



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO CON PIEDRA DE DOS
CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS”**

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

AUTOR: NATASHA NICOLE MOYANO SALTOS

TUTOR: ING. KEVIN RICARDO PROAÑO VISCARRA, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Natasha Nicole Moyano Saltos con documento de identificación N°
0944034693 manifiesto que:

Soy el autor 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.

Guayaquil, 15 de enero del 2025

Atentamente,



Natasha Nicole Moyano Saltos

C.I 0944034693

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

Yo, Natasha Nicole Moyano Saltos con documento de identificación N° 0944034693, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Evaluación del hormigón elaborado con piedra de dos canteras ubicadas en la Provincia del Guayas”, 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de enero del 2025

Atentamente,



Natasha Nicole Moyano Saltos

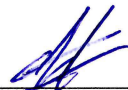
C.I 0944034693

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra con documento de identificación N° 1205363326, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO CON PIEDRA DE DOS CANTERAS UBICADAS EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS, realizado por Natasha Nicole Moyano Saltos con documento de identificación N° 0944034693, 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.

Guayaquil, 15 de enero del 2025

Atentamente,



Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra

1205363326

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Autor: Natasha Nicole Moyano Saltos

DEDICATORIA

A mis padres, Alexandra y Marco, pilares fundamentales de mi vida. Su amor, paciencia y constante aliento me han dado la base para alcanzar este logro. Gracias por inculcarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi abuelita, fuente inagotable de cariño y sabiduría, y a toda mi familia, por su apoyo incondicional y sus buenos deseos.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de esta investigación.

En primer lugar, agradezco al Ingeniero Leonardo Echeverría DBA. por su invaluable guía, sus vastos conocimientos y su constante dedicación. Su visión estratégica y su acertada dirección fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

Mi gratitud también al Ing. Kevin Proaño, mi tutor, por su paciencia, su apoyo constante y sus perspicaces observaciones. Su orientación fue clave para superar los desafíos y alcanzar los objetivos propuestos.

Agradezco especialmente al Ing. Jorge Morán, laboratorista, por su generosa colaboración durante los ensayos de laboratorio. Su experiencia y disposición fueron esenciales para la obtención de datos precisos y confiables.

Extiendo mi agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana por proporcionarme las instalaciones, los recursos y el entorno académico que hicieron posible la realización de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas e instituciones que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de esta tesis.

RESUMEN

El presente estudio evalúa comparativamente el comportamiento de hormigones elaborados con agregados gruesos de Roca Azul y Caliza, provenientes de canteras en la provincia del Guayas, Ecuador. El objetivo principal fue analizar la influencia de las propiedades de estos agregados en el desarrollo de la resistencia a compresión del hormigón, a edades tempranas (3 y 7 días) y en la proyección a 28 días, buscando establecer una correlación entre las características de los agregados y el desempeño del hormigón. La metodología experimental incluyó la caracterización física y mecánica de los agregados, incluyendo ensayos de granulometría, contenido de humedad, densidad, absorción y resistencia al desgaste (Los Ángeles), así como la determinación de la resistencia a compresión simple de las rocas. Se diseñaron mezclas de hormigón con una resistencia objetivo de 350 kg/cm² según el método ACI 211.1, y se elaboraron probetas cilíndricas que se sometieron a ensayos de compresión. Los resultados revelaron diferencias significativas entre los agregados. La Roca Azul presentó mayor resistencia a la compresión (1744.61 kg/cm²) y menor desgaste (8.67%) en comparación con la Caliza (1135.42 kg/cm² y 21.75%, respectivamente). Los hormigones con Roca Azul mostraron consistentemente mayores resistencias a compresión en todas las edades evaluadas. Se estableció una clara correlación entre la resistencia al desgaste y la resistencia del hormigón. La Roca Azul se presenta como una opción más favorable para aplicaciones que demandan alta resistencia mecánica y durabilidad.

Palabras clave: Hormigón, agregados, Roca Azul, Caliza, resistencia a compresión

ABSTRACT

This study comparatively evaluates the performance of concretes made with Roca Azul and Caliza coarse aggregates, from quarries in the Guayas province, Ecuador. The main objective was to analyze the influence of these aggregates' properties on the development of concrete compressive strength, at early ages (3 and 7 days) and in the 28-day projection, seeking to establish a correlation between the aggregates' characteristics and concrete performance. The experimental methodology included the physical and mechanical characterization of the aggregates, including tests for granulometry, moisture content, density, absorption, and abrasion resistance (Los Angeles), as well as the determination of the simple compressive strength of the rocks. Concrete mixes were designed with a target strength of 350 kg/cm² according to the ACI 211.1 method, and cylindrical specimens were made and subjected to compression tests. The results revealed significant differences between the aggregates. Roca Azul showed higher compressive strength (1744.61 kg/cm²) and lower wear (8.67%) compared to Caliza (1135.42 kg/cm² and 21.75%, respectively). Concretes with Roca Azul consistently showed higher compressive strengths at all ages evaluated. A clear correlation between abrasion resistance and concrete strength was established. Roca Azul is presented as a more favorable option for applications demanding high mechanical strength and durability.

Keywords: Concrete, aggregates, Roca Azul, Caliza, compressive strength.

1 Contenido

RESUMEN	5
1. Introducción.....	14
1 Problema.....	15
1.1 Justificación	17
1.2 Antecedentes	18
1.3 Alcance	19
1.4 Delimitacion.....	21
1.5 Localizacion.....	21
1.6 Duración.....	22
1.7 Institucional.....	23
2 Objetivos.....	23
2.1 Objetivo General	23
2.2 Objetivos específicos	23
3 Fundamentos teóricos	24
3.1 Introducción al Hormigón.....	24
3.1.1 Importancia histórica del hormigón	24
3.1.2 Definición del Hormigón	24
3.2 Propiedades del Hormigón.....	26
3.2.1 Propiedades mecánicas	27
3.2.2 Propiedades físicas.....	28
3.2.3 Propiedades reológicas.....	29
3.2.4 Propiedades químicas.....	30
3.3 Agregados para Hormigón.....	33
3.3.1 Clasificación Según su Origen.....	34
3.3.2 Clasificación Según su Tamaño	37
3.3.3 Clasificación Según su Forma y Textura Superficial.....	37
3.3.4 Clasificación Según su Composición Mineralógica	39
3.4 Formaciones Geológicas del Ecuador.....	40
3.4.1 Principales Formaciones Geológicas	41
3.4.2 Formación San Eduardo.....	46
3.4.3 Formación Piñón.....	46
3.5 Impacto de la Geología en los Agregados	47
3.5.1 Composición Mineralógica de los Agregados	48

3.5.2	Textura y Forma de los Agregados	48
3.5.3	Propiedades Mecánicas de los Agregados	49
3.5.4	Relación Geológica y Durabilidad.....	51
3.6	Influencia de los Agregados en el Hormigón	51
3.6.1	Influencia en el Hormigón Fresco.....	52
3.6.2	Influencia en el Hormigón Endurecido	53
3.7	Ensayos de Laboratorio.....	55
3.7.1	Normas y Estándares Aplicados en los Ensayos.....	57
3.7.2	Granulometría	58
3.7.3	Determinación del Contenido Total de Humedad.....	62
3.7.4	Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos	62
3.7.5	Determinación del Valor de la Degradación del Árido Grueso Mediante la Máquina de los Ángeles.....	64
3.7.6	Dosificación por el Método ACI 211.1	65
3.7.7	Ensayo del Cono de Abrams	72
3.7.8	Resistencia a Compresión Simple del Hormigón	73
4	Marco metodológico.....	77
4.1	Enfoque	77
4.2	Nivel o Tipo de Investigación.....	77
4.3	Población y Muestra	78
4.4	Operacionalización de Variables	79
4.4.1	Variable Independiente.....	79
4.4.2	Variable Dependiente	79
4.4.3	Variables de Control.....	80
4.5	Procedimientos Experimentales.....	80
4.5.1	Análisis Granulométrico	83
4.5.2	Contenido de Humedad.....	92
4.5.3	Densidad y Absorción	96
4.5.4	Peso Volumétrico de los Agregados.....	103
4.5.5	Resistencia al Desgaste	109
4.5.6	Ensayo de Resistencia a la Compresión de la Roca según la Norma ASTM C170.....	115
4.5.7	Dosificación Según el Método ACI	117
4.5.8	Diseño de Hormigón Estructural Cantera Santa Rosa (350 Kg/cm ²)....	120
4.5.9	Diseño de Hormigón Estructural Cantera San José (350 Kg/cm ²).....	120

4.5.10	Ensayo de Cono de Abrams	121
4.5.11	Elaboración y Curado de Cilindros de Hormigón.....	122
4.5.12	Ensayo de resistencia a la compresión del Hormigón	124
5	Resultados.....	128
5.1	Resultados de los Ensayos de Compresión.....	129
5.1.1	Resistencia a Compresión a 3 y 7 Días.....	129
5.1.2	Relación entre las Propiedades de los Agregados y la Resistencia del Hormigón	131
6	Conclusiones.....	133
7	Recomendaciones.	135
8	Bibliografía.....	137
9	Anexos	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	22
Tabla 2.....	36
Tabla 3.....	38
Tabla 4.....	39
Tabla 5 Distribución de Formaciones Geológicas en la Región Norte-Central de la Costa ...	42
Tabla 6 Distribución de Formaciones Geológicas en la Región Sur-Central de la Costa.....	43
Tabla 7 Propiedades físicas y mecánicas de diferentes grupos de rocas utilizadas como agregados en el hormigón	50
Tabla 8 Requerimientos de Tamizado en Agregados Gruesos	60
Tabla 9 Requerimientos de tamizado en el Agregado Fino	60
Tabla 10 Masa Mínima de la Muestra de Ensayo Según el Tamaño Máximo	61
Tabla 11 Requisitos para los Moldes	63
Tabla 12 Gradación de las Muestras de Ensayo.....	65
Tabla 13 Especificaciones para la Carga.....	65
Tabla 14 Asentamiento Máximo	68
Tabla 15 Cantidad de Agua Aproximada y Presencia de Aire para Diferentes Asentamientos Dados	69
Tabla 16 Cálculo de la Relación Agua/Cemento	70
Tabla 17 Volumen de Agregado Grueso Compactado por Unidad de Volumen de Concreto.	71
Tabla 18.....	81
Tabla 19.....	86
Tabla 20.....	88
Tabla 21	89
Tabla 22.....	93

Tabla 23	95
Tabla 24 Detalles del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Grueso.	98
Tabla 25 Detalles del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Fino ...	101
Tabla 26 Mediciones de Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos para Agregados Gruesos	106
Tabla 27 Mediciones de Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos del Agregado Fino	107
Tabla 28 Resistencia al Desgaste mediante la Máquina de Los Ángeles para Agregados Gruesos	113
Tabla 29 Resistencia a la Compresión de Rocas.....	117
Tabla 30 Propiedades Iniciales de los Materiales para la Dosificación del Concreto	118
Tabla 31 Resultados de ensayos de compresión en cilindros de hormigón convencional con piedra caliza a diferentes edades.....	127
Tabla 32 Resultados de ensayos de compresión en cilindros de hormigón convencional con Roca Azul a diferentes edades	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	26
Ilustración 2	32
Ilustración 3	33
Ilustración 4 Mapa Geológico Nacional de la República del Ecuador (1982)	41
Ilustración 5 Mapa Geológico y de Microzonificación Geotécnica de la Ciudad de Guayaquil	45
Ilustración 6 Dimensiones y Características del Molde Utilizado en el Ensayo del Cono de Abrams.....	73
Ilustración 7 Esquema de los Modelos Típicos de Fractura	75
Ilustración 8 Desarrollo de la Resistencia del Concreto en Función de la Edad	76
Ilustración 9	82
Ilustración 10	83
Ilustración 11.....	85
Ilustración 12	87
Ilustración 13	89
Ilustración 14	91
Ilustración 15 Proceso de Secado de Muestras en Horno	93
Ilustración 16 Agregado Grueso en Equipo de Inmersión	97
Ilustración 17 Eliminación de burbujas de aire en ensayo de densidad y absorción en agregados finos	101
Ilustración 18 Proceso de Compactación del Agregado Grueso	105
Ilustración 19 Cilindro Lleno de Agregado Grueso Compactado.....	105
Ilustración 20 Máquina de Los Ángeles para el ensayo de desgaste	110
Ilustración 21 Clasificación y preparación de agregados para el ensayo de desgaste	111

Ilustración 22	Material recuperado tras el ensayo de abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles	113
Ilustración 23	Probeta de Roca Azul Colocada en Máquina de Compresión Humboldt	116
Ilustración 24	Falla por Compresión de una Probeta de Roca Caliza.....	116
Ilustración 25	Ensayo de Asentamiento del Hormigón Mediante el Cono de Abrams.....	121
Ilustración 26	Compactación Manual del Hormigón en Moldes Cilíndricos	123
Ilustración 27	Cilindros de Hormigón Recién Elaborados	124
Ilustración 28	Máquina de Compresión Humboldt.....	126
Ilustración 29	Resultados de la Resistencia a Compresión del Hormigón a 3 y 7 Días	129
Ilustración 30	Desarrollo de la resistencia a compresión en el tiempo	131
Ilustración 31	Relación entre la resistencia al desgaste de los agregados gruesos y la resistencia a compresión del hormigón a 28 días (proyectada)	132

1. Introducción

El desarrollo de infraestructuras modernas plantea retos significativos para garantizar la calidad, durabilidad y sostenibilidad de los materiales empleados. En este contexto, el hormigón desempeña un papel crucial como material constructivo debido a su versatilidad y resistencia. Sin embargo, asegurar un desempeño óptimo del hormigón requiere un enfoque riguroso hacia la selección de sus componentes, especialmente los agregados gruesos, cuya influencia en las propiedades mecánicas y de durabilidad es innegable.

En la provincia del Guayas, Ecuador, el uso de agregados provenientes de distintas canteras es una práctica común en la industria de la construcción. Sin embargo, las variaciones en sus propiedades, determinadas por sus orígenes geológicos, pueden impactar significativamente en el desempeño del hormigón. A pesar de la importancia de estos materiales, a menudo su selección está guiada más por la disponibilidad y el costo que por un análisis técnico detallado, lo que podría comprometer la seguridad y longevidad de las estructuras construidas.

Este trabajo de investigación aborda esta problemática mediante un análisis comparativo de los agregados provenientes de dos canteras clave en la región: San José y Santa Rosa. Ambas, representativas de formaciones geológicas diferentes, ofrecen una oportunidad única para evaluar cómo las diferencias en sus propiedades afectan las prestaciones del hormigón. A través de ensayos de laboratorio y un diseño de mezcla basado en metodologías reconocidas internacionalmente, como el método del ACI, se busca obtener datos técnicos que permitan una evaluación objetiva.

1 Problema

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo, con una producción global que alcanzó aproximadamente 9.42 mil millones de metros cúbicos en 2022, según el *Global Concrete Report 2023*. Este material es esencial para el desarrollo de infraestructuras debido a su versatilidad y durabilidad, países como China, Estados Unidos e India lideran la producción mundial, representando juntos más del 40% del total global. Estos datos reflejan la creciente demanda de hormigón impulsada por proyectos de infraestructura en regiones tanto desarrolladas como en desarrollo.

A pesar de su popularidad, el desempeño del hormigón depende en gran medida de los materiales que lo componen, especialmente los agregados, que constituyen entre el 60 % y el 80 % de su volumen total. Como explican Mehta y Monteiro (2014), los agregados no son simplemente un relleno; su granulometría, absorción y composición mineralógica influyen directamente en propiedades clave como la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad del hormigón. Estos materiales proporcionan la base estructural necesaria para el desarrollo de mezclas que respondan a las exigencias de las infraestructuras modernas.

En las últimas décadas, las investigaciones en el campo del hormigón han buscado optimizar su desempeño mediante el uso de aditivos, mejorando su trabajabilidad y durabilidad. Sin embargo, la calidad de los agregados empleados continúa siendo un factor crucial que afecta directamente sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Por lo tanto, es de suma importancia seleccionar adecuadamente los agregados, no solo en términos de su disponibilidad, sino también de su idoneidad para la mezcla que se va a emplear, de acuerdo con las condiciones específicas del proyecto.

En Ecuador, el hormigón es un material fundamental en la construcción de viviendas, carreteras y otras infraestructuras, siendo la provincia del Guayas un centro neurálgico para la industria de la construcción debido a su ubicación estratégica y crecimiento económico. Sin

embargo, la calidad de los agregados disponibles en la región varía dependiendo de su origen geológico, lo que podría afectar las propiedades del hormigón producido.

La creciente demanda de hormigón en proyectos tanto públicos como privados ha llevado a las empresas constructoras a priorizar la disponibilidad y el costo de los agregados sobre su calidad. Esta práctica, aunque puede parecer económica a corto plazo, plantea serios riesgos para el desempeño del hormigón a largo plazo, afectando su durabilidad y resistencia, lo que puede comprometer la integridad de las infraestructuras construidas.

En la provincia del Guayas, los agregados provienen de diversas canteras, cada una con características geológicas particulares que pueden influir significativamente en las propiedades del hormigón. Por ejemplo, las canteras San José, ubicada en la formación geológica San Eduardo, y Santa Rosa, asociada a la formación Piñón, son fuentes locales que presentan variaciones en sus propiedades físicas y mecánicas. Sin embargo, al momento de construir la tendencia de seleccionar agregados basándose en su costo y disponibilidad, sin realizar un análisis previo de sus propiedades, puede resultar en la utilización de materiales que no cumplen con los estándares necesarios para garantizar la calidad del hormigón. En particular, la falta de caracterización de la resistencia intrínseca de las rocas puede dificultar la predicción del comportamiento del hormigón a largo plazo.

Monje Yovera et al. (2024) menciona que los diferentes materiales pueden influir en las propiedades frescas y endurecidas del hormigón, en particular por sus características de forma y tamaño, por ende, el uso de agregados de baja calidad puede dar lugar a hormigón con características deficientes, lo que se traduce en un mayor riesgo de agrietamiento, deterioro prematuro y fallos estructurales. La falta de atención a la calidad de los agregados puede comprometer estas propiedades, afectando tanto la seguridad como la vida útil de la infraestructura.

1.1 Justificación

Esta investigación es pertinente ya que aborda un tema de gran relevancia para la industria de la construcción en Ecuador, y específicamente en la provincia del Guayas, donde la construcción de infraestructuras juega un papel crucial en el desarrollo económico y social. El estudio se enfoca en dos canteras locales que representan dos formaciones geológicas diferentes, lo que podría influir significativamente en las propiedades de los agregados extraídos. La selección adecuada de estos materiales es fundamental para garantizar que las infraestructuras construidas sean duraderas y resistentes, lo que tiene un impacto directo en la seguridad de las personas y en la calidad de vida en la región. Por lo tanto, comprender cómo las diferencias geológicas afectan las propiedades del hormigón es crucial para mejorar la construcción de estructuras esenciales.

La investigación contribuye al conocimiento existente sobre el comportamiento de los agregados en el hormigón, proporcionando un análisis comparativo entre dos tipos de materiales con características geológicas distintas. Aunque el uso de diferentes tipos de agregados ha sido ampliamente estudiado a nivel global, estudios específicos sobre los agregados locales en Ecuador son limitados, a los cuales este trabajo busca contribuir.

Desde un punto de vista científico y académico, este estudio tiene valor al aportar datos técnicos relevantes sobre el comportamiento de los agregados provenientes de formaciones geológicas específicas en el contexto ecuatoriano según sus propiedades. A nivel teórico, profundiza en la relación entre las propiedades de los agregados y su impacto en el desempeño del hormigón, lo que enriquecerá la comprensión de los procesos que influyen en la calidad del material.

1.2 Antecedentes

La calidad y las propiedades del hormigón dependen en gran medida de las características de los agregados gruesos empleados en su fabricación. Diversos estudios han explorado la influencia de estos materiales en el comportamiento del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido, proporcionando un marco teórico robusto para la optimización de mezclas y la evaluación de nuevos materiales.

Un estudio llevado a cabo por García Moreta et al. (2023) enfatiza cómo el tamaño nominal máximo y la porosidad capilar de los agregados gruesos afectan la durabilidad del hormigón. Los resultados mostraron que los agregados con porcentajes de porosidad efectiva inferiores al 10 % contribuyen significativamente a mejorar la resistencia a compresión y la durabilidad del material. Además, se destaca que un control adecuado de las propiedades de los agregados permite optimizar el diseño de mezclas, asegurando un desempeño óptimo en aplicaciones estructurales y no estructurales.

Por otro lado, Monje Yovera et al. (2024) exploraron la sustitución total del agregado de cantera por agregado de río en la producción de hormigón estructural. Este estudio reveló que, aunque los agregados de río presentan propiedades mecánicas ligeramente inferiores a las de los agregados de cantera, cumplen con los requisitos mínimos de diseño, lo que los hace viables para aplicaciones de resistencia moderada. Estos hallazgos son particularmente relevantes en contextos donde el acceso a agregados de cantera es limitado o costoso, destacando el potencial de los materiales alternativos para reducir costos y promover la sostenibilidad.

En otro enfoque, Ferić et al. (2023) analizaron el efecto del tamaño del agregado y el grado de compactación en las propiedades mecánicas e hidráulicas del hormigón permeable. Los resultados indicaron que el uso de agregados de 4/8 mm, combinado con un alto nivel de compactación, mejora significativamente la resistencia a compresión y la resistencia a la

abrasión, aunque con una ligera disminución en la conductividad hidráulica. Este equilibrio entre resistencia y permeabilidad es clave para aplicaciones como pavimentos permeables, donde se requieren propiedades duales.

Finalmente, Sánchez-Mendieta et al. (2024) establecieron relaciones críticas entre la densidad, la porosidad y la resistencia a compresión del hormigón poroso. El estudio demostró que un aumento en la porosidad genera una reducción en la resistencia a compresión, mientras que una mayor densidad contribuye a mejores propiedades mecánicas. Además, se observó una correlación directa entre la porosidad y la permeabilidad, subrayando la importancia de controlar la gradación de los agregados y la relación agua-cemento para optimizar las propiedades del material según las necesidades específicas del proyecto.

En conjunto, estos estudios proporcionan una base sólida para entender la relevancia de las características de los agregados gruesos en el diseño y rendimiento del hormigón. La investigación actual se centra en la comparación de las propiedades mecánicas del hormigón elaborado con agregados de dos canteras distintas, buscando contribuir al conocimiento existente y ofrecer soluciones prácticas para la industria de la construcción.

1.3 Alcance

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la resistencia a la compresión del hormigón elaborado con agregados provenientes de las canteras San José y Santa Rosa, ubicadas en la provincia del Guayas, Ecuador. Estas canteras pertenecen a formaciones geológicas distintas, lo que implica diferencias significativas en las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, como la granulometría, la densidad, su capacidad de absorción, etc. Estas características influyen directamente en el desempeño estructural del hormigón.

La investigación se centrará en la evaluación de las características de los agregados provenientes de ambas canteras por medio de ensayos de laboratorio con el fin de realizar las dosificaciones adecuadas para mezclas de hormigón diseñadas para alcanzar una resistencia característica de 350 kg/cm², siguiendo las especificaciones de American Concrete Institute (ACI) en Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1).

El diseño de mezcla controlará variables clave como la relación agua/cemento, el tipo de cemento empleado y la calidad de los agregados, Los resultados obtenidos se analizarán para identificar el desempeño de los dos tipos de agregados en la producción de hormigón de alta calidad en la región del Guayas.

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar comparativamente el comportamiento a edades tempranas (3 y 7 días) y proyectar la resistencia a compresión a los 28 días de hormigón elaborado con agregados provenientes de las canteras San José y Santa Rosa, ubicadas en la provincia del Guayas, Ecuador. Estas canteras pertenecen a formaciones geológicas distintas, lo que implica diferencias significativas en las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, como la granulometría, la densidad, su capacidad de absorción, etc. Estas características influyen directamente en el desempeño estructural del hormigón.

La investigación se centrará en la evaluación de las características de los agregados provenientes de ambas canteras por medio de ensayos de laboratorio con el fin de realizar las dosificaciones adecuadas para mezclas de hormigón diseñadas para alcanzar una resistencia característica de 350 kg/cm², siguiendo las especificaciones de American Concrete Institute (ACI) en Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1).

El diseño de mezcla controlará variables clave como la relación agua/cemento, el tipo de cemento empleado y la calidad de los agregados. Los resultados obtenidos a 3 y 7 días se

analizarán para comparar el desempeño de los dos tipos de agregados en la producción de hormigón, y se utilizará un modelo matemático para proyectar su resistencia a los 28 días. El análisis se centrará en la influencia de las propiedades de los agregados (granulometría, densidad, absorción y desgaste) en el desarrollo de la resistencia del hormigón a edades tempranas y en la proyección a 28 días.

1.4 Delimitacion

La presente investigación se delimitará en el espacio, tiempo e instituciones involucradas, a fin de garantizar un análisis preciso y profundo del objeto de estudio. Esta delimitación permitirá establecer un marco contextual específico que facilitará la interpretación de los resultados.

1.5 Localizacion

El presente estudio se llevará a cabo analizando dos canteras ubicadas en la provincia del Guayas, Ecuador, que representan puntos estratégicos para la obtención de agregados destinados a la producción de hormigón. Estas canteras, Santa Rosa y San José, se encuentran situadas en formaciones geológicas distintas, lo que permite realizar un análisis comparativo detallado de las propiedades de sus materiales.

A continuación, se presenta una descripción de cada una de ellas.

Tabla 1

Información General de las Canteras

Cantera	Operador	Ubicación	Formación Geológica	Coordenadas UTM
Santa Rosa	Minera	Av. Elías Dau	Formación	613392.589E,
	Rookaazul	Briones y Av. Principal Villa Club	Piñón	9759615.019N
San José	Rigot S.A.	Vía la Costa, km 11.5	Formación San Eduardo	622733.501E, 9776090.706N

Nota: Las ubicaciones y formaciones geológicas corresponden a las zonas de extracción específicas de cada cantera.

Imagen 1

Ubicación y Áreas de Extracción de las Canteras Santa Rosa y San José



Nota: Imágenes satelitales de las canteras Santa Rosa y San José, con delimitación de sus áreas de extracción, obtenidas de Google Earth.

1.6 Duración

El presente estudio se desarrollará durante un período de 4 meses, comprendido entre octubre de 2024 y enero de 2025. Este lapso incluye todas las etapas necesarias para la investigación, desde la recolección de muestras en las canteras seleccionadas hasta el análisis y procesamiento de los resultados obtenidos.

1.7 Institucional

El presente estudio se llevó a cabo utilizando los recursos disponibles en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Campus María Auxiliadora. En particular, se emplearon las instalaciones y equipos del Laboratorio de Materiales de Construcción, los cuales cuentan con la infraestructura necesaria para realizar ensayos de caracterización de agregados y pruebas de resistencia a la compresión en las probetas de hormigón.

La Universidad Politécnica Salesiana proporciona un entorno adecuado para el desarrollo de investigaciones de ingeniería civil, garantizando el cumplimiento de los estándares técnicos exigidos por normativas nacionales e internacionales.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

- Evaluar comparativamente el potencial de dos fuentes de agregados pétreos de la provincia del Guayas , mediante la determinación de sus propiedades mecánicas , para recomendar la opción más adecuada en la industria de la construcción local.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros mecánicos de las rocas en las dos canteras, mediante los ensayos establecidos por las normativas ASTM y NTE INEN, con el fin de evaluar su aptitud para la elaboración de hormigón.
- Definir las muestras de roca intacta , extraídas de las canteras del proyecto , mediante la ejecución de ensayos de compresión uniaxial según la norma ASTM C170, para establecer la resistencia del material pétreo.
- Evaluar el desarrollo de la resistencia a compresión a los 7 días proyectando la resistencia a los 28 días de hormigones dosificados mediante el método ACI 211.1 para una

resistencia objetivo de 350 kg/cm², con el fin de determinar la idoneidad de cada tipo de agregado en la producción de hormigón.

3 Fundamentos teóricos

3.1 Introducción al Hormigón

3.1.1 Importancia histórica del hormigón

El hormigón ha sido utilizado desde tiempos antiguos como material clave en grandes obras. Por ejemplo, “Los romanos hicieron un uso extensivo del hormigón para estructuras como los acueductos y el Panteón, aprovechando su durabilidad y capacidad para construcciones a gran escala” (Mehta y Monteiro, 2014). Este legado técnico sentó las bases de la ingeniería moderna, permitiendo el desarrollo de infraestructuras más resistentes y duraderas. Este ejemplo evidencia cómo las propiedades inherentes al hormigón, como su resistencia a la compresión y su capacidad de adaptarse a diversas formas, lo han convertido en un material esencial a lo largo de la historia. La evolución de su tecnología ha permitido abordar desafíos estructurales cada vez más complejos.

3.1.2 Definición del Hormigón

El hormigón es un material compuesto que consiste esencialmente en un medio aglutinante en el que se encuentran partículas o fragmentos de agregado. En el caso del hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante es una mezcla de cemento y agua, que al reaccionar químicamente produce una matriz sólida y resistente (Mehta y Monteiro, 2014). Esta definición destaca su versatilidad como material, ya que puede adaptarse a diferentes necesidades estructurales mediante el ajuste de sus componentes. Además, la simplicidad de su composición contrasta con la complejidad de su comportamiento mecánico, que depende de múltiples variables.

Los agregados, por su parte, son materiales granulares, como arena, grava, piedra triturada, escoria de alto horno triturada o residuos de construcción y demolición, que se

combinan con el medio aglutinante para formar concreto o mortero, estos aportan volumen y estabilidad al hormigón. Según Mehta y Monteiro (2014) los agregados se clasifican en gruesos, con tamaños superiores a 4.75 mm, y finos, con partículas menores a esta dimensión.

La elección y calidad de los agregados impactan directamente la resistencia y durabilidad del hormigón. Por ejemplo, los agregados de mayor tamaño tienden a requerir menos agua de mezcla, aunque pueden formar zonas interfaciales débiles. Esto subraya la importancia de seleccionar agregados con propiedades óptimas para evitar la generación de puntos débiles en la matriz de concreto, especialmente en aplicaciones que requieren alta resistencia.

El cemento, como componente esencial del hormigón, ya que actúa como el material que proporciona la capacidad aglutinante. Según Neville Adam (1999) los tipos principales de cemento portland incluyen: portland ordinario, portland de endurecimiento rápido, portland de bajo calor y cemento resistente a sulfatos, entre otros. La elección de un tipo específico depende de factores como las exigencias estructurales y ambientales, la disponibilidad y el costo, por lo tanto, este componente define en gran medida la resistencia y durabilidad de la mezcla y es de suma importancia hacer una correcta selección del cemento según el entorno donde se usará el hormigón, ya que factores como la exposición a sulfatos o cloruros pueden acelerar la degradación si no se emplea el tipo correcto.

El agua, otro componente esencial, es responsable de la hidratación del cemento y determina la trabajabilidad de la mezcla. “La relación agua/cemento afecta directamente la formación de poros capilares, lo cual influye en la resistencia del hormigón. Si la relación agua/cemento es mayor a 0.38 por masa, todo el cemento puede hidratarse, pero habrá poros capilares que reducirán la resistencia” (Neville, 1999). Así, el control preciso de este parámetro es esencial en el diseño de mezclas, ya que este aspecto no solo influye en la resistencia a la compresión, sino también en la durabilidad.

Finalmente, los aditivos se utilizan para modificar propiedades específicas del hormigón, como el tiempo de fraguado o la resistencia inicial, según los requerimientos del proyecto, ya que la calidad del hormigón al depender de múltiples factores puede verse afectado. Mehta y Monteiro (2014) destacan que las buenas prácticas de construcción y un curado adecuado son críticas para lograr una larga vida útil en el campo señalando que la falta de control de calidad ha sido la principal causa de deterioro prematuro del hormigón. Además, los diseños de mezcla y la adecuada selección de materiales contribuyen significativamente a su durabilidad.

Ilustración 1

Componentes Principales del Hormigón



Nota: Se muestran los principales componentes del hormigón y su función esencial en la resistencia y durabilidad del material. Diagrama elaborado por Natasha Moyano.

3.2 Propiedades del Hormigón

El hormigón es un material esencial en la construcción, cuya versatilidad y robustez dependen de sus propiedades mecánicas, físicas, reológicas y químicas. Estas características

permiten su adaptabilidad a una amplia variedad de aplicaciones y condiciones ambientales. A continuación, se detallan las propiedades más relevantes, basadas en diversas investigaciones y normas internacionales.

3.2.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del hormigón están relacionadas con su capacidad para resistir fuerzas externas y cargas estructurales, garantizando la seguridad y estabilidad de las construcciones.

La resistencia a la compresión del hormigón es una de las propiedades más determinantes para su aplicación, ya que se refiere a la capacidad del material para resistir fuerzas que tienden a comprimirlo. Según el American Concrete Institute (ACI, 2019), esta propiedad está estrechamente vinculada con la relación agua/cemento (a/c) en la mezcla, ya que una mayor relación conduce a un aumento de la porosidad y una disminución en la resistencia del concreto. Este hallazgo es consistente con lo observado por Sánchez-Mendieta et al. (2024), quienes encontraron que una relación a/c elevada disminuye tanto la densidad como la resistencia a la compresión, además de incrementar la porosidad y la permeabilidad. Esta correlación subraya la importancia de optimizar la relación a/c en el diseño de mezclas para obtener concreto de alto rendimiento.

Aunque el hormigón es eficaz en compresión, su resistencia a la tracción es limitada, lo que justifica la utilización de hormigón armado. En este sentido, Prochon y Piotrowski (2020) exploran la influencia de los tipos de cemento y agregados en las propiedades mecánicas, sugiriendo que el uso de agregados finos y cemento de alta resistencia puede mejorar la tracción indirectamente, ya que incrementa la cohesión interna de la mezcla. Además, destacan la importancia de la ductilidad, especialmente en aplicaciones sísmicas, donde el hormigón debe ser capaz de absorber movimientos cíclicos sin perder integridad estructural.

La ductilidad es la capacidad del hormigón para deformarse sin romperse bajo esfuerzo. Es crucial en estructuras sometidas a cargas dinámicas o sísmicas, donde el material debe deformarse sin fallar. El hormigón, por su naturaleza, es más rígido que materiales como el acero, pero presenta una ductilidad suficiente para absorber cargas cíclicas y sísmicas, especialmente cuando se utiliza en estructuras que deben soportar movimientos sísmicos. Sánchez-Mendieta et al. (2024) indican que el uso de agregados triturados, con su forma angular, puede aumentar la capacidad de interconexión de las partículas, contribuyendo a la mejora de la ductilidad del hormigón bajo ciertas condiciones de carga.

3.2.2 Propiedades físicas

Las propiedades físicas del hormigón afectan su durabilidad y desempeño a largo plazo bajo condiciones ambientales diversas, lo que es crucial para la construcción de infraestructuras resistentes.

La durabilidad es una propiedad crucial del hormigón que determina su resistencia frente a factores como el ataque de sulfatos, cloruros y la humedad. El ACI (2019) resalta que una menor relación agua/cemento, combinada con aditivos impermeabilizantes, reduce la penetración de agua y, por lo tanto, mejora la durabilidad del concreto. En este contexto, Sánchez-Mendieta et al. (2024) agregan que la elección del agregado, en especial su densidad y porosidad, influye directamente en la durabilidad del hormigón. Un agregado con baja porosidad, como los provenientes de canteras de roca densa, ofrece un concreto con mayor resistencia a la penetración de agua, lo que lo hace más adecuado para ambientes húmedos o corrosivos.

La densidad y porosidad se refiere a la masa del hormigón por unidad de volumen, mientras que la porosidad es la cantidad de espacio vacío dentro de la mezcla. Una mayor densidad y menor porosidad resultan en un hormigón más resistente y duradero. La densidad del hormigón está vinculada a su resistencia y durabilidad, y según Sánchez-Mendieta et al.

(2024), el control de la porosidad es esencial para mantener una alta resistencia a la compresión y reducir la permeabilidad. Los autores subrayan que un mayor contenido de aire o poros en la mezcla debilita la estructura del concreto, permitiendo que agentes agresivos como el agua y las sales corrosivas puedan penetrar más fácilmente. La densidad del hormigón varía según los agregados utilizados; por ejemplo, los hormigones con agregados triturados presentan menor porosidad y mayor resistencia a la compresión que aquellos con agregados redondeados (Sánchez-Mendieta et al., 2024).

El peso específico es acerca de la densidad del material, es decir, la relación entre su masa y el volumen que ocupa. Este parámetro influye directamente en el comportamiento estructural y en el costo de la construcción, ya que determina el peso total de las estructuras de hormigón y, por lo tanto, la cantidad de carga que deben soportar las cimentaciones (Prochon & Piotrowski, 2020). El peso específico del hormigón convencional se encuentra típicamente en el rango de 2200 a 2500 kg/m³, dependiendo de los materiales utilizados. Para hormigón ligero, este valor puede ser tan bajo como 1600 a 1800 kg/m³, y para hormigón pesado, puede llegar hasta 3000 kg/m³ o más, cuando se utilizan agregados pesados. El American Concrete Institute (ACI, 2019) destaca que la elección de agregados es crucial para controlar el peso específico del hormigón, ya que los agregados más pesados aumentan la densidad, mientras que los más ligeros la reducen. Según Sánchez-Mendieta et al. (2024), el peso específico también está relacionado con la resistencia del concreto, ya que una mezcla más densa suele tener una mayor resistencia a la compresión.

3.2.3 Propiedades reológicas

Estas propiedades están asociadas al estado fresco del hormigón y su capacidad de ser moldeado durante el proceso de construcción:

La trabajabilidad se refiere a la facilidad con la que se puede mezclar, transportar y colocar, depende en gran medida de la relación agua/cemento. El ACI (2019) destaca que la

reducción de la relación agua/cemento mejora la resistencia final del hormigón, pero también puede dificultar su trabajabilidad, lo que requiere el uso de aditivos plastificantes para mantener una consistencia adecuada. En este sentido, Prochon y Piotrowski (2020) explican que el tipo de agregado y su forma también afectan la trabajabilidad, ya que los agregados más angulares requieren más agua para alcanzar la misma fluidez, mientras que los agregados más redondeados facilitan la mezcla. La trabajabilidad del hormigón se evalúa mediante pruebas de asentamiento y depende de la proporción agua/cemento, la forma y textura de los agregados, así como de los aditivos presentes en la mezcla (American Concrete Institute, 2019).

La cohesión es la capacidad del hormigón para mantenerse unido durante su manipulación, evitando la separación de los materiales dentro de la mezcla. La cohesión del hormigón es crucial para evitar fenómenos como la segregación o la exudación del agua, especialmente en mezclas con un alto contenido de cemento. Sánchez-Mendieta et al. (2024) concluyen que un mayor contenido de cemento, combinado con un agregado bien graduado, mejora tanto la cohesión como la estabilidad de la mezcla, permitiendo un vertido más uniforme y controlado. Además, subrayan que los aditivos pueden optimizar la cohesión, garantizando una mezcla homogénea sin la necesidad de añadir agua adicional. El ACI (2019) destaca que el control de la cohesión se logra mediante la selección adecuada de los agregados y el uso de aditivos que favorezcan una mezcla homogénea.

3.2.4 Propiedades químicas

Las propiedades químicas del hormigón están vinculadas a su resistencia frente a ataques químicos y su durabilidad a largo plazo:

La resistencia a la corrosión y sulfatos hace referencia a las reacciones químicas que ocurren cuando los sulfatos en el suelo o el agua reaccionan con los compuestos del cemento, debilitando el hormigón. El ataque de sulfatos es un problema conocido en la industria del

concreto, especialmente en zonas donde el concreto está expuesto a aguas subterráneas o suelos con alta concentración de sulfatos. El ACI (2019) recomienda el uso de cementos resistentes a sulfatos en tales ambientes. Según Prochon y Piotrowski (2020), los agregados de mayor densidad pueden ayudar a mejorar la resistencia del concreto a los sulfatos al reducir la cantidad de agua que puede penetrar y reaccionar con el cemento, también subrayan que los aditivos impermeabilizantes pueden ser una solución efectiva para minimizar los riesgos asociados a la corrosión de las armaduras en estructuras de concreto expuestas a ambientes salinos o húmedos.

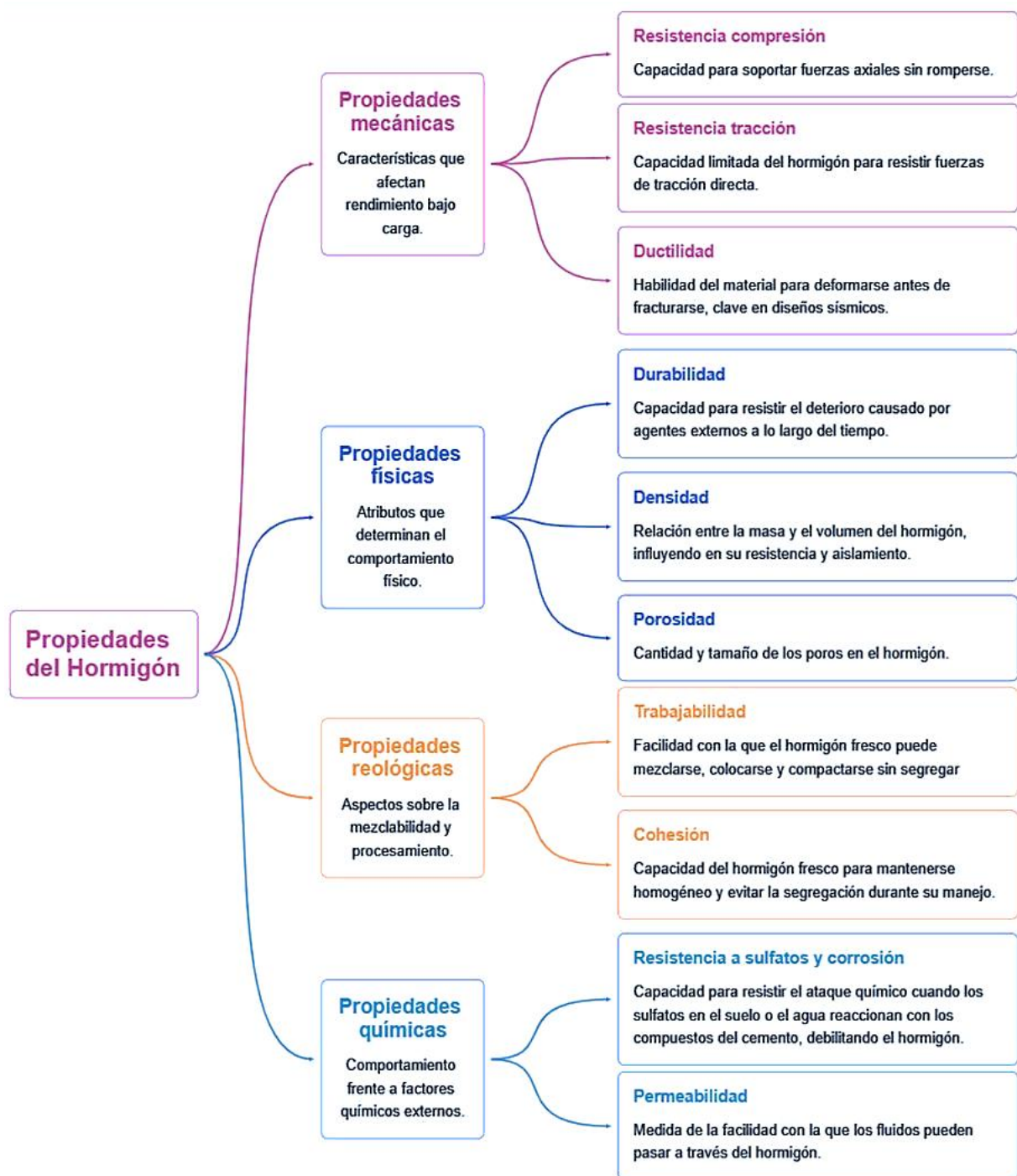
La permeabilidad es una de las propiedades más importantes para garantizar la durabilidad del hormigón, ya que se refiere a la capacidad para permitir el paso de agua y otros líquidos. Un concreto de baja permeabilidad es más resistente a la acción de agentes corrosivos y, por lo tanto, más duradero. Sánchez-Mendieta et al. (2024) concluyen que la permeabilidad se reduce significativamente cuando se controla la relación agua/cemento y se eligen agregados de baja porosidad. Esto es particularmente relevante para proyectos de construcción en regiones con climas extremos o donde el concreto estará en contacto con agua subterránea o agentes agresivos.

La porosidad se refiere al volumen de los poros dentro de la matriz del concreto, los cuales pueden estar llenos de aire, agua o sustancias químicas. Un aumento en la porosidad generalmente reduce la densidad del hormigón, lo que a su vez afecta negativamente su resistencia a la compresión y durabilidad. Sánchez-Mendieta et al. (2024) demostraron que un incremento en la relación agua/cemento y en el contenido de vacíos conduce a una disminución de la densidad y la resistencia a la compresión del concreto, mientras que se observa un aumento en la porosidad. Este aumento de porosidad también se correlaciona con un incremento en la permeabilidad, lo que facilita la penetración de agua y agentes agresivos. La relación inversa entre porosidad y resistencia a la compresión subraya la importancia de

controlar estos parámetros en el diseño de mezclas para asegurar la integridad estructural y la durabilidad del hormigón.

Ilustración 2

Principales Propiedades del Hormigón



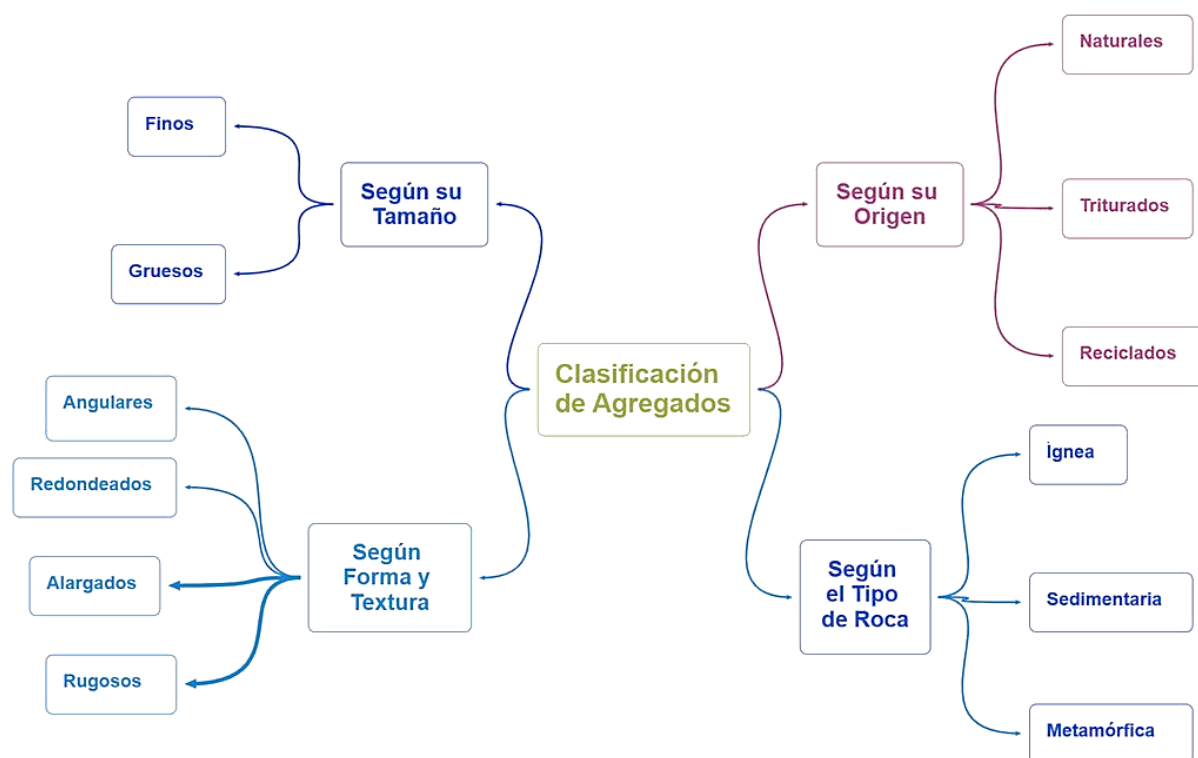
Nota: Este diagrama organiza y explica las principales propiedades del hormigón, clasificadas en mecánicas, físicas, reológicas y químicas. Elaborado por Natasha Moyano.

3.3 Agregados para Hormigón

Los agregados son componentes fundamentales en la fabricación del hormigón, aportando volumen, resistencia y estabilidad a la mezcla. Se dividen principalmente en agregados finos y gruesos, clasificados según su tamaño, forma y origen petrográfico. La correcta clasificación y comprensión de las características de los agregados son esenciales para el diseño adecuado de mezclas de hormigón que cumplan con los requisitos estructurales y de durabilidad.

Ilustración 3

Clasificación de los agregados para hormigón según su origen, tamaño, forma y tipo de roca



Nota: Diagrama elaborado por Natasha Moyano para ilustrar las diferentes clasificaciones de los agregados utilizados en la producción de hormigón.

3.3.1 Clasificación Según su Origen

Los agregados se pueden clasificar según su origen, esto permite aprovechar los recursos disponibles de manera eficiente. Neville (1999) clasifica los agregados en naturales, triturados y reciclados.

- Los agregados de origen natural son procedentes de fuentes como canteras, ríos o depósitos sedimentarios. Los agregados naturales, extraídos de canteras y ríos, presentan características variadas en función de la geología del lugar de extracción (Núñez del Arco y Dugas, 1985)
- Si son de origen artificial incluyen agregados triturados, que se obtienen mediante la fragmentación mecánica de rocas. Son angulares, rugosos y ofrecen mayor resistencia mecánica.
- Por otro lado, los agregados de origen reciclado suelen derivar de desechos de construcción y demolición. Su uso, promovido por la sostenibilidad, está regulado por normas específicas para garantizar un desempeño adecuado. Aunque su calidad es variable, su uso está en aumento, impulsado por la necesidad de reducir los desechos y aprovechar los recursos disponibles (Monje Yovera et al, 2024).

Además de clasificar los agregados según su origen geológico (naturales, triturados o reciclados), Neville (1999) y otros autores amplían esta clasificación bajo el criterio de tipo de roca. Los agregados pueden clasificarse según la roca madre de la que provienen, lo que influye en sus propiedades mecánicas y químicas. Esta clasificación también se puede considerar parte de la composición mineralógica, ya que el tipo de roca determina la naturaleza mineral de los agregados.

Neville (1999) y Mehta y Monteiro (2014) coinciden en que el tipo de roca tiene un impacto directo en la durabilidad, resistencia a la abrasión, y las características de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados. Dependiendo de su origen geológico, los

agregados se dividen en diferentes tipos de rocas, y cada uno tiene propiedades únicas que influirán en el desempeño final del hormigón.

Las rocas silíceas, como el cuarzo y el granito, son ampliamente utilizadas debido a su alta dureza y resistencia a la abrasión. Estas rocas, compuestas principalmente de sílice (SiO_2), son muy duraderas y no reaccionan fácilmente con los compuestos de la pasta de cemento. Como resultado, los agregados derivados de estas rocas son ideales para hormigones estructurales que requieren alta resistencia y durabilidad a largo plazo (Neville, 1999). Estos agregados resisten la abrasión y la penetración de agua, lo que ayuda a prevenir la corrosión y el desgaste a lo largo del tiempo.

Las rocas ígneas, como el basalto, son ampliamente utilizadas debido a su alta resistencia a la compresión y su gran dureza. Estas rocas se forman a partir del enfriamiento y solidificación del magma, lo que les confiere una estructura densa y resistente. Los agregados basálticos son ideales para hormigones que estarán expuestos a altas cargas y condiciones de desgaste, como en carreteras de alto tráfico y estructuras de ingeniería civil que requieren resistencia dinámica (Neville, 1999). Según Mehta y Monteiro (2014), las rocas basálticas son un ejemplo típico de roca ígnea utilizada como agregado en concreto, especialmente por su alta dureza y resistencia a la abrasión. Los agregados provenientes de rocas ígneas, como el basalto, son ideales para hormigones estructurales que están sujetos a altas cargas y condiciones agresivas como carreteras, puentes y pavimentos.

Las rocas sedimentarias se forman a partir de la acumulación de sedimentos que, con el tiempo, se compactan y cementan. Estos agregados son generalmente menos resistentes que los provenientes de rocas ígneas, ya que tienen una estructura más porosa y menos densa. Mehta y Monteiro (2014) mencionan que los agregados derivados de rocas sedimentarias, como la caliza, suelen ser más trabajables debido a su mayor facilidad de extracción y procesamiento, pero su resistencia a la abrasión es inferior.

Por otro lado, las rocas metamórficas se forman cuando rocas ígneas o sedimentarias son sometidas a condiciones de presión y temperatura extremas, lo que altera su estructura mineralógica y física. Según Mehta y Monteiro (2014), las rocas como el mármol y la pizarra son ejemplos de agregados derivados de rocas metamórficas. Estos agregados suelen tener una alta resistencia debido a los cambios en su estructura interna causados por el proceso metamórfico.

Tabla 2

Clasificación General de los Agregados Naturales Dependiendo del Tipo de Roca y su Origen

Grupo	Tipos de rocas
Grupo Basalto	Andesita, Basalto, Porfídita Básica, Diabasa de todos tipos, incluídas teralita y teschenita, Epidiorita, Lamprofira, Dolorita de cuarzo, Spilita
Grupo Gabro	Diorita básica, Gabro, Gneis Hornblenda, Roca Hornablenda, Norita, Peridotita, Piorita, Serpentina
Grupo Pedernal	Cuarzo, Pedernal
Grupo Arena (incluye rocas volcánicas fragmentadas)	Arcosa, Roca gris de arenisca, Granos de arena, Arnilla, Tufo
Grupo Pórfido	Dacita, Felsita, Granofiro T, Keratofiro, Microgranito, Porfido, Porfirida-Cuarzo, Riolita, Traquita
Grupo Caliza	Dolomita, Caliza, Mármol
Grupo Cuarcita	Piedra silicosa, Arenillas cuarcíticas, Cuarcita recrystalizada
Grupo Esquisto	Filita, Esquisto, Pizarra, Todas las rocas severamente cizalladas
Grupo Granito	Gneis, Granito, Granodiorita, Granulita, Pegmatita, Diorita-cuarzo, Sienita
Grupo Hornfels	Rocas alteradas de todos tipos, excepto mármol

Nota: Clasificación del tipo de roca de agregados naturales. Tomado de Neville Adam (1999).

3.3.2 Clasificación Según su Tamaño

De acuerdo con Neville (1999), los agregados se dividen en dos categorías principales según su tamaño máximo nominal, y su granulometría, es decir, la distribución de las partículas del agregado. Los agregados finos son partículas que pasan por un tamiz de 4.75 mm, comúnmente conocidas como arena. Por otro lado, los agregados gruesos comprenden partículas mayores a 4.75 mm, como grava y piedra triturada (Neville, 1999). Esta clasificación se basa en normativas estándar que facilitan la selección y dosificación de los agregados en función de las propiedades deseadas del hormigón.

Los agregados finos garantizan una distribución uniforme de los componentes, mientras que los gruesos confieren resistencia mecánica y rigidez. Esta dualidad es indispensable para obtener una mezcla balanceada en términos de trabajabilidad y resistencia.

Esta clasificación básica está respaldada por normas internacionales como la *American Society for Testing and Materials* (ASTM C33) y *British Standard* (BS 812), que especifican límites granulométricos y características mínimas que deben cumplir los agregados para su uso en hormigón estructural.

3.3.3 Clasificación Según su Forma y Textura Superficial

La clasificación de los agregados no solo se realiza por su tamaño, sino también por su forma y textura superficial. Según Neville (1999), los agregados pueden ser redondeados, angulares o alargados, y su forma influye significativamente en la trabajabilidad del hormigón. Los agregados redondeados tienden a mejorar la fluidez de la mezcla debido a su menor fricción interna, mientras que los angulares y alargados aumentan la resistencia al movimiento, lo que puede requerir una mayor cantidad de agua para mantener la trabajabilidad (Mehta y Monteiro, 2014).

En cuanto a la textura superficial, los agregados rugosos favorecen la adherencia en la zona de transición interfacial (ITZ), que es la región más débil del hormigón (Mehta &

Monteiro, 2014). La forma y textura de los agregados son determinantes en la trabajabilidad y resistencia final del hormigón. Como menciona Ferić et al. (2023) mientras los agregados redondeados mejoran la trabajabilidad y la distribución uniforme de fuerzas internas, favoreciendo la durabilidad y las propiedades mecánicas. Es decir, los agregados con forma suavizada son ideales para aplicaciones que requieren alta fluidez, y los angulares son preferibles en estructuras que demandan mayor resistencia. La selección debe hacerse considerando las exigencias específicas del proyecto y equilibrando trabajabilidad y durabilidad.

Tabla 3

Clasificación Según Forma de los Agregados

Forma	Descripción	Ejemplos
Redondeado	Completamente desgastada por agua o fricción	Grava de río o playa, arena del desierto, de la playa o del viento
Irregular	Naturalmente irregular, o parcialmente moldeada 1 por fricción y con bordes pulidos	Otras gravas, pedernal de tierra o excavado
Escamosa	Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dimensiones	Roca laminada
Angular	Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas	Roca triturada de todos tipos, escorias trituradas
Alargada	Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones	
Escamosa y alargada	Material con longitud considerablemente mayor que el ancho, y ancho considerablemente mayor que el espesor	

Nota: Tomado de Neville Adam (1999)

Tabla 4

Clasificación Según Textura Superficial de los Agregados

Textura de la			
Grupo	superficie	Característica	Ejemplos
1	Vidriosa	Fractura concoidal	Pedernal negro, escoria vítrea
2	Pulida	Desgastada por agua, o debido a fractura de laminado o roca de grano fino	Gravas, esquistos, pizarra, mármol, algunas riolitas
		Fracturas que muestran granos	
3	Granulosa	uniformes más o menos pulidos	Areniscas, oolita
4	Rugosa		
5	Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos	
		fácilmente visibles	Granito, gabro, gneis
6	Panal de abeja	Con cavidad y poros visibles	Ladrillo, pómez, escoria espumosa, ladrillo vítreo,
			barro expandido

Nota: Tomado de Neville Adam (1999)

3.3.4 Clasificación Según su Composición Mineralógica

La composición mineralógica de los agregados es otro criterio para su clasificación. Según Neville (1999), los agregados pueden ser silíceos (cuarzo, ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita), feldespatos, minerales de mica, minerales de carbonato, minerales de sulfato, minerales de sulfuro de hierro, minerales ferromagnésicos, zeolitas, óxidos de hierro y minerales arcillosos. Además, menciona que para poder identificar las características de los agregados es útil su clasificación mineralógica, pero esta no ofrecerá datos fundamentales para anticipar su conducta en situaciones concretas, dado que no existen minerales de uso universal y pocos ofrecen resultados inalterablemente negativos. Por tanto, esta variable no explica por completo su comportamiento en estructuras de concreto.

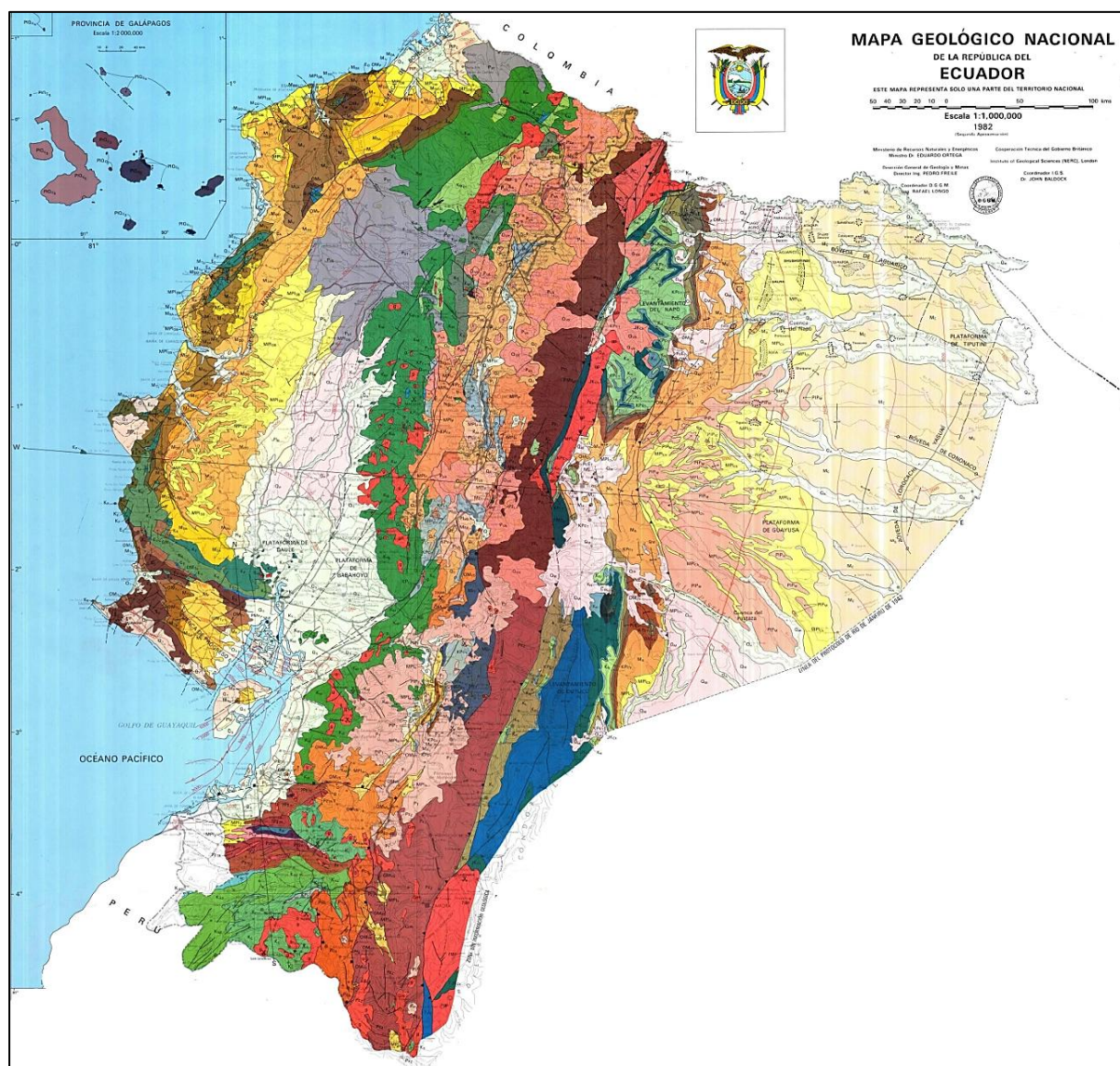
3.4 Formaciones Geológicas del Ecuador

El Ecuador presenta una geología diversa y compleja que se manifiesta en una amplia variedad de formaciones rocosas. Estas formaciones son el resultado de procesos tectónicos, sedimentarios y volcánicos que han moldeado el territorio a lo largo de millones de años. Estas formaciones incluyen rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas propiedades varían según su origen y evolución. La importancia de comprender estas formaciones radica en su aplicación práctica, especialmente en la industria de la construcción, donde actúan como fuentes de materiales esenciales, como los agregados gruesos utilizados en el hormigón.

El mapa geológico del Ecuador (Ilustración 4) ilustra la distribución de estas formaciones, destacando la región costera como un área clave para la extracción de materiales de construcción. Esta región incluye depósitos sedimentarios, rocas calcáreas y andesitas, todas utilizadas ampliamente en la industria de la construcción.

Ilustración 4

Mapa Geológico Nacional de la República del Ecuador (1982)



Nota. Mapa Geológico Nacional del Ecuador, elaborado por el Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, con la cooperación técnica del Gobierno Británico y el Instituto of Geological Sciences (1982).

3.4.1 Principales Formaciones Geológicas

El Ecuador cuenta con una gran diversidad de formaciones geológicas que reflejan su compleja historia tectónica y geológica. Estas formaciones, que abarcan desde el Cretácico hasta el Cuaternario, tienen una relevancia significativa tanto científica como práctica,

especialmente en la industria de materiales de construcción. A continuación, se presenta un resumen de las principales formaciones geológicas del país, incluyendo su edad, litología característica y espesores aproximados

Tabla 5

Distribución de Formaciones Geológicas en la Región Norte-Central de la Costa

Era	Periodo	Época	Símbolo	Nombre	Litología	Espesor
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	QTm	Terraza Marina	Arcillas marinas de estuario	
			QLa	Llanura Aluvial	Arcillas, Limos y Arenas	
			QAa	Depósitos de Abanico Aluvial	Cantos rodados polilíticos en matriz areno-limo-arcillosa	
	Neógeno	Plioceno	PLQPch	Formación Pichilingue	Terrazas, Sedimentos Fluviales	2000-3000 m
			PL?St	Formación San Tadeo	Abanico Volcánico, Lahares	100 m
			MPLBp	Formación Borbón	Areniscas Tobáceas	300 m
		Mioceno	MOz	Formación Onzole	Lutitas, Limolitas	0-550 m
			MAg	Formación Angostura	Coquinas, Areniscas, Lodolitas	0-600 m
			MV	Formación Viche	Lutitas, Areniscas	400-1000 m
	Paleógeno	Oligoceno	OP	Formación Pambil	Arenas Finas y Lodolitas	750 m
			OPr	Formación Playa Rica	Lutitas, Areniscas	750 m
		Eoceno	EZ	Formación Zapallo	Conglomerados, Areniscas y Lutitas	500 m

Mesozoico	Cretácico		ESm	Formación San Mateo	Areniscas y Conglomerados	800 m
			EPo	Formación Punta Ostiones	Calizas y Lodolitas	200 m
			KCy	Formación Cayo	Grauvaca y Lutitas	1600 m
			KPñ	Formación Piñón	Lavas Basálticas, Tobas y Brechas	3000 m

Nota. Principales formaciones geológicas del Ecuador, con información sobre sus eras, períodos, litología y espesores. Adaptado de Wolf, T. (1892), *Geografía y geología del Ecuador; publicada por orden del supremo gobierno de la república.*

Tabla 6

Distribución de Formaciones Geológicas en la Región Sur-Central de la Costa

Era	Periodo	Época	Símbolo	Nombre	Litología	Espesor
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	QTm	Terraza Marina	Arcillas marinas de estuario	
			QLa	Llanura Aluvial	Arcillas, Limos y Arenas	
			QAa	Depósitos de Abanico Aluvial	Cantos rodados polilíticos en matriz areno-limo-arcillosa	
	Neógeno	Plioceno	PIT	Formación Tablazo	Terrazas Marinas Bioclásticas	75-225 m
			PLB	Formación Balzar	Arenas, Conglomerados y Arcillas	300 m
			PLPu	Formación Puma	Lutitas, Arcillas y Arenas	1000 m

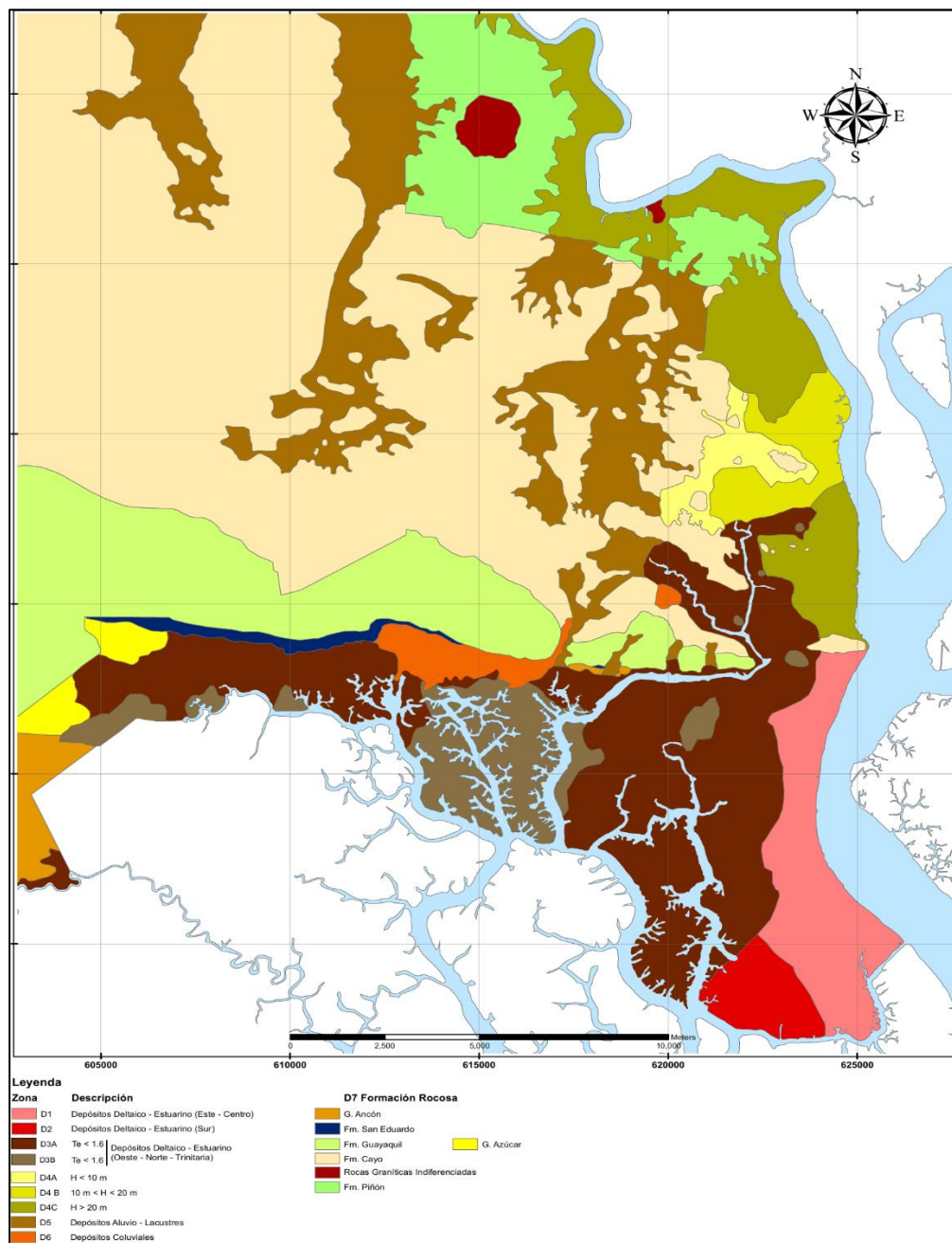
		Mioceno	M?Qs	Formación Quebrada Seca	Areniscas, Conglomerados y Limolitas	
			MPg	Formación Progreso	Areniscas, Limolitas y Lutitas	2700 m
			MSb	Formación Subibaja	Limolitas Calcáreas	550 m
			MVg	Formación Villingota	Lutitas y Areniscas	250-650 m
	Paleógeno	Oligoceno	OMDb	Formación Dos Bocas	Lutitas y Lodolitas	2400 m
			OZ	Formación Zapotal	Conglomerados, Areniscas Tobáceas y Lutitas	1000 m
		Eoceno	ESe	Formación San Eduardo	Calizas y Lutitas	200 m
			EAn	Grupo Ancón	Turbiditas, Lutitas	
		Paleoceno	PcAz	Grupo Azúcar	Lutitas, Areniscas y Conglomerados	
Mesozoico	Cretácico		KPcGy	Formación Guayaquil	Lutitas Silíceas	200 m
			KCy	Formación Cayo	Grauvaca, Lutitas, Mantos Basálticos	1600 m
			KPñ	Formación Piñón	Lavas Basálticas, Tobas y Brechas	3000 m

Nota. Adaptado de Wolf, T. (1892), *Geografía y geología del Ecuador*; publicada por orden del supremo gobierno de la república.

En el caso particular del área de estudio, el Mapa Geológico de Guayaquil (Ilustración 5) permite identificar con mayor detalle las zonas de afloramiento de las Formaciones.

Ilustración 5

Mapa Geológico y de Microzonificación Geotécnica de la Ciudad de Guayaquil



Nota. Distribución de las formaciones geológicas y unidades geotécnicas en la ciudad de Guayaquil, según el estudio de Microzonificación Geotécnica realizado por Geo Estudios bajo la dirección del Ing. Xavier Vera Grunauer MSc. PhD. (Escala 1:100,000, mayo 2014).

A continuación, se detalla la relevancia de las Formaciones San Eduardo y Piñón, dado su papel en el suministro de agregados para las canteras de estudio en esta investigación.

3.4.2 Formación San Eduardo

La Formación San Eduardo, de edad Eoceno Medio, se caracteriza por la presencia de calizas fosilíferas bien consolidadas, con lechos intercalados de lutitas silicificadas y nódulos de chert. Esta formación aflora principalmente en el Cerro San Eduardo, ubicado al oeste de Guayaquil, y constituye una fuente primordial de calizas para la producción de cemento (Arévalo Ochoa, 2021).

La composición química de estas calizas es homogénea y presenta un alto contenido de carbonato de calcio, lo que las hace ideales para aplicaciones estructurales y químicas en la industria cementera. De hecho, se estima que la Formación San Eduardo aporta aproximadamente el 70% de la producción nacional de cemento, con un volumen diario de 6,000 toneladas (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgica, 2016).

Los agregados derivados de la Formación San Eduardo se caracterizan por su alta resistencia a la compresión y su buena adherencia con la pasta de cemento, factores clave para garantizar la durabilidad del hormigón. Además, su baja porosidad reduce la absorción de agua, mejorando las propiedades mecánicas y químicas del material endurecido (Arévalo Ochoa, 2021).

3.4.3 Formación Piñón

La Formación Piñón, de edad terciaria, se encuentra compuesta principalmente por rocas ígneas como andesitas, basaltos, dioritas y gabros. Estas rocas, originadas en procesos volcánicos y plutónicos, son conocidas por su dureza y resistencia a la abrasión (Nuñez & Dugas, 1986). Estas rocas, originadas en procesos volcánicos y plutónicos, son conocidas por su dureza y resistencia a la abrasión (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero

Metalúrgica, 2016). Los materiales extraídos de esta formación, particularmente las andesitas y los basaltos, son utilizados ampliamente como lastre para ferrocarriles, agregados para hormigón estructural y bases para pavimentos. Su alta densidad y baja porosidad los convierten en opciones ideales para proyectos que requieren una alta resistencia al desgaste y a las cargas mecánicas (Arévalo Ochoa, 2021).

Ambas formaciones presentan propiedades únicas que las hacen valiosas como fuente de agregados para el hormigón. Mientras que la Formación San Eduardo destaca por su composición calcárea y aplicación en la industria cementera, la Formación Piñón sobresale por la dureza y resistencia de sus rocas ígneas.

La diversidad geológica del Ecuador es clave para el suministro de materiales de construcción. Las Formaciones San Eduardo y Piñón ejemplifican cómo las características geológicas determinan las propiedades de los agregados y su idoneidad para diferentes aplicaciones. Una comprensión detallada de estas formaciones no solo mejora la selección de materiales, sino que también optimiza los procesos de construcción y garantiza la durabilidad de las estructuras.

3.5 Impacto de la Geología en los Agregados

Los agregados son componentes fundamentales del hormigón, y su calidad está intrínsecamente vinculada a las propiedades geológicas del material del que provienen. Estas propiedades, que incluyen su composición mineralógica, textura, forma y resistencia mecánica, influyen significativamente en el rendimiento del hormigón fresco y endurecido. La elección adecuada de los agregados depende de una comprensión detallada de su origen geológico, ya que este determina su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y exposición ambiental.

3.5.1 Composición Mineralógica de los Agregados

La composición mineralógica de los agregados está directamente relacionada con el tipo de roca de la que se originan. Los agregados provenientes de rocas ígneas, como el granito y el basalto, están compuestos predominantemente por minerales duros y resistentes como el cuarzo y los feldespatos, lo que les otorga una alta densidad y resistencia mecánica. Estos materiales son ideales para aplicaciones estructurales de alta exigencia, como puentes y edificios de gran altura (F. G. Bell, 2007).

En contraste, los agregados derivados de rocas sedimentarias, como las calizas, tienden a tener una menor resistencia y mayor porosidad debido a su composición rica en carbonatos. Este tipo de agregado puede ser susceptible a ataques químicos, especialmente en ambientes con alta concentración de sulfatos, lo que puede comprometer la durabilidad del hormigón (Núñez del Arco y Dugas, 1985). Por otro lado, las rocas metamórficas, como los esquistos y las cuarcitas, ofrecen propiedades intermedias y pueden ser una buena opción en ciertas aplicaciones debido a su equilibrio entre dureza y trabajabilidad.

3.5.2 Textura y Forma de los Agregados

La textura y forma de los agregados también están definidas por su origen geológico y los procesos que han experimentado. Los agregados angulares y rugosos, comunes en rocas ígneas y metamórficas, tienen superficies que mejoran la adherencia mecánica con la pasta de cemento, aumentando así la resistencia a la tracción y flexión del hormigón endurecido (Bell, 2007). Sin embargo, esta misma rugosidad incrementa la fricción interna en la mezcla fresca, dificultando su trabajabilidad.

En contraste, los agregados redondeados, típicos de los depósitos aluviales, tienen una menor fricción interna, lo que facilita la mezcla y la compactación del hormigón fresco. No obstante, su menor área de contacto con la pasta de cemento puede comprometer la

resistencia general del material. Este equilibrio entre trabajabilidad y resistencia debe considerarse cuidadosamente en el diseño de mezclas (Núñez del Arco, 1985).

Desde su composición mineralógica hasta su textura y forma, cada aspecto influye en las propiedades del hormigón fresco y endurecido. Comprender la relación entre la geología de los agregados y sus propiedades es esencial para garantizar estructuras duraderas y eficientes.

3.5.3 Propiedades Mecánicas de los Agregados

La resistencia mecánica de los agregados es otro factor crítico que está determinado por su origen geológico. Las rocas ígneas, como el basalto, ofrecen una alta resistencia a la compresión y al impacto, lo que las hace ideales para aplicaciones sometidas a cargas elevadas o condiciones de desgaste extremo. En cambio, las rocas sedimentarias con alta porosidad, como algunas calizas, pueden fracturarse más fácilmente bajo carga, reduciendo la capacidad del hormigón para resistir esfuerzos prolongados. Este comportamiento varía según las propiedades intrínsecas del material, como el peso específico, la resistencia a la compresión y la porosidad, que están determinadas por el tipo de roca y su composición mineralógica (F. G. Bell, 2007).

La Tabla 7 resume las principales propiedades físicas y mecánicas de distintos grupos de rocas utilizadas como agregados en el hormigón. Estos datos ilustran cómo las características geológicas, como el peso específico, la resistencia a la compresión y la porosidad, afectan directamente el desempeño de los agregados y, en consecuencia, las propiedades del hormigón.

Tabla 7

Propiedades físicas y mecánicas de diferentes grupos de rocas utilizadas como agregados en el hormigón

Grupo de la roca	Peso específico	Rango de pesos específicos	Promedio de Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)	Rango de Porosidad (%)
Granito	2.69	2.6-3.0	1842	0.4-3.8
Arenisca	2.69	2.6-2.9	1336	0.0-48.0
Caliza	2.66	2.5-2.8	1617	0.0-37.6
Cuarcita	2.62	2.6-2.7	2566	1.9-15.1

Nota. Datos adaptados del libro Tecnología del concreto de Neville (1999), incluyendo información sobre peso específico, resistencia a la compresión y porosidad de los materiales más utilizados como agregados.

Como se observa en la Tabla 7, las rocas ígneas como el granito tienen un peso específico elevado y una resistencia a la compresión significativa, características que las hacen ideales para estructuras de alta exigencia, como puentes y rascacielos. En contraste, las areniscas, aunque comparten un rango de pesos específicos similar, presentan menor resistencia a la compresión y una mayor porosidad en comparación con el granito. Esto puede limitar su uso en aplicaciones donde se requiere una alta durabilidad frente a condiciones agresivas.

Un aspecto adicional es la relación entre la porosidad y la durabilidad del hormigón. Por ejemplo, los agregados con menor porosidad, como las cuarcitas, muestran no solo una resistencia mecánica destacable, sino también una mayor capacidad para resistir ciclos de congelación y deshielo. En cambio, los agregados derivados de rocas sedimentarias, como las

calizas, pueden ser más susceptibles a fracturas y al deterioro químico cuando se exponen a ambientes hostiles.

Además, la reactividad química de ciertos agregados debe considerarse en el diseño estructural. Las rocas que contienen minerales reactivos, como los silicatos amorfos presentes en algunos basaltos, pueden causar reacciones álcali-sílice con los componentes del cemento. Este fenómeno, conocido como reacción álcali-sílice (RAS), puede provocar fisuras perjudiciales en el hormigón, comprometiendo su integridad estructural (F. G. Bell, 2007).

3.5.4 Relación Geológica y Durabilidad

La durabilidad del hormigón está estrechamente vinculada a las propiedades de los agregados, que a su vez están determinadas por su origen geológico. Los agregados con alta porosidad, comunes en rocas sedimentarias, tienden a absorber más agua, lo que puede llevar a problemas como el deterioro por ciclos de congelación y deshielo o ataques químicos. Por el contrario, los agregados densos y de baja porosidad, como los derivados de rocas ígneas, ofrecen una mayor resistencia a estos factores, aumentando la vida útil de las estructuras de hormigón (Núñez del Arco, 1985).

3.6 Influencia de los Agregados en el Hormigón

Como se mencionó anteriormente, los agregados constituyen entre el 60% y 80% del volumen total del hormigón, desempeñando un papel crucial en la determinación de sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Su función principal es actuar como material de relleno, reduciendo la cantidad de pasta de cemento necesaria y mejorando la estabilidad dimensional del compuesto. Sin embargo, más allá de esta función básica, las características físicas, mecánicas y químicas de los agregados tienen un impacto directo en las propiedades del hormigón, en consecuencia, diferentes factores relacionados con los

agregados influyen en las propiedades del hormigón, considerando aspectos como la trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y propiedades físicas.

3.6.1 Influencia en el Hormigón Fresco

La influencia de los agregados en el hormigón fresco está directamente relacionada con su desempeño en las etapas iniciales de mezcla, transporte, colocación y compactación. En esta fase, las propiedades de los agregados, como su granulometría, forma, textura y capacidad de absorción de agua determinan la facilidad con la que la mezcla puede ser trabajada y su comportamiento en estado plástico. Estos factores son esenciales para garantizar la homogeneidad y calidad del hormigón final.

Trabajabilidad

Granulometría: La distribución del tamaño de las partículas, reflejada en la curva granulométrica, es clave para garantizar la consistencia y cohesión de la mezcla de hormigón. Una granulometría bien equilibrada no solo facilita la compactación eficiente, sino que también mitiga problemas como la segregación de los materiales y la exudación de agua. Este equilibrio se logra al combinar adecuadamente partículas finas y gruesas, permitiendo que las más pequeñas llenen los vacíos entre las más grandes y mejoren la densidad general del material, lo que resulta en una mezcla más homogénea y resistente (Matallana Rodríguez, 2019)

El módulo de finura desempeña un papel fundamental en este proceso, ya que actúa como una brújula para evaluar la proporción de agregados finos. Como señalan diversos estudios, un módulo de finura apropiado tiene un impacto directo en la viscosidad y estabilidad de la mezcla, aspectos esenciales para la trabajabilidad del hormigón fresco y su desempeño posterior (Radica et al., 2024; Shi et al. (2024). Una dosificación bien diseñada no solo optimiza el manejo del material, sino que también establece las bases para una estructura duradera y confiable.

Forma y textura de las partículas: Las partículas angulares y rugosas incrementan la fricción interna de la mezcla, reduciendo su fluidez, pero mejorando la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados. Por otro lado, los agregados redondeados y lisos favorecen una mayor trabajabilidad debido a su menor demanda de agua. (Radica et al., 2024)

Absorción de agua: La capacidad de absorción de los agregados afecta la relación agua/cemento efectiva. Agregados con alta absorción pueden reducir la cantidad de agua disponible para la hidratación del cemento, disminuyendo la trabajabilidad y la resistencia inicial del hormigón. (Shi et al., 2024).

3.6.2 Influencia en el Hormigón Endurecido

La influencia de los agregados en el hormigón endurecido es parte decisiva para determinar sus propiedades mecánicas, durabilidad y comportamiento a largo plazo. Las características de los agregados, como su resistencia, forma, textura y composición mineralógica, afectan directamente la resistencia a la compresión, tracción y flexión del material.

Resistencia Mecánica

Resistencia propia de los agregados: La resistencia mecánica del hormigón está directamente influenciada por la resistencia de los agregados. Materiales como el basalto o el granito, con alta resistencia a compresión, mejoran la resistencia global del hormigón, especialmente en aplicaciones estructurales de alta exigencia (Zhuang et al., 2024).

Adherencia entre pasta de cemento y agregados: La zona de transición interfacial (ITZ) es el área donde se establece el contacto entre los agregados y la pasta de cemento. Una buena adherencia en esta región es fundamental para la resistencia a tracción y flexión del hormigón. La rugosidad superficial de los agregados mejora la adherencia mecánica y química (Radica et al., 2024).

Tamaño máximo del agregado (TMA): El TMA afecta tanto la resistencia a compresión como la trabajabilidad del hormigón. Mientras que agregados de mayor tamaño pueden reducir la cantidad de pasta necesaria, también pueden generar concentraciones de tensión en elementos estructurales delgados, comprometiendo su resistencia (Matallana Rodríguez, 2024).

Durabilidad

Resistencia a la abrasión e impacto: La dureza y tenacidad de los agregados determinan la resistencia del hormigón al desgaste superficial y al impacto. Este factor es especialmente relevante en aplicaciones como pavimentos y estructuras sometidas a cargas cíclicas (Shi et al., 2024).

Resistencia a los ciclos de hielo-deshielo: La porosidad de los agregados influye en la resistencia del hormigón a los daños por congelación y deshielo. Agregados con alta absorción pueden retener agua, lo que genera expansiones internas al congelarse, provocando fisuración (Matallana Rodríguez, 2024).

Reactividad álcali-sílice (RAS): Ciertos agregados contienen minerales reactivos que pueden interactuar con los álcalis del cemento, causando expansiones perjudiciales en el hormigón. Este fenómeno, conocido como reactividad álcali-sílice, es una de las principales causas de deterioro prematuro en estructuras de hormigón (Radica et al., 2024).

Resistencia a ataques químicos: La composición química de los agregados influye en la resistencia del hormigón a la acción de agentes agresivos como sulfatos y cloruros. Agregados con composiciones estables mejoran la durabilidad en ambientes hostiles (Shi et al., 2024).

Propiedades Físicas

Densidad: La densidad de los agregados afecta el peso unitario del hormigón, lo que es crucial en diseños estructurales donde se busca reducir el peso muerto sin comprometer la resistencia (Matallana Rodríguez, 2024).

Retracción por secado: La granulometría, absorción y módulo de elasticidad de los agregados afectan la retracción volumétrica del hormigón, lo que puede generar fisuras en etapas tempranas de secado (Radica et al., 2024).

Conductividad térmica: Finalmente, los agregados también influyen en la capacidad del hormigón para conducir el calor. Agregados con baja conductividad térmica son preferidos en aplicaciones donde se busca aislamiento térmico (Matallana Rodríguez, 2024).

La elección y control de los agregados son aspectos fundamentales en el diseño de mezclas de hormigón. Desde la trabajabilidad hasta la resistencia y durabilidad, cada característica de los agregados tiene un impacto significativo en el desempeño del material. Una comprensión profunda de estas influencias permite optimizar el uso de los agregados, garantizando estructuras más resistentes, durables y sostenibles.

3.7 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio son una etapa esencial en el análisis y caracterización de los materiales empleados en la construcción, particularmente en el diseño y evaluación del hormigón. Como se explicó anteriormente, las propiedades del hormigón están directamente influenciadas por las características de sus componentes, especialmente los agregados. Por ello, resulta fundamental realizar una serie de pruebas técnicas que permitan garantizar que estos materiales cumplan con los estándares de calidad requeridos para su uso en proyectos constructivos. Estas pruebas no solo validan la calidad de los materiales, sino que también

ayudan a prevenir posibles fallos estructurales, optimizan el diseño de mezclas de hormigón y aseguran el cumplimiento de las normativas técnicas nacionales e internacionales.

El hormigón, al ser un material compuesto, combina cemento, agua, agregados finos y gruesos, y otros aditivos, y cada uno de estos elementos tiene una influencia determinante en las propiedades finales del material, tanto en estado fresco como endurecido. Por ejemplo, características como la granulometría, la densidad, el peso unitario y la capacidad de absorción de los agregados afectan directamente aspectos críticos como la trabajabilidad del hormigón fresco, su resistencia mecánica y su durabilidad en el tiempo. Esto subraya la necesidad de realizar ensayos específicos que permitan evaluar estas propiedades y su impacto en el comportamiento del hormigón.

En este contexto, los resultados de los ensayos de laboratorio no solo proporcionan datos cuantitativos que permiten establecer relaciones entre las propiedades de los agregados y el desempeño del hormigón, sino que también aportan una base científica sólida para la toma de decisiones durante el diseño y ejecución de proyectos de construcción.

Como se destacó previamente, las formaciones geológicas del Ecuador, como la Formación San Eduardo y la Formación Piñón, representan fuentes clave de agregados utilizados en la industria de la construcción. Sin embargo, las características específicas de estos materiales deben ser evaluadas rigurosamente mediante ensayos de laboratorio para garantizar su idoneidad en la elaboración de hormigón. Estos ensayos siguen procedimientos normalizados que aseguran la confiabilidad y la repetibilidad de los resultados obtenidos, cumpliendo así con los estándares exigidos por la industria.

En definitiva, los ensayos de laboratorio no solo fortalecen la confianza en la calidad del material, sino que también permiten optimizar los recursos y garantizar estructuras más seguras y sostenibles. Además, su implementación conecta de manera directa con los fundamentos teóricos presentados previamente, destacando la importancia de comprender a

fondo las propiedades de los materiales y su relación con las condiciones específicas del proyecto. De este modo, los ensayos se convierten en un puente entre la teoría y la práctica, asegurando que el diseño del hormigón cumpla con los más altos estándares de calidad y desempeño.

3.7.1 Normas y Estándares Aplicados en los Ensayos

En los ensayos de laboratorio es fundamental cumplir con normativas técnicas que aseguren la uniformidad, confiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos. Estas normas han sido desarrolladas por instituciones nacionales e internacionales, y establecen procedimientos estandarizados para garantizar la calidad de los materiales y el cumplimiento de los requisitos en obras de construcción.

Instituciones Normativas

A continuación, se presentan las principales organizaciones responsables de emitir las normativas utilizadas en los ensayos realizados:

- American Society for Testing and Materials (ASTM)

La ASTM International es una organización internacional de normalización que desarrolla y publica estándares técnicos para una amplia variedad de materiales, productos, sistemas y servicios. En el ámbito del hormigón y sus componentes, las normas ASTM son reconocidas por su rigor y son ampliamente utilizadas en proyectos de ingeniería civil alrededor del mundo. Estas normativas definen procedimientos detallados para realizar ensayos como granulometría, densidad, absorción, resistencia a la compresión, entre otros.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

El INEN es el organismo oficial encargado de la normalización en Ecuador. A través de la emisión de las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE), se establecen estándares adaptados al contexto local que aseguran la calidad de los materiales y procedimientos

utilizados en proyectos de construcción. Estas normas son complementarias a las internacionales y permiten garantizar la compatibilidad y adecuación a las condiciones geográficas, climáticas y económicas del país.

El cumplimiento de las normas garantiza que los ensayos sean reproducibles y confiables. Además, permite que los resultados sean aceptados por instituciones reguladoras, ingenieros y contratistas, lo que asegura que los materiales cumplan con los requisitos técnicos y legales exigidos.

En este estudio, se aplicarán normas de ambas instituciones (ASTM e INEN) para cubrir tanto los requisitos globales como los específicos del contexto ecuatoriano. La combinación de estos estándares proporciona una base sólida para evaluar las propiedades de los agregados y del hormigón.

3.7.2 Granulometría

El ensayo de granulometría es una prueba fundamental en la caracterización de los agregados utilizados en la fabricación de concreto. Este ensayo permite determinar la distribución del tamaño de partículas en los agregados, un factor que influye significativamente en las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto, así como en su durabilidad, economía y desempeño en condiciones ambientales exigentes.

La granulometría de los agregados tiene una relación directa con aspectos fundamentales del concreto, como:

1. Compacidad y densidad del concreto: Una distribución adecuada de tamaños reduce los vacíos entre las partículas, mejorando la densidad y resistencia del concreto. Esto resulta en una mezcla más uniforme y con mayor capacidad para soportar cargas estructurales.

2. Trabajabilidad: Una buena gradación facilita el mezclado, transporte, colocación y compactación de la mezcla de concreto. Esto reduce el esfuerzo requerido durante el proceso constructivo y minimiza la posibilidad de segregación de los componentes.
3. Durabilidad: Una granulometría adecuada evita problemas como la segregación y la permeabilidad, los cuales pueden comprometer la vida útil del concreto. Además, contribuye a la resistencia frente a ciclos de congelación y deshielo, ataques químicos y otros factores ambientales adversos.
4. Compatibilidad con la matriz cementicia: Una distribución uniforme de tamaños mejora la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, lo que resulta en una transferencia más eficiente de las cargas internas.

Para realizar el ensayo de granulometría se emplean como referencia las normas ASTM C 33, ASTM C 136 y NTE INEN 0696

- **ASTM C 33**: Especifica los requisitos de calidad para los agregados finos y gruesos, incluyendo gradación, resistencia al desgaste, reactividad álcali-sílice y la presencia de sustancias perjudiciales. Establece límites máximos para contaminantes como arcillas, lignito y otras partículas que puedan afectar el comportamiento del concreto.
- **ASTM C 136 y NTE INEN 0696**: Establece el procedimiento para realizar el análisis granulométrico mediante tamices, determinando la distribución porcentual del tamaño de partículas. También incluye recomendaciones sobre el uso de equipos adecuados y los pasos necesarios para asegurar resultados precisos y reproducibles.

El ensayo se basa en el uso de un juego de tamices estandarizados. Estos tamices permiten dividir la muestra de agregado en fracciones de diferentes tamaños, las cuales se pesan para calcular la distribución porcentual acumulada. Este análisis es esencial para verificar el cumplimiento de los requisitos de gradación especificados en las normativas.

La norma ASTM C-33 proporciona las gradaciones requeridas del agregado grueso y fino para diferentes aplicaciones, destacando la importancia de cumplir con estas especificaciones para asegurar el desempeño del concreto.

Tabla 8

Requerimientos de Tamizado en Agregados Gruesos

Número De Tamaño	Tamaño Nominal (Tamices con apertura cuadrada)	Cantidades más finas que Cada Tamiz de Laboratorio (Abertura Cuadrada), Porcentaje Masa												
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 a 25 mm	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 a 19 mm	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 a 12.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 a 4.745 mm	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 a 2.36 mm	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	0 a 5

Nota. Tomado de ASTM C-33

Tabla 9

Requerimientos de tamizado en el Agregado Fino

Tamiz (Especificación E 11)	Porcentaje Pasando (%)
9.5 mm (¾ in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Nota. Tomado de ASTM C-33

La cantidad de muestra inicial necesaria depende del tamaño máximo nominal del agregado, según la siguiente tabla:

Tabla 10

Masa Mínima de la Muestra de Ensayo Según el Tamaño Máximo

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de Ensayo	
mm	pulg.	kg	Lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19,0	3/4	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1 1/2	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2 1/2	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3 1/2	100	220
100	4	150	330
125	5	300	660

Nota. Tomado de ASTM C-136

Cada fracción retenida en un tamiz se pesa y se calcula su porcentaje relativo respecto a la muestra total. Esto permite construir una curva granulométrica que refleja la distribución de los tamaños de partículas.

Adicionalmente, en el marco del análisis granulométrico, uno de los parámetros más representativos es el módulo de finura ya que resume la distribución granulométrica del agregado. Se calcula sumando los porcentajes acumulados retenidos en una serie estándar de tamices y dividiendo el resultado entre 100. La ecuación para calcular el módulo de finura es:

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100} \quad (1)$$

En el contexto de la granulometría, los resultados obtenidos permiten evaluar la calidad y la adecuación del agregado para su uso en concreto. La comparación entre diferentes agregados proporciona información clave sobre su influencia en propiedades como la resistencia mecánica, la trabajabilidad y la durabilidad. Asimismo, la determinación del

módulo de finura ayuda a ajustar proporciones en las mezclas y a predecir su comportamiento durante el proceso constructivo.

3.7.3 Determinación del Contenido Total de Humedad

El contenido de humedad en los agregados es un factor esencial para ajustar las proporciones de agua en las mezclas de concreto, ya que la cantidad de agua presente en los poros de los agregados puede afectar directamente la trabajabilidad y resistencia del concreto. El procedimiento para determinar el contenido de humedad se basa en la norma NTE INEN 0862, que establece un método estándar para medir este parámetro.

El ensayo consiste en pesar una muestra de agregado antes y después de secarla en un horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, hasta alcanzar masa constante. La humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{W - D}{D} * 100 \quad (2)$$

Donde: P = Contenido Total de Humedad Evaporable de la Muestra en Porcentaje

W = Masa de la Muestra Original en Gramos

D = Masa de la Muestra Seca en Gramos

Este procedimiento permite ajustar adecuadamente las proporciones de agua en las mezclas y garantizar un mejor control en las propiedades finales del concreto.

3.7.4 Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos

La norma ASTM C29 y NTE INEN 0858 establecen los procedimientos necesarios para calcular el peso unitario y el porcentaje de vacíos, que son esenciales para evaluar la calidad y la adecuación del agregado en aplicaciones como mezclas de concreto y mortero.

El ensayo evalúa el peso unitario de los agregados en tres condiciones diferentes: suelto, donde el agregado se coloca sin compactación; compactado con varilla, en el que se

utiliza una varilla para compactarlo manualmente; y compactado con vibrador, donde se emplea un dispositivo mecánico para realizar la compactación. Estos métodos permiten obtener valores precisos del peso unitario bajo diferentes condiciones.

El peso unitario se define como la masa del agregado por unidad de volumen ocupado, calculándose mediante la ecuación:

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (3)$$

Donde: M = Masa Unitaria (Peso Volumétrico) del Árido en Kg/m³

G = Masa del Árido Más el Molde en Kilogramos

T = Masa del Molde en Kilogramos

V = Volumen del Molde en m³

Este valor es crucial para determinar el rendimiento y la proporción adecuada de los materiales en una mezcla. Además, se calcula el contenido de vacíos, que compara la densidad del agregado con su peso unitario y se expresa como un porcentaje. Este porcentaje de vacíos permite evaluar la eficiencia del empaquetamiento del agregado y su interacción con otros componentes en una mezcla.

Para garantizar la consistencia de los resultados, la norma especifica requisitos para los moldes utilizados en el ensayo, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11

Requisitos para los Moldes

Capacidad del molde	Espesor mínimo del metal		
	Fondo	38 mm superiores de la pared ^A	Resto de la pared
Menor que 11 (litros)	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
De 11 litros a 42 litros incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 litros a 80 litros incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 litros a 133 litros incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

Nota. Tomado de NTE INEN 0858

La determinación del peso unitario y del porcentaje de vacíos permite optimizar las proporciones de la mezcla y prever el desempeño del concreto. La norma ASTM C29 ofrece una metodología estándar que asegura la calidad y consistencia en aplicaciones de ingeniería civil, siendo una herramienta clave en la evaluación y selección de materiales.

3.7.5 Determinación del Valor de la Degradación del Árido Grueso Mediante la Máquina de los Ángeles

El ensayo de abrasión de Los Ángeles está diseñado para determinar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos cuando son sometidos a fricción y golpes en condiciones controladas. Este ensayo es ampliamente utilizado en el campo de la ingeniería civil y la construcción, especialmente para evaluar la durabilidad de los agregados destinados a ser utilizados en pavimentos y otras estructuras de alto tráfico.

El objetivo principal del ensayo es medir la capacidad de los agregados gruesos para resistir la degradación mecánica provocada por la combinación de fricción y golpes entre las partículas de los agregados y unas esferas de acero en el interior de un tambor giratorio.

El proceso comienza con la determinación del tipo de muestra a ensayar, que puede corresponder a una de las gradaciones A, B, C o D. La gradación se elige de acuerdo con el tamaño de las partículas de los agregados y se prepara mediante un tamizado cuidadoso, asegurando que la muestra cumpla con la distribución granulométrica especificada en la Tabla 12. Una vez que la muestra ha sido clasificada y separada según su gradación, se selecciona la cantidad de esferas de acero y la masa de la carga de acuerdo con lo indicado en la Tabla 13.

Tabla 12

Gradación de las Muestras de Ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Nota. Tomado de NTE INEN 0860

Tabla 13

Especificaciones para la Carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota. Tomado de NTE INEN 0860

La Tabla 13 muestra las especificaciones para la carga abrasiva utilizada en el ensayo, incluyendo el número de esferas de acero y la masa total correspondiente a cada gradación. Estas especificaciones son esenciales para garantizar que el ensayo se realice de manera estandarizada y que los resultados sean comparables entre diferentes muestras y laboratorios.

3.7.6 Dosificación por el Método ACI 211.1

El método ACI 211.1-91 es una guía ampliamente aceptada para la dosificación de mezclas de concreto en proyectos de ingeniería. Este método se basa en principios prácticos y datos experimentales que permiten determinar las proporciones óptimas de los componentes del concreto, garantizando trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía. A

continuación, se describen en detalle los pasos fundamentales del método, con referencia a las tablas y fórmulas que guían cada etapa.

Resistencia a la Compresión Especificada

La resistencia a la compresión especificada del concreto, denotada como f'_c , es el parámetro principal utilizado en el diseño de mezclas según el método ACI 211.1. Este valor representa la capacidad del concreto endurecido para resistir esfuerzos de compresión axial, y se define como la resistencia promedio que se espera obtener en ensayos de compresión a los 28 días, bajo condiciones controladas de curado y temperatura.

La resistencia especificada no solo influye directamente en el diseño estructural, sino que también dicta la selección de otros parámetros de la mezcla, como la relación agua/cemento (a/c), el contenido de cemento y la calidad de los agregados. En este contexto, la resistencia a la compresión debe ser lo suficientemente alta para soportar las cargas de servicio previstas, pero también adecuada para cumplir con los requisitos de durabilidad y economía.

Relación entre f'_c y la Resistencia Promedio Requerida (f'_{cr})

Para garantizar que el concreto cumpla con la resistencia especificada en condiciones reales de construcción, se establece un margen de seguridad conocido como la resistencia promedio requerida (f'_{cr}). Este valor es mayor que f'_c y considera las posibles variaciones en los materiales, el proceso de mezcla y las condiciones de ensayo. El cálculo de f'_{cr} se realiza mediante fórmulas o tablas proporcionadas por el ACI, dependiendo del historial de control de calidad disponible:

1. Cuando hay datos históricos de resistencia:

Si se dispone de resultados previos de ensayos de resistencia, el ACI utiliza el coeficiente de variación y la desviación estándar para calcular f'_{cr} . Esto asegura que

un porcentaje mínimo de especímenes (generalmente el 90%) cumpla o exceda la resistencia especificada.

2. Cuando no hay datos históricos:

En ausencia de registros previos, el ACI establece valores conservadores para f'_{cr} basados en el nivel de control de calidad esperado. Esto permite un diseño seguro incluso en condiciones inciertas.

El valor de f'_{cr} es un punto de partida fundamental para la selección de la relación agua/cemento, ya que existe una relación directa entre ambas propiedades. Esta relación se expresa en las tablas del método ACI, que indican los valores recomendados de a/c en función de la resistencia deseada y las condiciones ambientales de exposición. Una resistencia más alta requiere generalmente una relación agua/cemento más baja, lo que implica un menor contenido de agua en la mezcla y, en algunos casos, el uso de aditivos para mejorar la trabajabilidad.

Elección del Asentamiento

El asentamiento, también conocido como slump, es una medida de la consistencia del concreto fresco y está directamente relacionado con su trabajabilidad. Representa la capacidad de la mezcla para fluir y llenarse adecuadamente en los encofrados, rodear el refuerzo y consolidarse sin segregación ni exudación excesiva. La selección del asentamiento es un paso clave en el diseño del concreto según el método ACI 211.1, ya que influye tanto en la calidad de la mezcla como en su facilidad de colocación.

Tabla 14

Asentamiento Máximo

Tipos de construcción	Revenimiento [cm]	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Nota. Tomado de ACI 211.1**Contenido de Agua y Aire**

El contenido de aire en el concreto es un parámetro crítico que afecta directamente su trabajabilidad, durabilidad y resistencia. En el diseño de mezclas de concreto según el método ACI 211.1-91, la selección del contenido de aire depende principalmente de las condiciones ambientales a las que estará expuesto el concreto, así como del tipo de elementos a construir.

El contenido de aire incluye dos tipos principales:

1. Aire atrapado: Es el aire que queda en la mezcla de concreto durante el proceso de mezclado, usualmente en cantidades pequeñas (entre 1% y 2%) y sin control intencional.
2. Aire incorporado: Se refiere al aire añadido intencionalmente mediante aditivos incorporadores de aire. Forma burbujas finamente distribuidas en la matriz del concreto, aumentando su resistencia a ciclos de congelación y deshielo y mejorando la durabilidad en ambientes agresivos.

Tabla 15

Cantidad de Agua Aproximada y Presencia de Aire para Diferentes Asentamientos Dados

Revenimiento [cm]	Agua. [Kg/m ³] para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo [pulg] indicado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido [%]	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	
Promedio recomendado de contenido de aire según el nivel de exposición [%]								
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5.5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Nota. Tomado de ACI 211.1**Selección de la Relación Agua/Cemento (a/c)**

Este factor determina la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad del hormigón, ya que establece la proporción entre la cantidad de agua y cemento utilizada en la mezcla. Una adecuada selección de esta relación es esencial para garantizar que el hormigón cumpla con las exigencias estructurales y ambientales del proyecto.

En primer lugar, la relación agua/cemento se define principalmente en función de la resistencia a compresión requerida a una edad determinada, generalmente a los 28 días. La norma ACI 211.1 proporciona tablas que correlacionan la resistencia a compresión del hormigón con diferentes relaciones A/C, permitiendo seleccionar el valor más adecuado según las necesidades del diseño estructural.

Tabla 16

Cálculo de la Relación Agua/Cemento

Resistencia a la compresión requerida (f_{cr}), Mpa *	Relación agua / material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
48	0.34	< 0.33 **
41	0.41	0.33
34	0.48	0.40
28	0.57	0.48
21	0.68	0.59
14	0.82	0.74

Nota. Tomado de ACI 211.1

Cálculo del Contenido de Cemento

El contenido de cemento se calcula utilizando la relación agua/cemento (A/C) previamente establecida y la cantidad de agua necesaria por metro cúbico de hormigón. La fórmula es la siguiente:

$$C = \frac{a}{a/c} \quad (4)$$

Donde: a = Cantidad de Agua (kg/m³)
 C = Cantidad de Cemento (Kg/m³)
 a/c = Relación Agua/Cemento

Estimación del Contenido de Agregado Grueso

La estimación del contenido de agregado grueso en el diseño de mezclas de hormigón según la norma ACI 211.1 se realiza considerando el tamaño máximo nominal del agregado y su módulo de finura. Este paso busca determinar la cantidad adecuada de agregado grueso.

Tabla 17

Volumen de Agregado Grueso Compactado por Unidad de Volumen de Concreto

Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen para concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,59
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota. Tomado de ACI 211.1

Estimación del Contenido de Agregado Fino

La estimación del contenido de agregado fino en el diseño de mezclas de hormigón según el método del ACI 211.1 se realiza como un paso complementario después de calcular los demás componentes de la mezcla (agua, cemento y agregado grueso). Este proceso asegura que el agregado fino complete el volumen restante, garantizando una mezcla adecuada en términos de trabajabilidad, cohesión y resistencia.

El contenido de agregado fino se determina de forma indirecta mediante el balance volumétrico de la mezcla. El volumen total de hormigón (1 m^3) se descompone en los volúmenes absolutos de agua, cemento, agregado grueso y aire (si corresponde). El volumen del agregado fino se calcula como el volumen restante necesario para completar el metro cúbico

Ajuste por Humedad de los Agregados

El ajuste por humedad de los agregados es un paso crucial en el diseño de mezclas de hormigón, ya que la cantidad de agua contenida en los agregados afecta directamente la

relación agua/cemento y la consistencia de la mezcla. Los agregados pueden encontrarse en diferentes condiciones de humedad, como secos, saturados y superficiales húmedos, lo que requiere ajustes en el contenido de agua y en la masa de los agregados para mantener la proporción de materiales conforme al diseño original.

El ajuste se realiza para cada tipo de agregado (grueso y fino) con base en su contenido de humedad y su absorción, determinadas previamente mediante ensayos de laboratorio.

3.7.7 Ensayo del Cono de Abrams

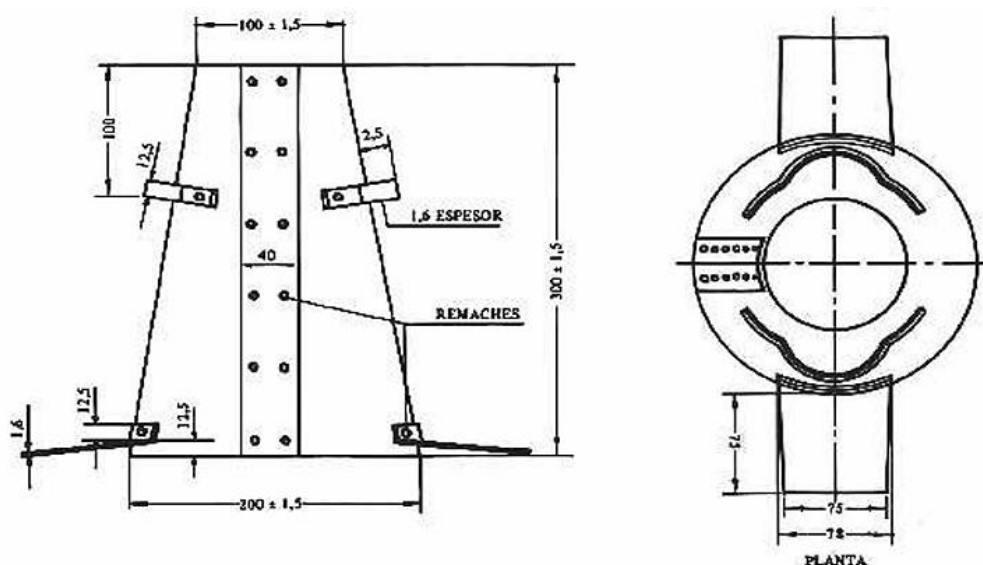
El ensayo del cono de Abrams es una de las pruebas más utilizadas en la industria de la construcción para evaluar la trabajabilidad del concreto fresco. Este ensayo, también conocido como prueba de asentamiento o "slump test", proporciona una medida indirecta de la consistencia del concreto y su capacidad para fluir bajo su propio peso.

Este ensayo está regulado por diversas normas internacionales y nacionales que garantizan la uniformidad y la validez de los resultados obtenidos. Algunas de las normas más relevantes incluyen la ASTM C-143 y NTE INEN 1578.

El principio básico del ensayo del cono de Abrams radica en medir la diferencia de altura entre un molde troncocónico lleno de concreto fresco y la altura del concreto tras su asentamiento al retirar el molde. Esta diferencia, conocida como "asentamiento" o "slump", se expresa en centímetros y es indicativa de la trabajabilidad del concreto.

Ilustración 6

Dimensiones y Características del Molde Utilizado en el Ensayo del Cono de Abrams



Nota. Tomado de NTE INEN 1578

3.7.8 Resistencia a Compresión Simple del Hormigón

La resistencia a compresión simple es una de las propiedades mecánicas más importantes del concreto y se determina mediante el ensayo de probetas cilíndricas. Este ensayo permite evaluar la capacidad del concreto endurecido para resistir cargas axiales y es clave en la validación del diseño estructural.

El proceso comienza con la preparación de especímenes cilíndricos según lo estipulado en la norma ASTM C31. Esta norma regula la preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto, asegurando condiciones estandarizadas que permitan obtener resultados representativos. Los cilindros se fabrican con dimensiones estandarizadas, usualmente de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, aunque en ciertos casos se emplean otras proporciones dependiendo de los requisitos específicos. Durante su elaboración, el concreto se coloca en capas dentro del molde y cada capa se compacta cuidadosamente utilizando una varilla o equipo mecánico para evitar la formación de vacíos.

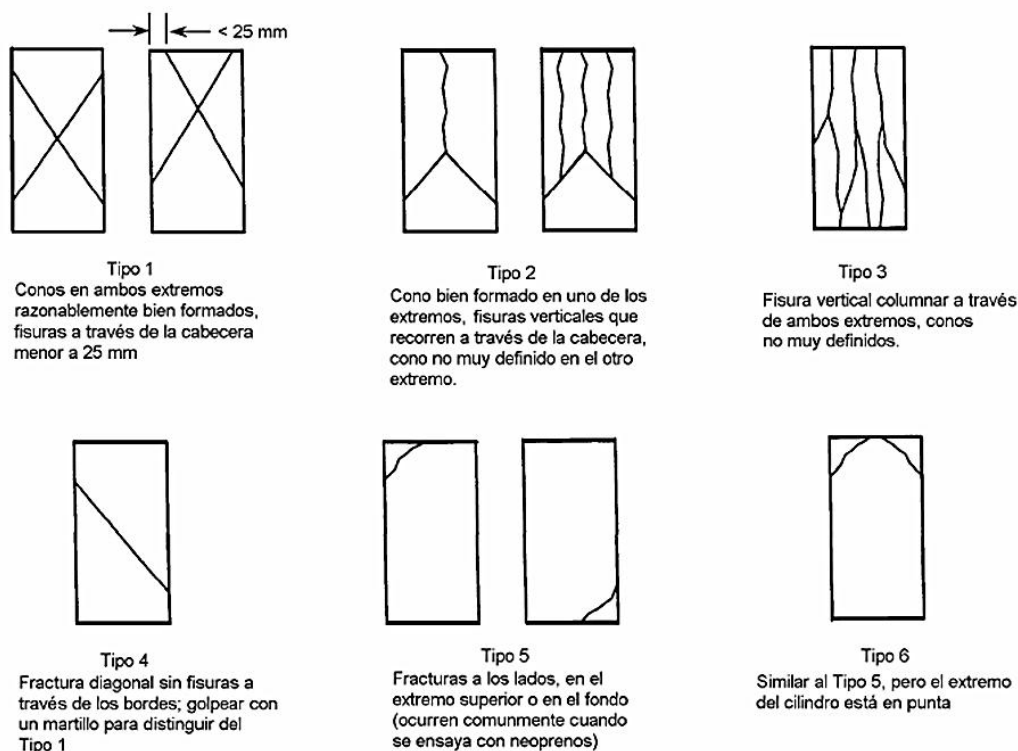
Tras la preparación, los especímenes deben ser curados en condiciones controladas para garantizar el desarrollo adecuado de las propiedades del concreto. Según la ASTM C31, los cilindros deben mantenerse en un ambiente húmedo o sumergidos en agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta el momento de la prueba.

El ensayo de resistencia a compresión propiamente dicho se realiza conforme a la norma ASTM C39, que establece el método estándar para evaluar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto. En este procedimiento, las probetas son colocadas en una máquina de ensayo que aplica una carga axial continua hasta que se produce la falla. La resistencia a compresión se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo entre el área de la sección transversal del cilindro.

Además de la resistencia máxima alcanzada, la forma en que los cilindros fallan proporciona información adicional sobre la calidad del concreto y el desarrollo adecuado del ensayo. En la Ilustración 7 se ilustran los tipos más comunes de fallas observadas en los ensayos de compresión de cilindros. Estas incluyen configuraciones como conos bien formados, fisuras verticales y fracturas diagonales, entre otros.

Ilustración 7

Esquema de los Modelos Típicos de Fractura

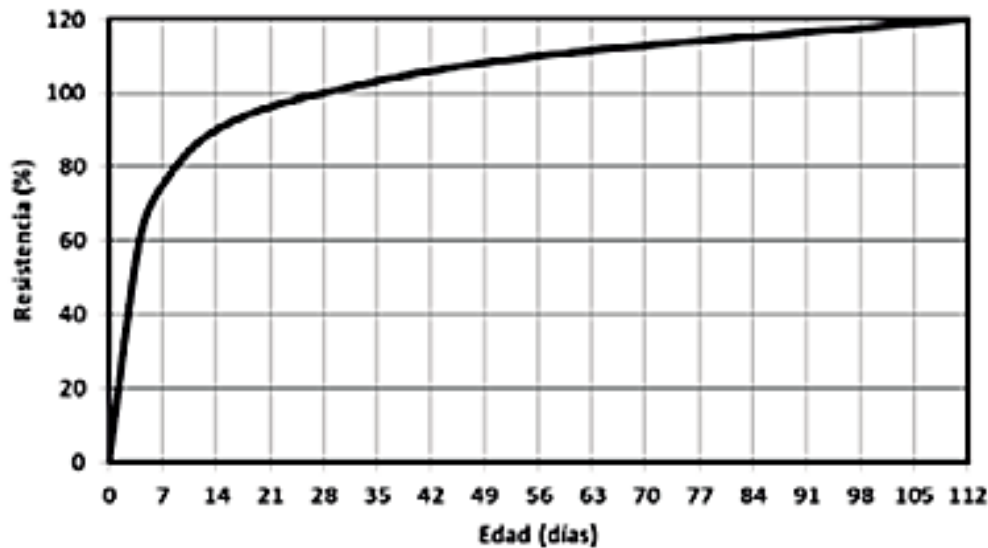


Nota. Tomado de NTE INEN 1573

La importancia de la realización de este tipo de ensayos se evidencia en la relación directa entre la edad del concreto y su resistencia. En la Ilustración 8, se observa cómo la resistencia del concreto aumenta significativamente durante los primeros días de curado, alcanzando un punto de estabilización cerca de los 28 días. Esta tendencia explica por qué la mayoría de los ensayos se realizan a edades estándar como 7, 14 y 28 días, permitiendo evaluar el comportamiento del material en diferentes etapas de su desarrollo.

Ilustración 8

Desarrollo de la Resistencia del Concreto en Función de la Edad



Nota. Curva tomada del libro *El Concreto: Fundamentos y Nuevas Tecnologías* de Ricardo Matallana Rodríguez. La gráfica muestra cómo la resistencia del concreto evoluciona a lo largo del tiempo.

Es importante destacar que este ensayo proporciona información clave sobre la calidad del concreto, ya que la resistencia a compresión está directamente relacionada con su durabilidad y capacidad de soportar esfuerzos estructurales. Además, los resultados pueden ser utilizados para verificar el cumplimiento de especificaciones técnicas y para realizar ajustes en la mezcla de concreto si es necesario.

4 Marco metodológico

4.1 Enfoque

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos obtenidos a partir de ensayos de laboratorio. Este enfoque permite describir y comparar el desempeño del hormigón elaborado con agregados provenientes de dos canteras específicas de la Provincia del Guayas: Santa Rosa y San José.

El objetivo principal es analizar cómo las propiedades físicas y mecánicas de los agregados gruesos influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Para ello, se establecen dos variables principales: la variable independiente, que corresponde al agregado grueso utilizado (Santa Rosa o San José), y la variable dependiente, que es la resistencia a la compresión del hormigón medida en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2).

Este enfoque cuantitativo permite realizar comparaciones precisas y objetivas entre las características de los hormigones evaluados, facilitando la interpretación de los resultados mediante análisis estadísticos y numéricos.

4.2 Nivel o Tipo de Investigación

El presente estudio corresponde a una investigación de tipo experimental, ya que se busca evaluar y comparar el efecto de una variable independiente como el tipo de agregado grueso utilizado en la mezcla de hormigón sobre una variable dependiente, que es la resistencia a la compresión del hormigón. Este enfoque experimental implica la manipulación deliberada de las condiciones de la investigación para medir los resultados obtenidos bajo un entorno controlado.

El diseño experimental del estudio se basa en un diseño completamente al azar (DCA), donde las muestras de hormigón son agrupadas según el tipo de agregado. Este

diseño asegura que los resultados obtenidos sean atribuibles únicamente a la variable independiente, minimizando la influencia de factores externos.

En términos de nivel, la investigación también se clasifica como descriptiva-comparativa. Es descriptiva porque detalla las propiedades físicas y mecánicas de los agregados utilizados, incluyendo granulometría, densidad, absorción y resistencia a la degradación, siguiendo normas ASTM y NTE INEN. Además, es comparativa porque analiza las diferencias en la resistencia a la compresión entre los hormigones fabricados con agregados de las dos canteras seleccionadas.

La elección de este nivel y tipo de investigación permite una comprensión integral del desempeño del hormigón elaborado con diferentes tipos de agregados gruesos, contribuyendo a la toma de decisiones informadas en el uso de materiales en la construcción civil.

4.3 Población y Muestra

La población de este estudio está constituida por canteras ubicadas en la provincia del Guayas, Ecuador, que producen agregados gruesos utilizados en la elaboración de hormigón. Estas canteras representan una fuente clave de materiales para la industria de la construcción en la región, siendo su evaluación relevante para garantizar la calidad y el desempeño del hormigón en diversas aplicaciones.

Se seleccionó una muestra compuesta por dos canteras representativas de la provincia:

- **Cantera Santa Rosa**, con formación geológica Piñón.
- **Cantera San José**, con formación geológica San Eduardo.

Esta selección se fundamentó en que se ubican en distintas formaciones geológicas presentes en cada cantera, lo que permite explorar cómo las características físicas de los agregados influyen en la resistencia a la compresión del hormigón.

4.4 Operacionalización de Variables

Para cumplir con los objetivos del presente estudio y garantizar un análisis estructurado, las variables se definen y operacionalizan de la siguiente manera:

4.4.1 Variable Independiente

La variable independiente corresponde a los agregados gruesos utilizados en la elaboración del hormigón, diferenciados según su origen geológico y cantera de extracción. Para este estudio, se emplearon agregados provenientes de las canteras Santa Rosa y San José, asociadas a las formaciones geológicas Piñón y San Eduardo, respectivamente. Las propiedades analizadas por medio de los ensayos fueron granulometría, densidad del agregado, contenido de humedad, absorción, peso unitario y resistencia al desgaste por medio de la Máquina de Los Ángeles.

4.4.2 Variable Dependiente

La variable dependiente es la resistencia a la compresión del hormigón, que mide la capacidad del material para soportar cargas de compresión, expresada en kg/cm^2 .

- **Indicadores:**

- Fuerza máxima registrada durante el ensayo de compresión.
- Resistencia a la compresión calculada en función de la fuerza máxima y el área de la sección transversal del cilindro.
- Edad de rotura: 7 días.

- **Instrumentos y procedimientos:**

- Los cilindros de hormigón fueron fabricados y ensayados según la norma ASTM C-31.
- Cada cilindro fue curado bajo condiciones controladas y ensayado con una máquina de compresión calibrada.

4.4.3 Variables de Control

Se trata de los factores mantenidos constantes durante el experimento para garantizar que los resultados se deban exclusivamente a la variable independiente, los cuales tienen como indicadores:

- Relación agua/cemento: Controlada según el diseño de mezcla elaborado con la norma ACI 211.1.
- Tipo de cemento: Cemento tipo HS.
- Método de mezclado y compactación: Uniforme para todas las mezclas.
- Condiciones de curado: Temperatura y humedad constantes, según ASTM C-31
- Agregado fino: Arena Unificada, misma para todos los cilindros.

Las proporciones de mezcla, métodos de fabricación y condiciones de curado fueron diseñados para garantizar homogeneidad en los ensayos.

4.5 Procedimientos Experimentales

El proceso experimental incluyó una serie de ensayos y actividades organizados para evaluar las propiedades de los agregados involucrados, diseñar la mezcla de hormigón, fabricar cilindros y medir su resistencia a la compresión. Cada procedimiento fue ejecutado conforme a normativas nacionales e internacionales (ASTM, NTE INEN y ACI), garantizando la validez de los resultados obtenidos. A continuación, se detalla cada etapa de los ensayos realizados:

Tabla 18

Resumen de Ensayos Realizados

Material	Etapa del Ensayo	Normas aplicadas	
		ASTM	NTE INEN
Agregado Fino	Muestreo y Preparación	ASTM C702: Práctica estándar para reducir muestras de agregados al tamaño de prueba	NTE INEN 2566: Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo.
	Granulometría	ASTM C-136: Método de prueba estándar para el análisis de tamices de agregados finos y gruesos	NTE INEN 0696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso
	Contenido de Humedad	-	NTE INEN 0862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad
	Densidad y Absorción	ASTM C-128: Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados finos.	NTE INEN 0856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.
	Masa Unitaria	ASTM C-29: Método estándar de ensayo para densidad total (peso unitario) y vacíos en los agregados	NTE INEN 0858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos
Agregado Grueso	Muestreo y Preparación	ASTM C702: Práctica estándar para reducir muestras de agregados al tamaño de prueba	NTE INEN 2566: Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo.
	Granulometría	ASTM C-136: Método de prueba estándar para el análisis de tamices de agregados finos y gruesos	NTE INEN 0696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso
	Contenido de Humedad	-	NTE INEN 0862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad
	Densidad y Absorción	ASTM C-127: Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados gruesos	NTE INEN 0857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso
	Masa Unitaria	ASTM C-29: Método estándar de ensayo para densidad total (peso unitario) y vacíos en los agregados	NTE INEN 0858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos
	Resistencia al Desgaste	ASTM C-131: Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación de agregados gruesos de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles	NTE INEN 0860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles

Cilindros	Curado	ASTM C-31: Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra	-
	Resistencia a la Compresión	ASTM C-39: Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto	-

Nota: Se presenta un resumen de los ensayos experimentales que se llevarán a cabo en el desarrollo de esta investigación, incluyendo el tipo de ensayo, el objetivo y las variables a medir.

Las muestras de los agregados se diferenciaron visualmente y se prepararon para los ensayos. En la Ilustración 9 se presentan las tres tipologías de agregados gruesos estudiadas: roca azul (izquierda), caliza (centro) y arena unificada (derecha).

Ilustración 9

Diferenciación Visual de los Agregados Gruesos Utilizados en el Estudio



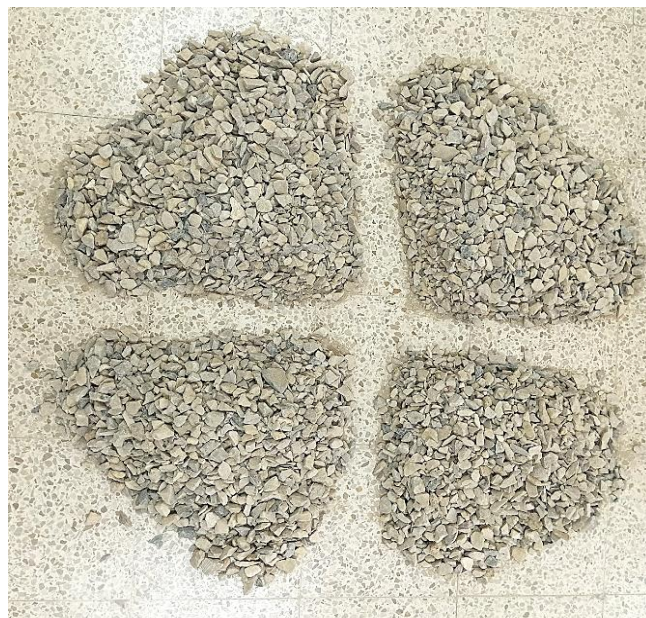
Nota: Agregados empleados en los ensayos de granulometría y otras pruebas para evaluar su influencia en las propiedades del hormigón.

Antes de proceder con el ensayo de granulometría, fue necesario reducir las muestras de agregados a un tamaño manejable y representativo, garantizando que las características originales del material no se vean alteradas. Este proceso se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en las normas ASTM C702 y NTE INEN 2566, que proporcionan métodos estándar para la reducción de muestras mediante procedimientos como el cuarteo y el uso de divisores mecánicos.

Para los agregados se empleó el método de cuarteo manual en superficie limpia y lisa, asegurando una distribución uniforme del material durante la reducción. El resultado final fue una cantidad suficiente de material representativo para cada tipo de agregado, adecuado para realizar el ensayo de granulometría y otros ensayos requeridos. Este proceso fue fundamental para asegurar la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos en las siguientes etapas de la investigación.

Ilustración 10

Proceso de Reducción de Muestra mediante Cuarteo



Nota: En la imagen se observa la distribución inicial de las fracciones de agregado grueso (Caliza) durante el proceso de reducción de muestra.

4.5.1 Análisis Granulométrico

El ensayo de granulometría se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en las normas ASTM C136 ("Método estándar para análisis granulométrico de agregados") y NTE INEN 2566 ("Análisis granulométrico de agregados"). Este ensayo tuvo como objetivo determinar la distribución de tamaños de partículas de los agregados gruesos y finos empleados en la investigación. Se analizaron las tres muestras de agregados:

- Muestra 1: Roca azul, originado de la cantera Santa Rosa.
- Muestra 2: Caliza, originado de la cantera San José.
- Muestra 3: Arena unificada, producto de la trituración de caliza.

Material Utilizado:

- Muestra del Árido
- Tapa y Fondos herméticos
- Tamizadora Eléctrica
- Bandejas y Cepillo para limpieza
- Balanza
- Tamices Estandarizados

Para la selección del tamaño de las muestras a ensayar, se utilizó la Tabla 10 la cual especifica las cantidades mínimas requeridas según el tamaño máximo nominal del agregado. En el caso de los agregados gruesos, se empleó una muestra de 5000 gramos, mientras que para los agregados finos el tamaño mínimo de la muestra fue de 300 gramos, cumpliendo con las especificaciones técnicas establecidas.

Asimismo, para garantizar una adecuada selección de los tamices utilizados en cada ensayo, se consultó Tabla 8 donde se detalla los tamices necesarios en función del tamaño máximo nominal del agregado, indicando los puntos críticos donde se espera una retención significativa de masa. Esto aseguró que el procedimiento cumpliera con los estándares de precisión requeridos. Agregando que cada tamiz fue inspeccionado previamente para asegurar que no presentara deformaciones o daños que pudieran alterar los resultados del ensayo.

La muestra de los agregados fue secada en un horno a una temperatura controlada de 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante, eliminando cualquier humedad que

podiera influir en las mediciones. Posteriormente, se procedió al tamizado, comenzando con el tamiz de mayor apertura y continuando en orden decreciente, utilizando una tamizadora mecánica (Ilustración 11) para garantizar una vibración uniforme durante un tiempo definido según las recomendaciones de la norma. Después del tamizado, las partículas retenidas en cada tamiz se pesaron por separado, registrando su masa con una precisión de 0.01 g. Este proceso se realizó para cada uno de los tres agregados.

Ilustración 11

Equipo Utilizado para el Ensayo de Granulometría



Nota: Tamizadora mecánica empleada para realizar la separación granulométrica de los agregados

Los datos obtenidos para cada tamiz incluyeron el peso retenido, el porcentaje retenido y el porcentaje acumulado retenido, así como el porcentaje que pasa. Estos datos permitieron determinar parámetros fundamentales como el módulo de finura (MF) obtenido según la ecuación (1) y los tamaños máximos nominal y efectivo, según las

definiciones normativas. Estos valores fueron registrados y analizados para generar la curva granulométrica correspondiente, la cual permite evaluar si los agregados cumplen con los requisitos para su uso en mezclas de hormigón estructural.

Finalmente, los resultados se compararon con los límites especificados en la Tabla 8 y Tabla 9 según la norma ASTM C-33 e INEN 872, evidenciando si los agregados evaluados cumplen con los estándares técnicos requeridos para garantizar la calidad del hormigón en su estado fresco y endurecido. Los datos obtenidos fueron organizados en tablas que incluyen:

- Pesos retenidos por tamiz.
- Porcentajes retenidos.
- Porcentajes acumulados retenidos.
- Porcentajes que pasan.

Tabla 19

Distribución de Tamaños de Partículas de la Muestra 1 Obtenida de la Cantera Santa Rosa

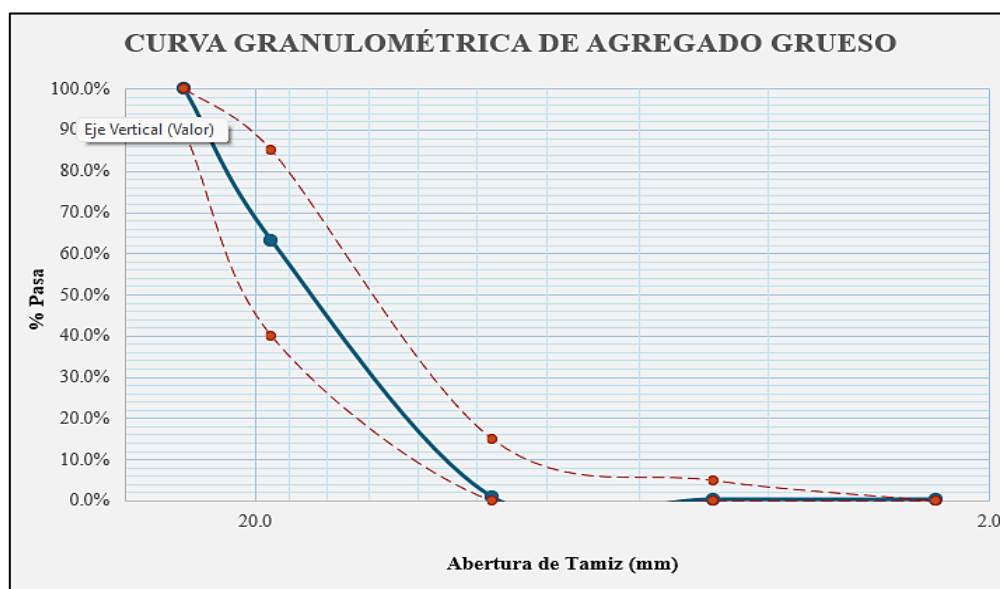
Peso de la Muestra (g)		5000		#		Tamaño		56	
						0			
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (g)	Retenido Acumulado (%)	Pasa (g)	% Que pasa	Límites (ASTM C-33) % que pasa	
1	25.0	0.00	0.00%	0.00	0.00%	5000.00	100.00%	90%	100%
3/4	19.0	1845.10	36.90%	1845.10	36.90%	3154.90	63.10%	40%	85%

3/8	9.5	3110.10	62.20%	4955.20	99.10%	44.80	0.90%	0%	15%
N°4	4.8	26.75	0.54%	4981.95	99.64%	18.05	0.36%	0%	5%
N°8	2.4	0.00	0.00%	4981.95	99.64%	18.05	0.36%	0%	0%
Fondo	-	18.05	0.36%	5000.00	100.00%	0.00			
		5000.00	100.00						
			%						

Nota: Se presenta el análisis granulométrico de una muestra de agregado de 5000 g, mostrando pesos retenidos y porcentajes, así como límites según ASTM C-33.

Ilustración 12

Curva Granulométrica de la Muestra 1 Obtenida de la Cantera Santa Rosa



Nota: Elaborado por Natasha Moyano

La muestra 1 mostró un tamaño máximo nominal de 1", y con la ecuación (1) se obtuvo un módulo de finura de 7.36. La distribución granulométrica evidencia que el 99.64% del material pasa por el tamiz N°4, confirmando que se encuentra dentro de los límites de la norma ASTM C33 para concretos estructurales. La curva granulométrica (Ilustración 12) indica una buena distribución de partículas, lo que sugiere que este

agregado tiene una compactación adecuada y contribuye a una buena trabajabilidad en la mezcla.

El módulo de finura elevado implica que este agregado tiene una proporción significativa de partículas gruesas, lo que podría influir en la resistencia a compresión del concreto al proporcionar una estructura densa.

Tabla 20

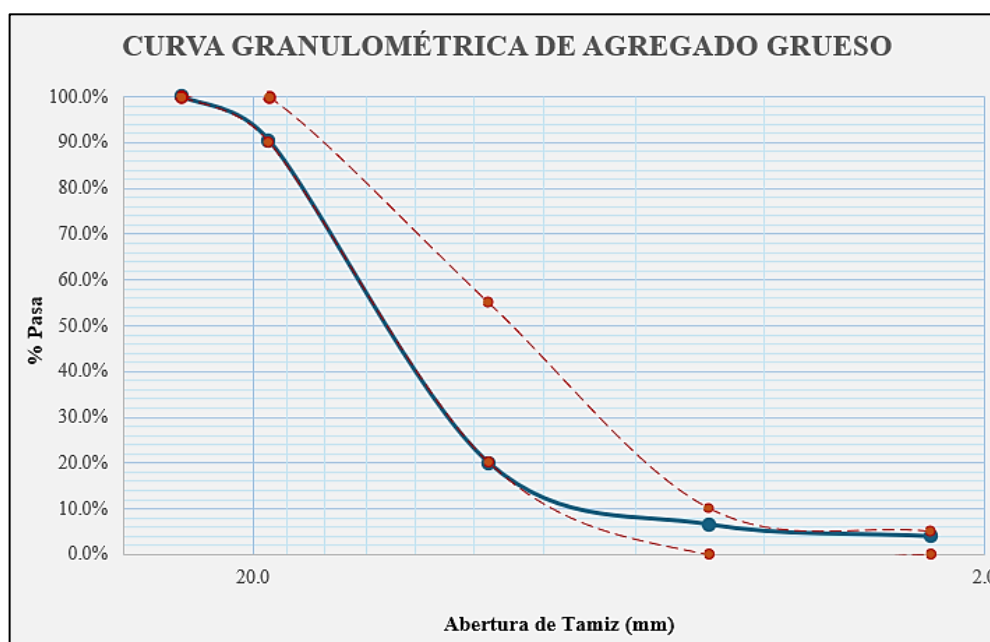
Distribución de Tamaños de Partículas de la Muestra 2 Obtenida de la Cantera San José

								#	
Peso de la Muestra (g)		5000.00						Tamañ	67
								o	
Tam iz	Abertur a (mm)	Retenido (g)	Retenid o (%)	Retenid o Acumul ado (g)	Retenid o Acumul ado (%)	Pasa (g)	% Que pasa	Límites (ASTM C-33) % que pasa	
1	25.0	0.00	0.00%	0.00	0.00%	5000.00	100.00 %	100%	100%
3/4	19.0	480.50	9.61%	480.50	9.61%	4519.50	90.39%	90%	100%
3/8	9.5	3527.60	70.55%	4008.10	80.16%	991.90	19.84%	20%	55%
Nº4	4.8	668.30	13.37%	4676.40	93.53%	323.60	6.47%	0%	10%
Nº8	2.4	128.50	2.57%	4804.90	96.10%	195.10	3.90%	0%	5%
Fond o	-	195.10	3.90%	5000.00	100.00 %	0.00			
		5000.00	100.00 %						

Nota: Se presenta el análisis granulométrico de una muestra de agregado de 5000 g, mostrando pesos retenidos y porcentajes, así como límites según ASTM C-33.

Ilustración 13

Curva Granulométrica de la Muestra 2 Obtenida de la Cantera San José



Nota: Elaborado por Natasha Moyano

La granulometría de la muestra 2 indicaron un tamaño máximo nominal de 3/4" y un módulo de finura de 6.84. Se observó que el 93.53% del material pasa por el tamiz N°4, también cumpliendo con los límites granulométricos de la norma ASTM C33. La curva granulométrica (Ilustración 13) muestra una distribución más uniforme en comparación con la roca azul, con un menor porcentaje de partículas grandes.

Este agregado, al ser menos grueso que la roca azul, puede favorecer una mejor trabajabilidad en el concreto al reducir el riesgo de segregación. Sin embargo, podría disminuir ligeramente la resistencia a compresión en comparación con la roca azul debido a su menor compacidad.

Tabla 21

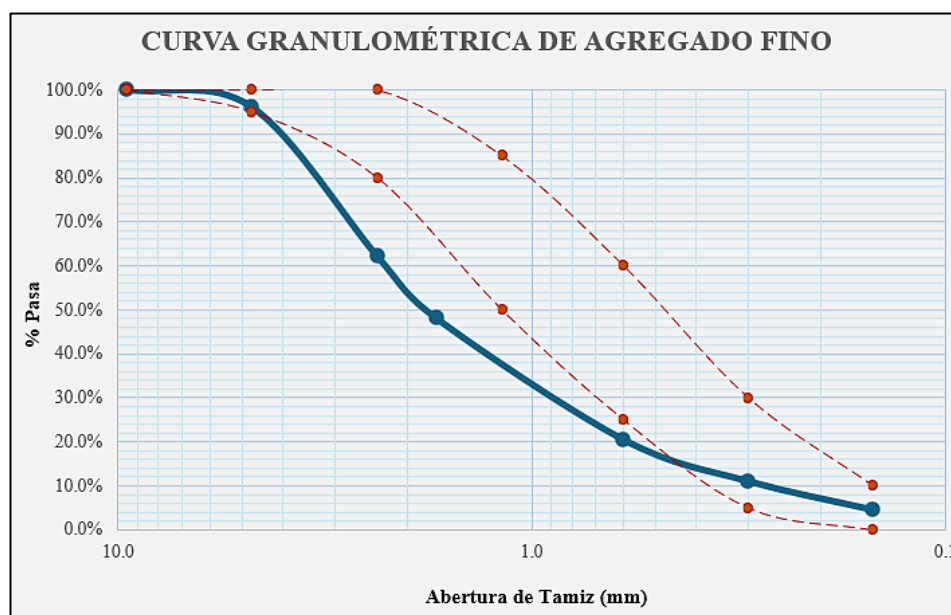
Distribución de Tamaños de Partículas de la Muestra 3 Obtenida de la Cantera Huayco

Peso de la Muestra (g) 788.9									
Tam iz	Abertur a (mm)	Retenido (g)	Retenid o (%)	Retenid o Acumul ado (g)	Retenid o Acumul ado (%)	Pasa (g)	% Que pasa	Límites (ASTM C-33) % que pasa	
3/8	9.5	0.00	0.00%	0.00	0.00%	788.90	100.00 %	100%	100%
N 4	4.8	30.90	3.92%	30.90	3.92%	758.00	96.08%	95%	100%
N 8	2.4	268.20	34.00%	299.10	37.91%	489.80	62.09%	80%	100%
N 12	1.7	110.70	14.03%	409.80	51.95%	379.10	48.05%	-	-
N 30	0.6	217.60	27.58%	627.40	79.53%	161.50	20.47%	25%	60%
N 50	0.3	74.30	9.42%	701.70	88.95%	87.20	11.05%	5%	30%
N 100	0.2	51.30	6.50%	753.00	95.45%	35.90	4.55%	0%	10%
Fond o	-	35.90	4.55%	788.90	100.00 %	0.00			
788.90			100.00 %						

Nota: Se presenta el análisis granulométrico de una muestra de agregado fino en este caso arena unificada, mostrando pesos retenidos y porcentajes, así como límites según ASTM C-33.

Ilustración 14

Curva Granulométrica de la Muestra 3 Obtenida de la Cantera Huayco



Nota: Elaborado por Natasha Moyano

El agregado fino presentó un módulo de finura de 3.06 y el 95.45% del material pasa por el tamiz N°100. La curva granulométrica (Ilustración 14) evidencia una distribución uniforme para obtener una mezcla cohesiva.

El agregado fino utilizado presentó una granulometría ligeramente fuera de los límites establecidos por la norma ASTM C33. Sin embargo, se mantuvo constante en todas las mezclas de hormigón para asegurar que las variaciones en los resultados fueran atribuibles únicamente a las características de los agregados gruesos evaluados. La arena unificada tiene una granulometría que permite una buena compactación en la mezcla, reduciendo la probabilidad de formación de vacíos y contribuyendo a una mayor resistencia mecánica.

4.5.2 Contenido de Humedad

La determinación del contenido de humedad en los agregados es un procedimiento fundamental para ajustar adecuadamente la relación agua/cemento en las mezclas de concreto, asegurando la precisión en el diseño de estas. Este ensayo se realizó conforme a las normas ASTM C566 y NTE INEN 0862, que establecen los métodos para determinar el contenido de humedad total mediante secado.

Material Utilizado:

- Horno de secado con control de temperatura (110 ± 5 °C)
- Balanza digital de precisión
- Recipientes metálicos resistentes al calor

Se realizaron dos ensayos para cada tipo de muestra con el fin de obtener resultados más precisos y representativos. El procedimiento inició con el pesaje inicial de las muestras húmedas en recipientes tarados las cuales fueron registradas con precisión empleando una balanza digital con una sensibilidad de 0.1 gramos. Posteriormente, las muestras fueron introducidas en el horno y sometidas a una temperatura constante de manera que permitieran una circulación uniforme del aire caliente alrededor de los agregados, asegurando un secado homogéneo hasta alcanzar peso constante como se muestra en la Ilustración 15 . El secado se prolongó durante un periodo inicial de 24 horas y una vez completado el secado, las muestras fueron retiradas del horno para registrar el peso final. Con estos datos, el contenido de humedad se calculó para cada ensayo utilizando la relación entre la pérdida de peso por secado y el peso seco de las muestras según la ecuación (2)

Ilustración 15

Proceso de Secado de Muestras en Horno



Nota: Cada bandeja contiene las muestras de materiales que están siendo secadas para determinar su contenido de humedad

Para obtener un valor representativo, los resultados de los dos ensayos realizados sobre cada muestra fueron promediados. Los valores obtenidos fueron registrados y presentados en una tabla comparativa que incluyó los pesos iniciales, los pesos finales y los contenidos de humedad calculados para cada tipo de agregado.

Este ensayo permitió determinar de manera precisa el contenido de humedad de las muestras de agregados, información fundamental para ajustar las proporciones de agua en el diseño de mezclas de concreto. Los resultados obtenidos son representativos de las condiciones reales de los materiales y garantizan que su utilización cumpla con los requisitos técnicos establecidos en las normas de diseño.

Tabla 22

Mediciones de Contenido de Humedad en la Muestra 1 y 2

ID	Agregado Grueso	Unidad	Roca Azul		Caliza	
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
					1	2
A	Peso del Recipiente	gr	425	431	438	444
B	Peso del Recipiente + Muestra Húmeda	gr	3940	3948.4	3978.5	3985.9
C	Peso del Recipiente + Muestra Seca	gr	3930	3938.8	3916	3924.4
D	Peso del Agua $D = B - C$	gr	10	9.6	62.5	61.5
E	Peso de la Muestra Seca $E = C - A$	gr	3505	3507.8	3478	3480.4
G	Contenido de Humedad $F = D/E * 100$	%	0.29%	0.27%	1.80%	1.77%
F	Contenido de Humedad Final	%	0.28		1.78	

Nota: Los resultados muestran el contenido de humedad en los agregados gruesos, obtenidos a partir de diferentes ensayos.

El agregado grueso de Roca Azul mostró un contenido promedio de humedad de 0.28%, indicando que la cantidad de agua retenida por este material es baja. Esto sugiere que el agregado tiene un comportamiento estable frente a la humedad en las condiciones en las que fue evaluado. En contraste, el agregado de Caliza presentó un contenido promedio de humedad de 1.78%, evidenciando una mayor retención de agua en comparación con el agregado de Roca Azul. Este resultado refleja que el agregado de Caliza interactúa de manera diferente con el agua ambiental, lo que puede deberse a las características particulares de su superficie o textura.

Esto evidencia diferencias notables en las propiedades intrínsecas de cada material, que deben ser consideradas en el diseño de mezclas. La Roca Azul se perfila como un material más estable y menos demandante en términos de ajustes en la dosificación, mientras que la Caliza requiere una mayor atención para garantizar que el agua disponible en la mezcla sea suficiente para lograr una buena trabajabilidad y un adecuado desarrollo de la resistencia.

Estas diferencias en los valores promedio de humedad resaltan la importancia de considerar este parámetro al momento de diseñar mezclas de concreto. La humedad inicial de los agregados es un factor clave que puede influir en el equilibrio hídrico de la mezcla, ya que puede afectar la cantidad de agua libre disponible para la hidratación del cemento. Por ello, realizar este tipo de mediciones permite ajustar adecuadamente las proporciones de los materiales para garantizar un buen desempeño del concreto durante su elaboración y colocación.

Tabla 23

Mediciones de Contenido de Humedad en la Muestra 3

ID	Agregado Grueso	Unidad	Agregado Fino	
			Ensayo 1	Ensayo 2
A	Peso del Recipiente	gr	431	430.8
B	Peso del Recipiente + Muestra Húmeda	gr	1241.6	1238
C	Peso del Recipiente + Muestra Seca	gr	1222.6	1218.9
D	Peso del Agua $D = B - C$	gr	19	19.1
E	Peso de la Muestra Seca $E = C - A$	gr	791.6	788.1
G	Contenido de Humedad $F = D/E * 100$	%	2.40%	2.42%
F	Contenido de Humedad Final	%	2.41%	

Nota: Los resultados muestran el contenido de humedad en el agregado fino, obtenidos a partir de diferentes ensayos.

El contenido de humedad promedio determinado en el agregado fino unificado es de 2.41%, valor obtenido a partir de los ensayos realizados en dos muestras independientes. Este porcentaje de humedad representa la cantidad de agua contenida en el agregado en el

momento del ensayo, debido a factores como las condiciones ambientales y el almacenamiento previo del material.

La consistencia de los resultados entre los dos ensayos, con una variación mínima, refleja un procedimiento de medición confiable y el control adecuado de las condiciones del ensayo. Este dato es relevante para el diseño de mezclas de concreto, ya que la humedad presente en el agregado influye directamente en la cantidad de agua efectiva disponible en la mezcla.

4.5.3 Densidad y Absorción

El procedimiento para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de los agregados se llevó a cabo según las indicaciones establecidas en las normas mencionadas para los agregados gruesos y finos. Estas normas proporcionan un marco detallado para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados. A continuación, se describe el procedimiento empleado para cada tipo de agregado.

Metodología para Agregados Gruesos

Materiales Utilizados

- Balanza Digital de Precisión
- Tanque de Agua
- Dispositivo de Suspensión
- Canastilla Metálica
- Horno
- Bandeja Metálica Mediana

Las muestras de agregados gruesos fueron preparadas y analizadas siguiendo los pasos descritos a continuación. Inicialmente, las muestras fueron secadas en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante. Posteriormente, se dejaron enfriar al ambiente y se sumergieron en agua potable durante un periodo de 24 ± 4 horas, lo cual

permitió saturar los poros permeables de las partículas sin incluir agua libre en sus superficies.

Tras la inmersión, las partículas se retiraron del agua y, utilizando un paño absorbente, se eliminó cuidadosamente el exceso de agua superficial hasta que las muestras alcanzaron la condición de saturado superficialmente seco (SSS). En esta condición, se determinó la masa de las muestras con una balanza de precisión.

A continuación, las muestras se suspendieron en un tanque de agua mediante un sistema de pesaje sumergido como se muestra en la Ilustración 16

Agregado Grueso en Equipo de Inmersión, y se registró su masa bajo el agua. Finalmente, las partículas fueron nuevamente secadas en el horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante, lo que permitió determinar su masa en estado seco.

Ilustración 16

Agregado Grueso en Equipo de Inmersión



Nota. Equipo de inmersión con agregado grueso sumergido, empleado en el ensayo para determinar la densidad y absorción según las normativas correspondientes.

Los datos obtenidos se emplearon para calcular las densidades (seca, SSS y aparente), la gravedad específica y la absorción de los agregados gruesos.

Tabla 24

Detalles del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Grueso

ID	Descripción	Unidad	Roca Azul	Caliza
A	Masa de la Canastilla en el Aire	gr	1006.6	1006.6
B	Masa de la Canastilla en el Agua	gr	877.7	877.7
C	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en el Aire	gr	4530.3	4573.5
D	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en el Agua	gr	3192.2	3058
E	Masa de la Muestra S.S.S. en el Aire	gr	3523.7	3565
F	Masa de la Muestra S.S.S. en el Agua	gr	2314.5	2180.3
G	Masa de la Muestra Seca	gr	3506.04	3479.4
H	Gravedad Específica SH	-	2.899	2.513
I	Gravedad Específica S.S.S.	-	2.914	2.575
J	Gravedad Específica Aparente	-	2.942	2.678
K	Absorción	%	0.50	2.46

Nota: Datos obtenidos a partir del ensayo de gravedad específica y absorción para la muestra 1 y 2, conforme a los métodos normativos establecidos.

Los ensayos de gravedad específica y absorción permiten caracterizar las propiedades físicas de los agregados gruesos estudiados, Roca Azul y Caliza. En cuanto a la gravedad específica en estado seco, la Roca Azul presentó un valor de 2.899, superior al de la Caliza, que fue de 2.513. Esto refleja que la Roca Azul tiene una mayor densidad intrínseca, lo que sugiere una estructura más compacta y con menor porosidad en comparación con la Caliza.

En el estado saturado superficialmente seco, la gravedad específica de la Roca Azul fue de 2.914, mientras que la de la Caliza alcanzó 2.575. Este incremento respecto al estado seco indica la capacidad de los agregados para absorber agua en sus poros accesibles. La

diferencia observada entre ambos materiales pone de manifiesto que la Caliza tiene mayor porosidad conectada, permitiendo una mayor absorción de agua.

La gravedad específica aparente, que considera tanto poros accesibles como no accesibles, fue de 2.942 para la Roca Azul y de 2.678 para la Caliza. Los valores obtenidos son consistentes con las características de los agregados, mostrando nuevamente que la Roca Azul posee una menor porosidad interna en comparación con la Caliza.

En términos de absorción, se obtuvo un 0.50% para la Roca Azul y un 2.46% para la Caliza, lo que refleja una notable diferencia en la capacidad de absorción de agua entre ambos agregados. La baja absorción de la Roca Azul indica una menor cantidad de poros accesibles al agua, mientras que la Caliza, con una mayor absorción, evidencia una estructura más porosa.

Estos datos tienen implicaciones prácticas importantes en el diseño de mezclas de concreto. La menor absorción y mayor densidad de la Roca Azul sugieren que este material es más adecuado para concretos estructurales de alta resistencia, donde el control de la relación agua/cemento es crucial. En contraste, la mayor absorción de la Caliza requeriría ajustes en la dosificación de agua para evitar alteraciones significativas en las propiedades del concreto. Sin embargo, su menor densidad podría ser ventajosa en aplicaciones donde el peso del material sea un factor determinante.

Metodología para Agregado Fino

Materiales Utilizados

- Balanza Digital de Precisión
- Picnómetro o Frasco Calibrado
- Molde Cónico Metálico
- Pisón Metálico
- Horno

- Espátula
- Bandeja Metálica Mediana

El análisis de los agregados finos siguió un procedimiento adaptado para medir densidad y absorción, considerando las partículas más pequeñas y su mayor área superficial.

Las muestras secas al horno se dejaron enfriar y se sumergieron en agua potable durante 24 ± 4 horas. Después del periodo de saturación, el exceso de agua se eliminó mediante decantación y exposición a una corriente de aire suave. La condición de saturado superficialmente seco (SSS) se verificó mediante la prueba del molde cónico, en la que un cono metálico se llenó con arena húmeda y se apisonó ligeramente con un pisón metálico. La arena se consideró en condición SSS cuando, al retirar el molde, el material presentó un colapso leve sin liberar agua visible en la superficie.

Una vez en condición SSS, las muestras se introdujeron en un picnómetro parcialmente lleno de agua. El sistema fue agitado cuidadosamente para eliminar las burbujas de aire atrapadas, este es un paso fundamental para garantizar la precisión de los resultados obtenidos, para ello se empleó un hisopo o una varilla delgada (Ilustración 17), lo que permitió desplazar cuidadosamente las burbujas adheridas a la superficie del agregado o flotando en el agua, asegurando que el volumen registrado correspondiera exclusivamente al agregado y el líquido.

Ilustración 17

Eliminación de burbujas de aire en ensayo de densidad y absorción en agregados finos



Nota. Proceso de eliminación de burbujas de aire en el ensayo de densidad y absorción de agregados finos.

Luego se llenó hasta la capacidad calibrada del picnómetro. La masa total del sistema fue registrada con precisión. Posteriormente, las muestras se secaron nuevamente en horno hasta alcanzar masa constante, lo que permitió determinar su masa seca. Los datos obtenidos se utilizaron para calcular las densidades (seca, SSS y aparente), la gravedad específica y la absorción del agregado fino mediante las fórmulas provistas en la norma ASTM C128.

Tabla 25

Detalles del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Fino

ID	Descripción	Unidad	Ag. Fino
A	Masa del Picnómetro	gr	324.1
B	Masa del Picnómetro + Ag. Fino	gr	825.5

C	Masa del Agregado Fino S.S.S	gr	501.4
D	Masa del Picnómetro + Ag. Fino + Agua	gr	1628
E	Masa del Agua Añadida	gr	802.5
F	Masa del Picnómetro Lleno de Agua hasta el Nivel de Aforo	gr	1320.3
G	Masa de Agua Hasta el Nivel de Aforo	gr	996.2
H	Masa de Agua Desalojada	gr	193.7
I	Masa del Ag. Fino Seco	gr	488.10
J	Gravedad Específica SH	-	2.520
K	Gravedad Específica S.S.S.	-	2.589
L	Gravedad Específica Aparente	-	2.706
M	Absorción (C-I)/I	%	2.72

Nota: Registro de datos obtenidos a partir del ensayo de gravedad específica y absorción en la muestra de agregado fino.

En el caso del agregado fino se obtuvo información clave sobre las características físicas del material. En términos de gravedad específica en estado seco, el agregado fino presentó un valor de 2.520, lo que indica una densidad moderada en comparación con agregados finos típicos. Este dato refleja las propiedades intrínsecas del material, relacionadas con su composición mineralógica y su grado de compacidad.

En el estado saturado superficialmente seco, la gravedad específica fue de 2.589. Este incremento en comparación con el estado seco se debe a la absorción de agua por parte de los poros accesibles del material, evidenciando la capacidad del agregado fino para retener humedad bajo condiciones de saturación.

Por otro lado, la gravedad específica aparente alcanzó un valor de 2.726, considerando tanto los poros accesibles como los no accesibles al agua. Este resultado sugiere

que, aunque el agregado fino tiene una estructura relativamente compacta, aún presenta cierto nivel de porosidad interna.

En cuanto a la absorción, el porcentaje obtenido fue de 2.72%, lo que indica una capacidad moderada del material para absorber agua. Este nivel de absorción es relevante, ya que puede afectar directamente la dosificación de agua en las mezclas de concreto. La capacidad de absorción debe ser cuidadosamente considerada para garantizar una adecuada relación agua/cemento, evitando posibles efectos adversos en las propiedades del concreto fresco y endurecido.

4.5.4 Peso Volumétrico de los Agregados

El ensayo de peso volumétrico suelto y compactado se llevó a cabo para determinar las densidades del agregado en diferentes condiciones, siguiendo las especificaciones de la norma mencionadas. Este procedimiento permite evaluar la compactidad y los vacíos presentes en los agregados, características clave para diseñar mezclas de concreto.

Materiales Utilizados

- Balanza digital de precisión
- Recipientes cilíndricos metálicos de capacidad conocida
- Varilla metálica lisa
- Cucharón
- Horno capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.

La selección del tamaño del recipiente se realizó según el tamaño máximo nominal de los agregados, según la Tabla 11 se utilizaron recipientes con un volumen mínimo de 0.01 m³ para agregados gruesos con tamaño máximo nominal superior a 37.5 mm.

Las muestras de agregados finos y gruesos fueron previamente secadas en un horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante, eliminando

cualquier traza de humedad que pudiera afectar los resultados. Una vez secas, se dejaron enfriar a temperatura ambiente antes de iniciar los ensayos.

Para determinar el peso volumétrico suelto, se seleccionó un recipiente metálico con capacidad conocida, de acuerdo con el tamaño máximo nominal de cada tipo de agregado. El recipiente fue pesado en vacío y posteriormente llenado con el material. En el caso del agregado fino, el material se vertió desde una altura no mayor a 5 cm para evitar la compactación o vibración involuntaria. La superficie del material fue nivelada cuidadosamente, sin ejercer presión, para garantizar una medición precisa del volumen ocupado. Este mismo procedimiento se aplicó al agregado grueso.

Para el peso volumétrico compactado, se utilizó el mismo recipiente metálico. El agregado fino fue introducido en tres capas aproximadamente iguales. Cada capa fue compactada con 25 golpes uniformemente distribuidos utilizando una varilla metálica como se muestra en la Ilustración 18, asegurando que el material quedara uniformemente distribuido y compactado. Una vez completadas las tres capas, la superficie fue nivelada nuevamente. El mismo procedimiento fue seguido para los agregados gruesos, con las mismas condiciones de compactación por capas.

Ilustración 18

Proceso de Compactación del Agregado Grueso



Nota. Durante el ensayo de peso volumétrico compactado, se utilizó una varilla metálica para compactar el agregado grueso en capas uniformes dentro del recipiente cilíndrico.

Ilustración 19

Cilindro Lleno de Agregado Grueso Compactado



Nota. Vista del recipiente cilíndrico después de compactar el agregado grueso en capas, mostrando la superficie nivelada para registrar el peso total.

Los cálculos del peso volumétrico suelto y compactado se realizaron dividiendo el peso del material, descontando el peso del recipiente, entre el volumen conocido del recipiente. Los resultados se expresaron en kg/m³ y se registraron en tablas.

Tabla 26

Mediciones de Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos para Agregados Gruesos

Peso Unitario Suelto	Unidad	Roca Azul		Caliza	
Peso del Recipiente	Kg	11.01		11.01	
Volumen del Recipiente	m3	0.01		0.01	
Peso del Recipiente +Peso de la	Kg	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
Muestra Seca		19.40	19.54	17.99	17.96
Peso de la Muestra Suelta	Kg	8.39	8.53	6.98	6.95
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	932.22	947.78	775.56	772.22
Peso Unitario Suelto Promedio	Kg/m3	940.00		773.89	
Peso del Recipiente	Kg	11.01		11.01	
Volumen del Recipiente	m3	0.01		0.01	
Peso del Recipiente +Peso de la	Kg	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
Muestra Seca		20.23	20.26	18.63	18.72
Peso de la Muestra Suelta	Kg	9.22	9.25	7.62	7.71
Peso Unitario Compactado	Kg/m3	1024.44	1027.78	846.67	856.67
Peso Unitario Compactado Promedio	Kg/m3	1026.11		851.67	
Gravedad Específica (SH)	-	2.899		2.513	
Densidad del Agua	Kg/m3	996.69		996.69	
Contenido de Vacíos	%	68.46	59.82	45.65	37.85

Nota. Se presentan los valores promedio de peso unitario suelto y compactado, así como los porcentajes de vacíos, obtenidos de los agregados gruesos Roca Azul y Caliza.

Los valores obtenidos para los agregados gruesos Roca Azul y Caliza reflejan diferencias importantes en sus propiedades físicas. En general, el peso unitario y el porcentaje de vacíos son uno de los indicadores clave de cómo se comportan los agregados en una mezcla de concreto. La Roca Azul tiene una densidad mayor tanto en su estado suelto como compactado, pero presenta una cantidad significativa de vacíos, especialmente cuando no está compactada. Esta gran cantidad de espacios vacíos puede afectar negativamente la resistencia y durabilidad del concreto.

Cuando hay demasiados vacíos, se incrementa el riesgo de debilidades estructurales y se puede necesitar más cemento y agua para llenar estos espacios, lo cual no es eficiente. En contraste, la Caliza muestra una mejor compactibilidad, con un menor porcentaje de vacíos, esto sugiere que el concreto hecho con agregados de caliza podría ser más compacto.

Tabla 27

Mediciones de Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos del Agregado Fino

Peso Unitario Suelto	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso del Recipiente	Kg	1.62	1.62	1.62
Volumen del Recipiente	m3	0.003	0.003	0.003
Peso del Recipiente +Peso de la Muestra Seca	Kg	5.82	5.92	5.84
Peso de la Muestra Suelta	Kg	4.2	4.3	4.22
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1400.00	1433.33	1406.67
Peso Unitario Suelto Promedio	Kg/m3		1413.33	
Peso Unitario Compactado	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso del Recipiente	Kg	1.62	1.62	1.62

Volumen del Recipiente	m3	0.003	0.003	0.003
Peso del Recipiente +Peso de la Muestra Seca	Kg	6.25	6.32	6.42
Peso de la Muestra Suelta	Kg	4.63	4.7	4.8
Peso Unitario Compactado	Kg/m3	1543.3	1566.67	1600
Peso Unitario Compactado Promedio	Kg/m3		1570	
Contenido de Vacíos	Unidad	Compactado	Suelto	
Gravedad Específica (SH)	-	2.520	2.520	
Densidad del Agua	Kg/m3	996.59	996.59	
Contenido de Vacíos	%	117.85	102.13	

Nota. Se muestran los valores promedio de peso unitario suelto y compactado, junto con los porcentajes de vacíos, para la arena unificada.

Los valores obtenidos para el agregado fino unificado reflejan aspectos importantes, las partículas de diferentes tamaños permiten una mejor compactación, lo que resulta en una mayor densidad del material cuando se compacta. El contenido de vacíos para el agregado fino, tanto en su estado suelto como compactado, proporciona información crucial sobre su capacidad para llenar los espacios entre los agregados gruesos. El contenido de vacíos en el estado compactado es menor, lo que significa que el agregado fino unificado puede reducir la cantidad de espacios vacíos en la mezcla, mejorando así la densidad y la resistencia del concreto.

El uso de arena unificada como agregado fino, con partículas de tamaños diversos, facilita la compactación y la reducción de vacíos en la mezcla. Esto contribuye a un concreto más homogéneo y con mejores propiedades mecánicas. La capacidad del agregado fino para adaptarse y llenar los espacios entre los agregados gruesos es fundamental para obtener una mezcla densa y resistente.

4.5.5 Resistencia al Desgaste

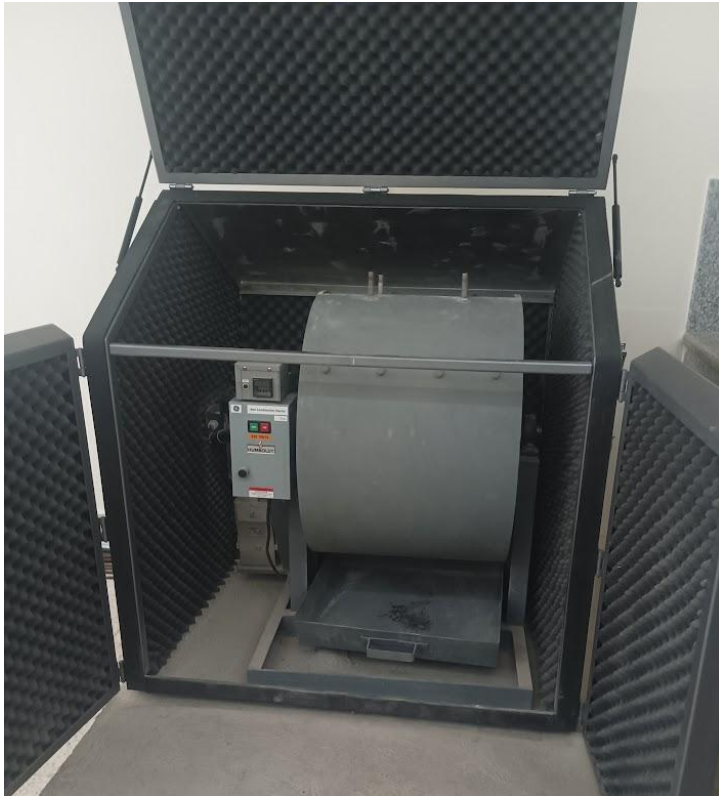
Para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, se llevó a cabo el ensayo según las especificaciones de la norma ASTM C-131 y la NTE INEN 0860. Este ensayo es crucial para determinar la pérdida de masa de los agregados por abrasión e impacto, simulando condiciones reales de uso en mezclas de hormigón y pavimentos. En este procedimiento, se utilizaron los dos tipos de agregados gruesos: roca azul y caliza, los cuales fueron sometidos a las mismas condiciones de ensayo para una comparación adecuada.

Materiales Utilizados

- Máquina de Los Ángeles con abertura de carga ajustable
- Esferas de acero
- Tamices N° 12, 19 mm y 9.5 mm.
- Balanza con capacidad suficiente y precisión de 0.1 g.
- Horno capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Recipientes metálicos para almacenamiento de muestras.
- Cepillo de cerdas metálicas.

Ilustración 20

Máquina de Los Ángeles para el ensayo de desgaste



Nota. Equipo utilizado para realizar el ensayo de resistencia al desgaste según la norma ASTM C 131

El procedimiento comenzó con la selección de la muestra, clasificándola en los tamaños especificados por la norma ASTM C 131. Según la Tabla 12, se determinó que los agregados pertenecían al tipo B el cual corresponde a ensayos de tamaño máximo nominal entre 19 mm y 9.5 mm. Los agregados gruesos fueron secados en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta alcanzar un peso constante. Una vez enfriados a temperatura ambiente se procedió a su clasificación granulométrica utilizando los tamices requeridos.

Por tanto, el material fue sometido a un proceso de tamizado utilizando tamices normalizados. En este caso, se emplearon tamices de aberturas 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ ") y 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "), como se especifica en la norma para la preparación de la muestra tipo B. Cada

fracción granulométrica fue clasificada cuidadosamente según el tamaño de partícula retenida en cada tamiz.

Este procedimiento permitió separar el material en diferentes rangos granulométricos y eliminar las partículas que no cumplieran con las especificaciones de tamaño. Las partículas demasiado pequeñas o grandes fueron descartadas para evitar que afectaran los resultados del ensayo. Este criterio garantizó que las fracciones de agregado fueran representativas y adecuadas para el ensayo, y una vez separadas las muestras por sus tamaños correspondientes como se muestra en la Ilustración 21. Antes de iniciar el ensayo, se inspeccionó y verificó que la máquina Los Ángeles estuviera en óptimas condiciones de funcionamiento, sin residuos de ensayos anteriores ni irregularidades en su estructura que pudieran afectar los resultados.

Ilustración 21

Clasificación y preparación de agregados para el ensayo de desgaste



Nota. Agregados gruesos organizados según su tipo y granulometría (caliza a la izquierda y roca azul a la derecha), listos para ser combinados y utilizados en el ensayo de resistencia al desgaste.

El ensayo comenzó con la introducción de la muestra completa en el tambor rotativo de la máquina Los Ángeles, junto con 11 esferas de acero como elementos abrasivos de

acuerdo con la cantidad requerida según la Tabla 13, tal como lo especifica la norma para la muestra tipo B. Las esferas fueron seleccionadas previamente, verificando su tamaño y peso, para garantizar que cumplieran con las especificaciones técnicas requeridas. Una vez cargados los materiales en el tambor, se cerró herméticamente la tapa para evitar pérdidas de material durante el ensayo.

La máquina Los Ángeles fue configurada para realizar 500 revoluciones, velocidad establecida en la norma ASTM C131 para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos. Durante la operación, el tambor giró a una velocidad constante, generando el impacto y fricción necesarios entre las partículas del agregado y las esferas de acero. Este proceso simuló las condiciones de desgaste que el material puede experimentar en el campo bajo cargas dinámicas.

Al finalizar las 500 revoluciones, la máquina se detuvo y se retiró cuidadosamente la muestra, asegurándose de recuperar todo el material como se muestra en , incluidos los fragmentos más pequeños que pudieran haberse generado durante el ensayo. La muestra recuperada fue tamizada nuevamente utilizando el tamiz de 1.7 mm (No. 12), separando las partículas finas producidas por el desgaste. El material retenido sobre el tamiz fue pesado, y el peso total de las partículas desgastadas, que pasaron a través del tamiz, fue registrado.

Ilustración 22

Material recuperado tras el ensayo de abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles



Nota. Resultado del ensayo de abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles, mostrando las partículas desgastadas del agregado grueso (Roca Azul) junto a las esferas de acero.

El porcentaje de desgaste se calculó utilizando la fórmula indicada en la norma ASTM C131, que relaciona el peso inicial de la muestra con el peso del material retenido tras el ensayo. Este valor permitió evaluar la resistencia al desgaste del agregado grueso sometido al ensayo.

Tabla 28

Resistencia al Desgaste mediante la Máquina de Los Ángeles para Agregados Gruesos

ID	Gradación de la Muestra Ensayada = B	Unidad	Roca Azul		Caliza	
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
A	Masa de la Muestra Inicial	gr	5002.4	4997.6	5004.9	4994.4
	Masa de la Muestra Final					
B	Retenida en el Tamiz de 1.70 mm	gr	4568.3	4564.3	3941.2	3883.2

C	Degradación C=(A-B)/A *	%	8.68	8.67	21.25	22.25
	100					
	Degradación Promedio	%	8.67		21.75	

Nota. Valores obtenidos para hallar el porcentaje de degradación para los agregados gruesos roca azul y caliza, evaluados bajo la gradación B según la norma ASTM C131.

El análisis de los resultados del ensayo de resistencia al desgaste realizado con la Máquina de Los Ángeles pone de manifiesto diferencias significativas entre los dos tipos de agregados gruesos estudiados: la roca azul y la caliza. Para la roca azul, los valores finales superaron los 4560 g en ambos ensayos, mientras que, para la caliza, las masas finales fueron considerablemente menores, registrando valores de 3941.2 g y 3883.2 g. Estos resultados reflejan una menor pérdida de material en la roca azul, lo cual sugiere una mayor resistencia al desgaste.

El cálculo del porcentaje de degradación, obtenido mediante la diferencia entre las masas inicial y final en relación con la masa inicial, arrojó promedios de 8.67% para la roca azul y 21.75% para la caliza. Estos valores muestran que la caliza experimentó un desgaste significativamente mayor en comparación con la roca azul, casi triplicando la pérdida relativa de material. Este comportamiento puede atribuirse a diferencias en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, como la dureza y la cohesión interna de las partículas.

Por tanto, la roca azul posee una resistencia al desgaste notablemente superior, lo que la convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren alta durabilidad, como pavimentos sometidos a tráfico intenso o estructuras expuestas a impactos repetitivos. Por otro lado, la caliza, al presentar una mayor degradación, podría ser adecuada para proyectos con menores exigencias mecánicas, aunque su desempeño en condiciones críticas de desgaste sería limitado.

4.5.6 Ensayo de Resistencia a la Compresión de la Roca según la Norma ASTM C170

Para determinar la resistencia a la compresión de la roca de la cual provienen los agregados gruesos utilizados en esta investigación, se realizaron ensayos siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C170. Este ensayo permitió evaluar la resistencia de la caliza y la roca azul a las fuerzas de compresión, proporcionando información crucial sobre la capacidad de cada tipo de roca para soportar cargas. Los resultados de este ensayo fueron fundamentales para comprender las propiedades mecánicas de los agregados y su posible influencia en el comportamiento del hormigón.

Materiales Utilizados

- Probetas cúbicas de roca caliza y roca azul.
- Máquina de ensayo de compresión con capacidad suficiente para la resistencia esperada de las rocas.
- Vernier o calibre para medir las dimensiones de las probetas.

Se prepararon probetas cúbicas de roca caliza y roca azul, asegurándose que las caras estuvieran lisas y perpendiculares entre sí, cumpliendo con las dimensiones especificadas en la norma ASTM C170. Se midieron las dimensiones de cada probeta con un vernier para calcular su área. Cada probeta se colocó en la máquina de ensayo de compresión, centrándola cuidadosamente para asegurar una distribución uniforme de la carga. Se aplicó la carga de forma continua y sin impacto a una velocidad constante, según lo establecido en la norma. Se registró la carga máxima que soportó cada probeta antes de la falla. La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal de la probeta. Se realizaron al menos tres ensayos para cada tipo de roca (caliza y roca azul).

Ilustración 23

Probeta de Roca Azul Colocada en Máquina de Compresión Humboldt



Nota. Este ensayo permite determinar la resistencia a la compresión del material

Ilustración 24

Falla por Compresión de una Probeta de Roca Caliza



Nota. Probeta cúbica de roca caliza, extraída de la cantera Santa Rosa (Formación San Eduardo), después del ensayo de resistencia a la compresión según la norma ASTM C170. Se observa la fractura de la probeta, indicando la falla por compresión.

Tabla 29

Resistencia a la Compresión de Rocas

	Muestra	FECHA DE ROTURA	AREA A [cm ²]	CARGA A [KN]	RESISTENCIA [Kg/cm ²]	RESISTENCIA PROMEDIO [kg/cm ²]
Roca Azul	1		100.23	1724.23	1755.38	
	2	21/01/2025	100.67	1702.23	1725.41	1744.61
	3		100.32	1723.47	1753.03	
Caliza	1		100.22	1132.12	1152.69	
	2	21/01/2025	100.47	1101.56	1118.78	1135.42
	3		100.13	1113.54	1134.79	

Nota. Valores de resistencia a la compresión obtenidos mediante el ensayo de compresión uniaxial según la norma ASTM C170.

Se observa una diferencia significativa en la resistencia a la compresión entre la roca azul (basalto) y la caliza. La roca azul presenta una resistencia promedio de 1744.61 kg/cm², mientras que la caliza muestra una resistencia promedio de 1135.42 kg/cm². Esta diferencia es consistente con las características de cada roca, donde el basalto, al ser una roca ígnea extrusiva, posee una estructura más densa y resistente que la caliza, que es una roca sedimentaria.

4.5.7 Dosificación Según el Método ACI

La metodología empleada para la dosificación del concreto se basó en las directrices establecidas en el documento de la norma ACI 211.1. Este método permite calcular las proporciones óptimas de los componentes del concreto (cemento, agua, agregados finos y gruesos) para alcanzar las propiedades requeridas.

Para realizar una dosificación adecuada del concreto según el método ACI, es fundamental contar con los datos iniciales de los materiales que se utilizarán. Estos datos proporcionan la base para calcular las proporciones óptimas de los componentes, asegurando que el concreto cumpla con las propiedades mecánicas, de durabilidad y de trabajabilidad requeridas para el proyecto. Entre los materiales necesarios, destacan los agregados, tanto finos como gruesos, que juegan un papel esencial en la mezcla al influir directamente en su comportamiento estructural y en las características de la pasta de cemento.

La Tabla 30 resume los valores obtenidos en los ensayos previos realizados a los agregados. Estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo las normas pertinentes, asegurando la precisión y confiabilidad de los datos. Estos valores iniciales fueron utilizados en los cálculos posteriores para determinar las proporciones exactas de los materiales en la mezcla de concreto.

Tabla 30

Propiedades Iniciales de los Materiales para la Dosificación del Concreto

CEMENTO				
Tipo	HS			
F'c	350	kg/cm ²		
Peso Específico	2.95	gr/cm ³		
Asentamiento	3.5 -5	cm		
Peso Específico Agua	1000	kg/m ³		
AGREGADOS	UNIDAD	FINO	GRUESOS	
			Roca Azul	Caliza
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1413.33	940.00	773.89
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1570	1026.11	851.67
Peso Específico	kg/m ³	2519.88	2899.47	2512.75
Módulo de Finura	-	3.06	7.36	6.84
Tamaño Máximo Nominal	Pulgadas	-	1"	3/4"

Absorción	%	2.72	0.50	2.46
Humedad	%	2.41	0.28	1.78
Abrasión los Ángeles al Desgaste	%	-	8.67	21.75

Nota. Los datos presentados corresponden a los resultados de los ensayos realizados a los agregados finos y gruesos.

Dosificación para 350 kg/cm²

Contenido de Aire	Ag. Grueso	T.M.N	Aire Atrapado	Unidad
Según T.M.N. Agregado Grueso	Roca Azul	1"	1.5	%
	Caliza	3/4"	2.0	%
Contenido de Agua	Unidad	Roca Azul		
Roca Azul	Lt/m3	179		
Caliza	Lt/m3	190		
Relación Aa/c	0.36			
Contenido de Cemento	Unidad	Roca Azul	Caliza	Factor C.
Según relación a/c y contenido de Agua	kg	447.50	475.00	
	Cant.	8.95	9.50	
Bolsa de Cemento	kg	50		
Peso de Agregado Grueso	Roca Azul	Caliza		
Según M.F. del Ag. Fino	666.97	511.00		

Agregado Fino	Unidad	Roca Azul	Caliza
Cemento	m ³	0.152	0.161
Agua	m ³	0.179	0.19
Aire	m ³	0.015	0.02
Vol. Ag. Grueso	m ³	0.230	0.203
Suma	m ³	0.576	0.574
Vol. Ag. Fino	m ³	0.424	0.426
Peso del Agregado Fino	kg	1069.11	1072.51

Presentación de Diseño en Estado Seco	Unidad	Roca Azul	Caliza
Cemento	kg	447.50	475.00
Ag. Fino	kg	1069.11	1072.51
Ag. Grueso	kg	666.97	511.00

Agua	Lt	179	190
------	----	-----	-----

Corrección por Humedad de los Agregados	Unidad	Roca Azul	Caliza
Agregado Fino	kg	1094.90	1098.38
Agregado Grueso	kg	668.836	520.106

Aporte de Agua a la Mezcla	Unidad	Roca Azul	Caliza
Agregado Fino	Lt	-3.427	-3.438
Agregado Grueso	Lt	-1.500	-3.527
Total	Lt	-4.926	-6.965

Agua Efectiva	Unidad	Roca Azul	Caliza
	Lt	183.926	196.965

4.5.8 Diseño de Hormigón Estructural Cantera Santa Rosa (350 Kg/cm²)

La dosificación por metro cúbico de hormigón presentada a continuación corresponde al diseño elaborado según el método del ACI 211.1. Los materiales y proporciones se determinaron considerando las propiedades específicas requeridas para la mezcla, como resistencia a compresión, trabajabilidad y condiciones de exposición. A continuación, se detallan las cantidades de cada componente calculadas para un metro cúbico de hormigón.

Proporcionamiento del Diseño	Unidad	Roca Azul
Cemento	Kg	447.50
Ag. Fino	Kg	1094.90
Ag. Grueso	Kg	668.84
Agua	Lt	183.93

4.5.9 Diseño de Hormigón Estructural Cantera San José (350 Kg/cm²)

Proporcionamiento del Diseño	Unidad	Caliza
Cemento	Kg	475.00
Ag. Fino	Kg	1098.38

Ag. Grueso	Kg	520.11
Agua	Lt	196.96

4.5.10 Ensayo de Cono de Abrams

El ensayo de asentamiento del cono de Abrams se realizó para determinar la trabajabilidad del concreto fresco en función del asentamiento. El objetivo fue verificar que el concreto alcanzara un asentamiento deseado de 5 cm, según los parámetros del diseño mencionados anteriormente.

Materiales Utilizados:

- Cono de Abrams Metálico
- Varilla Metálica
- Base Rígida no Absorbente
- Cinta Métrica

Ilustración 25

Ensayo de Asentamiento del Hormigón Mediante el Cono de Abrams



Nota. Medición del asentamiento del concreto para verificar la trabajabilidad, utilizando un cono de Abrams y una regla metálica.

Antes de iniciar el ensayo, se prepararon y limpiaron todos los equipos para asegurar que estuvieran libres de residuos y humedad que pudieran interferir en los resultados. El cono de Abrams se colocó sobre la base rígida, asegurando su estabilidad mediante presión con el pie en las aletas laterales del cono. Esto permitió mantener el cono fijo durante el proceso de llenado y compactación.

El llenado del cono se realizó en tres capas iguales en altura. Primero, se añadió concreto hasta alcanzar un tercio de la altura del cono y se compactó con 25 golpes uniformemente distribuidos utilizando la varilla de compactación. Posteriormente, se añadió una segunda capa hasta cubrir dos tercios de la altura y se repitió el procedimiento de compactación. Finalmente, se llenó el cono hasta el borde superior, nivelando cuidadosamente la superficie con una espátula para retirar el exceso de material.

Una vez completado el llenado, el cono se retiró de forma vertical en un tiempo aproximado de cinco segundos, asegurándose de no realizar movimientos laterales ni inclinaciones que pudieran alterar la forma del concreto. Posteriormente, se midió la altura máxima alcanzada por el concreto en el centro de la masa utilizando una cinta métrica la cual fue de 5 cm.

4.5.11 Elaboración y Curado de Cilindros de Hormigón

Para determinar las propiedades mecánicas del concreto, se elaboraron y curaron especímenes cilíndricos de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM C31. En total, se prepararon ocho cilindros de concreto, divididos en dos grupos de cuatro, correspondientes a las dos mezclas evaluadas. Cada mezcla empleó un tipo de agregado grueso diferente: roca azul y caliza.

El procedimiento inició con la preparación de los moldes cilíndricos, los cuales fueron limpiados y recubiertos internamente con aceite desmoldante para facilitar su extracción posterior. El concreto fue dosificado según el método ACI 211.1 y mezclado hasta obtener

una consistencia homogénea. Posteriormente, se llenaron los moldes en tres capas iguales.

Cada capa fue compactada mediante 25 golpes uniformes con una varilla metálica de 16 mm de diámetro, eliminando vacíos y asegurando un llenado uniforme. La Ilustración 26 muestra el proceso de compactación manual realizado sobre el concreto fresco colocado en los moldes.

Ilustración 26

Compactación Manual del Hormigón en Moldes Cilíndricos



Nota. Se observa el uso de una varilla metálica para compactar la mezcla en capas, asegurando un adecuado llenado del molde.

Una vez completado el llenado de los moldes, la superficie superior de cada cilindro fue nivelada utilizando una paleta metálica para obtener una terminación lisa y uniforme. Los cilindros fueron almacenados en un ambiente húmedo durante las primeras 24 horas para evitar la pérdida de humedad. La figura 2 ilustra los cilindros recién elaborados y dispuestos para el proceso inicial de curado en sitio.

Ilustración 27

Cilindros de Hormigón Recién Elaborados



Nota. Los especímenes recién moldeados son preparados para su posterior curado bajo condiciones controladas.

Tras el endurecimiento inicial, los cilindros fueron desmoldados y trasladados a un tanque de curado con agua a una temperatura controlada de 23 ± 2 °C. Este proceso permitió garantizar que las condiciones de curado y preparación de los especímenes se mantuvieran uniformes, contribuyendo a la fiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos posteriores.

4.5.12 Ensayo de resistencia a la compresión del Hormigón

La resistencia a la compresión del hormigón se realizó conforme a los procedimientos establecidos en la norma ASTM C-39, que regula el método estándar para ensayos de compresión de especímenes cilíndricos de hormigón. Este ensayo es fundamental para determinar las propiedades mecánicas del material y su desempeño bajo cargas compresivas.

Los especímenes cilíndricos, previamente moldeados y curados siguiendo la metodología descrita, fueron extraídos de sus tanques de curado al alcanzar la edad correspondiente al ensayo.

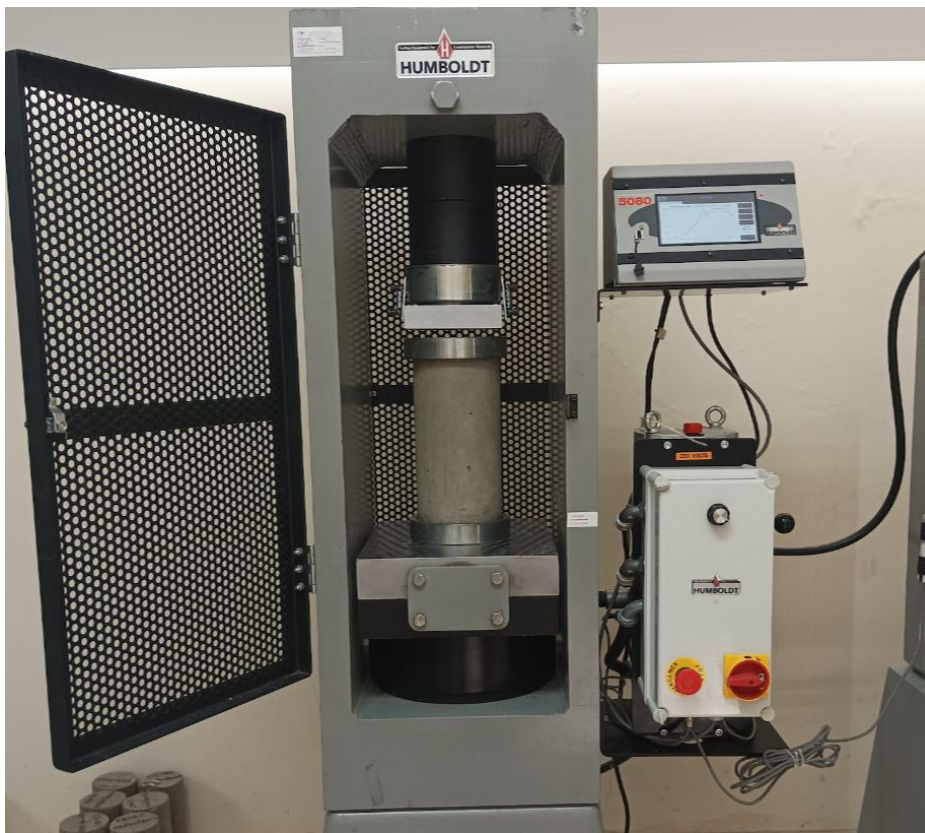
Antes de someter los cilindros al ensayo de compresión, se realizaron mediciones detalladas de sus dimensiones, según lo especificado en la norma ASTM C-39. Se midieron el diámetro y la altura de cada espécimen con un pie de rey calibrado, asegurando la precisión de los datos. Estas mediciones fueron necesarias para calcular el área transversal de los cilindros y, posteriormente, determinar su resistencia a la compresión. Además, se inspeccionaron visualmente los especímenes para identificar posibles defectos como fisuras o bordes irregulares que pudieran afectar los resultados del ensayo.

Se verificó previamente que la superficie de los especímenes estuviera limpia y libre de irregularidades significativas, y se inspeccionaron las placas de apoyo para confirmar su limpieza y el contacto completo con las bases de los cilindros. Asimismo, se aseguró que la tasa de carga aplicada cumpliera con las especificaciones normativas, evitando incrementos bruscos que pudieran comprometer la precisión de los resultados.

Este ensayo se realizó tanto a los tres como a los siete días, analizando la evolución de la resistencia en los especímenes fabricados con agregados de roca azul y caliza.

Ilustración 28

Máquina de Compresión Humboldt



Nota. Máquina de ensayo de compresión configurada con uno de los especímenes.

Tabla 31

Resultados de ensayos de compresión en cilindros de hormigón convencional con piedra caliza a diferentes edades

HORMIGON CONVENCIONAL F'c = 350 Kg/cm² CON PIEDRA CALIZA								
CILINDRO	EDAD (DÍAS)	DIÁMETRO [cm]	DIÁMETRO PROMEDIO [cm]	ALTURA [cm]	CARGA [KN]	ÁREA [cm²]	RESISTENCIA [Kg/cm²]	RESISTENCIA PROMEDIO [kg/cm²]
1	3	15.39	15.39	30.47	259.02	185.90	142.18	144.58
		15.38						
2		15.36	15.32	30.35	265.50	184.33	146.98	
		15.28						
3	7	15.22	15.24	30.51	455.65	182.41	254.89	254.33
		15.26						
4		15.31	15.32	30.43	458.42	184.33	253.77	
		15.33						

Tabla 32

Resultados de ensayos de compresión en cilindros de hormigón convencional con Roca Azul a diferentes edades

HORMIGON CONVENCIONAL F'c = 350 Kg/cm² PIEDRA BASALTICA (AZUL)								
CILINDRO	EDA D (DÍAS)	DIAMETRO [cm]	DIAMETRO PROMEDIO [cm]	ALTURA [cm]	CARGA [KN]	AREA [cm²]	RESISTENCIA [Kg/cm²]	RESISTENCIA PROMEDIO [kg/cm²]
1	3	15.28	15.26	30.5	291.39	182.77	162.68	161.12
		15.23						
2		15.30	15.30	30.42	287.27	183.73	159.55	
		15.29						
3	7	15.44	15.4	30.37	475.65	186.26	260.58	260.83
		15.36						
4		15.45	15.43	30.44	478.42	186.99	261.08	
		15.41						

5 Resultados.

En la sección de Metodología se presentaron los resultados detallados de los ensayos realizados a los agregados pétreos (Roca Azul y Caliza) y al agregado fino (arena unificada). A continuación, se resumen los hallazgos más relevantes y se analiza su posible influencia en el comportamiento del hormigón.

En cuanto a los agregados gruesos, se observaron diferencias significativas entre la Roca Azul y la Caliza. La Roca Azul presenta un peso específico considerablemente mayor (2899.47 kg/m^3) en comparación con la Caliza (2512.75 kg/m^3), lo que sugiere una mayor densidad del material y, potencialmente, una mayor resistencia intrínseca. El ensayo de abrasión de Los Ángeles reveló que la Roca Azul exhibe una resistencia al desgaste significativamente superior (8.67%) en comparación con la Caliza (21.75%). Este resultado indica que la Roca Azul ofrece una mayor durabilidad frente a la abrasión y, por lo tanto, podría ser más adecuada para aplicaciones donde el hormigón estará expuesto a este tipo de solicitaciones. Sin embargo, la Caliza presenta una mayor absorción (2.46%) en comparación con la Roca Azul (0.50%). Esta diferencia en la absorción podría influir en la demanda de agua de la mezcla de hormigón, requiriendo un ajuste en la relación agua/cemento para lograr una trabajabilidad óptima.

El agregado fino utilizado presentó una granulometría ligeramente fuera de los límites establecidos por la norma ASTM C33. Sin embargo, su granulometría puede permitir una buena compactación en la mezcla, reduciendo la probabilidad de formación de vacíos y contribuyendo a una mayor resistencia mecánica. A pesar de la ligera desviación de la norma, se considera que la arena contribuye positivamente a la compactación del hormigón. Su absorción es de 2.72%, un valor relativamente alto que también podría influir en la demanda de agua de la mezcla.

En conjunto, estas propiedades de los agregados sugieren que el hormigón elaborado con Roca Azul podría exhibir una mayor resistencia y durabilidad frente a la abrasión, la necesidad de un ajuste en la relación agua/cemento debido a la absorción de la Caliza y la arena fue un factor a considerar en el diseño de la mezcla.

5.1 Resultados de los Ensayos de Compresión

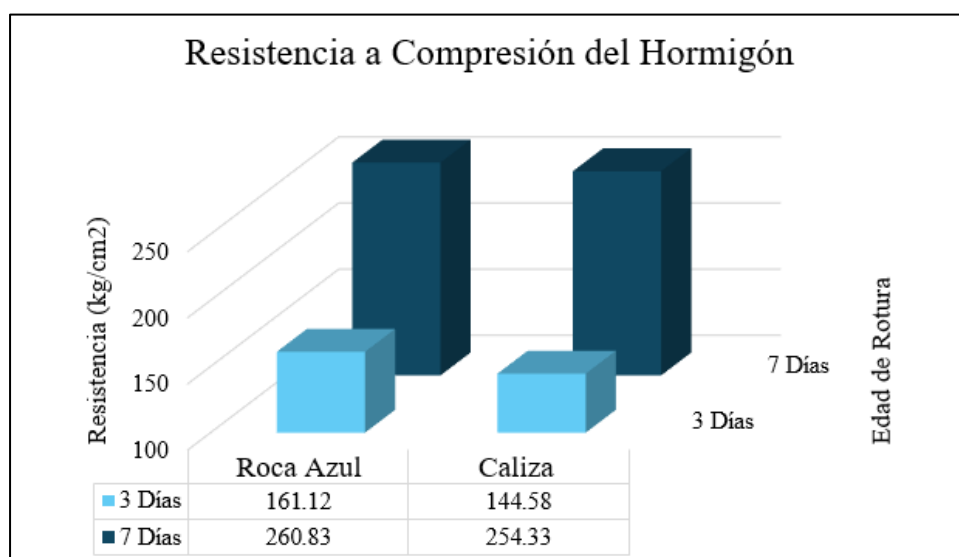
En esta sección se presentan y analizan los resultados de los ensayos de compresión realizados a las probetas de hormigón elaboradas con agregados de Roca Azul y Caliza. Se evaluó la resistencia a compresión a los 3 y 7 días, y se proyectó la resistencia a los 28 días utilizando el modelo de potencia.

5.1.1 Resistencia a Compresión a 3 y 7 Días

La Ilustración 29 presenta los resultados de la resistencia a compresión obtenidos a los 3 y 7 días para cada tipo de agregado. Se calcularon los valores promedio y la desviación estándar para cada edad y tipo de agregado.

Ilustración 29

Resultados de la Resistencia a Compresión del Hormigón a 3 y 7 Días



Nota. Se observa que, en ambas edades, el hormigón elaborado con Roca Azul presenta una mayor resistencia a compresión en comparación con el hormigón elaborado con Caliza. El

análisis de los resultados de los ensayos de compresión del hormigón revela diferencias en el desarrollo de la resistencia entre los especímenes elaborados con Roca Azul y Caliza. A los 3 días, el hormigón con Roca Azul alcanzó una resistencia promedio de 161.12 kg/cm², superando al hormigón con Caliza, que registró 144.58 kg/cm². Esta diferencia inicial de 16.54 kg/cm² indica una tendencia temprana favorable para el hormigón con Roca Azul. A los 7 días, ambas mezclas mostraron un incremento significativo en la resistencia. Sin embargo, el hormigón con Roca Azul continuó mostrando un mejor desempeño

Proyección de la Resistencia a 28 Días

Para estimar la resistencia a compresión a los 28 días, se utilizó una correlación entre la compresión a los 28 y 7 días, cuya ecuación es:

$$f'c(28 \text{ días}) = 76.9 + 1.06 RC_{7D} \quad (5)$$

Donde: RC_{7D} = Resistencia del Hormigón a los 7 días

Para el hormigón elaborado con Roca Azul y Caliza, utilizando los datos a 7 días, se obtuvieron los siguientes valores.

$$\begin{aligned} f'c(28 \text{ días}) &= 76.9 + 1.06 * 260.83 \rightarrow f'c (\text{Roca Azul } 28 \text{ días}) \\ &= 353.38 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

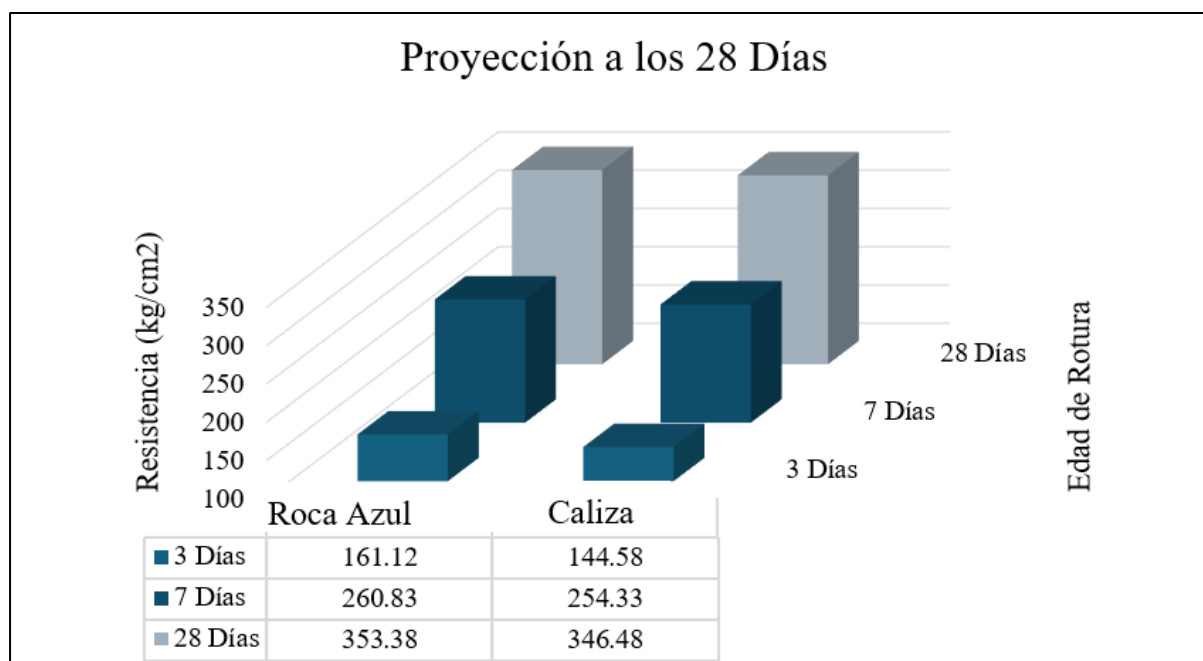
$$f'c(28 \text{ días}) = 76.9 + 1.06 * 254.33 \rightarrow f'c (\text{Caliza } 28 \text{ días}) = 346.48 \text{ Kg/cm}^2$$

Aplicando estas ecuaciones para $t = 28$ días, se obtienen las siguientes proyecciones de resistencia:

- Hormigón con Roca Azul: **353.38** kg/cm²
- Hormigón con Caliza: **346.48** kg/cm²

Ilustración 30

Desarrollo de la resistencia a compresión en el tiempo



Nota. La proyección de la resistencia a los 28 días arroja valores de 353.38 kg/cm² para el hormigón con Roca Azul y 346.48 kg/cm² para el hormigón con Caliza. La diferencia proyectada a 28 días es de 6.9 kg/cm² (aproximadamente un 2% mayor para la Roca Azul), similar a la diferencia observada a los 7 días. Esto implica que, si bien la Roca Azul muestra un desarrollo inicial de resistencia más rápido, la Caliza alcanza un valor cercano a los 28 días.

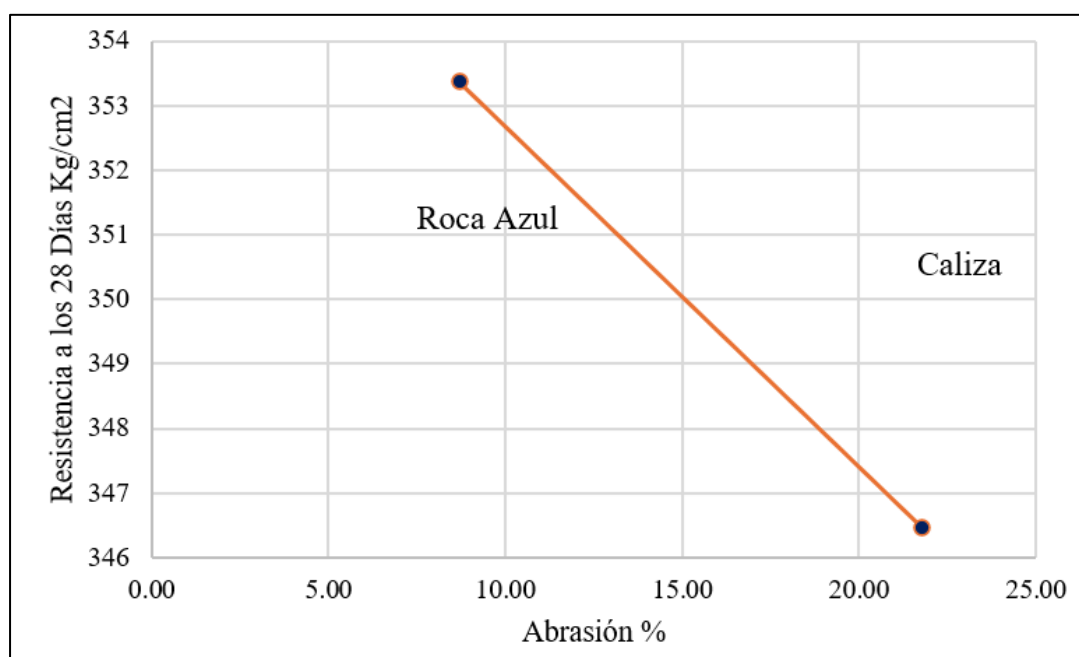
5.1.2 Relación entre las Propiedades de los Agregados y la Resistencia del Hormigón

Los resultados de resistencia a compresión del hormigón a edades tempranas y la proyección a 28 días se correlacionan con las propiedades de los agregados evaluadas previamente. La mayor resistencia al desgaste de la Roca Azul (8.67%) en comparación con la Caliza (21.75%), junto con su mayor peso específico y menor absorción, parecen ser factores determinantes en el mayor desarrollo de la resistencia del hormigón. La mayor

absorción de la Caliza (2.46%) y la granulometría de la arena, ligeramente fuera de la norma ASTM C33, aunque constante en todas las mezclas, podrían haber influido negativamente en la trabajabilidad y, en menor medida, en la resistencia del hormigón elaborado con Caliza.

Ilustración 31

Relación entre la resistencia al desgaste de los agregados gruesos y la resistencia a compresión del hormigón a 28 días (proyectada)



La resistencia a compresión simple de las rocas también fue un parámetro clave en este estudio. Los ensayos arrojaron valores promedio de 1744.61 kg/cm² para la Roca Azul y 1135.42 kg/cm² para la Caliza. Esta diferencia, superior en favor de la Roca Azul, confirma la mayor resistencia intrínseca de este material.

La Ilustración 31 representa gráficamente la relación entre la resistencia al desgaste de los agregados gruesos y la resistencia a compresión proyectada del hormigón a los 28 días. Se observa una tendencia clara: a menor porcentaje de abrasión, mayor resistencia a compresión del hormigón. La Roca Azul, con el menor porcentaje de desgaste (8.67%), se asocia con la mayor resistencia a compresión proyectada a los 28 días (353.38 kg/cm²), mientras que la

Caliza, con un mayor porcentaje de desgaste (21.75%), presenta una menor resistencia proyectada (346.48 kg/cm²).

Esta correlación entre la abrasión y la resistencia del hormigón se explica porque un agregado con mayor resistencia al desgaste tiende a mantener su integridad durante el proceso de mezclado y compactación del hormigón, lo que resulta en una mejor adherencia con la pasta de cemento y, por lo tanto, en una mayor resistencia a compresión. Además, la mayor resistencia intrínseca de la Roca Azul, evidenciada en los ensayos de compresión simple de las rocas, también contribuye a la mayor resistencia del hormigón elaborado con este agregado.

Además de la resistencia al desgaste y la resistencia a compresión de las rocas, otras propiedades de los agregados también influyen en el comportamiento del hormigón. En este estudio, se observó que la Roca Azul presenta una menor absorción de agua (0.50%) en comparación con la Caliza (2.46%). Esta menor absorción podría haber favorecido una mejor hidratación del cemento en las mezclas con Roca Azul, contribuyendo al desarrollo de una mayor resistencia.

6 Conclusiones.

El presente estudio comparativo sobre el comportamiento de hormigones elaborados con agregados gruesos de Roca Azul y Caliza ha permitido establecer conclusiones relevantes sobre la influencia de las propiedades de los agregados en el desempeño del hormigón. Se evidenciaron diferencias notables entre los agregados Roca Azul y Caliza en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas. La Roca Azul presentó una mayor resistencia a la compresión simple, alcanzando un valor promedio de 1744.61 kg/cm², en comparación con la Caliza, que registró 1135.42 kg/cm². Esta diferencia, superior al 50%, indica una mayor

cohesión interna y una estructura más compacta en la Roca Azul, lo que le confiere una mayor capacidad para resistir esfuerzos de compresión.

Adicionalmente, la Roca Azul demostró una considerablemente menor abrasión en el ensayo de Los Ángeles, con un desgaste de 8.67%, frente al 21.75% de la Caliza. Esta diferencia sustancial en la abrasión sugiere una mayor durabilidad y resistencia a la fragmentación de la Roca Azul durante el manejo, mezclado y compactación del hormigón. La Roca Azul también presentó una menor absorción de agua (0.50%) en comparación con la Caliza (2.46%), lo cual podría haber influido positivamente en la hidratación del cemento y, consecuentemente, en el desarrollo de la resistencia del hormigón.

Se estableció una clara correlación entre las propiedades de los agregados y el desarrollo de la resistencia a compresión del hormigón. Los hormigones elaborados con Roca Azul, que presentó mayor resistencia a la compresión y menor desgaste, exhibieron consistentemente mayores resistencias a compresión a los 3 y 7 días, y en la proyección a 28 días, en comparación con los hormigones elaborados con Caliza. A los 3 días, el hormigón con Roca Azul superó al de Caliza en 16.54 kg/cm², diferencia que se redujo a 6.5 kg/cm² a los 7 días, y se mantuvo en 6.9 kg/cm² en la proyección a 28 días.

Esta correlación subraya la importancia de la selección adecuada de los agregados para obtener el desempeño deseado en el hormigón. El ensayo de Los Ángeles se confirma como un indicador robusto de la calidad del agregado grueso y su influencia en la resistencia del hormigón. El menor porcentaje de desgaste de la Roca Azul se tradujo en un mejor comportamiento del hormigón en términos de resistencia a compresión, lo que sugiere que la resistencia al desgaste influye directamente en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, y por lo tanto, en la resistencia final del hormigón.

Los resultados de este estudio ofrecen criterios técnicos valiosos para la selección de agregados en proyectos de construcción en la región del Guayas. La Roca Azul, debido a su

mayor resistencia a la compresión y menor abrasión, se presenta como una opción más favorable para aplicaciones que demandan alta resistencia mecánica y durabilidad, como pavimentos de alto tráfico, elementos estructurales expuestos a abrasión, como canales y presas, y hormigones de alta resistencia. La Caliza, si bien presenta una menor resistencia, podría ser una alternativa viable para aplicaciones donde la resistencia no es el factor primordial, como rellenos, bases de pavimentos de bajo tráfico o elementos no estructurales, especialmente si se considera su posible menor costo o mayor disponibilidad.

Sin embargo, se debe tener precaución con su mayor absorción y considerar su influencia en la relación agua/cemento de la mezcla. La proyección de la resistencia a 28 días proporcionó una estimación del comportamiento a largo plazo del hormigón. Si bien la diferencia entre ambos hormigones se redujo a los 28 días, la Roca Azul mantuvo una ligera ventaja, lo que sugiere que su uso podría ser beneficioso en estructuras que requieren una mayor resistencia a largo plazo.

7 Recomendaciones.

Considerar el uso del agregado de la cantera Santa Rosa (Roca Azul) en proyectos que demanden alta resistencia a compresión y durabilidad, como columnas, vigas y losas sometidas a cargas importantes. El agregado de la cantera San José (Caliza) puede ser utilizado en aplicaciones menos exigentes donde los requerimientos mecánicos son menores.

Realizar estudios adicionales que evalúen propiedades como la resistencia al ataque de sulfatos, la reacción álcali-agregado y la resistencia a ciclos de congelación y deshielo, especialmente para el hormigón elaborado con el agregado de Caliza. Esto permitirá determinar su idoneidad en condiciones ambientales más agresivas.

Incorporar aditivos plastificantes, superplastificantes o reductores de agua en futuros diseños de mezcla para mejorar la trabajabilidad y resistencia del hormigón, especialmente en el caso del agregado de la cantera San José, a fin de compensar sus limitaciones mecánicas.

Proporcionar capacitación técnica a los operadores y responsables de obra sobre la importancia de la dosificación adecuada, el manejo de los agregados y el ajuste por humedad, de manera que se garantice la calidad y homogeneidad de las mezclas en campo.

Implementar un sistema de control de calidad riguroso en el proceso de producción y colocación del hormigón, que incluya verificación de granulometría, humedad de los agregados y relación agua/cemento en cada lote producido. Esto garantizará que las propiedades mecánicas del hormigón cumplan con los requisitos del diseño.

Ampliar la investigación para incluir agregados de otras canteras de la región, lo que permitiría comparar un mayor rango de materiales y establecer recomendaciones más completas para su uso en proyectos de construcción en la Provincia del Guayas.

También es importante considerar un análisis económico comparativo entre el uso de Roca Azul y Caliza, evaluando los costos de extracción, transporte y procesamiento, para tomar decisiones informadas en la selección de agregados. Se sugiere, además, realizar estudios complementarios para analizar el impacto de otras propiedades de los agregados, como la forma y la textura superficial, en el desempeño del hormigón.

8 Bibliografía.

Akram, A. (2021). Size effect at testing strength properties of concrete. *Budownictwo i Architektura*, 20(4), 037–046. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.2821>

American Concrete Institute. (2019). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.

American Society for Testing and Materials. *ASTM C33/C33M - Especificación estándar para agregados de hormigón*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

American Society for Testing and Materials. *ASTM C39/C39M - Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

American Society for Testing and Materials. *ASTM C127 - Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

American Society for Testing and Materials. *ASTM C128 - Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

American Society for Testing and Materials. *ASTM C131/C131M - Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación de agregados gruesos de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

American Society for Testing and Materials. *ASTM C170/C170M - Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de la roca dimensional natural*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

- American Society for Testing and Materials. *ASTM C702/C702M - Práctica estándar para reducir muestras de agregados a tamaño de prueba*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C136/C136M - Método de prueba estándar para el análisis de tamices de agregados finos y gruesos*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C29/C29M - Método de ensayo estándar para la densidad total (peso unitario) y vacíos en los agregados*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Arévalo Ochoa. (2021). *Caracterización Geológica de los Cerros San Eduardo y Bellavista*. Científica, R., & Ingeniar, ' '. (2023). *Características de Dos Agregados Gruesos Triturados que Influyen en la Porosidad del Hormigón*. 6(11).
<https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0086>
- de Souza Risson, K. D. B., Sandoval, G. F. B., Pinto, F. S. C., Camargo, M., de Moura, A. C., & Toralles, B. M. (2024). Contribution to predicting laboratory pervious concrete behavior through density control and coarse aggregate granulometry. *Case Studies in Construction Materials*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02837>
- E., G. D. C., G., J. A. C., & Suarez, J. P. R. (2022). Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI. *editorial-ufps*, 1, 116. <https://doi.org/10.22463/9789587717051>
- F. G. Bell. (2007). Engineering Geology. En *Environmental and Engineering Geoscience* (2a ed., Vol. 17, Número 1). Elsevier.

Ferić, K., Sathish Kumar, V., Romić, A., & Gotovac, H. (2023). Effect of Aggregate Size and Compaction on the Strength and Hydraulic Properties of Pervious Concrete.

Sustainability (Switzerland), 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021146>

Global Concrete Report 2023. (s/f). Recuperado el 30 de noviembre de 2024, de

[https://www.proids-online.com/products/reports/global-concrete-report-](https://www.proids-online.com/products/reports/global-concrete-report-2023?_ga=2.49564006.1304178220.1733063101-767145878.1733063101)

[2023?_ga=2.49564006.1304178220.1733063101-767145878.1733063101](https://www.proids-online.com/products/reports/global-concrete-report-2023?_ga=2.49564006.1304178220.1733063101-767145878.1733063101)

Hou, Y., Yin, S., Wang, L., Yang, K., Yu, X., Kou, P., & Wang, Y. (2024). Influence of mixing time and coarse aggregate content on the flowability, setting time, and mechanical properties of cemented backfill. *Construction and Building Materials*, 449.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138513>

Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgica. (2016). *Depósitos*

Minerales No Metálicos del Ecuador.

Matallana Rodríguez, R. (2019). *EL CONCRETO FUNDAMENTOS Y NUEVAS*

TECNOLOGÍAS (1a ed.). Compañía Colombiana de Cerámica.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and*

Materials (4th Edition). McGraw-Hill Education.

<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071797870>

Meng, L., Zhang, C., Wei, J., Li, L., Liu, J., Wang, S., & Ding, Y. (2023). Mechanical

properties and microstructure of ultra-high strength concrete with lightweight aggregate.

Case Studies in Construction Materials, 18. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01745>

Miguel Solak, A., José Tenza-Abril, A., & Eugenia García-Vera, V. (2022). Adopting an

image analysis method to study the influence of segregation on the compressive strength

of lightweight aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 323.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126594>

Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos. (1982). Mapa geológico nacional de la República del Ecuador [Mapa]. Dirección General de Geología y Minas, Instituto of Geological Sciences (NERC), London. Escala 1:1,000,000.

Monje Yovera, P. M., Muñoz Perez, S. P., Villena Zapata, L. I., García Chumacero, J. M., Diaz Ortiz, E. A., & Quispe Osorio, J. L. (2024). Effect of Total Replacement of Quarry Aggregate by River Aggregate on the Strength of Concrete. *Revista Politecnica*, 54(1), 77–86. <https://doi.org/10.33333/rp.vol54n1.08>

Monteiro, P. J. M., Miller, S. A., & Horvath, A. (2017, junio 27). Towards sustainable concrete. *Nature Materials* 2017 16:7, 16, 698–699. <https://doi.org/10.1038/nmat4930>

Neville Adam, M. (1999). *Tecnología del Concreto* (1a ed.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

NEN. NTE INEN 0696: *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN. NTE INEN 0856: *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN. NTE INEN 0857: *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN. NTE INEN 0858: *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN. *NTE INEN 0860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN. *NTE INEN 0862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN. *NTE INEN 2566: Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Núñez del Arco, E., & Dugas, F. (1985). *Guía Geológica del Sur Oeste de la Costa Ecuatoriana*. Instituto Francés de Investigaciones Científicas para el Desarrollo en Cooperación.

Portland Cement Association. (2004). Portland Cement Association (PCA) - Diseño y control de mezclas de concreto. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, 452.
https://www.academia.edu/34735384/Portland_Cement_Association

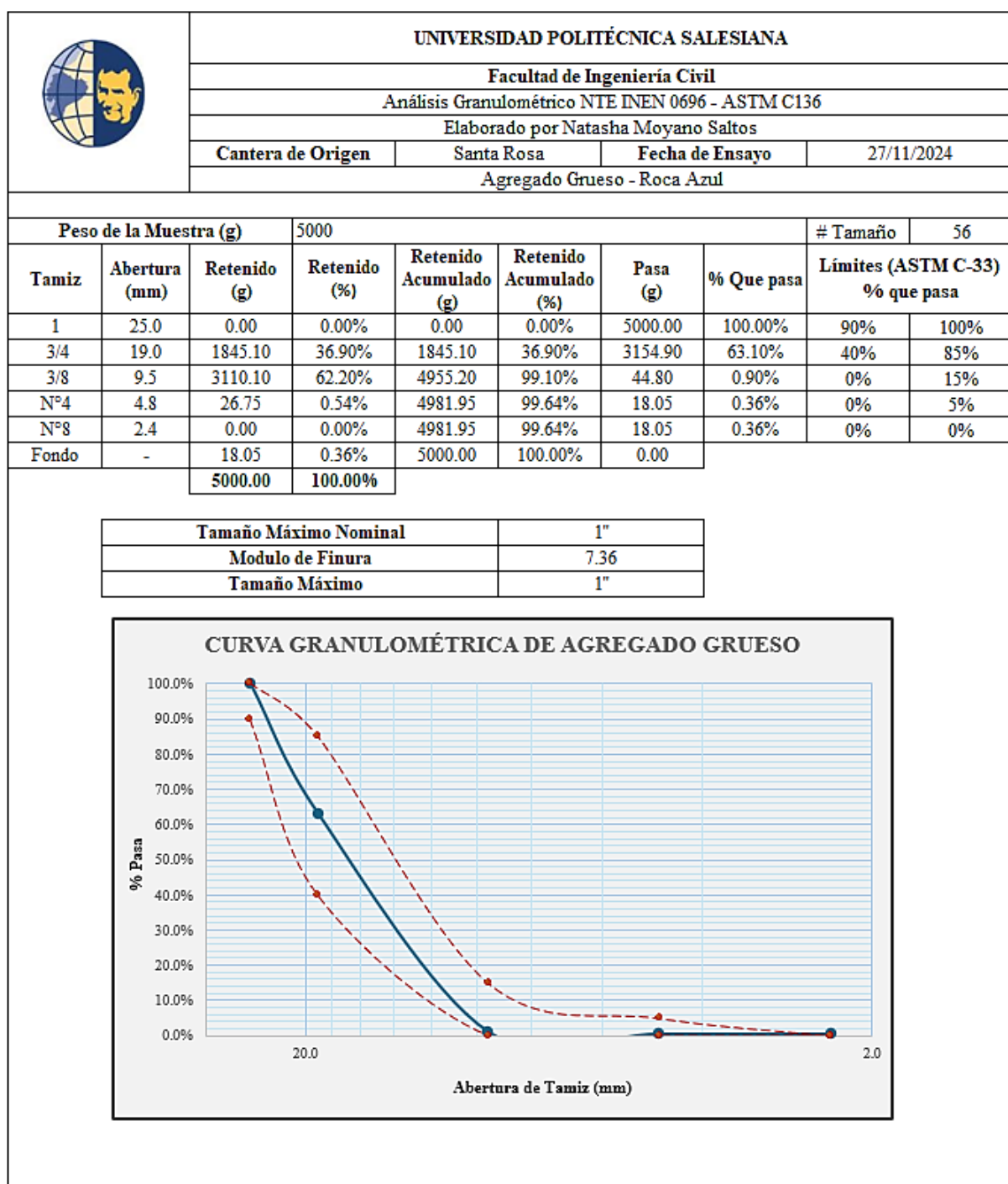
Prochon, P., & Piotrowski, T. (2020). The effect of cement and aggregate type and w/c ratio on the bound water content and neutron shielding efficiency of concretes. *Construction and Building Materials*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120210>

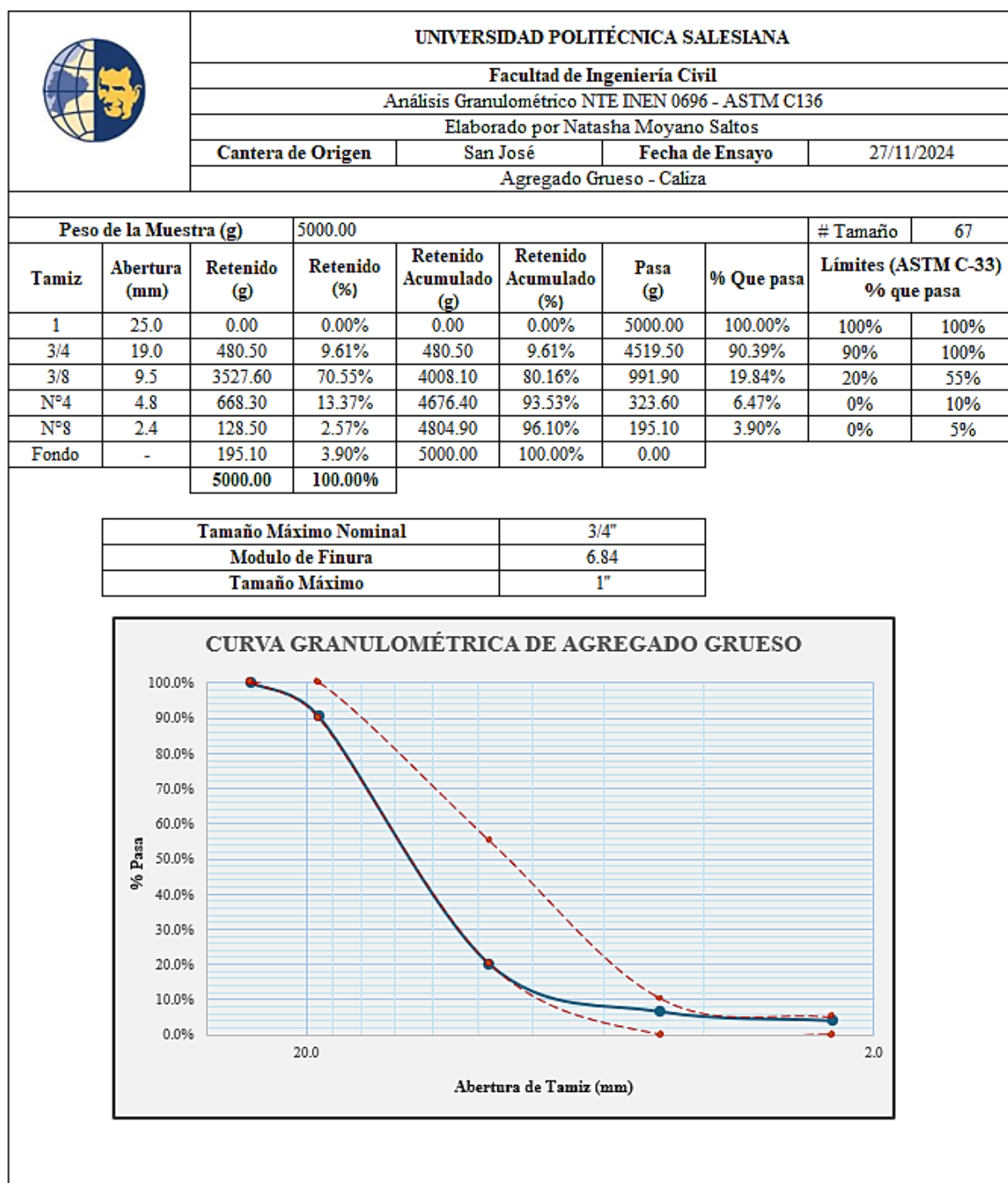
Radica, F., Casarin, A., Iezzi, G., Bravo, M., de Brito, J., Galderisi, A., Brando, G., Nazzari, M., & Scarlato, P. (2024). Cement vs aggregates and textures of aggregates in a mortar: Comparative image analysis methods and analytical protocols. *Construction and Building Materials*, 453. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139033>

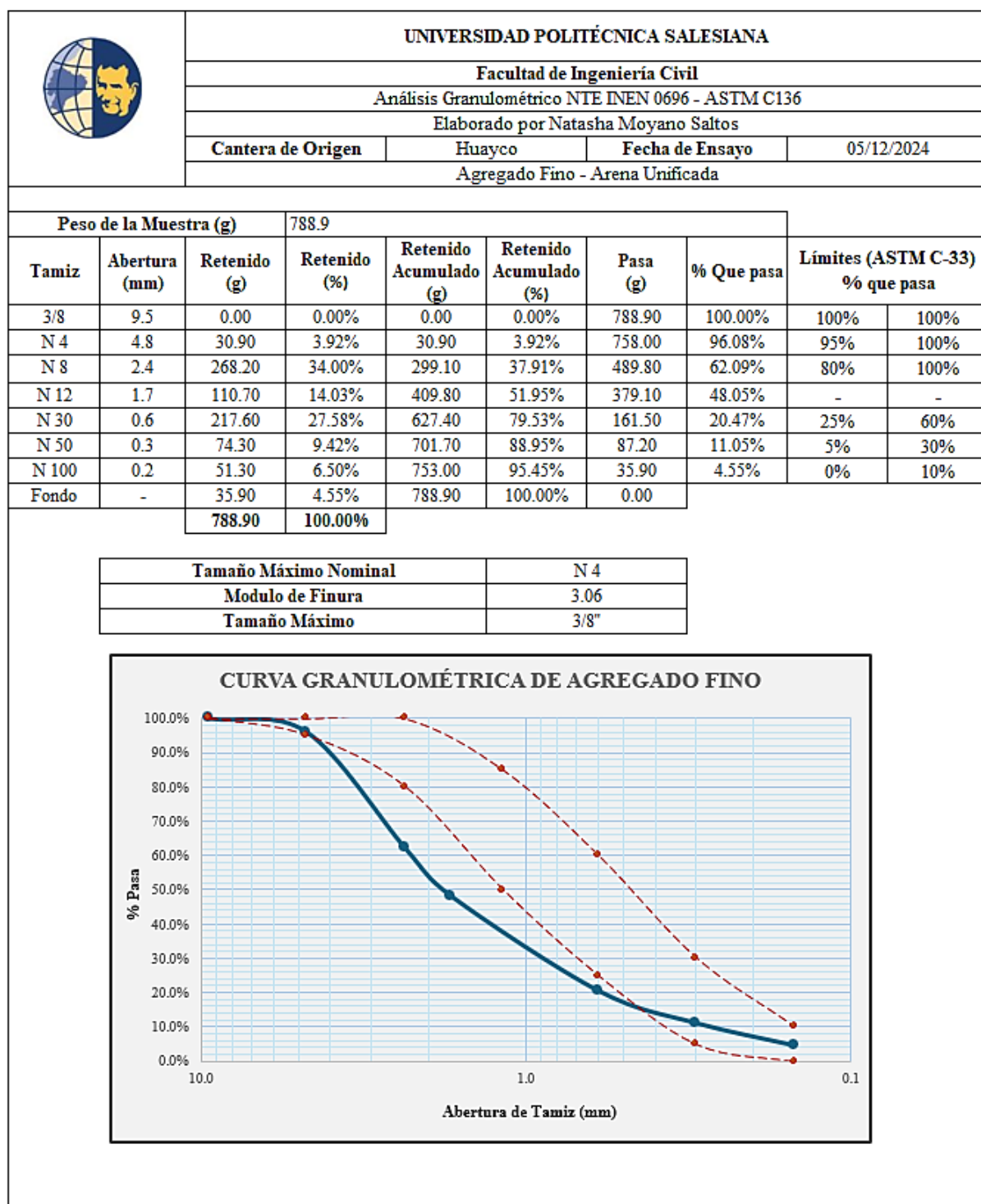
Sánchez-Mendieta, C., Galán-Díaz, J. J., & Martínez-Lage, I. (2024). Relationships between density, porosity, compressive strength and permeability in porous concretes:

- Optimization of properties through control of the water-cement ratio and aggregate type. *Journal of Building Engineering*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110858>
- Shi, C., Zhao, R., Wang, X., Wang, W., & Ding, K. (2024). Effect of clay content on concrete properties. *Case Studies in Construction Materials*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03341>
- Shunmuga Vembu, P. R., & Ammasi, A. K. (2023). A Comprehensive Review on the Factors Affecting Bond Strength in Concrete. En *Buildings* (Vol. 13, Número 3). <https://doi.org/10.3390/buildings13030577>
- Venkataramu, V., & Reddy, B. V. V. (2024). Properties of concrete with processed granulated blast-furnace slag as fine aggregate. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 1–16. <https://doi.org/10.1680/JCOMA.23.00089>
- Wolf, T. (1892). Geografía y geología del Ecuador: Publicada por orden del supremo gobierno de la república. Tipografía de F. A. Brockhaus.
- Zhou, Y., Du, H., Liu, Y., Liu, J., & Liang, S. (2022). An experimental study on mechanical, shrinkage and creep properties of early-age concrete affected by clay content on coarse aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01135>
- Zhuang, W., Li, S., Deng, Q., Chen, M., & Yu, Q. (2024). Effects of coarse aggregates size on dynamic characteristics of ultra-high performance concrete: Towards enhanced impact resistance. *Construction and Building Materials*, 411. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134524>

9 Anexos







	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
	Facultad de Ingeniería Civil					
	Contenido de Humedad NTE INEN 0862 - ASTM D2216					
	Elaborado por Natasha Moyano Saltos					
	Cantera de Origen	Santa Rosa- San José	Fecha de Ensayo		27/11/2024	
	Agregado Grueso - Roca Azul y Caliza					
			Roca Azul		Caliza	
ID	Agregado Grueso	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
A	Peso del Recipiente	gr	425	431	438	444
B	Peso del Recipiente + Muestra Humeda	gr	3940	3948.4	3978.5	3985.9
C	Peso del Recipiente + Muestra Seca	gr	3930	3938.8	3916	3924.4
D	Peso del Agua D = B - C	gr	10	9.6	62.5	61.5
E	Peso de la Muestra Seca E = C - A	gr	3505	3507.8	3478	3480.4
G	Contenido de Humedad F = D/E *100	%	0.29%	0.27%	1.80%	1.77%
F	Contenido de Humedad Final	%	0.28		1.78	

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA				
	Facultad de Ingeniería Civil				
	Contenido de Humedad NTE INEN 0862 - ASTM D2216				
	Elaborado por Natasha Moyano Saltos				
	Cantera de Origen	Huayco	Fecha de Ensayo	27/11/2024	
	Agregado Fino - Arena Unificada				

			Agregado Fino	
ID	Agregado Grueso	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
A	Peso del Recipiente	gr	431	430.8
B	Peso del Recipiente + Muestra Humeda	gr	1241.6	1238
C	Peso del Recipiente + Muestra Seca	gr	1222.6	1218.9
D	Peso del Agua $D = B - C$	gr	19	19.1
E	Peso de la Muestra Seca $E = C - A$	gr	791.6	788.1
G	Contenido de Humedad $F = D/E \cdot 100$	%	2.40%	2.42%
F	Contenido de Humedad Final	%	2.41%	

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
	Facultad de Ingeniería Civil			
	Gravedad Específica y Capacidad de Absorción NTE INEN 0857 - ASTM C127			
	Elaborado por Natasha Moyano Saltos			
	Cantera de Origen	Santa Rosa- San José	Fecha de Ensayo	06/12/2024
	Agregado Grueso - Roca Azul - Caliza			

ID	Descripción	Unidad	Roca Azul	Caliza
A	Masa de la Canastilla en el Aire	gr	1006.6	1006.6
B	Masa de la Canastilla en el Agua	gr	877.7	877.7
C	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en el Aire	gr	4530.3	4573.5
D	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en el Agua	gr	3192.2	3058
E	Masa de la Muestra S.S.S. en el Aire	gr	3523.7	3565
F	Masa de la Muestra S.S.S. en el Agua	gr	2314.5	2180.3
G	Masa de la Muestra Seca	gr	3506.04	3479.4
H	Gravedad Específica SH	-	2.899	2.513
I	Gravedad Específica S.S.S.	-	2.914	2.575
J	Gravedad Específica Aparente	-	2.942	2.678
K	Absorción	%	0.50	2.46

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
	Facultad de Ingeniería Civil			
	Gravedad Específica y Capacidad de Absorción NTE INEN 0856 - ASTM C128			
	Elaborado por Natasha Moyano Saltos			
	Cantera de Origen	Huayco	Fecha de Ensayo	06/12/2024
	Agregado Fino - Arena Unificada			

ID	Descripción	Unidad	Ag. Fino
A	Masa del Picnómetro	gr	324.1
B	Masa del Picnómetro + Ag. Fino	gr	825.5
C	Masa del Agregado Fino S.S.S	gr	501.4
D	Masa del Picnómetro + Ag. Fino + Agua	gr	1628
E	Masa del Agua Añadida	gr	802.5
F	Masa del Picnómetro Lleno de Agua hasta el Nivel de Aforo	gr	1320.3
G	Masa de Agua Hasta el Nivel de Aforo	gr	996.2
H	Masa de Agua Desalojada	gr	193.7
I	Masa del Ag. Fino Seco	gr	488.10
J	Gravedad Específica SH	-	2.520
K	Gravedad Específica S.S.S.	-	2.589
L	Gravedad Específica Aparente	-	2.706
M	Absorción (C-I)/I	%	2.72

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Facultad de Ingeniería Civil

Peso Volumétrico y Porcentaje de Vacíos NTE INEN 0858 - ASTM C29

Elaborado por Natasha Moyano Saltos

Cantera de Origen

Santa Rosa- San José

Fecha de Ensayo

27/11/2024

Agregado Grueso - Roca Azul y Caliza

Peso Unitario Suelto	Unidad	Roca Azul		Caliza	
Peso del Recipiente	Kg	11.01		11.01	
Volumen del Recipiente	m3	0.01		0.01	
Peso del Recipiente +Peso de la Muestra Seca	Kg	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
		19.40	19.54	17.99	17.96
Peso de la Muestra Suelta	Kg	8.39	8.53	6.98	6.95
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	932.22	947.78	775.56	772.22
Peso Unitario Suelto Promedio	Kg/m3	940.00		773.89	
Peso Unitario Compactado	Unidad	Roca Azul		Caliza	
Peso del Recipiente	Kg	11.01		11.01	
Volumen del Recipiente	m3	0.01		0.01	
Peso del Recipiente +Peso de la Muestra Seca	Kg	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
		20.23	20.26	18.63	18.72
Peso de la Muestra Suelta	Kg	9.22	9.25	7.62	7.71
Peso Unitario Compactado	Kg/m3	1024.44	1027.78	846.67	856.67
Peso Unitario Compactado Promedio	Kg/m3	1026.11		851.67	

		Roca Azul		Caliza	
Contenido de Vacíos	Unidad	Compactado	Suelto	Compactado	Suelto
Gravedad Específica (SH)	-	2.899		2.513	
Densidad del Agua	Kg/m3	996.69		996.69	
Contenido de Vacíos	%	68.46	59.82	45.65	37.85

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
	Facultad de Ingeniería Civil			
	Peso Volumétrico y Porcentaje de Vacíos NTE INEN 0858 - ASTM C29			
	Elaborado por Natasha Moyano Saltos			
	Cantera de Origen	Huayco	Fecha de Ensayo	27/11/2024
	Agregado Fino - Arena Unificada			

Peso Unitario Suelto	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso del Recipiente	Kg	1.62	1.62	1.62
Volumen del Recipiente	m ³	0.003	0.003	0.003
Peso del Recipiente +Peso de la Muestra Seca	Kg	5.82	5.92	5.84
Peso de la Muestra Suelta	Kg	4.2	4.3	4.22
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1400.00	1433.33	1406.67
Peso Unitario Suelto Promedio	Kg/m ³	1413.33		

Peso Unitario Compactado	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso del Recipiente	Kg	1.62	1.62	1.62
Volumen del Recipiente	m ³	0.003	0.003	0.003
Peso del Recipiente +Peso de la Muestra Seca	Kg	6.25	6.32	6.42
Peso de la Muestra Suelta	Kg	4.63	4.7	4.8
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1543.3	1566.67	1600
Peso Unitario Compactado Promedio	Kg/m ³	1570		

Contenido de Vacíos	Unidad	Compactado	Suelto
Gravedad Específica (SH)	-	2.520	2.520
Densidad del Agua	Kg/m ³	996.59	996.59
Contenido de Vacíos	%	117.85	102.13

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
	Facultad de Ingeniería Civil			
	Resistencia al Desgaste por Abrasión en la Máquina de los Ángeles NTE INEN 0860 - ASTM C131			
	Elaborado por Natasha Moyano Saltos			
	Cantera de Origen	Santa Rosa- San José	Fecha de Ensayo	14/12/2024
	Agregado Grueso - Roca Azul y Caliza			

ID	Gradación de la Muestra Ensayada = B	Unidad	Roca Azul		Caliza	
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
A	Masa de la Muestra Inicial	gr	5002.4	4997.6	5004.9	4994.4
B	Masa de la Muestra Final Retenida en el Tamiz de 1.70 mm	gr	4568.3	4564.3	3941.2	3883.2
C	Degradación $C=(A-B)/A * 100$	%	8.68	8.67	21.25	22.25
	Degradación Promedio	%	8.67		21.75	

Ilustración 32

Lugar de Extracción de Roca Azul



Ilustración 33

Muestreo de agregado grueso para análisis de laboratorio



Ilustración 34

Muestras de Agregado Grueso Superficialmente Seco



Ilustración 35

Ensayo de Gravedad Específica del Agregado Fino



Ilustración 37

Ensayo de Cono de Abrams



Ilustración 36

Engrasado de Probetas



Ilustración 38

Rotura de Probeta a los 3 días

**Ilustración 39**

Rotura de Probeta a los 7 días



Ilustración 40

Cilindros Roturados a los 7 Días

