4 <i>Densidad compactada del árido grueso</i>	63
Anexo 5 <i>Densidad compactada del árido fino</i>	64
Anexo 6 <i>Densidad compactada del polvo de cantera</i>	64
Anexo 7 <i>Muestra del árido grueso saturado superficialmente seco</i>	65
Anexo 8 <i>Toma de temperatura del árido grueso en agua</i>	65
Anexo 9 <i>Muestra del árido fino saturada superficialmente seca</i>	66
Anexo 10 <i>Ensayo de gravedad específica del árido fino</i>	66
Anexo 11 <i>Ensayo del asentamiento del hormigón</i>	67
Anexo 12 <i>Fundición de probetas del hormigón simple</i>	67
Anexo 13 <i>Fundiciones de probeta de hormigón con polvo de cantera el 15%</i>	68
Anexo 14 <i>Fundiciones de probeta de hormigón con polvo de cantera el 30%</i>	68
Anexo 15 <i>Fundiciones de probeta de hormigón con polvo de cantera el 70%</i>	69
Anexo 16 <i>Elaboración de probetas</i>	69
Anexo 17 <i>Ensayo a compresión a los 14 días hormigón simple Rooka Azul</i>	70
Anexo 18 <i>Ensayo a compresión a 14 días hormigón simple Áridos del Austro</i>	71
Anexo 19 <i>Ensayo a compresión 14 días hormigón con polvo de cantera Rooka Azul 15%</i>	72
Anexo 20 <i>Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Áridos del Austro 15%</i>	73
Anexo 21 <i>Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Rooka Azul 30%</i>	74

Anexo 22 <i>Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Áridos del Austro 30%</i>	75
Anexo 23 <i>Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Rooka Azul 70%</i>	76
Anexo 24 <i>Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Áridos del Austro 70%</i>	77

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo evaluar comparativamente la resistencia a compresión del concreto mediante la sustitución parcial del agregado fino por polvo de cantera, utilizando materiales provenientes de las minerías Rooka Azul y Áridos del Austro, en relación con un concreto convencional. El estudio se orienta al análisis técnico del comportamiento mecánico del concreto al emplear subproductos de la industria de trituración como agregado fino alternativo. Para el desarrollo de la investigación se elaboraron mezclas de concreto con distintos porcentajes de reemplazo del agregado fino por polvo de cantera, específicamente del 15 %, 30 % y 70 %, empleando materiales de ambas minerías. Las mezclas obtenidas fueron comparadas con una mezcla patrón sin sustitución. El diseño del concreto se realizó mediante el método ACI, mientras que la caracterización de los materiales y los ensayos de laboratorio se ejecutaron conforme a la normativa ecuatoriana NTE INEN, basada en normas ASTM y en las recomendaciones del ACI. El estudio permite analizar la influencia del porcentaje de sustitución y de la procedencia del polvo de cantera en la resistencia a compresión del concreto, generando información técnica para la evaluación de su comportamiento mecánico. Los resultados obtenidos constituyen una base técnica para el análisis del uso del polvo de cantera como agregado fino alternativo en el diseño de mezclas de concreto, dentro del ámbito de la ingeniería civil.

Palabras clave: hormigón, resistencia a la compresión, polvo de cantera, agregado fino alternativo, diseño de mezclas.

ABSTRACT

This thesis aims to comparatively evaluate the compressive strength of concrete with the partial substitution of fine aggregate using quarry dust, sourced from the Rooka Azul and Áridos del Austro mines, in relation to conventional concrete. The study focuses on the technical analysis of the mechanical behavior of concrete when using byproducts from the crushing industry as an alternative fine aggregate. For the research, concrete mixes were prepared with different percentages of fine aggregate replacement by quarry dust, specifically 15%, 30%, and 70%, using materials from both mines. The resulting mixes were compared to a control mix without substitution. The concrete mix design was performed using the ACI method, while the characterization of the materials and the laboratory tests were carried out according to the Ecuadorian standard NTE INEN, based on ASTM standards and ACI recommendations. This study analyzes the influence of the substitution percentage and origin of quarry dust on the compressive strength of concrete, generating technical information for evaluating its mechanical behavior. The results obtained provide a technical basis for analyzing the use of quarry dust as an alternative fine aggregate in concrete mix design within the field of civil engineering.

Keywords: concrete, compressive strength, quarry dust, alternative fine aggregate, mix design.

INTRODUCCIÓN

El hormigón es utilizado en la mayoría de las obras civiles debido a su alta resistencia y posibilidad de adaptarse a lugares diferentes de cada una de las obras. Sin embargo, esta genera un gran porcentaje de contaminación y el uso de los materiales que pueden ir agotándose en algún momento, en la actualidad existe abundancia cantidad de árido fino, pese a ello, en un futuro por la sobreexplotación está podría agotarse, es por este motivo que se busca innovar nuevas técnicas para reducir efectos adversos al medio ambiente y poder dar uso a los materiales reciclables.

El árido fino es uno de los materiales más utilizados en las obras civiles, asimismo es necesario tomar en cuenta que no es un elemento ilimitado, por lo que es indispensable analizar alternativas que permitan un uso más eficiente y sostenible de estos materiales. En este caso, el polvo de cantera surge como un producto de trituración de rocas, lo cual este no es aprovechado y se convierte en un residuo, este llega a generar problemas ambientales si no se gestiona adecuadamente.

Ante esta problemática, esta investigación propone la elaboración de mezclas de hormigón con sustitución parcial del agregado fino alternativo por polvo de cantera, con el objetivo de analizar su influencia en la resistencia a compresión. Para dicho muestreo, se diseñó un hormigón convencional como muestra de referencia y se elaboraron tres mezclas adicionales en las que se sustituyó el agregado fino en porcentajes de 30%, % y 70% por polvo de cantera.

Mediante la realización de los ensayos de resistencia a la compresión, se evalúa el comportamiento mecánico de cada mezcla y se compararon los resultados obtenidos con el hormigón simple, para así poder analizar los resultados finales de este ensayo.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La industria de la construcción depende ampliamente del hormigón, lo que genera una alta demanda de agregados naturales, la extracción masiva y descontrolada de arena en ríos y canteras ha provocado graves efectos ambientales, como la erosión de ríos, la pérdida de biodiversidad y desequilibrios hidrológicos. Además, el aumento en la demanda ha elevado sus costos y causada escasez en algunas regiones.

Por otro lado, los procesos de trituración de roca para la obtención de los agregados gruesos generan grandes volúmenes de polvo de cantera, un material que en muchos casos no es reutilizado y termina acumulándose como residuo, ocasionando problemas ambientales, como la contaminación del aire y del suelo. A pesar de su uso potencial como agregado fino alternativo, el polvo de cantera aún no se utiliza ampliamente en la producción de hormigón debido a la falta de estudios técnicos que respalden su comportamiento mecánico, especialmente en lo que respecta a la resistencia a la compresión (Chandramouli et al., 2022).

Ante estos problemas, es necesario realizar un estudio para evaluar las propiedades mecánicas del hormigón producido con diferentes porcentajes de sustitución de áridos finos naturales por polvo de cantera y compararlo con el hormigón convencional. Esta investigación determinará el porcentaje óptimo de sustitución que promoverá un mejor rendimiento mecánico, reducirá el impacto ambiental de la extracción de arena y promoverá el uso de subproductos industriales, fomentando así un proceso más eficiente.

1.2 Justificación

El uso de áridos finos de origen mineral en la construcción se remonta a las primeras civilizaciones, donde se utilizaban mezclas de tierra, arena y partículas finas como ingredientes básicos para la fabricación de morteros y elementos estructurales. Estas prácticas ancestrales demuestran la importancia de los áridos finos para mejorar la compactación, la cohesión y el rendimiento mecánico de las mezclas utilizadas en la construcción (Monje et al., 2024).

Con el desarrollo del hormigón moderno, el papel de los áridos finos se ha consolidado como un elemento clave en el diseño de la mezcla, afectando directamente a propiedades como la trabajabilidad, la densidad y la resistencia mecánica. Con el tiempo, la ingeniería civil ha incorporado diferentes tipos de áridos finos con el objetivo de optimizar el comportamiento del hormigón, siempre que cumplan con los requisitos técnicos establecidos para su uso estructural.

En las últimas décadas, el desarrollo del sector de la construcción y la intensificación de la actividad minera han propiciado un aumento en la producción de subproductos derivados de la trituración de rocas, incluido el polvo de cantera. Este material, caracterizado por su granulometría fina, se produce en grandes volúmenes durante la extracción de áridos de la piedra y, en muchos casos, no tiene un uso técnico definido, acumulándose como residuo en las zonas de canteras. Diversos estudios internacionales han analizado el uso de materiales finos alternativos en la producción de hormigón, indicando que su incorporación puede afectar el comportamiento mecánico del material, en particular su resistencia a la compresión, siempre que se controlen adecuadamente el diseño de la mezcla, la relación agua-cemento y el contenido de partículas finas. Sin embargo, estos efectos dependen en gran medida de las características físicas y mineralógicas del material utilizado, así como de su origen (Moreno, 2020).

En el contexto nacional y local, la investigación relacionada con el polvo de cantera se ha centrado principalmente en la caracterización física de los áridos de cantera y en el análisis del comportamiento del hormigón con materiales alternativos. Sin embargo, existe poca información técnica que evalúe comparativamente la resistencia a la compresión del hormigón que utiliza polvo de cantera como árido fino alternativo, considerando las diferentes tasas de sustitución y el origen del material (Ortiz et al., 2020).

En el cantón de Cuenca, donde operan empresas mineras como Rooka Azul y Áridos del Austro, el polvo de cantera se produce continuamente como subproducto del proceso de trituración de rocas. A pesar de su disponibilidad, no existen estudios técnicos locales que permitan un análisis comparativo de su comportamiento mecánico en el hormigón estructural. Esta falta de información justifica la necesidad de desarrollar investigaciones encaminadas a evaluar la resistencia a la compresión de hormigones producidos con diferentes porcentajes de polvo de cantera en sustitución de los áridos finos naturales, como uno de los criterios técnicos para analizar su potencial aplicación en el diseño de mezclas de hormigón en el campo de la ingeniería civil.

1.3 Importancia y alcances

La investigación desarrollada por (Cabrera, 2013) para la universidad Nacional del Sur, surge como respuesta a la creciente problemática ambiental y técnica al uso de arenas naturales en la elaboración del hormigón. La extracción intensa de arenas de origen natural, principalmente de ríos, ha ido generando grandes impactos negativos significativos sobre el medio ambiental, tales como la erosión de cauces, la alteración de ecosistemas fluviales y a la disminución progresiva de este recurso, lo cual ha llevado a una búsqueda de materiales alternativos que garanticen la sostenibilidad del sector de la construcción.

La presente investigación tiene un alcance experimental y comparativo, centrado en la evaluación de la resistencia a compresión del hormigón elaborado con distintos porcentajes de sustitución del agregado fino por polvo de cantera proveniente de las mineras Rooka Azul y Áridos del Austro, ubicadas en el cantón Cuenca. El estudio se limita al análisis de esta propiedad mecánica como uno de los criterios técnicos para evaluar el comportamiento del material, sin considerar otros ensayos necesarios para una validación integral del polvo de cantera como agregado fino alternativo.

1.4 Delimitaciones

El problema de estudio se realizará en las siguientes dimensiones:

1.4.1 Espacial y geografía

El siguiente estudio se realizará en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, provincia del Azuay.

A continuación, se muestra la vista aérea de la ciudad de Cuenca.

Figura 1

Vista aérea de la ciudad de Cuenca



Nota: La figura 1, muestra en donde se ubica la ciudad en la que se desarrolla el estudio del proyecto. Fuente: Google Earth (2026).

1.4.2 Temporal

El presente trabajo se realizará en el periodo 67, correspondiente en los meses de octubre del 2025 a febrero del presente año.

1.4.3 Sectorial o institucional

Para la elaboración del proyecto de titulación se utilizó el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, perteneciente al área de ingeniería Civil.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Medir el impacto de la adición de polvo de cantera en la resistencia del concreto utilizado en el cantón Cuenca, con los materiales de las minerías Rooka Azul y Áridos del Austro.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar los porcentajes de sustitución para el uso como agregado fino en la resistencia del hormigón.
- Elaborar probetas de acuerdo con las normas ACI.
- Comparar resultados del ensayo a compresión entre un hormigón con arena natural y otra con polvo de cantera.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón

El hormigón es un material de construcción compuesto por una mezcla controlada de cemento, agua, áridos finos (como arena) y áridos gruesos (como grava o piedra triturada). Al combinar el cemento con agua, se produce una reacción química llamada hidratación, que provoca el fraguado y endurecimiento del material, transformándolo en un sólido principalmente resistente a la compresión. Debido a esta característica, el hormigón se utiliza ampliamente en la construcción de diversas estructuras, desde cimentaciones hasta elementos de construcción complejos. Sus propiedades más importantes incluyen la resistencia a la compresión, la durabilidad en condiciones ambientales adversas y la flexibilidad para adaptarse a diferentes formas y aplicaciones constructivas. Sin embargo, el hormigón presenta cierta debilidad ante esfuerzos de tracción, flexión o cizallamiento, por lo que a menudo se combina con armaduras de acero en lo que se conoce como hormigón armado, aumentando así su capacidad estructural y seguridad. Además, el hormigón puede incluir aditivos que mejoran características específicas como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la impermeabilidad y la resistencia al ataque químico o a la abrasión (Hernández y Gil, 2023).

Este material se puede clasificar según su densidad, resistencia y función. Existen hormigones ligeros, pesados, pretensados o autonivelantes, cada uno diseñado para necesidades específicas. Su producción y uso pueden incorporar materiales reciclados o alternativos para mejorar la sostenibilidad ambiental, un aspecto especialmente importante en contextos que buscan reducir costos e impactos ambientales, como el uso de polvo de cantera en lugar de arena natural como árido fino (Pérez y Merino, 2020).

2.2 Características del agregado fino tradicional

2.2.1 Arena

La arena es el agregado fino esencial en la producción de concreto. Está compuesta por partículas minerales, naturales o trituradas, con un tamaño máximo de 4,75 mm. Su función principal es rellenar los espacios entre los agregados gruesos, mejorando la trabajabilidad, proporcionando cohesión a la mezcla y contribuyendo significativamente a la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto (Loayza, 2024).

Para garantizar un rendimiento adecuado, la arena debe cumplir con los requisitos establecidos por la normativa ecuatoriana, principalmente la NTE INEN 872, que exige una distribución granulométrica bien granulada y continua, verificada mediante ensayos estandarizados. Esto reduce los espacios, controla la segregación y optimiza el consumo de cemento. Además, la arena debe estar limpia y libre de impurezas nocivas como arcilla, limo, materia orgánica, sales o contaminantes químicos, ya que estos afectan la adherencia cemento-agregado, alteran los tiempos de fraguado y reducen la resistencia del concreto. El contenido de finos debe mantenerse dentro de los límites reglamentarios para evitar el consumo excesivo de agua y la pérdida de resistencia. En cuanto a la forma y la textura, se prefieren las partículas angulares o subangulares, ya que mejoran la adherencia y la estabilidad de la mezcla en comparación con la arena excesivamente redondeada (Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2011).

2.2.2 Requisitos normativos del agregado fino según normativas ecuatorianas

La arena, como agregado fino del hormigón, debe cumplir con los requisitos de calidad, limpieza, granulometría y estabilidad química para asegurar el correcto diseño de la mezcla, garantizando así la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del hormigón. Estos requisitos según

la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC, 2014) se verifican mediante el estricto cumplimiento de las normas INEN ecuatorianas:

2.2.2.1 NTE INEN 872

Establece requisitos de calidad que debe cumplir la arena para ser utilizada en el hormigón, como es su granulometría adecuada, límites de impureza, estabilidad y aptitud del material, para que garantice la resistencia adecuada.

2.2.2.2 NTE INEN 969

Especifica el procedimiento de análisis granulométrico por tamizado, lo que permite verificar que la arena tenga su correcta distribución de tamaños para el diseño de mezclas del hormigón

2.2.2.3 NTE INEN 856

Identifica la presencia de materia orgánica en la arena, la cual puede afectar al fraguado del cemento y esta reduce la resistencia del hormigón

2.2.3 *Impacto ambiental por la extracción de la arena natural*

La extracción natural de arena tiene un impacto ambiental considerable, especialmente en regiones andinas como Cuenca, donde la demanda de materiales de construcción ejerce una presión creciente sobre las vías fluviales y los ecosistemas cercanos. En esta región, la extracción de arena se realiza principalmente en los cauces y riberas de los ríos, alterando su dinámica. Esto incluye una mayor erosión del lecho y las riberas, alteraciones en el caudal natural e inestabilidad de las laderas, poniendo en peligro la infraestructura cercana, como puentes, carreteras y viviendas. Además, la constante extracción de sedimentos reduce la capacidad natural de autorregulación del río, agravando la erosión y las inundaciones durante la temporada de lluvias (Claire, 2023).

Desde una perspectiva ecológica, la extracción de arena afecta directamente a los ecosistemas acuáticos y ribereños, destruyendo hábitats para peces, macroinvertebrados y vegetación, reduciendo así la biodiversidad y alterando las cadenas alimentarias. En Cuenca, ríos como el Tomebamba, el Yanuncay, el Tarqui y el Machángara presentan zonas degradadas donde la calidad del agua se ve afectada por el aumento de la turbidez y la alta concentración de sedimentos en suspensión, lo que reduce la penetración de la luz y altera los procesos biológicos. Este fenómeno se ve agravado por su impacto paisajístico y social, ya que la degradación de los cauces afecta espacios recreativos, turísticos y culturales que son parte integral de la identidad de la ciudad (Pauta et al., 2019).

2.2.4 Costos asociados a la obtención de arena

El suministro de arena natural para la construcción genera diversos costos directos e indirectos que inciden en el precio final del material utilizado en el hormigón. En la ciudad de Cuenca, estos costos se derivan principalmente de la extracción de arena de ríos o canteras autorizadas, su procesamiento (tamizado y lavado) para cumplir con las especificaciones técnicas, y el cumplimiento de los permisos y controles ambientales exigidos por la normativa ecuatoriana. Estos procesos garantizan la calidad de la arena, pero también incrementan su valor comercial (Sotaquira, 2025).

Además, el transporte y la comercialización representan una parte significativa de los costos debido al peso y volumen del material. En la región de Cuenca y la provincia del Azuay, la arena natural, tamizada o lavada, para hormigón se vende a precios de referencia que oscilan entre 18 y 22 USD por metro cúbico, mientras que un camión completo puede costar aproximadamente entre 110 y 120 USD, dependiendo de la distancia de transporte y del proveedor. Estos costos

reflejan no solo el valor del recurso, sino también los costos logísticos y administrativos asociados a su suministro (Pauta et al., 2019).

2.2.5 Polvo de cantera

El polvo de cantera es un material de grano fino que se obtiene principalmente de la trituración natural o artificial de rocas extraídas en canteras, operaciones mineras a cielo abierto destinadas a la obtención de materiales pétreos para la construcción. Este polvo consiste en partículas menores de 5 mm, que a menudo provienen de la descomposición natural o mecanizada de minerales en la cantera. Su naturaleza es la de un residuo, puede utilizarse como árido de grano fino en la producción de hormigón, sustituyendo parcial o totalmente la arena natural tradicional (Sundaralingam et al., 2022).

2.2.6 Composición y características del polvo de cantera

El polvo de cantera consiste en fragmentos de roca duros, compactos y duraderos, generalmente de forma cúbica o esférica, libres de partículas finas, planas o alargadas que puedan afectar su rendimiento en la mezcla de hormigón. Presenta una distribución granulométrica variable que puede ajustarse mediante ensayos para adaptarse a las necesidades específicas del hormigón. Químicamente, debe estar libre de cantidades perjudiciales de arcilla, limo, álcali, mica, materia orgánica u otras sustancias nocivas. Su textura y forma favorecen una buena adhesión mecánica y química a la pasta de cemento, lo que contribuye a la calidad del hormigón (Mahmoud et al., 2025).

2.2.7 Comparación del polvo de cantera con la arena

En comparación con la arena natural, que es el árido tradicional de grano fino derivado de procesos naturales de erosión y sedimentación, principalmente en ríos y depósitos aluviales, el polvo de cantera es una alternativa más económica y sostenible, ya que proviene de residuos

mineros que de otro modo se desecharían. La arena natural tiene un tamaño y una forma de partícula similares para cumplir con los requisitos de trabajabilidad y resistencia, pero su extracción masiva genera importantes impactos ambientales negativos. El polvo de cantera, con sus características físicas y químicas, que pueden ajustarse mediante procesos de selección y lavado, puede igualar o incluso mejorar ciertas propiedades del hormigón, como la resistencia a la compresión, aunque en algunos casos puede ser necesario ajustar la dosificación para mantener la trabajabilidad (Mahmoud et al., 2025).

2.3 Ventajas y desventajas del uso de polvo de cantera

2.3.1 Ventajas del uso de polvo de cantera

El uso de polvo de cantera en la construcción ofrece diversas ventajas técnicas, económicas y ambientales. Como subproducto del proceso de trituración de rocas, su uso permite el aprovechamiento de residuos, reduciendo la acumulación de material de descarte en las canteras y promoviendo prácticas de economía circular. Además, su uso como sustituto parcial de la arena natural ayuda a reducir la extracción de arena de los ríos, protegiendo así los ecosistemas fluviales y reduciendo la degradación ambiental. Desde un punto de vista económico, el polvo de cantera suele estar más disponible localmente y tiene menores costos de transporte, lo que puede traducirse en ahorros para los proyectos. Técnicamente, su alto contenido en finos puede mejorar la cohesión y la estabilidad de la mezcla, reduciendo la segregación cuando se utiliza de forma controlada (Brunet, 2025).

2.3.2 Desventajas del uso de polvo de cantera

El polvo de cantera también presenta desventajas que deben considerarse en el diseño de la mezcla. Su alto contenido de partículas finas aumenta la demanda de agua, lo que puede afectar el rendimiento del hormigón y requiere el uso de dosificaciones o aditivos. Su uso en cantidades

excesivas o sin un control de calidad adecuado puede producir mezclas rígidas que provocan una pérdida de resistencia mecánica. Además, las propiedades del polvo de mina pueden variar según el tipo de roca y el proceso de trituración, lo que requiere pruebas previas y un monitoreo continuo para garantizar su consistencia. Finalmente, en algunos casos, la sanción puede no aplicar directamente los límites regulatorios, por lo que su uso suele ser parcial y técnicamente justificado (Brunet, 2025).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Características del árido grueso

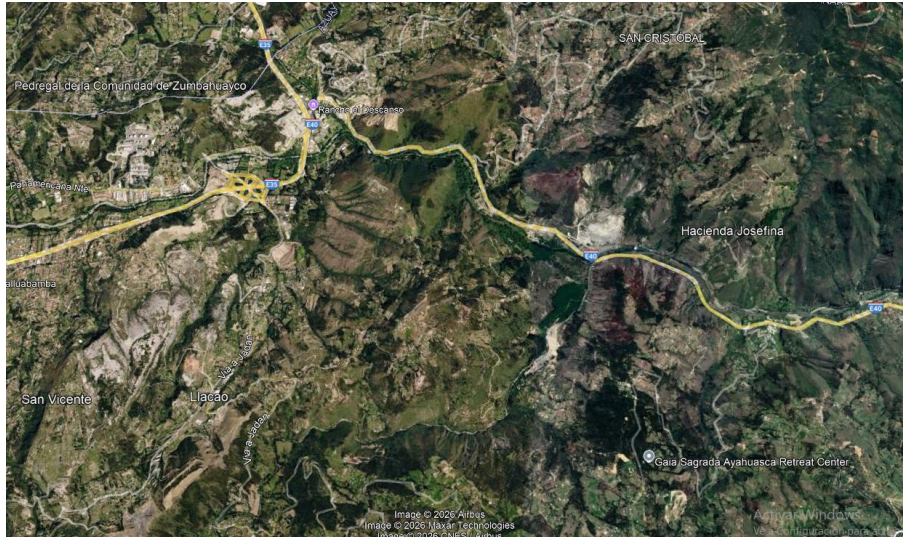
3.1.1 Origen del árido grueso

Los áridos gruesos, comúnmente conocidos como grava, provienen de fuentes naturales y artificiales que se utilizan en la producción de hormigón. Pueden provenir de depósitos naturales como ríos, terrazas aluviales o canteras, donde el material se obtiene mediante procesos de minería y cribado, o de canteras de roca sólida, donde los áridos se producen mediante la trituración y cribado de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas. El origen de los áridos gruesos afecta directamente sus propiedades físicas, como la forma, la textura y la resistencia, que son fundamentales para el comportamiento mecánico y la durabilidad del hormigón (NUBA, 2025).

El árido grueso se adquirió en las mineras Rooka Azul y Áridos del Austro, ubicadas en el sector El Descanso vía a Gualaceo. Estos lugares almacenan y transportan los áridos provenientes de este sector, el cual se encuentra a 45 min. de la ciudad de Cuenca, estos lugares se caracterizan por proporcionar áridos de buena calidad a diferentes ferreterías y depósitos de la ciudad (Grupo Núñez, 2024).

Figura 2

Ubicación de las mineras sector El Descanso



Nota: La imagen nos muestra la ubicación geográfica del sector El Descanso. Fuente: Google Earth (2026).

3.1.2 Granulometría del árido grueso

La granulometría del árido grueso es la cantidad de partículas de cierto tamaño que posee una muestra, se miden mediante tamices normados y se puede apreciar la cantidad de material que quedo retenido según la norma NTE INEN 696, se realizan ensayos para determinar esas cantidades y evaluar si es bien gradado o no, es decir, mediante limites que establece la normativa ecuatoriana NTE INEN 872.

Para determinar la granulometría del árido grueso se realiza el ensayo según la normativa NTE INEN 696, el cual presenta una tabla con la cantidad mínima de la muestra y su cantidad por tamaño máximo nominal a continuación se muestra una tabla:

Tabla 1*Cantidad mínima del árido grueso para ensayar según la norma NTE INEN 969*

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas)	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Nota: La tabla 1, es realizada en base a la normativa ecuatoriana NTE INEN 696, donde se muestra las cantidades mínimas del árido grueso necesarios para ensayar según su TMN. Fuente: INEN (2011).

Tabla 2*Serie de tamices para la granulometría del árido grueso según la NTE INEN 872*

TAMIZ	
ASTM (in)	INEN (mm)
1"	25,4
3/4"	19,1
1/2"	12,7
3/8"	9,5
4	4,75
8	2,38

Nota: La tabla 2, muestra la serie de tamices a utilizar para la granulometría del árido grueso según las normativas ecuatorianas. Fuente: INEN (2011).

3.1.2.1 Cálculo de gravedad específica

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)} = \frac{A}{(B - C)} \quad (1)$$

Donde:

A= masa en aire de la muestra seca al horno, g

B= masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g

C= masa aparente en agua de la muestra saturada, g

3.1.2.2 Cálculo de absorción

$$\text{Absorcion \%} = \frac{(B - A)}{A} \times 100 \quad (2)$$

3.1.2.3 Cálculo de densidad

Para la determinación de las densidades de los materiales, se realizó con la norma ecuatoriana NTE INEN 858, mediante una olla con un volumen conocido, llenando el recipiente con las muestras, en tres capas y cada capa con 25 golpes, esto se utilizó para determinar la densidad compacta, se realizó sin golpes ni capas para la suelta, luego se obtiene la masa que existe en el recipiente, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Donde:

ρ = densidad, kg/m^3

m= masa de la muestra, kg

v= volumen, m^3

3.1.3 Granulometría del árido grueso

Los áridos generalmente se almacenan en algunos recipientes por lo cual el resultado de contenido de humedad es variable, incluso al ser almacenados en bodegas, ya que tienden a ir perdiendo agua, para realizar las correcciones de agua en el diseño de mezcla, se determina al momento de la fundición. Se debe tomar los pesos de las muestras en estado natural, luego secarles hasta que su masa sea constante y determinar la masa. Esto se obtiene mediante la norma ecuatoriana NTE 862, que detalla sus respectivas fórmulas para su cálculo:

$$P = \frac{100(W - D)}{D} \quad (4)$$

Donde:

P= contenido de humedad, %

W= masa de la muestra original, g

D= masa de la muestra seca, g

3.2 Características del árido fino

3.2.1 Origen del árido fino

El árido fino utilizado en este estudio se obtuvo de las empresas mineras Rooka Azul y Áridos del Austro, ubicadas en la zona de El Descanso, en la vía a Gualaceo. Estas empresas extraen, procesan y transportan arena desde la zona, ubicada aproximadamente a 45 minutos de la ciudad de Cuenca. Estas instalaciones se caracterizan por un suministro de agregado fino de alta calidad, el cual es ampliamente utilizado en ferreterías, almacenes de materiales de construcción y en proyectos de ingeniería civil de la ciudad y sus alrededores.

3.2.2 Granulometría del árido fino

Para la demostración de la granulometría del árido fino se siguió los pasos de la normativa ecuatoriana NTE INEN 696, donde nos indica que se debe de tomar una muestra en estado seco y

esta debe tener como un mínimo de 300g para poder tamizar mediante vibración durante 3 min. En la siguiente tabla se presentan los tamices según la norma para el respectivo ensayo.

Tabla 3
Secuencia de tamices para el ensayo del agregado fino

TAMIZ
NTE INEN
9,5 mm
4,75 mm
2,36 mm
1,18 mm
600 μm
300 μm
150 μm
FONDO

Nota: La tabla 3, realizada en base a la norma ecuatoriana muestra la serie de matices que mediante vibración se determina el material retenido en cada tamiz. Fuente: INEN (2011).

3.2.3 Densidad, gravedad específica y absorción del árido fino

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo la normativa ecuatoriana NTE INEN 856, donde describe el respectivo procedimiento para del ensayo y determina la densidad y gravedad específica del árido fino. La muestra debe consistir en 500 ± 10 de árido fino saturado superficialmente seco, donde será sometido al ensayo utilizando un picnómetro siguiendo los respectivos pasos según la norma. Para determinar esta característica, es necesario conocer el peso del picnómetro, el peso del recipiente lleno (picnómetro) hasta la señal calibrada con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C y el peso del picnómetro con la muestra más agua hasta la marca de calibración. Una vez obtenido los datos se procede a los cálculos de las siguientes características.

3.2.3.1 Cálculo de gravedad específica

$$\text{Gravedad específica} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (5)$$

Donde:

A= masa en aire de la muestra seca a horno, g

B= masa en aire de la muestra saturada superiormente seca, g

C= masa aparente en agua de la muestra saturada, g

S= masa de la muestra completamente seca

3.2.3.2 Cálculo de densidad

Para determinar las densidades de los materiales, se siguió el procedimiento de la norma NTE INEN 858, donde nos indicó que, mediante un recipiente con el volumen conocido, se llena con la muestra en 3 capas y se debe realizar 25 golpes por cada capa en el caso de la densidad compactada y sin golpes ni capas para la densidad suelta. También, se determina la masa que existe en los recipientes para poder utilizar la siguiente formula:

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

Donde:

ρ = densidad, kg/m^3

m= masa de la muestra, kg

v= volumen, m^3

3.2.4 Humedad del árido fino

Para el procedimiento de la humedad del árido fino se ejecuta el mismo procedimiento indicado anteriormente. (Humedad del árido grueso), siguiendo la formulación indicada en la norma NTE INEN 862.

$$P = \frac{100(W - D)}{D} \quad (7)$$

Donde:

P= contenido de humedad, %

W= masa de la muestra original, g

D= masa de la muestra seca, g

3.3 Características del cemento

Para realizar este proyecto, se adquirió el cemento Atenas tipo GU, siguiendo la normativa NTE INEN 2380, donde este material de construcción presenta las siguientes propiedades físicas, que se detallan a continuación:

Tabla 4

Características físicas del cemento Atenas tipo GU

Parámetro	Método	Unidad	Resultado
Finura	NTE 196	cm ² /g	4364,40
Retenido	NTE 957	%	3,9
Cambio de longitud en autoclave, máx.	NTE 200	%	-0,05
Fraguado inicial, mín.	NTE 158	minutos	251
Fraguado final, máx.	NTE 158	minutos	303
Contenido de aire en mortero, máx.	NTE 195	%	7,50
Expansión en barra de mortero, máx.	NTE 2529	%	0,011
Densidad	NTE 156	g/cm ³	2,90

Nota: La tabla 4, muestra las diferentes características del cemento Atenas tipo GU.

Fuente: Studocu (2026).

3.4 Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1

Las mezclas de hormigón se componen de varios elementos que, al combinarse, forman un material capaz de adaptarse a diversos moldes y formas durante el colado. Esta propiedad permite el desarrollo de estructuras con diseños arquitectónicos diversos y visualmente atractivos. Además, su alta resistencia a la compresión ha contribuido a la continua popularidad del hormigón como uno de los materiales más utilizados en el sector de la construcción (Curasma, 2026).

La producción de hormigón requiere principalmente tres ingredientes básicos: cemento Portland, áridos y agua. En algunos casos, cuando se requieren características especiales como un endurecimiento acelerado o una mayor trabajabilidad, se introducen aditivos en la mezcla. Estos aditivos reaccionan con los demás componentes para adaptar el comportamiento del hormigón a las condiciones y requisitos específicos del proyecto (Rosana, 2026).

La proporción adecuada de cada ingrediente se determina mediante una metodología técnica que garantiza que el hormigón alcance la resistencia a la compresión requerida para su uso previsto. En este sentido, el Instituto Americano del Hormigón (2022) ha establecido una serie de procedimientos y directrices que sirven de referencia y que se describen en los siguientes apartados

3.4.1 Asentamiento

El asentamiento es un parámetro fundamental para evaluar la trabajabilidad del hormigón, ya que permite verificar su fluidez y adaptación a las diferentes formas y espacios donde se colocará. Una trabajabilidad adecuada evita problemas como la segregación de materiales o la formación de vacíos, que pueden ocurrir cuando la mezcla es demasiado rígida y no puede fluir uniformemente.

Esta propiedad se determina mediante la prueba del cono de Abrams, que proporciona información sobre la fluidez de la mezcla y su comportamiento durante la colocación. En algunas

aplicaciones, se requieren valores elevados de asentamiento, lo que resulta en un hormigón más fluido, facilitando su transporte y colocación mediante sistemas de bombeo con tuberías a diferentes alturas (Instituto Americano del Hormigón, ACI, 2022).

Tabla 5

Asentamiento de la muestra de hormigón

Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes tamaños máximos nominales del agregado									
Trabajabilidad	Tamaño máximo del árido (mm)								
Cm	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150	
Concreto sin aire incluido									
2,5 – 5	207	199	190	179	166	154	130	113	
7,5 – 10	228	216	205	193	181	169	145	124	
15 – 17,5	243	228	216	202	190	178	160	-	
Cant. de aire en un concreto sin aire	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2	
Concreto con aire incluido									
2,5 – 5	181	175	168	160	145	140	135	107	
7,5 – 10	202	193	184	175	160	155	150	119	
15 – 17,5	216	205	197	184	174	166	154	-	
Cant. de aire total promedio recomendado (%)									
Exposición leve	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5*	1,0*	
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5*	3,0*	
Exposición severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5*	4,0*	

Nota: En la tabla 5, se observa el asentamiento que debe de tener la muestra del hormigón dependiendo sus características. Fuente: ACI (2022).

3.4.2 Determinación del tamaño máximo nominal

El tamaño nominal máximo (TMN) de los áridos debe determinarse con base en el análisis de las condiciones de construcción, ya que cuando el espacio disponible es limitado, el hormigón puede experimentar problemas de segregación debido a la dificultad para el movimiento adecuado

de las partículas del árido. Esta situación resulta en un hormigón de baja calidad, especialmente en zonas con alta concentración de refuerzo o cobertura reducida.

Según las recomendaciones del ACI, el TMN de los áridos no debe exceder un quinto ($1/5$) del espesor mínimo del elemento de hormigón a construir, para evitar la segregación y reducir la posibilidad de falla. De igual manera, el TMN no debe ser mayor que tres cuartos ($3/4$) de la separación libre entre las varillas de refuerzo. Además, en el caso de elementos tipo losa, el TMN no debe exceder un tercio ($1/3$) del espesor total del elemento (Instituto Americano del Hormigón, ACI, 2022).

3.4.3 Determinación del contenido de aire

El contenido de aire se refiere al volumen de vacíos presentes en la mezcla de hormigón. Esta característica es importante porque ayuda a mejorar la resistencia del concreto a los ciclos de congelación y descongelación causados por las fluctuaciones de temperatura. El aire incorporado se expresa como porcentaje en volumen. Según las recomendaciones del ACI, el contenido de aire en el concreto debe permanecer entre el 1,5 % y el 6,5 %, y los aditivos inclusores de aire se utilizan en entornos con condiciones de congelación severa.

Para establecer el porcentaje se procede a seleccionar en la siguiente tabla se proporciona el ACI en base al TMN del árido grueso.

Tabla 6*Contenido de aire para la muestra de hormigón*

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulgadas	mm		Suave	Mediano	Severo
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Nota: En la tabla 6, se muestra la cantidad promedio en porcentaje aproximado del aire atrapado, para distintos casos que se encuentre expuesta la muestra de hormigón. Fuente: ACI (2022).

3.4.4 Determinación de la cantidad de agua

El agua nos ayuda a activar una reacción química en el cemento y a darle una trabajabilidad. Este componente está relacionado directamente con la resistencia del hormigón, es decir, los hormigones de alta resistencia tienen poca trabajabilidad, por eso se utilizan aditivos y una cantidad muy baja de agua lo que llega a permitir tener una resistencia adecuada.

Para determinar la cantidad de agua en una mezcla de concreto, ACI desarrolla una tabla que considera la trabajabilidad requerida, expresada en términos de asentamiento, la presencia o ausencia de aire atrapado y el tamaño máximo de los agregados. Con base en estos parámetros, se determina la dosis específica de agua para la mezcla.

3.4.5 Determinación de la relación a/c

La relación agua-cemento (a/c) representa la relación entre la cantidad de cemento y el volumen de agua, determinada en la sección anterior, y se utiliza para calcular la cantidad de

cemento a la que se hace referencia en esta sección. Esta relación es crucial para la resistencia del hormigón, ya que un valor alto de a/c reduce la resistencia, mientras que un valor bajo la aumenta. Esto se debe a que, en el primer caso, la proporción de agua es mayor que la de cemento, y en el segundo, ocurre lo contrario.

Para definir este parámetro, primero es necesario definir la resistencia a la compresión. Lo que indica la siguiente tabla, aplica un incremento porcentual cuando el laboratorio no dispone del valor de la desviación estándar para la producción de hormigón. Posteriormente, se adopta un valor de resistencia en la tabla, teniendo en cuenta los datos mencionados y añadiendo el ajuste correspondiente en función de la resistencia requerida.

Tabla 7

Relación a/c de la muestra de hormigón

Resistencia a la compresión a los 28 días		Concreto sin inductor de aire	Concreto con inductor de aire
kg/cm ²)	PSI	(relación absoluta por peso)	(relación absoluta por peso)
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,50
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,40	0,35

Nota: En la tabla 7, se observa la relación que va a tener nuestro hormigón dependiendo: resistencia y el inductor del aire. Fuente: ACI (2022).

3.4.6 Determinación del volumen de los agregados fino y grueso

Los áridos gruesos se obtienen, en la mayoría de los casos, mediante procesos de trituración mecánica que permiten ajustar su tamaño a una granulometría específica adecuada para su uso en

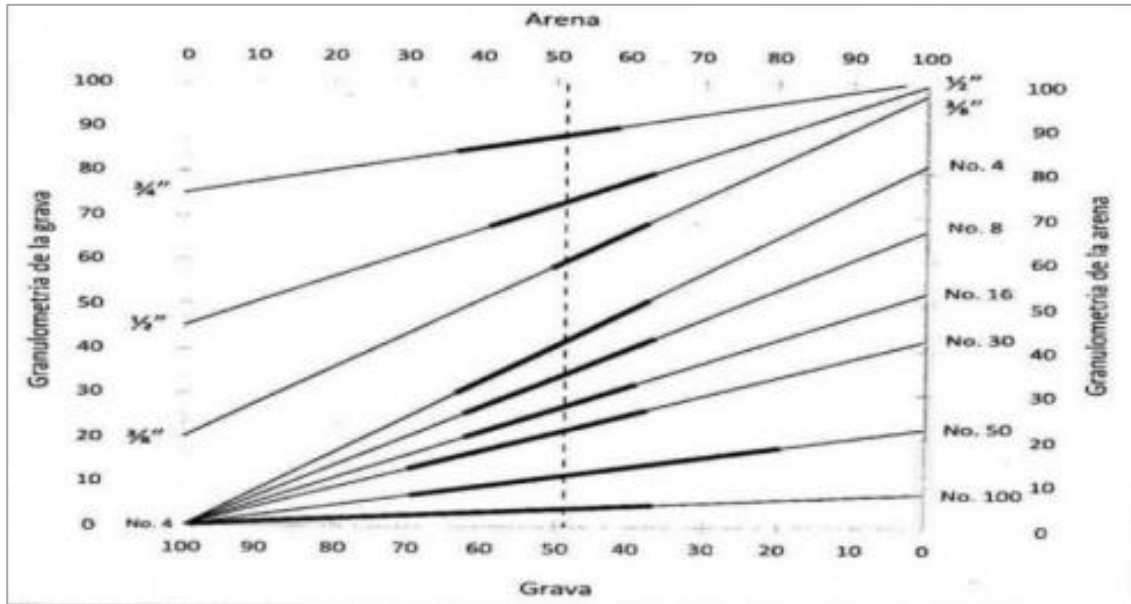
hormigón. El agregado fino (arena) generalmente es de origen natural y proviene de ríos o canteras. En el caso de la ciudad de Cuenca, la mayor parte de los áridos finos proviene del río Jubones, en el cantón de Santa Isabel, y del río Paute.

Para calcular la proporción adecuada entre los áridos finos y gruesos que conforman la mezcla de hormigón, se empleó el método gráfico, el cual forma parte del procedimiento de diseño de mezclas recomendado por el ACI 211.1. Este método consiste en el uso de gráficas normalizadas que permiten estimar el contenido volumétrico del agregado fino en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso, el módulo de finura de la arena y el asentamiento requerido del hormigón.

El procedimiento inicia con la determinación experimental de estos parámetros mediante ensayos de laboratorio. Posteriormente, los valores obtenidos se ubican en la gráfica correspondiente, a partir de la cual se obtiene directamente el volumen relativo de áridos finos. Una vez definido este valor, el contenido volumétrico de áridos gruesos se determina por diferencia, considerando que la suma de los volúmenes de ambos agregados es igual a la unidad. Este enfoque permite establecer una proporción equilibrada entre los materiales, asegurando una adecuada trabajabilidad y cohesión de la mezcla de hormigón.

Figura 3

Optimización de las granulometrías



Nota: Procedimiento gráfico para la obtención de volúmenes de los agregados. Fuente: Niño (2010).

3.4.7 Determinación del contenido de cemento

Este componente es el principal ingrediente de la mezcla, ya que confiere al hormigón las propiedades mecánicas necesarias para soportar las diversas cargas y presiones a las que se ve sometido. Al combinarse con áridos y agua, forma una masa homogénea que puede moldearse en diversas formas y, en condiciones normales de curado, alcanza su resistencia máxima en aproximadamente 28 días.

El cemento es un material que ha experimentado una evolución constante a lo largo del tiempo, lo que ha dado lugar al desarrollo de diversos tipos para satisfacer las diversas necesidades de la construcción. La norma NTE INEN 2380 define la clasificación de estos tipos de cemento, que se presenta en la tabla correspondiente.

Tabla 8*Clasificación de los tipos de cemento*

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat	INEN 158						
Inicial, no menos de min.		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de min.		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, % en volumen	INEN 195	c	c	c	c	c	c
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo	INEN 488						
1 día		-	12	-	-	-	-
3 días		13	24	11	11	5	-
7 días		20	-	18	18	11	11
28 días		28	-	-	25	-	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		-	-	-	-	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		-	-	-	-	-	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos)	INEN 2503						
6 meses, % máximo		-	-	0,10	0,05	-	-
1 año, % máximo		-	-	-	0,10	-	-

Nota: En la tabla 8, se presenta varios tipos de cemento y sus componentes principales. Fuente: ACI (2022).

Mediante el método ACI se calcula con la cantidad de agua determinada anteriormente y se utiliza la siguiente fórmula:

$$C = \frac{a}{a/c} \quad (9)$$

Donde:

A = agua, kg/m^3

c = cantidad de cemento, kg/m^3

a/c = relación agua / cemento

3.4.8 *Humedad y absorción*

El contenido de humedad y la absorción permiten determinar la cantidad de agua presente en los áridos. Como se mencionó anteriormente, la relación agua-cemento (a/c) está directamente relacionada con el contenido de agua y, en consecuencia, con la resistencia del hormigón. Por lo tanto, una variación en la cantidad de agua ya sea excesiva o insuficiente, puede alterar esta relación y provocar una disminución de la resistencia del material. Para evitar estas variaciones, es necesario ajustar la cantidad de agua en la mezcla, corrigiéndola según sea necesario, lo cual se realiza mediante la fórmula adecuada:

$$A = M(H \pm Abs) \quad (10)$$

Donde:

A= agua en exceso SSS

M = peso del material seco en kg

H = humedad del agregado

Abs = absorción del agregado

3.4.9 *Elaboración de cilindros y ensayo a compresión*

De acuerdo con, La Asociación Nacional de Hormigón Premezclado, NRMCA (2025), la resistencia a la compresión se evalúa para garantizar que el hormigón utilizado en un proyecto

cumpla con los criterios de control de calidad establecidos. La norma NTE INEN 1576 especifica que las muestras de hormigón deben prepararse en moldes cilíndricos de 10×20 cm o 15×30 cm, y recomienda preparar entre dos y seis cilindros. El procedimiento para preparar estas muestras se detalla a continuación:

1. Coloque los moldes cilíndricos sobre una superficie firme, plana y nivelada.
2. Determine el número de capas que se colocarán dentro del molde. Para la compactación manual con varilla de apisonamiento, utilice dos o tres capas de igual espesor, mientras que, para la compactación con vibrador, utilice dos capas uniformes.
3. Vierta el hormigón en el molde cilíndrico, teniendo en cuenta el número de capas creadas. Cada capa debe compactarse aplicando 25 golpes con la varilla de apisonamiento, distribuidos uniformemente. Si utiliza un vibrador, introdúzcalo en cada capa hasta lograr una superficie homogénea sin burbujas de aire.
4. Una vez completada la compactación, golpee los lados del molde de diez a quince veces con un mazo de goma para eliminar cualquier hueco creado durante el proceso.
5. Finalmente, alise la superficie del hormigón con una llana, dejándola a ras del borde del molde, y cubra las probetas cilíndricas con una bolsa de plástico para protegerlas.

3.5 Polvo de cantera

3.5.1 Densidad del polvo de cantera

La densidad del polvo de cantera es una propiedad física fundamental que afecta directamente el diseño de mezclas de hormigón, ya que permite determinar con precisión las proporciones volumétricas de los materiales y asegurar una compactación adecuada. Este material generalmente tiene una densidad aparente menor que los áridos gruesos debido a la distribución granulométrica de las partículas finas y a la presencia de huecos entre ellas. La densidad se

determina mediante ensayos de laboratorio estandarizados, que permiten evaluar su comportamiento tanto en condiciones secas como saturadas, facilitando el ajuste del diseño de la mezcla para mejorar la trabajabilidad, reducir los huecos y contribuir a una mezcla más homogénea.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (11)$$

Donde:

ρ = densidad, kg/m^3

m= masa de la muestra, kg

v= volumen, m^3

3.5.2 Determinación de la granulometría del polvo de cantera

La distribución granulométrica del polvo de cantera es fundamental para evaluar su idoneidad como árido fino en mezclas de hormigón, ya que afecta directamente a la trabajabilidad, la cohesión y la resistencia del hormigón. En este estudio, el análisis granulométrico del polvo de cantera se realizó siguiendo el mismo procedimiento establecido para los áridos finos, mediante el método de tamizado, para determinar la curva de distribución granulométrica y el módulo de finura. Este procedimiento permitió verificar la uniformidad del material y su compatibilidad con los rangos recomendados para áridos finos, facilitando su incorporación parcial o total a la mezcla y garantizando el correcto comportamiento del hormigón tanto en estado fresco como endurecido.

3.5.3 Sustitución parcial de la cantidad de árido fino por polvo de cantera

Para la incorporación del polvo de cantera se realizó mediante 3 porcentajes, en donde se retira cantidad de volumen del árido fino, para agregar un porcentaje de polvo de cantera, para esto se utilizaron los siguientes porcentajes 30%, 70% y un óptimo del 15%.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Árido grueso

4.1.1 Granulometría del árido grueso de la minera Áridos del Austro

Para realizar el ensayo de granulometría del árido grueso, se utiliza una serie de tamices indicado en la tabla 1 y con las cantidades mínimas, dándonos como resultado lo siguiente:

Tabla 9

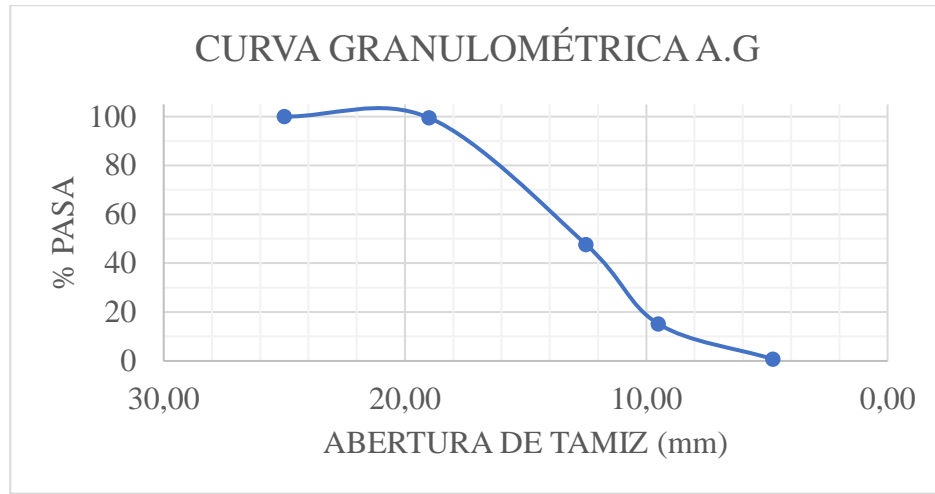
Granulometría del árido grueso Áridos del Austro

TAMIZ					
in	INEN [mm]	MASA RETENIDA	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
	37,50				
1	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,00	24,00	0,48	0,48	99,52
1/2	12,50	2572,00	51,82	52,31	47,69
3/8	9,50	1613,00	32,50	84,81	15,19
	4,75	717,00	14,45	99,25	0,75
FONDO		37,00	0,75	100,00	0,00
		4963,00	100,00		

Nota: La tabla 9, se muestran los resultados obtenidos del ensayo de la granulometría del árido grueso de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

Figura 4

Curva granulométrica Áridos del Austro



Nota: En la figura 4, se muestra la curva granulometría del árido grueso de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.1.2 Granulometría del árido grueso de la minera Rooka Azul

Tabla 10

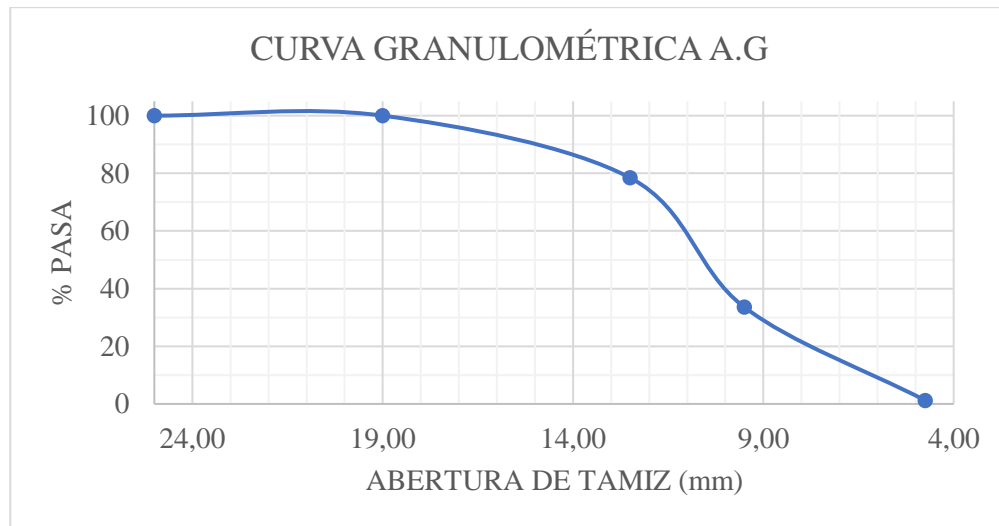
Granulometría del árido grueso de la minera Rooka Azul

TAMIZ					
in	INEN [mm]	MASA RETENIDA	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
	37,50				
1	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,50	1068,00	21,55	21,55	78,45
3/8	9,50	2224,00	44,87	66,42	33,58
	4,75	1602,00	32,32	98,75	1,25
FONDO		62,00	1,25	100,00	0,00
		4956,00	100,00		

Nota: La tabla 10, se muestran cantidad de material utilizado del ensayo de la granulometría del árido grueso de la minera Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

Figura 5

Curva granulométrica de la minera Rooka Azul



Nota: En la imagen 5, se muestra la curva granulométrica del árido grueso de la minera Rooka Azul.

Elaborado por: Autores (2026).

4.1.3 Densidades del árido grueso de la minera Áridos del Austro

Tabla 11

Densidades del árido grueso minera Áridos del Austro

	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD [SSS]	2534,43	kg/m ³
DENSIDAD [SH]	2474,93	kg/m ³
DENSIDAD APARENTE	2631,91	kg/m ³

Nota: En la tabla 11, se muestra los resultados de las densidades relativas del agregado grueso de la minería Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.1.4 Densidades del árido grueso de la minera Rooka Azul

Tabla 12

Densidades del árido grueso de la minera Rooka Azul

	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD [SSS]	2532,00	kg/m ³
DENSIDAD [SH]	2495,18	kg/m ³
DENSIDAD APARENTE	2590,81	kg/m ³

Nota: En la tabla 12, se muestra los resultados de las densidades relativas del agregado grueso de la minería Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.1.5 Absorción del árido grueso de la minera Áridos del Austro

Tabla 13

Porcentaje de absorción de la minera Áridos del Austro

Porcentaje de absorción	2,40 %
--------------------------------	---------------

Nota: En la tabla 13, se muestra los resultados de absorción del agregado grueso de la minería Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.1.6 Absorción del árido grueso de la minera Rooka Azul

Tabla 14

Porcentaje de absorción de la minera Rooka Azul

Porcentaje de absorción	1,48 %
--------------------------------	---------------

Nota: En la tabla 14, se muestra los resultados de absorción del agregado grueso de la minería Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.1.7 Humedades del árido grueso de la minera Áridos del Austro

Tabla 15

Humedades del árido grueso de la minera Áridos del Austro

DATO % HUMEDADES ARIDOS DEL AUSTRO	
Contenido de Polvo de Cantera	ÁRIDO GRUESO
0,00 %	0,94 %
15,00 %	0,90 %
30,00 %	0,86 %
70,00 %	1,45 %

Nota: En la tabla 15, se muestran los distintos porcentajes de humedad según cada fundición realizada de la minería Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.1.8 Humedades del árido grueso de la minera Rooka Azul

Tabla 16

Humedades del árido grueso de la minera Rooka Azul

DATO % HUMEDADES ROOKA AZUL	
Contenido de Polvo de Cantera	ÁRIDO GRUESO
0,00 %	0,78 %
15,00 %	0,75 %
30,00 %	0,72 %
70,00 %	0,60 %

Nota: En la tabla 16, se muestran los distintos porcentajes de humedad según cada fundición realizada de la minería Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.2 Árido fino

4.2.1 Granulometría del árido fino de la minera Áridos del Austro

Se obtuvieron los resultados del análisis granulométrico del árido fino proveniente de la minera Áridos del Austro, determinándose un módulo de finura (MF) de 3,02, valor que se encuentra dentro del rango de acuerdo con la NTE INEN 872. A continuación, se presentan los resultados detallados de la granulometría.

Tabla 17

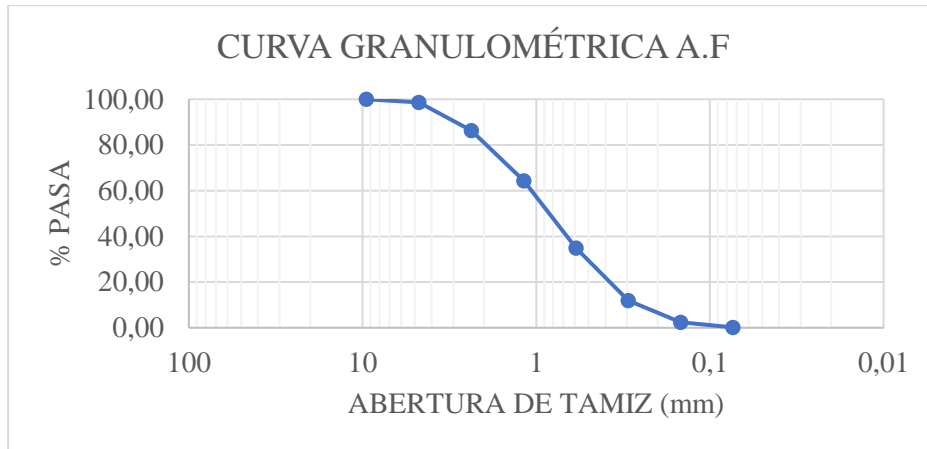
Granulometría del árido fino de la minera Áridos del Austro

TAMIZ		MASA	%	% RETENIDO	%
INEN		RETENIDA [gr]	RETENIDO	ACUMULADO	PASA
[mm]					
9,5	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	N° 4	7,10	1,42	1,42	98,58
2,36	N° 8	60,90	12,21	13,64	86,36
1,18	N° 16	110,10	22,08	35,71	64,29
0,59	N° 30	146,90	29,46	65,17	34,83
0,30	N° 50	114,20	22,90	88,07	11,93
0,15	N° 100	47,40	9,50	97,57	2,43
0,07	N° 200	11,20	2,25	99,82	0,18
FONDO		0,90	0,18	100,00	0,00
		498,70	100,00		

Nota: En la tabla 17, se muestran la tabla granulometría del árido fino de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

Figura 6

Curva granulométrica árido fino de la minera Áridos del Austro



Nota: la siguiente imagen 6, se muestra la curva granulométría del árido fino de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.2.2 Granulometría del árido fino de la minera Rooka Azul

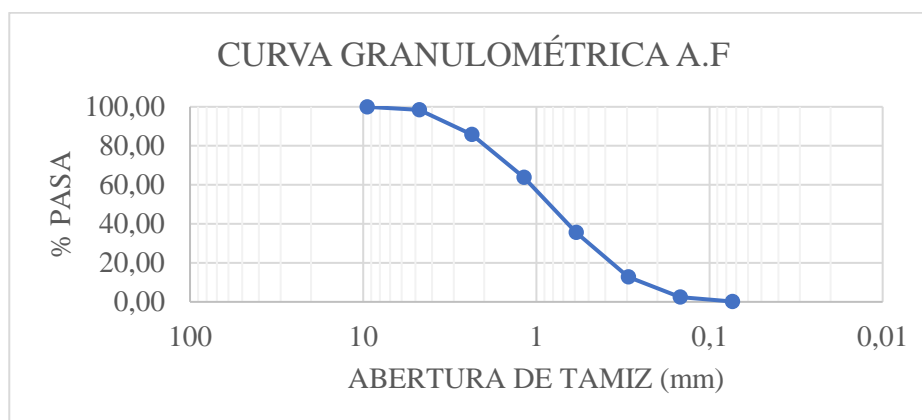
Se obtuvo el resultado del análisis granulométrico de árido fino procedente de la empresa minera Rooka Azul, calculándose un módulo de finura (MF) de 3,01. Este valor está dentro del rango estipulado por la NTE INEN 872. Los resultados específicos del análisis granulométrico se muestran a continuación.

Tabla 18*Granulometría del árido fino de la minera Rooka Azul*

TAMIZ	MASA RETENIDA [gr]	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
INEN [mm]				
9,5 3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75 N° 4	7,90	1,57	1,57	98,43
2,36 N° 8	63,20	12,59	14,17	85,83
1,18 N° 16	110,70	22,06	36,22	63,78
0,59 N° 30	141,20	28,13	64,36	35,64
0,30 N° 50	114,89	22,89	87,25	12,75
0,15 N° 100	51,90	10,34	97,59	2,41
0,07 N° 200	11,20	2,23	99,82	0,18
FONDO	0,90	0,18	100,00	0,00
	501,89	100,00		

Nota: En la tabla 18, se muestran la tabla granulometría del árido fino de la minería Rooka Azul.

Elaborado por: Autores (2026).

Figura 7*Curva granulométrica del árido fino de la minera Rooka Azul*

Nota: La siguiente figura 7, se muestra la curva granulometría del árido fino de la minera Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.2.3 Densidades del árido fino de la minera Áridos del Austro

Tabla 19

Densidades del árido fino de la minera Áridos del Austro

	VALOR	UNIDAD
Densidad [SSS]	2541,26	kg/cm ³
Densidad [SH]	2460,97	kg/cm ³
Densidad Aparente	2676,39	kg/cm ³

Nota: En la tabla 19, se muestran los resultados de las densidades del árido fino de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.2.4 Densidades del árido fino de la minera Rooka Azul

Tabla 20

Densidades del árido fino de la minera Rooka Azul

	VALOR	UNIDAD
Densidad [SSS]	2535,65	kg/cm ³
Densidad [SH]	2455,60	kg/cm ³
Densidad Aparente	2669,87	kg/cm ³

Nota: En la tabla 20, se muestran los resultados de las densidades relativas del árido fino de la minería Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.2.5 Absorción del árido fino de la minera Áridos del Austro

Tabla 21

Porcentaje de absorción del árido fino de la minera Áridos del Austro

Porcentaje de Absorción	3,26 %
--------------------------------	---------------

Nota: En la tabla 21, se muestran los resultados de los porcentajes de absorción del árido fino de la minería Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.2.6 Absorción del árido fino de la minera Rooka Azul

Tabla 22

Porcentaje de absorción del árido fino de la minera Rooka Azul

Porcentaje de Absorción	3,26 %
--------------------------------	---------------

Nota: En la tabla 22, se muestran los resultados de los porcentajes de absorción del árido fino de la minería Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.2.7 Humedad del árido fino de la minera Áridos del Austro

Tabla 23

Porcentaje de humedad de la minera Áridos del Austro

DATO % HUMEDADES ARIDOS DEL AUSTRO	
Contenido de Polvo de Cantera	ÁRIDO FINO
0,00 %	5,11 %
15,00 %	4,60 %
30,00 %	4,17 %
70,00 %	3,89 %

Nota: Se muestran los distintos porcentajes de humedad según cada fundición realizada de la minería Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.2.8 Humedad del árido fino de la minera Rooka Azul

Tabla 24

Porcentaje de humedad de la minera Rooka Azul

DATO % HUMEDADES ROOKA AZUL	
Contenido de Polvo de Cantera	ÁRIDO GRUESO
0,00 %	0,78 %
15,00 %	0,75 %
30,00 %	0,72 %
70,00 %	0,60 %

Nota: En la tabla 24, se muestran los distintos porcentajes de humedad según cada fundición realizada de la minería Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.3 Polvo de cantera

4.3.1 Granulometría del polvo de cantera de Áridos del Austro y Rooka Azul

En las siguientes tablas se muestra los resultados del ensayo granulométrico del polvo de cantera, de las dos minerías:

Tabla 25

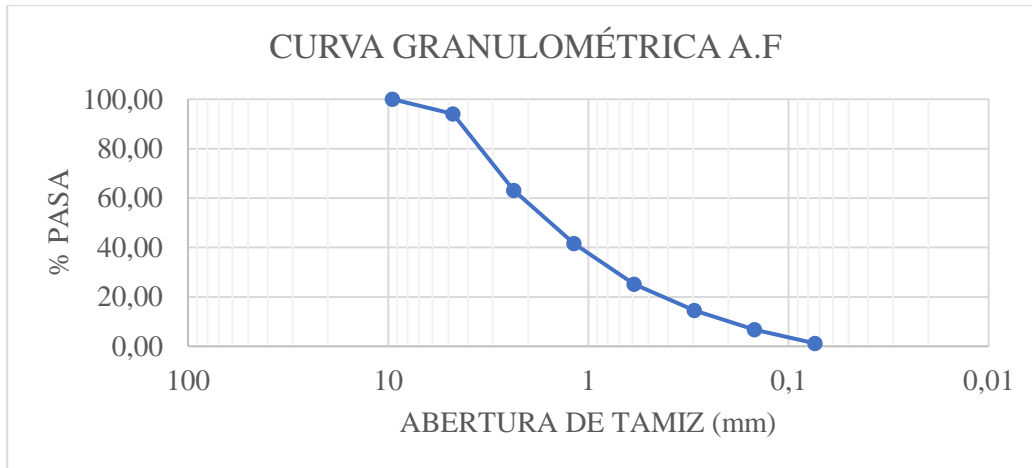
Granulometría del polvo de cantera Áridos del Austro

TAMIZ		MASA RETENIDA [gr]	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
INEN					
[mm]					
9,5	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	Nº 4	30,00	5,96	5,96	94,04
2,36	Nº 8	155,30	30,87	36,84	63,16
1,18	Nº 16	108,50	21,57	58,41	41,59
0,59	Nº 30	82,90	16,48	74,89	25,11
0,30	Nº 50	53,30	10,60	85,49	14,51
0,15	Nº 100	38,90	7,73	93,22	6,78
0,07	Nº 200	28,10	5,59	98,81	1,19
FONDO		6,00	1,19	100,00	0,00
		503,00	100,00		

Nota: En la tabla 25, se muestra la granulometría del polvo de cantera de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

Figura 8

Curva granulométrico del polvo de cantera Áridos del Austro



Nota: En la imagen 8, se muestra la curva granulométría del polvo de cantera de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

Tabla 26

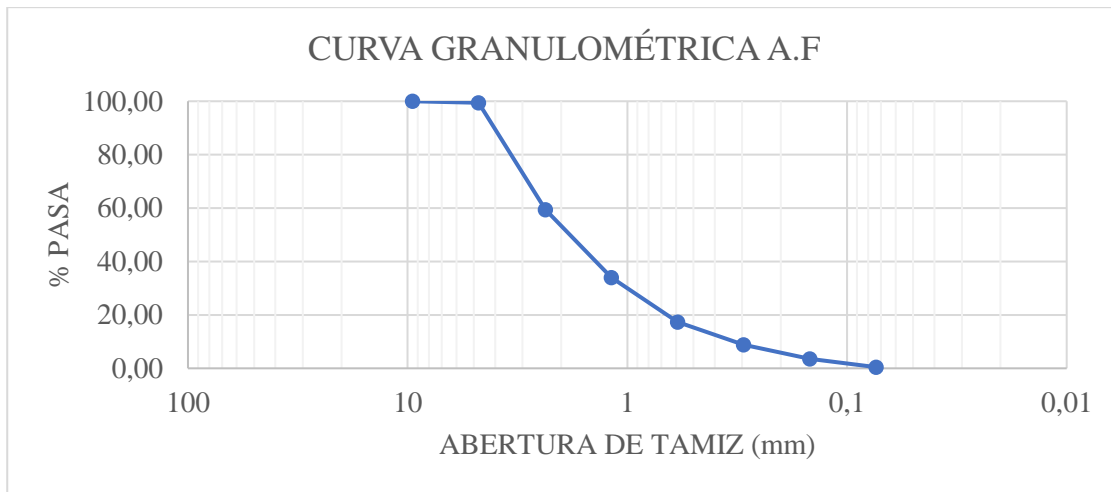
Granulometría del polvo de cantera Rooka Azul

TAMIZ	MASA RETENIDA [gr]	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
INEN [mm]				
9,5 3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75 N° 4	4,70	0,55	0,55	99,45
2,36 N° 8	341,20	40,11	40,66	59,34
1,18 N° 16	215,80	25,37	66,03	33,97
0,59 N° 30	141,90	16,68	82,71	17,29
0,30 N° 50	72,00	8,46	91,17	8,83
0,15 N° 100	45,10	5,30	96,47	3,53
0,07 N° 200	26,20	3,08	99,55	0,45
FONDO	3,80	0,45	100,00	0,00
	850,70	100,00		

Nota: En la tabla 26, se muestra la granulométría del polvo de cantera de la minera Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

Figura 9

Curva granulométrico del polvo de cantera Rooka Azul



Nota: En la imagen 9, se muestra la curva granulométría del polvo de cantera de la minera Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.3.2 Sustitución parcial del árido fino con polvo de cantera

La incorporación de polvo de cantera a las mezclas de concreto se logró mediante la sustitución parcial del árido fino (arena natural), manteniendo constante el volumen total de la fracción fina en el diseño de la mezcla. Para ello, se eliminó un porcentaje específico de arena y se sustituyó por una cantidad equivalente de polvo de cantera, según los porcentajes definidos para el estudio.

4.3.3 Análisis comparativo de la granulometría del polvo de cantera

El estudio de la granulometría de los agregados finos naturales que proceden de las minas Rooka Azul y Áridos del Austro muestra curvas continuas y bien graduadas, cumpliendo por completo con los límites impuestos por la NTE INEN 872. Los módulos de finura alcanzados

(MF = 3,01 y MF = 3,02, en ese orden) están dentro del rango normativo; esto valida que son aptos para ser empleados como agregado fino en el hormigón.

Por otro lado, los polvos de cantera de las dos minas tienen una distribución granulométrica más gruesa y discontinua, lo que se evidencia en altos valores del módulo de finura ($MF = 3,78$ para Rooka Azul y $MF = 3,55$ para Áridos del Austro). Esta circunstancia provoca que no se cumplan las normativas en varios tamices, lo cual impide que se pueda usar como sustituto absoluto de la arena natural.

El polvo de cantera de Rooka Azul tiene, en comparación, una desviación más grande con respecto a la envolvente granulométrica normativa que el de Áridos del Austro. Sin embargo, es posible considerar ambos materiales como técnicamente viables para reemplazos parciales controlados del agregado fino, siempre que se restrinja su porcentaje de inclusión con el fin de no deteriorar la trabajabilidad ni las propiedades mecánicas del concreto.

4.4 Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1

4.4.1 Asentamiento para las mineras Áridos del Austro y Rooka Azul

De acuerdo con el ensayo de cono de Abrams, definido en NTE INEN 1578, se registró un asentamiento de 6 cm para hormigón simple.

Figura 10

Asentamiento del hormigón simple Áridos del Austro



Nota: Se muestra el asentamiento de hormigón simple de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

Figura 11

Asentamiento del hormigón simple de Rooka Azul



Nota: Asentamiento de hormigón simple de la minera Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

4.4.2 Contenido de aire

De acuerdo con la tabla que se encuentra en la normativa, para el tamaño máximo nominal de 19mm corresponde un porcentaje de 2%.

El porcentaje de aire atrapado en el concreto simple se determinó utilizando un medidor de aire tipo B, según se define en la norma ASTM C231-09, obteniendo un valor de 1,8%.

4.4.3 Elección del tamaño máximo nominal TMN

La selección del tamaño nominal máximo (TMN) de los áridos gruesos se basó en la disponibilidad de materiales en el almacén, teniendo en cuenta que el objetivo de la investigación no incluye el uso de elementos ni losas reforzados con acero. Con base en el análisis de su distribución granulométrica, se determinó que el árido grueso tiene un TMN de 19 mm.

4.4.4 Cantidad de agua

Con base en la Tabla 6, se determinó que, para un asentamiento aproximado de 6 cm, el agua de amasado requerida es cercana a 195 kg/m³, lo que equivale aproximadamente a 0,195 m³ de agua por metro cúbico de hormigón. Este valor se obtiene por interpolación entre los rangos de

trabajabilidad establecidos en la tabla para un tamaño máximo nominal de árido de 19 mm. Sin embargo, esta cantidad puede ajustarse posteriormente, ya que los áridos pueden aportar o requerir agua adicional según su contenido de humedad y absorción, lo que influye directamente en el contenido de agua final de la mezcla.

4.4.5 Relación a/c

Se trabajó con una relación agua/cemento (a/c) = 0.63, definida como parámetro de dosificación para obtener una resistencia especificada de 240 kg/cm^2 ($\approx 24 \text{ MPa}$) a la edad de referencia de 28 días. Para evaluar el desempeño inicial del hormigón elaborado con agregados provenientes de las minas Rooka Azul y Áridos del Austro, se ensayaron cilindros a 14 días, comparando los resultados con el rango de aceptación establecido para dicha edad: límite inferior = 18MPa, límite superior = 25.2MPa y promedio esperado = 21.6MPa.

En la mina Rooka Azul se obtuvieron resistencias de 19.34MPa y 18.64MPa, valores que cumplen el límite inferior (18MPa) y se ubican dentro del intervalo definido, aunque cercanos al extremo inferior. Para Áridos del Austro, las resistencias registradas fueron 20.13MPa y 19.20MPa, igualmente dentro del rango 18–25.2MPa, con un comportamiento más próximo al valor promedio esperado. En conjunto, los cuatro resultados (18.64–20.13MPa) evidencian que, con $a/c = 0.63$, el hormigón presenta un desarrollo resistente compatible con los criterios a 14 días, sin exceder el límite superior y manteniéndose sobre el mínimo requerido. Por lo tanto, el parámetro a/c adoptado se considera técnicamente aceptable respecto al control de calidad a 14 días, quedando la resistencia especificada a 28 días como el valor de referencia del diseño.

4.4.6 Contenido de cemento

La dosificación de cemento para la mezcla se determinó mediante la fórmula de la sección 3.3.9, que depende de la relación agua-cemento (a/c) y del contenido de agua previamente

determinado. Con base en la gravedad específica del cemento de uso general ATENAS Tipo GU, se calculó el contenido de cemento por metro cúbico de hormigón. Los resultados obtenidos para la relación a/c seleccionada se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 27
Cantidad de cemento con a/c Áridos del Austro

CEMENTO		
Cantidad de Cemento	313	Kg
Relación a/c	0,63	
Volumen C	0,11	m ³

Nota: En la tabla 27, se muestra la cantidad de cemento con a/c de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

Tabla 28
Cantidad de cemento con a/c Rooka Azul

CEMENTO		
Cantidad de Cemento	313	Kg
Relación a/c	0,63	
Volumen C	0,11	m ³

Nota: Se muestra la cantidad de cemento con a/c de la minera Rooka Azul. Fuente: Autores (2026).

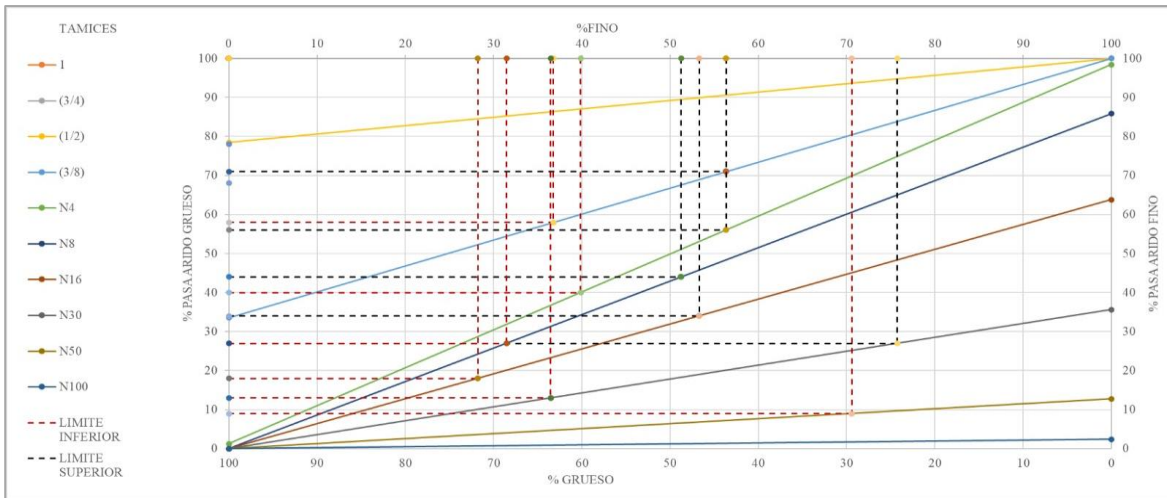
4.4.7 Contenido de agregado grueso y agregado fino

El contenido de áridos finos se calculó mediante el proceso explicado en el literal 3.4.6.

Para los materiales de la mina Rooka Azul, el procedimiento descrito arrojó un volumen de áridos finos de 0,47, a partir del cual se determinó el contenido del árido grueso por diferencia.

$$V_g = 1 - V_f = 1 - 0,47 = 0,53 \quad (12)$$

Figura 12
Método gráfico Rooka Azul



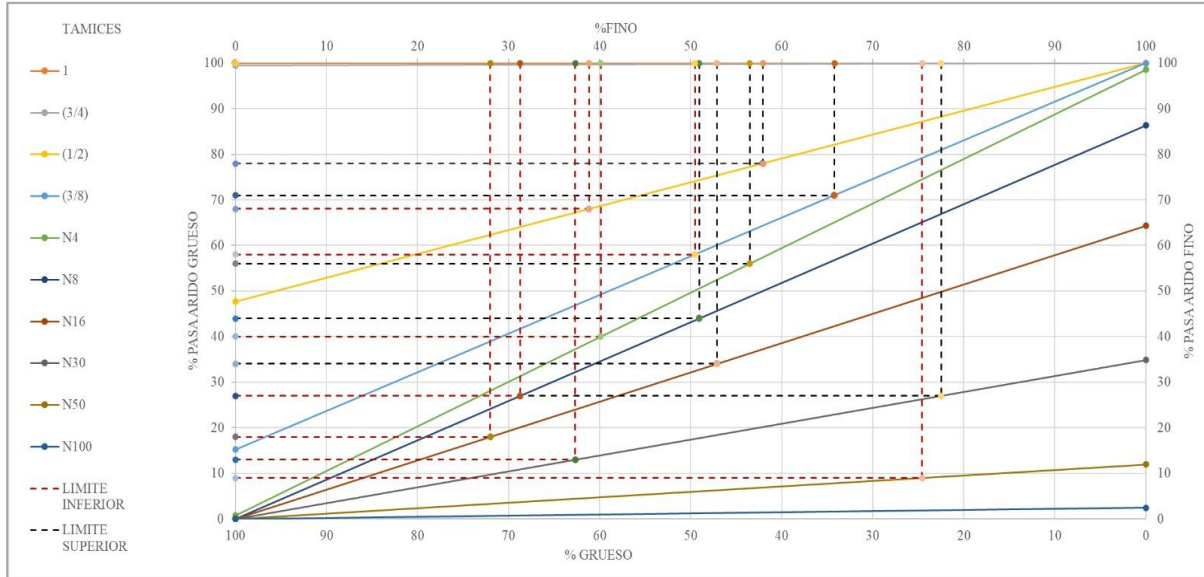
Nota: Se muestra la tabla del método gráfico para determinar el volumen de los agregados fino y grueso de la minera Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

En el caso de los áridos de la mina Áridos del Austro, realizados por el método gráfico mencionado en el punto 3.4.6, arrojó un contenido volumétrico de áridos finos de 0,49, determinando el volumen del árido grueso de la siguiente manera:

$$V_g = 1 - 0,49 = 0,51 \quad (13)$$

Figura 13

Método gráfico Áridos del Austro



Nota: En la imagen 13, se muestra la tabla del método gráfico para determinar el volumen de los agregados fino y grueso de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

Por tanto, las proporciones volumétricas adoptadas para el diseño de las mezclas corresponden a 0,47 agregados finos y 0,53 agregados gruesos para la mina Rooka Azul, y 0,49 agregados finos y 0,51 agregados gruesos para la mina Áridos del Austro, valores que garantizan una adecuada combinación granulométrica y cumplen con los criterios del método mal gradado.

4.4.8 Ajuste por humedad y absorción

El ajuste de humedad y absorción se realiza para corregir la cantidad efectiva de agua de amasado, considerando la humedad presente en los áridos, ya que esta afecta directamente el agua disponible para la hidratación del cemento. Cuando los áridos tienen un contenido de humedad que excede su capacidad de absorción, se produce un exceso de agua libre, que debe eliminarse del agua de diseño. De lo contrario, debe aumentarse el agua de amasado. En este estudio,

prevalece el exceso de humedad, por lo que la mezcla se ajusta reduciendo el contenido de agua para mantener una relación agua/cemento constante y asegurar un diseño adecuado de la mezcla de hormigón.

4.4.9 Dosificaciones para elaboración de los cilindros de hormigón

Para la elaboración de los especímenes cilíndricos se definieron distintas dosificaciones de hormigón, considerando la sustitución parcial del agregado fino por polvo de cantera. Los porcentajes de sustitución empleados fueron 0 %, 15 %, 30 % y 70 %, aplicados tanto a los áridos provenientes de las mineras Rooka Azul y Áridos del Austro.

La dosificación correspondiente al 0 % de polvo de cantera se utilizó como mezcla patrón, mientras que los demás porcentajes representaron el reemplazo progresivo de la arena natural por polvo de cantera en la fracción fina del hormigón. Cada una de estas dosificaciones fue empleada para la elaboración de cilindros de hormigón, los cuales fueron posteriormente curados y ensayados a compresión a una edad de 14 días, con el fin de obtener resultados comparables entre ambas fuentes de áridos.

A continuación, se muestran las tablas de la resistencia obtenida con los diferentes porcentajes de sustitución de polvo de cantera:

Tabla 29*Resistencia obtenida con diferentes porcentajes de polvo de cantera Rooka Azul*

ROOKA AZUL			
Contenido de Polvo de Cantera	Días	Cilindros	Resistencia [Mpa]
0%	14	1	21,34
	14	2	22,64
15%	14	3	18,30
	14	4	20,89
30%	14	5	18,03
	14	6	17,29
70%	14	7	16,62
	14	8	14,60

Nota: En la tabla 29, se muestra las resistencias obtenidas con los diferentes porcentajes de polvo de cantera de la minería Rooka Azul. Elaborada por: Autores (2026).

Tabla 30*Resistencia con diferentes porcentajes de polvo de cantera Áridos del Austro*

ÁRIDOS DEL AUSTRO			
Contenido de Polvo de Cantera	Días	Cilindros	Resistencia [Mpa]
0%	14	1	22,13
	14	2	21,20
15%	14	3	20,25
	14	4	19,19
30%	14	5	17,39
	14	6	18,29
70%	14	7	14,99
	14	8	16,79

Nota: En la tabla 30, se muestra las resistencias obtenidas con los diferentes porcentajes de polvo de cantera de la minería Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

4.4.10 Análisis de la resistencia a compresión de 14 días según procedencia del árido

Para el análisis de la resistencia a compresión del hormigón, se utilizaron los valores promedio obtenidos a partir de los ensayos realizados a los días mencionados anteriormente considerando de manera independiente los áridos provenientes de las minas Rooka Azul y Áridos del Austro. Estos valores promedio fueron empleados para la elaboración de las gráficas y el análisis comparativo entre ambas fuentes de material.

Tabla 31

Promedio de la resistencia de los cilindros Rooka Azul

ROOKA AZUL		
Contenido de Polvo de Cantera	Días	Resistencia [Mpa]
0%	14	21,99
15%	14	19,60
30%	14	17,66
70%	14	15,61

Nota: En la tabla 31, se muestra el promedio de la resistencia de los hormigones simples y con polvo de cantera de la minera Rooka Azul. Elaborado por: Autores (2026).

Tabla 32

Promedio de la resistencia de los cilindros Áridos del Austro

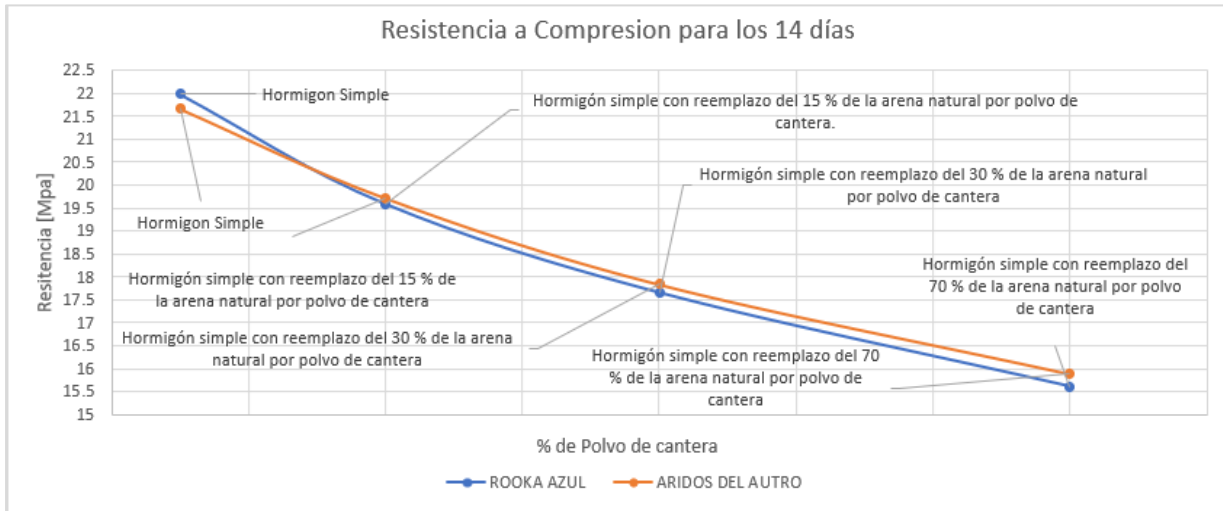
ÁRIDOS DEL AUSTRO		
Contenido de Polvo de Cantera	Días	Resistencia [Mpa]
0%	14	21,67
15%	14	19,72
30%	14	17,84
70%	14	15,89

Nota: En la tabla 32, se indica el promedio de la resistencia de los hormigones simples y con polvo de cantera de la minera Áridos del Austro. Elaborado por: Autores (2026).

A continuación, se muestra una gráfica comparativa de las resistencias promedios y resistencias normales del hormigón simple y hormigón con polvo de cantera:

Figura 14

Resistencia del hormigón simple y con polvo de cantera a los 14 días



Nota: En la imagen 14, se muestra la comparación de promedios de la resistencia del hormigón simple y hormigón con polvo de cantera a los 14 días. Elaborado por: Autores (2026).

Según el rango de referencia establecido para 14 días, con un límite inferior de 18,0 MPa y un límite superior de 25,2 MPa, las mezclas con 0% de polvo de cantera mostraron resistencias a la compresión promedio de 21,99 MPa para Rooka Azul y 21,665 MPa para Áridos del Austro. En ambos casos, los valores se encuentran dentro del rango esperado, lo cual concuerda con el hecho de que se trata de mezclas de control preparadas sin reemplazo de áridos finos.

Para la mezcla con 15% de polvo de cantera, las resistencias a la compresión promedio obtenidas fueron de 19,595 MPa para Rooka Azul y 19,72 MPa para Áridos del Austro. Estos valores se mantienen dentro del rango regulatorio durante 14 días, aunque por debajo del límite promedio, lo que indica que una sustitución parcial moderada de áridos finos no genera una

variación significativa en la resistencia a la compresión en comparación con la mezcla de control. De igual manera, se observa un comportamiento muy similar entre las dos minas para esta tasa de sustitución.

Con un reemplazo del 30%, la resistencia media a la compresión disminuyó a 17,66 MPa para Rooka Azul y 17,84 MPa para Áridos del Austro, ambos valores por debajo del límite inferior de 18,0 MPa. Esta disminución refleja un efecto más pronunciado del mayor contenido de polvo de cantera en el comportamiento mecánico del hormigón, con una tendencia similar observada entre las dos fuentes de áridos.

Finalmente, la resistencia media a la compresión más baja se registró para la mezcla de polvo de cantera con un contenido del 70%, con valores de 15,61 MPa para Rooka Azul y 15,89 MPa para Áridos del Austro. Estos resultados confirman una disminución progresiva de la resistencia a la compresión a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de áridos finos, un patrón observado de forma consistente en ambas canteras.

Desde un punto de vista técnico, la disminución de la resistencia observada con mayores porcentajes de polvo de cantera puede atribuirse al aumento de la fracción de finos en la mezcla, lo que afecta la compactación del hormigón y la relación agua-cemento efectiva. Esta tendencia es más evidente en los diseños de mezcla 30% y 70%, donde los valores obtenidos se mantienen por debajo del rango de referencia para la edad de prueba considerada.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión realizados a la edad de 14 días, se concluye que la sustitución parcial del agregado fino por polvo de cantera es técnicamente viable hasta ciertos porcentajes, dependiendo del nivel de exigencia mecánica requerido para el hormigón.

Las mezclas elaboradas con 0 % de polvo de cantera, consideradas como mezclas de control, presentaron valores de resistencia dentro del rango normativo establecido, lo cual confirma que las probetas fueron elaboradas conforme a los lineamientos establecidos por las normas ACI.

La incorporación de 15 % de polvo de cantera en sustitución del agregado fino no produjo una disminución significativa de la resistencia a compresión, manteniéndose los valores obtenidos dentro de los límites establecidos para la edad de ensayo. Este comportamiento se repite de manera consistente tanto para los áridos provenientes de la mina Rooka Azul como de Áridos del Austro, lo que indica que una sustitución moderada del agregado fino puede ser aplicada sin afectar el desempeño mecánico del hormigón.

En contraste, al incrementar el contenido de polvo de cantera a 30 % y 70 %, se evidenció una reducción progresiva de la resistencia a compresión, alcanzando valores por debajo del límite inferior correspondiente a 14 días. Este comportamiento demuestra que un exceso de material fino afecta la estructura interna del hormigón, reduciendo su capacidad resistente debido a la mayor demanda de agua y a la alteración de la relación agua/cemento efectivo.

La comparación entre ambas minas muestra que, si bien existen ligeras variaciones en los valores de resistencia, la tendencia general es similar, lo que indica que el efecto del polvo de

cantera sobre la resistencia a compresión es predominante frente a las diferencias propias de la procedencia del árido.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la sustitución del agregado fino por polvo de cantera se realice de manera controlada y en proporciones reducidas, a fin de mantener la resistencia a la compresión del hormigón dentro de los límites normativos establecidos para edades tempranas.

Para contenidos elevados de polvo de cantera, se sugiere realizar ajustes en el diseño de mezcla, tales como la optimización de la relación agua/cemento o la incorporación de aditivos, con el objetivo de mitigar la pérdida de resistencia asociada al incremento de material fino.

Se recomienda ampliar el estudio considerando edades de ensayo adicionales, como 28 y 56 días, para evaluar el desarrollo de la resistencia a largo plazo del hormigón con sustitución parcial del agregado fino por polvo de cantera.

Asimismo, se sugiere analizar otras propiedades del hormigón, como la trabajabilidad, la absorción, la durabilidad y la permeabilidad, con el fin de obtener una evaluación integral del comportamiento del material.

Finalmente, se recomienda incrementar el número de muestras analizadas para permitir la obtención de parámetros estadísticos mejorando así la confiabilidad de los resultados experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Nacional de Hormigón Premezclado, NRMCA. (25 de Noviembre de 2025). *La Asociación Nacional de Hormigón Premezclado (NRMCA) se convierte en la última Organización Aliada de PRO.*
<https://www.concrete.org/newsandevents/news/newsdetail.aspx?f=51749351>
- Brunet. (11 de Febrero de 2025). *Materiales de Cantera para Construcción: Usos y Ventajas.*
<https://www.km5international.com/materiales-de-cantera-para-construccion-usos-y-ventajas/>
- Cabrera, O. (2013). *Caracterización de la durabilidad de hormigones con arenas de trituración (Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur).* Repositorio digital.
<http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3102>
- Chandramouli, K., Naga, J. S., & Tirupal, M. (2022). Una investigación experimental sobre hormigón reforzado con fibra de acero con polvo de cantera como reemplazo parcial del árido fino. *Revista Ijaset de investigación en ciencias aplicadas y tecnología de ingeniería*, 10(6), 1522-1524. <https://doi.org/https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.46445>
- Claire, E. (19 de Septiembre de 2023). *La extracción de arena 'totalmente insostenible' daña los entornos marinos, según sugieren nuevos datos.*
<https://news.mongabay.com/2023/09/totally-unsustainable-sand-mining-harms-marine-environments-new-data-suggest/>
- Curasma, A. (16 de Enero de 2026). *Selección de proporciones para densidad normal y hormigón de alta densidad- Guía.* <https://es.scribd.com/document/956719179/31-ACI-211-1-22-1>
- Google Earth. (10 de Enero de 2026). *Mapa de ubicación de la ciudad del proyecto.*
<https://goo.su/rPAfSt>

- Grupo Núñez. (17 de Junio de 2024). *Los diferentes tipos de áridos para hormigón y su importancia en la construcción*. <https://gruponunez.com/diferentes-tipos-aridos-hormigon-importancia>
- Hernández, E., & Gil, L. (2023). *Hormigón Armado y Pretensado: Concreto Reforzado y Preesforzado 2ª edición*. Garceta Grupo Editorial. Sevilla constructora.
- INEN. (2011). *Norma NTE INEN 696*. <https://es.scribd.com/presentation/868616779/Norma-Nte-Inen-696>
- INEN. (2011). *Norma NTE INEN 872*. <https://es.scribd.com/document/515214336/NTE-INEN-872-2011-Aridos-Hormigon-Requisitos>
- Instituto Americano del Hormigón, ACI. (15 de Julio de 2022). *Guía para la selección de proporciones para hormigón de densidad normal y alta densidad*. <https://es.scribd.com/document/956719179/31-ACI-211-1-22-1>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 696: 2011- Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso*. <https://es.slideshare.net/slideshow/granulometria-nte-inen-696/251239856>
- Loayza, J. (2024). *Tecnología de los Materiales de Construcción 1ª edición*. José Germán Loayza Rodríguez.
- Mahmoud, O., Abu-Mahadi, A., & Nasratullah, N. (2025). Resistencia y durabilidad del hormigón utilizando polvo de cantera como sustituto de la arena. *Construcción de Edificios y Estructuras Singulares*, 3(117), 1-11. https://sciup.org/strength-and-durability-of-concrete-using-quarry-dust-as-a-substitute-for-sand-143184931?utm_source=chatgpt.com

- Monje, P., Muñoz, S., Villena, L., Garcia, J., Diaz, E., & Quispe, J. (2024). Efecto de la Sustitución Total del Agregado de Cantera por Agregado de Río en la Resistencia del Concreto. *Revista Politécnica*, 54(1), 77-86. <https://doi.org/https://doi.org/10.33333/rp.vol54n1.08>
- Moreno, M. Á. (2020). *Estudio del impacto ambiental de una cantera de calizas en el Valle de Escombreras (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena)*. Repositorio digital. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/11bec1ff-d046-4ad6-9743-cb962f64de2b/content>
- Niño, J. (2010). *Colección del Concreto - Tecnología del Concreto 3.ª edición*. ASOCRETO.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC. (2014). *Estructura de Hormigón Armado*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
- NUBA. (26 de Agosto de 2025). *Sobre el Origen de los Áridos*. <https://www.nubasm.com/articulo-tecnico/sobre-el-origen-de-los-aridos/>
- ONU. (7 de Mayo de 2019). *La explotación insostenible de arena destruye ríos y mares*. <https://news.un.org/es/story/2019/05/1455611>
- Ortiz, E., García, J., Jarre, C., & Hidalgo, R. (2020). Estudio comparativo de resistencias de hormigón de 240kg/cm² usando los agregados finos, entre el río Portoviejo y el río Chone de la Provincia de Manabí. *Revista RIEMAT*, 5(1), 35-45. <https://doi.org/https://doi.org/10.33936/riemat.v5i1.2501>
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinar*, 10(2), 76-88. <https://doi.org/https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>

- Pérez, J., & Merino, M. (28 de Febrero de 2020). *Hormigón - Qué es, definición y concepto*.
<https://definicion.de/hormigon/>
- Rosana, E. (15 de Enero de 2026). *Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y masivo (ACI 211.1-91)*.
<https://es.scribd.com/document/495637980/ACI-211-1-91-en-es>
- Sotaquira, M. (17 de Septiembre de 2025). *Quimsacocha: la esponja natural que da agua a Cuenca y zonas aledañas*. Lupa Media: <https://lupa.com.ec/explicativos/quimsacocha-agua-riesgos-mineria/>
- Studocu. (15 de Enero de 2026). *Ficha Técnica del Cemento GU - Especificaciones y Usos*.
<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-politecnica-salesiana/hormigon-armado-de-elementos-a-flexo/ficha-tecnica-cemento-gu-out/72632052>
- Sundaralingam, K., Peiris, A., Anburuvel, A., & Sathiparan, N. (2022). Polvo de cantera como sustituto de arena de río en bloques de mampostería de cemento: Efecto sobre las características mecánicas y de durabilidad. *ScienceDirect*, 21, 1-9.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101324>

ANEXOS

Anexo 1 Ensayos de granulometría del árido fino



Anexo 2 Ensayos de granulometría del árido grueso



Anexo 3 *Ensayos de granulometría del polvo de cantera*



Anexos 4 *Densidad compactada del árido grueso*



Anexo 5 *Densidad compactada del árido fino*



Anexo 6 *Densidad compactada del polvo de cantera*



Anexo 7 Muestra del árido grueso saturado superficialmente seco



Anexo 8 Toma de temperatura del árido grueso en agua



Anexo 9 *Muestra del árido fino saturada superficialmente seca*



Anexo 10 *Ensayo de gravedad específica del árido fino*



Anexo 11 *Ensayo del asentamiento del hormigón*



Anexo 12 *Fundición de probetas del hormigón simple*



Anexo 13 *Fundiciones de probeta de hormigón con polvo de cantera el 15%*



Anexo 14 *Fundiciones de probeta de hormigón con polvo de cantera el 30%*



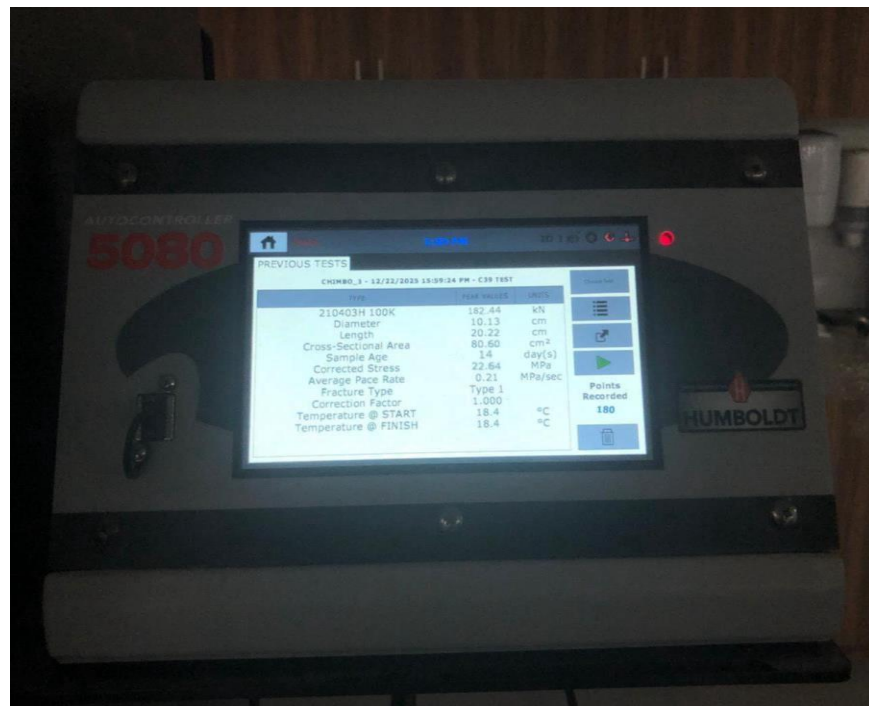
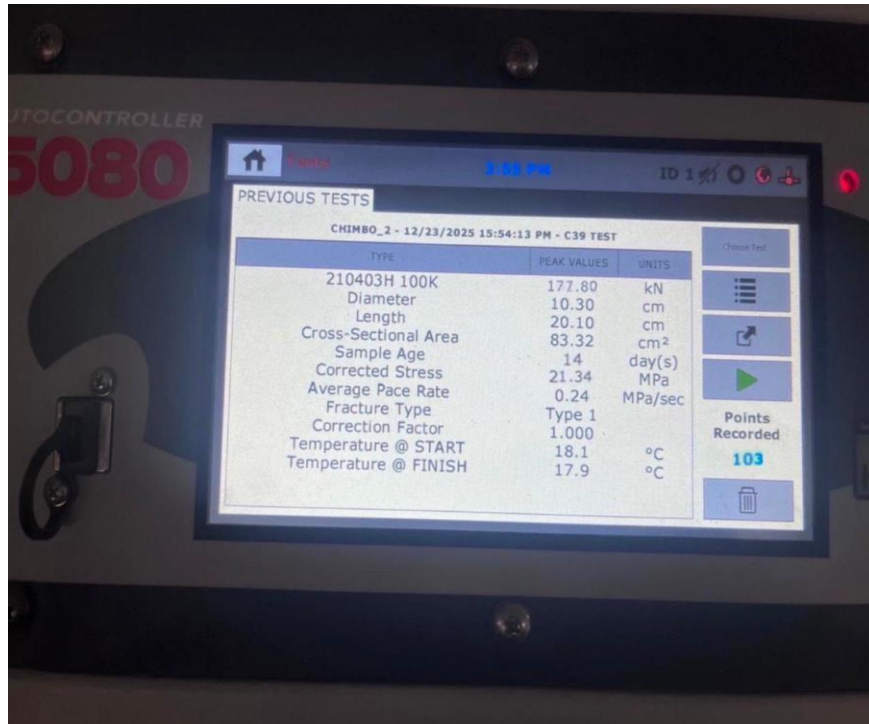
Anexo 15 *Fundiciones de probeta de hormigón con polvo de cantera el 70%*



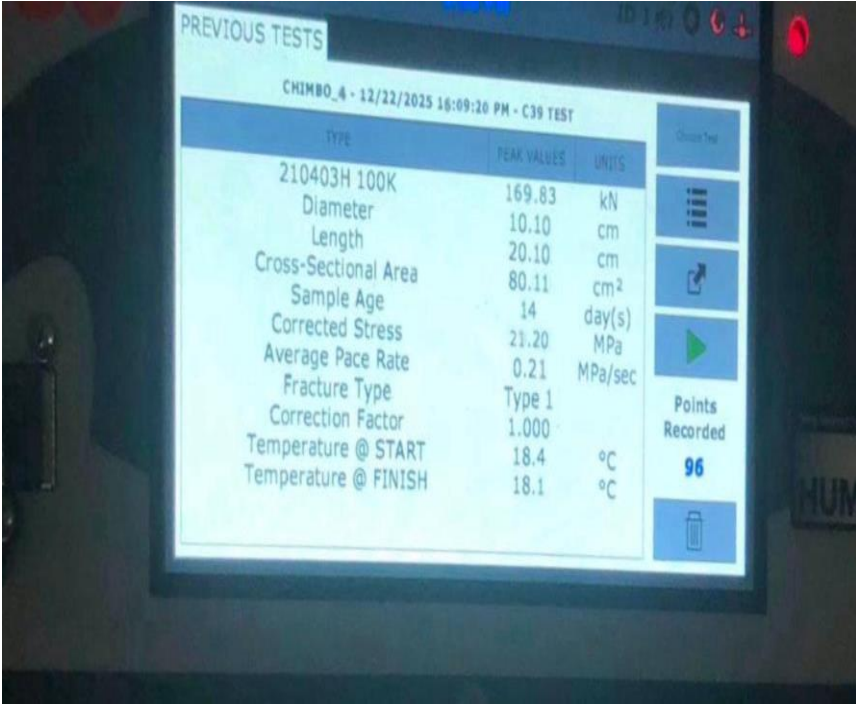
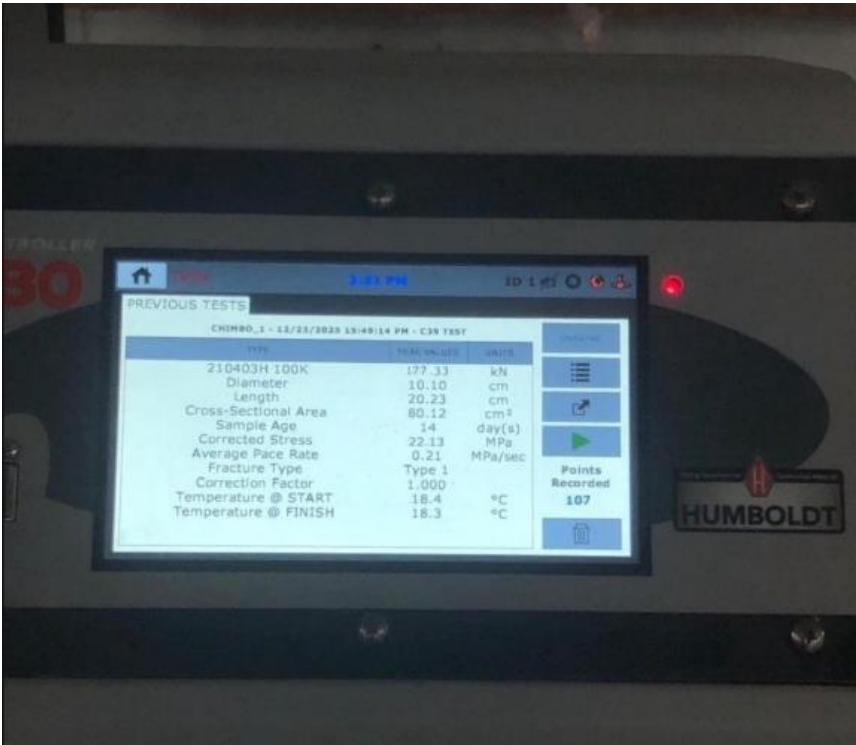
Anexo 16 *Elaboración de probetas*



Anexo 17 Ensayo a compresión a los 14 días hormigón simple Rooka Azul



Anexo 18 Ensayo a compresión a 14 días hormigón simple Áridos del Austro



Anexo 19 Ensayo a compresión 14 días hormigón con polvo de cantera Rooka Azul 15%

PREVIOUS TESTS

CHIMBO_1_15 - 01/06/2026 15:11:51 PM - C39 TEST

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	152.44	kN
Diameter	10.30	cm
Length	20.30	cm
Cross-Sectional Area	83.32	cm ²
Sample Age	14	day(s)
Corrected Stress	18.30	MPa
Average Pace Rate	0.23	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	18.5	°C
Temperature @ FINISH	18.0	°C

Points Recorded
113

CHIMBO_4_15 - 01/06/2026 15:36:55 PM - C39 TEST

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	174.09	kN
Diameter	10.30	cm
Length	20.10	cm
Cross-Sectional Area	83.33	cm ²
Sample Age	14	day(s)
Corrected Stress	20.89	MPa
Average Pace Rate	0.20	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	18.8	°C
Temperature @ FINISH	18.0	°C

Points Recorded
118

Anexo 20 Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Áridos del Austro 15%

PREVIOUS TESTS

CHIMBO_3_15 - 01/06/2026 15:16:22 PM - C39 TEST

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	158.10	kN
Diameter	10.24	cm
Length	20.30	cm
Cross-Sectional Area	82.34	cm ²
Sample Age	14	day(s)
Corrected Stress	19.19	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	18.9	°C
Temperature @ FINISH	18.1	°C

Points Recorded: 108

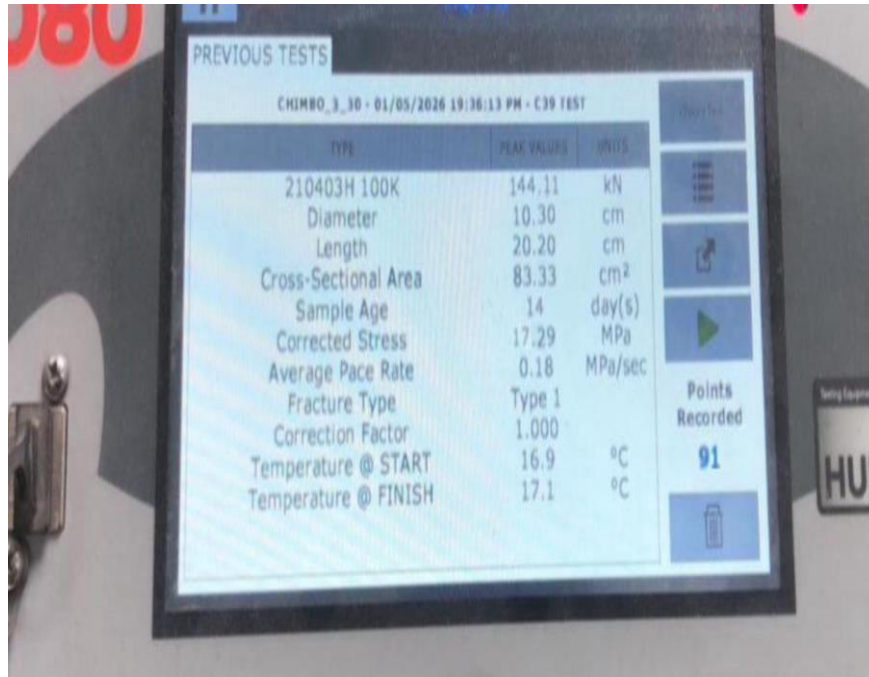
PREVIOUS TESTS

CHIMBO_3_15 - 01/06/2026 15:23:15 PM - C39 TEST

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	162.24	kN
Diameter	10.10	cm
Length	20.10	cm
Cross-Sectional Area	80.11	cm ²
Sample Age	14	day(s)
Corrected Stress	20.25	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	18.1	°C
Temperature @ FINISH	18.1	°C

Points Recorded: 113

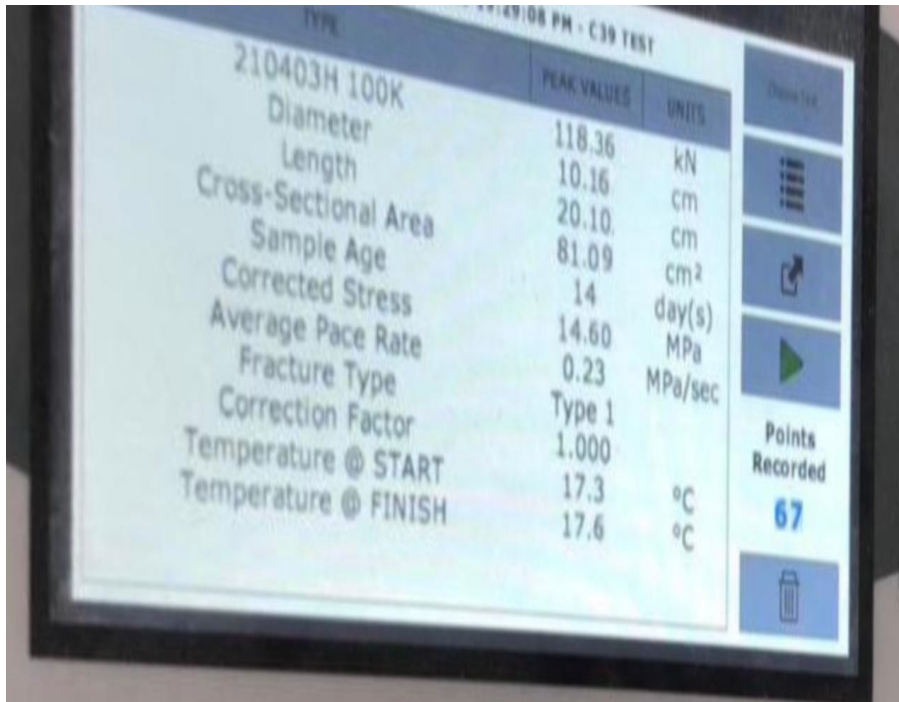
Anexo 21 Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Rooka Azul 30%



Anexo 22 Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Áridos del Austro 30%



Anexo 23 Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Rooka Azul 70%



Anexo 24 Ensayo a 14 días hormigón con polvo de cantera Áridos del Austro 70%

