



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN  
CON AGREGADOS DE LAS MINAS UBICADAS EN SANTA ISABEL Y  
PAUTE DE LA PROVINCIA DEL AZUAY.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**AUTORA: JOHANNA PAOLA MONTESDEOCA FERNÁNDEZ**

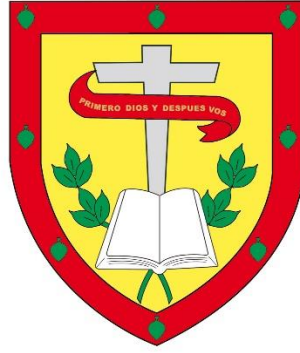
**LOURDES CECILIA PERALTA MARTÍNEZ**

**DIRECTOR: ING. CÉSAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA MSC.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN  
CON AGREGADOS DE LAS MINAS UBICADAS EN SANTA ISABEL Y  
PAUTE DE LA PROVINCIA DEL AZUAY.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**AUTORAS: JOHANNA PAOLA MONTESDEOCA FERNÁNDEZ**

**LOURDES CECILIA PERALTA MARTÍNEZ**

**DIRECTOR: ING. CÉSAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA MSC**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

**Lourdes Cecilia Peralta Martínez y Johanna Paola Montesdeoca Fernández** portadoras de las cédulas de ciudadanía N° **0106392343** y **0150110534**. Declaramos ser autoras de la obra: **“Análisis comparativo de la resistencia del hormigón con agregados de las minas ubicadas en Santa Isabel y Paute de la provincia del Azuay”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 10 de octubre de 2024

F:   
Lourdes Cecilia Peralta Martínez  
0106392343

F:   
Johanna Paola Montesdeoca Fernández  
0150110534

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. MSc. César Humberto Maldonado Noboa, certifico que el presente trabajo de titulación realizado por las Srtas. Lourdes Cecilia Peralta Martínez y Johanna Paola Montesdeoca Fernández, egresadas de la UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, fue desarrollado bajo mi supervisión y tutoría con el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DE LAS MINAS UBICADAS EN SANTA ISABEL Y PAUTE DE LA PROVINCIA DEL AZUAY”**.

Atentamente,

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



F: .....

**Ing. MSc. César Humberto Maldonado Noboa**

**C.I.: 0102260916**

**DOCENTE-TUTOR**

## DEDICATORIA

A Dios, quien me ha brindado sabiduría, fuerza y valentía para no rendirme en mis estudios académicos.

A mis padres, Vicente Montesdeoca y Mayra Fernández, gracias por motivarme a seguir adelante y no rendirme. Muchas veces reproché, mamá, tu manera de ser, pero entendí que la vida te hizo así y que tu infancia no fue fácil; solo tratabas de protegerme y ser la mejor mamá. Aprendí de tu bondad, carácter y fortaleza. Papá, gracias por tus consejos, por apoyarme económicamente y por todo lo que has hecho por mí.

A mis hermanos Gabriel, Mabel y Naty, los amo. Siempre estaré para ustedes, y cada momento juntos es un tesoro que guardo en mi corazón. Gabriel y Mabel, juntos hemos compartido risas, lágrimas y recuerdos que siempre llevaré conmigo. Gracias por quererme tanto; su amor y comprensión significan el mundo para mí. Naty, gracias por apoyarme, por ser mi roca, mi consuelo y mi mejor amiga, y por darme una pequeña pulguita que siempre me saca una sonrisa. No hay palabras suficientes para expresar cuánto valoro a mi hermano y mis hermanas.

A mi sobrina Sofía: te debo la vida mi pequeña pulga. Gracias por secar mis lágrimas, abrazarme y sacarme una sonrisa con tus ocurrencias. Gracias por ser mi inspiración y por llenar mi vida de amor y alegría.

A la familia Km 42 Runner Club: a todos ustedes les agradezco por sus consejos, por motivarme a seguir adelante, por enseñarme a creer en mí, por hacerme sentir feliz y libre, y por mostrarme que con disciplina, constancia y pasión puedo lograr lo que quiera, porque me conectó con personas tan increíbles. ¡Más que un Club Somos una Familia!

A mis amigas, quienes han estado conmigo apoyándome en mis momentos más difíciles.

Finalmente, no lo hubiera logrado sin ti, Fausto. Tú resuelves, cuidas, enseñas, proteges, amas, retas, cocinas, abrazas, mimas, malcrías y mueves mar, cielo y tierra por nosotros. Haces todo. Mi superhéroe, llamarte papá queda corto; decirte Fausto no me cuadra. Mirarte, papá, es como mirar a un ángel. Fausto, me preparaste el desayuno muchas veces, me enseñaste a manejar la bicicleta, el carro, a amarrar mis zapatos, a perdonar y entender que perdonar es vivir libre. Me enseñaste a amar a mis enemigos, a ser justo y honrado en la vida, a ser humilde y sabio. Me enseñaste a aceptar mis errores y, sobre todo, me enseñaste a amar. Me defendiste en muchas ocasiones y puliste mi carácter. Me enseñaste que uno es billonario solo cuando ayuda a un billón de personas. Cualquier nombre te queda corto. No todos los superhéroes llevan capa; el mío lleva unas manos lastimadas de tanto trabajar, una bella sonrisa en su rostro angelical y su mayor debilidad son sus hijos. Qué gran hombre eres, Fausto. Te amo, papá Fausto. Eres padre y madre para mí. Padre no es quien engendra, sino quien cría y educa. Tú lo demostraste, mi ángel enviado por Dios.

**Paola Montesdeoca**

A Dios, cuya luz ha iluminado mi camino en cada paso de este viaje académico. Tu infinita sabiduría y tu amor incondicional me han dado el valor y la determinación para alcanzar este objetivo.

Dedico esta tesis a mi querido padre, Luis, cuya sabiduría, amor y fortaleza siguen guiando cada paso de mi vida. A pesar de tu ausencia física, tu legado y enseñanzas han sido mi guía constante en este viaje académico, cada página de esta tesis refleja el amor y la dedicación que me enseñaste.

Dedico esta tesis a mi madre, Cecilia, cuyo amor incondicional, paciencia y sacrificio han sido el pilar de mi vida. Su apoyo constante y su confianza en mí me han dado la fuerza para seguir adelante y alcanzar mis metas. Sin su aliento y guía, este logro no habría sido posible.

Dedico esta tesis a mis queridos hermanos, Vinicio y Viviana, quienes han sido mi apoyo incondicional y mis compañeros más leales a lo largo de este viaje. Gracias por su amor, paciencia y aliento constante, que han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A mis primas, Nathy y Andre, quienes han sido una parte fundamental de mi vida a lo largo de este proceso. Su apoyo, comprensión y cariño han sido una fuente invaluable de fortaleza.

A mis amigos, por su leal apoyo y su paciencia durante este camino. Cada conversación y cada gesto de aliento han sido valiosos para llegar a este punto.

**Lourdes Peralta**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi papá Fausto Viñamagua y a mis padres Vicente Montesdeoca y Mayra Fernández. También a mi hermano Gabriel, mis hermanas Mabel y Naty, y a mi sobrina Sofía. Agradezco, además, a mis amigas que estuvieron presentes durante mis estudios universitarios. Igualmente, agradezco en especial al Ing. Juan Monge y al Ing. Msc. César Maldonado Noboa por haber guiado mi trabajo de titulación con su conocimiento y profesionalismo.

### **Paola Montesdeoca**

Agradezco profundamente a Dios y a la Virgen por su infinita paciencia, guía y apoyo durante todo el desarrollo de esta tesis. Su presencia me ha dado la fuerza y la claridad necesarias para superar los retos y alcanzar esta meta. Este trabajo es un reflejo de su gracia en mi vida.

A mis padres, Luis y Cecilia, por su amor y sacrificio, y a mis hermanos, Vinicio y Viviana, por su apoyo y compañía. Cada uno de ustedes ha sido una parte esencial de este logro, brindándome el ánimo y la motivación necesarios para seguir adelante.

A mi tutor, Ing. Cesar Maldonado, por su dedicación, paciencia y orientación a lo largo de este proceso. Su apoyo constante y su compromiso con mi desarrollo académico han sido esenciales para la finalización de este trabajo. Gracias por estar siempre disponible y por inspirarme a alcanzar mis metas.

A Ing. Juan Monge, por su invaluable apoyo y asesoría durante la elaboración de esta tesis. Su orientación experta y su paciencia han sido clave para superar los desafíos del proyecto. Este trabajo es un reflejo de su dedicación y de la profunda influencia que ha tenido en mi formación académica.

### **Lourdes Peralta**

## RESUMEN

Uno de los desafíos en el campo de la construcción vial, está relacionado con la cantidad de materiales necesarios para pavimentos, sumado a la calidad de los productos y la disposición de los procesos constructivos. El objetivo de la presente investigación es analizar la incidencia en la resistencia del hormigón utilizando agregados de las minas ubicadas en Santa Isabel y Paute de la provincia del Azuay, basados en las propiedades y ensayos de los materiales.

La investigación se centra en evaluar el impacto de los agregados de las minas de Santa Isabel y Paute en la resistencia del hormigón. Se realizó una revisión bibliográfica sobre los ensayos de los agregados, el método de diseño Fuller-Thompson y pruebas de compresión y flexión.

Los resultados mostraron que los áridos del río Paute presentan mayor porosidad (5.48%) que los del río Jubones (4.025%). Se utilizó el método de Fuller-Thompson para optimizar la distribución de los agregados en la mezcla.

Se fabricaron 18 probetas de hormigón (9 de cada tipo de agregado), aplicando dos relaciones diferentes de agua/cemento. Los ensayos de compresión revelaron que la relación óptima de agua/cemento para los agregados del río Paute fue de 0.36, alcanzando 35 MPa, mientras que para los del río Jubones fue de 0.33, logrando 30.23 MPa, lo que se atribuye a una inadecuada proporción granulométrica.

En los ensayos de flexión, los agregados del río Paute cumplieron con las normativas, en contraste con los del río Jubones, que no alcanzaron los estándares requeridos.

*Palabras clave:* pavimento, hormigón, ensayos, compresión, flexión,

## ABSTRACT

One of the challenges in road construction is related to the quantity of materials needed for pavements, the quality of the products, and the arrangement of construction processes. This research aims to analyze the impact on the strength of concrete using aggregates from mines located in Santa Isabel and Paute in the province of Azuay, based on the properties and test of the materials.

The research focuses on evaluating the impact of aggregates from the Santa Isabel and Paute mines on the strength of concrete. A literature review was conducted on the aggregates testing, the Fuller-Thompson design method, and compression and bending tests.

The results showed that the aggregates from the Paute River exhibit higher porosity (5.48%) than those from the Jubones River (4.025%). The Fuller-Thompson method was used to optimize the distribution of aggregates in the mix.

Eighteen concrete specimens (nine of each type of aggregate) were manufactured using two different water/cement ratios. The compression tests revealed that the optimal water/cement ratio for the aggregates from the Paute River was 0.36, achieving 35 MPa, while for the Jubones River aggregates, it was 0.33, reaching 30.23 MPa. This can be attributed to an inadequate grain size distribution.

In the bending tests, the aggregates from the Paute River met the standards, in contrast to those from the Jubones River, which did not meet the required specifications.

*Keywords:* concrete, pavement, compression, bending, tests

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	19
1.1.    Introducción.....	19
1.2.    Formulación del problema.....	19
1.3.    Delimitación del problema .....	20
1.4.    Justificación del problema .....	21
1.5.    Delimitación de la zona de estudio.....	21
1.6.    Objetivos.....	23
1.6.1.  Objetivo General .....	23
1.6.2.  Objetivos Específicos.....	23
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	24
2.1.    Generalidades del pavimento rígido .....	24
2.1.1.  Losa .....	24
2.2.    Generalidades del hormigón.....	24
2.3.    Métodos de mejora para pavimentos rígidos .....	25
2.3.1.  Aditivo del concreto .....	25
2.3.2.  Requisitos de norma para empleo .....	25
2.3.3.  Aditivo superplastificante .....	26
2.3.4.  Aditivo hiperplastificante.....	26
2.4.    Granulometría.....	27
2.4.1.  Granulometría de finos.....	27
2.4.2.  Granulometría de gruesos.....	27

2.5.	Módulo de finura .....	30
2.6.	Tamaño nominal .....	30
2.7.	Peso volumétrico .....	30
2.8.	Densidad .....	30
2.8.1.	Densidad de volumen en estado seco .....	31
2.8.2.	Densidad aparente .....	31
2.8.3.	Densidad de volumen en estado saturado superficialmente seco (SSS) .	31
2.9.	Contenido de humedad .....	31
2.10.	Abrasión.....	32
2.11.	Propiedades del hormigón .....	33
2.11.1.	Consistencia .....	33
2.11.2.	Trabajabilidad.....	33
2.11.3.	Uniformidad .....	33
2.11.4.	Fraguado.....	33
2.11.5.	Estado endurecido .....	34
2.12.	Ensayos para pavimentos.....	34
2.12.1.	Ensayo a compresión.....	34
2.12.2.	Ensayo a flexión .....	36
2.13.	Diseño de mezcla de hormigón .....	38
2.13.1.	Método ACI.....	38
2.13.2.	Método de Fuller – Thompson .....	38

3.	CAPITULO III: METODOLOGÍA .....	40
3.1.	Caracterización de los materiales .....	40
3.1.1.	Cemento .....	40
3.1.2.	Agua .....	40
3.2.	Análisis granulométrico del árido grueso .....	41
3.2.1.	Granulometría del árido grueso de Paute .....	41
3.2.2.	Granulometría del árido grueso de Santa Isabel.....	42
3.3.	Análisis granulométrico del árido fino .....	42
3.3.1.	Granulometría del árido fino de Paute .....	43
3.3.2.	Granulometría del árido fino de Santa Isabel.....	44
3.4.	Peso Especifico.....	45
3.5.	Abrasión.....	45
3.6.	Diseño de la mezcla de hormigón.....	45
3.6.1.	Metodología de diseño .....	45
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	56
4.1.	Resultados de la granulometría del agregado grueso de Paute.....	56
4.2.	Resultados de la granulometría del agregado grueso de Santa Isabel .....	59
4.3.	Resultados de la granulometría del agregado fino de Paute.....	61
4.4.	Resultados de la granulometría del agregado fino de Santa Isabel .....	62
4.5.	Resultados del peso específico de los agregados.....	65
4.5.1.	Agregado fino de Paute .....	65
4.5.2.	Agregado fino de Santa Isabel .....	65

4.5.3.	Agregado grueso de Paute.....	66
4.5.4.	Agregado grueso de Santa Isabel .....	67
4.6.	Resultado de Abrasión.....	67
4.7.	Diseño de la mezcla de hormigón.....	68
4.7.1.	Resistencia requerida.....	68
4.7.2.	Verificación de Asentamiento.....	68
4.7.3.	Tamaño máximo nominal del agregado .....	68
4.7.4.	Estimación de la cantidad de agua .....	68
4.7.5.	Relación agua cemento.....	69
4.7.6.	Cantidad de cemento .....	69
4.7.7.	Proporción de los agregados .....	69
4.8.	Dosificación para la mezcla de hormigón .....	73
4.9.	Ejecución de ensayos de laboratorio .....	74
4.10.	Análisis a compresión.....	75
4.10.1.	Ensayo a compresión con agregados de Santa Isabel .....	75
4.10.2.	Ensayo a compresión con agregados de Paute .....	76
4.11.	Análisis a flexión.....	77
4.11.1.	Ensayo a flexión con agregados de Santa Isabel y Paute .....	77
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1.	Conclusiones.....	81
5.2.	Recomendaciones .....	82
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	83

7.....	84
--------	----

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> ....	27
Gradación del árido fino .....	27
<b>Tabla 2.</b> ....	28
Gradación de grueso .....	28
<b>Tabla 3.</b> ....	28
Parámetros de gradación de gruesos.....	28
<b>Tabla 4.</b> ....	41
Límites del agregado grueso – Paute.....	41
<b>Tabla 5.</b> ....	42
Límites del agregado grueso - Santa Isabel .....	42
<b>Tabla 6.</b> ....	43
Requisitos de gradación del áridos fino.....	43
<b>Tabla 7.</b> ....	43
Límites del agregado fino - Paute.....	43
<b>Tabla 8.</b> ....	44
Límites del agregado fino - Santa Isabel - Tiburón.....	44
<b>Tabla 9.</b> ....	46
Resistencia promedio la compresión .....	46
<b>Tabla 10.</b> ....	47
Asentamientos recomendados para hormigones.....	47
Cantidad de agua requerida en función del tamaño máximo nominal del agregado .....	47
<b>Tabla 11.</b> ....	48

Contenido de humedad .....	48
<b>Tabla 12.</b> .....	49
Relación entre $f'_{cr}$ y $(a/c)$ .....	49
<b>Tabla 13.</b> .....	56
Granulometría del árido grueso de Paute .....	56
<b>Tabla 14.</b> .....	58
Tamaño nominal del agregado grueso.....	58
<b>Tabla 15.</b> .....	59
Requisitos de gradación de áridos gruesos .....	59
<b>Tabla 16.</b> .....	59
Granulometría del agregado grueso – Santa Isabel .....	59
<b>Tabla 17.</b> .....	61
Granulometría del agregado fino – Paute .....	61
<b>Tabla 18.</b> .....	63
Granulometría del agregado fino - Santa Isabel - Tiburón.....	63
<b>Tabla 19.</b> .....	65
Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Paute .....	65
<b>Tabla 20.</b> .....	65
Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Santa Isabel – Tiburón .....	65
<b>Tabla 21.</b> .....	66
Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Paute .....	66
<b>Tabla 22.</b> .....	67
Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Santa Isabel – Tiburón....	67
<b>Tabla 23.</b> .....	67
Desgaste del material Paute - Santa Isabel .....	67

<b>Tabla 24.</b> ....	69
Método de Fuller - Thompson Ajuste Granulometría - Santa Isabel .....	69
<b>Tabla 25.</b> ....	71
Método de Fuller - Thompson Ajuste Granulometría - Paute .....	71
<b>Tabla 26.</b> ....	73
Dosificación óptima para la mezcla de hormigón – Paute .....	73
<b>Tabla 27.</b> ....	73
Dosificación óptima para la mezcla de hormigón - Santa Isabel .....	73
<b>Tabla 28.</b> ....	74
Distribución de probetas para los ensayos realizados .....	74
<b>Tabla 29.</b> ....	75
Resultado del ensayo a compresión en cilindros a los 28 días Santa Isabel.....	75
<b>Tabla 30.</b> ....	76
Resultado del ensayo a compresión en cilindros a los 28 días Paute .....	76
<b>Tabla 31.</b> ....	79
Resultados del módulo de rotura de Paute y Santa Isabel .....	79
<b>Tabla 32.</b> ....	79
Relación de resultados de la resistencia a compresión y el módulo de rotura.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> .....	22
Ubicación de la mina Tiburón .....	22
<b>Figura 2.</b> .....	22
Ubicación de la mina Vipesa .....	22
<b>Figura 3.</b> .....	36

Esquema de modelos típicos de fractura .....	36
<b>Figura 4.</b> .....	37
Ensayo a flexión en el hormigón, por método de carga en los tercios de la luz.....	37
<b>Figura 5.</b> .....	51
Distribución de materiales Fuller-Thompson .....	51
<b>Figura 6.</b> .....	57
Curva granulométrica del agregado grueso – Paute .....	57
<b>Figura 7.</b> .....	60
Curva granulométrica del agregado grueso – Santa Isabel.....	60
<b>Figura 8.</b> .....	62
Curva granulométrica del agregado fino – Paute .....	62
<b>Figura 9.</b> .....	64
Curva granulométrica del agregado fino – Santa Isabel – Tiburón.....	64
<b>Figura 10.</b> .....	68
Asentamiento obtenido para el diseño .....	68
<b>Figura 11.</b> .....	71
Curva granulométrica ajustada - Santa Isabel .....	71
<b>Figura 12.</b> .....	72
Curva granulométrica ajustada – Paute .....	72
<b>Figura 13.</b> .....	75
Gráfica Esfuerzo-Deformación Santa Isabel .....	75
<b>Figura 14.</b> .....	76
Gráfica Esfuerzo-Deformación Paute.....	76
<b>Figura 15.</b> .....	77
Marcación de las vigas .....	77

<b>Figura 16.....</b>	<b>78</b>
Rotura en el tercio medio de la luz de la viga de hormigón .....	78

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1. Introducción**

Las características físicas de la mezcla del concreto empleado en el diseño de losas de pavimento rígido están determinadas por el tipo de agregado, agua y ligante (habitualmente cemento). Estos elementos son los factores clave que influyen directamente en la trabajabilidad en estado fresco y en la resistencia final del concreto.

La presente investigación tiene como finalidad analizar la incidencia en la resistencia del hormigón para pavimentos rígidos con agregados de las minas ubicadas en Santa Isabel y Paute de la provincia del Azuay, sus propiedades mecánicas para elaborar vigas con un diseño de mezcla de Hormigón de  $350 \text{ kg/cm}^2$ . Las mismas que se realizarán mediante un previo diseño en laboratorio, luego de los ensayos como granulometría, abrasión, entre otros, lo que permitirá conocer las propiedades de los materiales previa su utilización.

### **1.2. Formulación del problema**

El problema fundamental dentro del ámbito de la construcción vial, depende de factores, como la cantidad de materiales que se requieren para la fabricación, la calidad de los productos obtenidos y la calidad en los procesos constructivos, con el objetivo fundamental de lograr un pavimento con mejores características para ofrecer a la ciudadanía proyectos sustentables y duraderos. Lo anotado significa que debemos disponer de materiales idóneos que cumplan especificaciones y garanticen la vida útil de los proyectos carreteros, es entonces que la presente investigación pretende estudiar y comparar materiales de las minas de Paute y Santa Isabel, ya que son las que mayormente distribuyen el material en Cuenca, provincia del Azuay. Será necesario analizar y detallar las características de los materiales previo al diseño y elaboración de hormigón. La fabricación de hormigón para pavimentos, requiere una atención adecuada, pensando en la serviciabilidad que debe ofrecer a los usuarios de las vías, la comodidad, seguridad y durabilidad frente a las cargas impuestas por

el tráfico es la respuesta a las necesidades de la comunidad y el problema a enfrentar. La patología de la estructura vial que presentan los pavimentos rígidos depende mucho de los materiales que conforman, en la cual un comportamiento anormal de la estructura del pavimento provoca fisuras, grietas o daños (Monsalve, Rodríguez, Torrado, & Vergara, 2022).

### **1.3. Delimitación del problema**

La construcción vial en la provincia del Azuay, y la mejora de las carreteras, no solo simplifica el transporte de bienes y personas, sino que también potencia el turismo y fortalece los lazos entre las comunidades, fundamentales para asegurar un desarrollo equitativo y sostenible. Es crucial considerar el origen de los materiales utilizados en esta construcción, así como identificar las minas que más contribuyen al desarrollo de la provincia del Azuay. Al igual, el consumo y uso excesivo de materiales pétreos presenta varios problemas como, el agotamiento de recursos y la contaminación del aire y los ríos donde son extraídos los materiales pétreos.

Entre las minas más cercanas para la obtención de materiales se encuentran las de Paute y Santa Isabel. Se realizarán estudios sobre los materiales extraídos de estas minas, con el objetivo de evaluar su idoneidad para su uso en la construcción vial. Se llevarán a cabo ensayos en el laboratorio de suelos del CIITT (Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología) con los materiales extraídos de las minas mencionadas, a fin de realizar la combinación adecuada de cemento, agregados y agua para obtener una mezcla con las propiedades deseadas en términos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Para lograr un hormigón de calidad óptima, es esencial calcular cuidadosamente las proporciones de los materiales utilizados en el diseño, garantizando que se alcance la resistencia especificada. Las pruebas y ensayos realizados en el laboratorio permitirán verificar el control de calidad de los materiales y asegurar que el hormigón resultante sea resistente. La fabricación del

hormigón cumple un rol muy importante debido a su importancia en la ingeniería civil y la construcción, ya que se realiza numerosos estudios e investigaciones para ofrecer a la ciudadanía una mejor calidad en estructuras de vías (Vidaud-Quintana & Frómeta-Salas, 2018)

#### **1.4. Justificación del problema**

La presente investigación está dirigida al análisis de la resistencia del hormigón con materiales de Santa Isabel y Paute, con la finalidad de realizar una comparación que permita definir, mediante estudios de laboratorios el material idóneo para la construcción civil, teniendo en cuenta que un buen diseño del pavimento es muy importante, ya que esto nos ayuda a garantizar la durabilidad y seguridad de los conductores. Obtener una buena resistencia y un buen diseño de pavimento es el resultado de investigaciones previas de los agregados que conforman el hormigón, la dosificación con el cemento, la relación agua cemento, con el fin de optimizar materiales logrando la resistencia requerida y el servicio a la ciudadanía dotando de calzadas con pavimentos de buena calidad y cumpliendo con los estándares de durabilidad, seguridad y funcionalidad requeridos durante su vida útil (Toirac Corral, 2009).

#### **1.5. Delimitación de la zona de estudio**

Se llevará a cabo el análisis de materiales en la mina Tiburón, ubicada en el cantón Santa Isabel, sector Huascachaca, en las coordenadas 679.500,94 – 9.630.581,34.

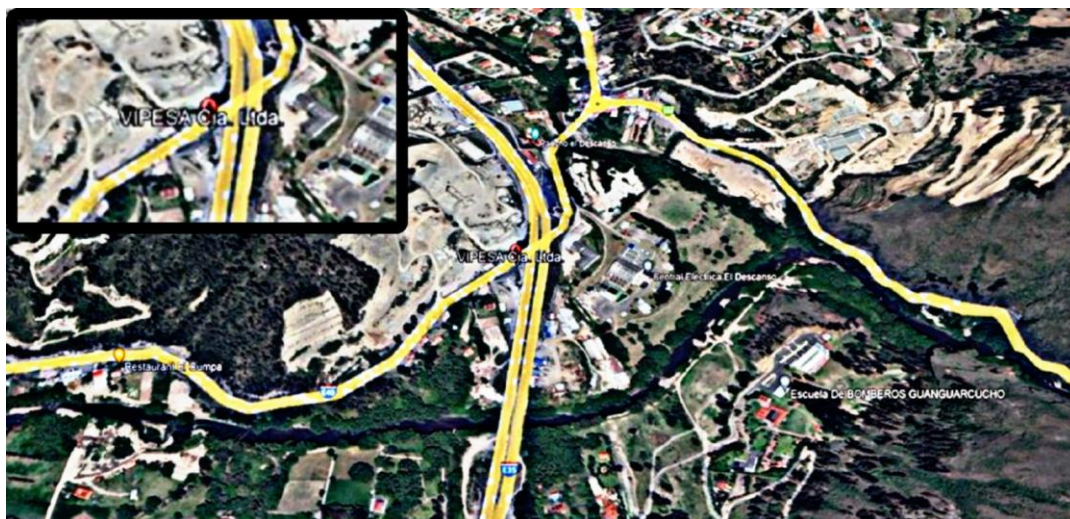
La otra será, los materiales procesados en la mina Vipesa que se localiza en el sector Descanso, con coordenadas 735.954.86 – 9.686.065.34. La distancia desde Cuenca hasta la mina Vipesa es de aproximadamente 22 kilómetros por la vía Cuenca-Paute, con un tiempo estimado de viaje de 28 minutos en coche. Por otra parte, la distancia entre Cuenca y las minas en estudio en Santa Isabel es de alrededor de 100 kilómetros, con un tiempo de viaje en coche de 2 a 3 horas, dependiendo de las condiciones de tráfico y carretera.

**Figura 1.**

*Ubicación de la mina Tiburón*

**Figura 2.**

*Ubicación de la mina Vipesa*



## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. *Objetivo General***

- Analizar la incidencia en la resistencia del hormigón con agregados de las minas ubicadas en Santa Isabel y Paute de la provincia del Azuay, basados en las propiedades y ensayos de los materiales producidos en las zonas de estudio.

### **1.6.2. *Objetivos Específicos***

- Identificar las características físicas de los diferentes agregados existentes en las minas ubicadas en Santa Isabel y Paute.
- Caracterizar los materiales de Santa Isabel y Paute para posteriormente realizar el diseño de hormigón con una resistencia de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ .
- Fabricar y ensayar las muestras, para realizar un análisis comparativo de los resultados.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Generalidades del pavimento rígido

Los pavimentos rígidos transmiten esfuerzos y deformaciones a las capas subyacentes, lo que depende de las rigideces relativas de estas capas. Este tipo de pavimento distribuye los esfuerzos sobre una superficie más amplia. Se utilizan frecuentemente en aeropuertos y principales autopistas, así como en pisos industriales, puertos y zonas de operación de vehículos pesados. El material más común para la construcción de pavimentos rígidos es la losa de concreto hidráulico, debido a su costo efectivo y disponibilidad. Estas losas deben diseñarse para soportar las cargas de tráfico y evitar fallas por fatiga provocadas por cargas repetidas. Aunque los pavimentos rígidos pueden estar diseñados para una vida útil de 15 a 20 años, es más habitual que su duración esperada sea de 30 a 40 años (Montalvo Guevara , 2015).

#### 2.1.1. Losa

Es la capa superior del pavimento, en la que los esfuerzos se distribuyen según la rigidez de la losa, lo que resulta en que las capas inferiores, como la base y la subbase, soporten una menor cantidad de esfuerzos.

### 2.2. Generalidades del hormigón

El hormigón se define de manera general como una masa de construcción producto de la mezcla de un aglomerante (cemento) con un material pétreo inerte (áridos), mediante la utilización de agua. El cemento es el componente activo de la mezcla de hormigón; tiene como función principal la de aglomerar los áridos, para formar una pasta homogénea y cohesiva. Proporciona la resistencia mecánica de la pasta de hormigón endurecida. Por su parte, los áridos se dividen entre el árido grueso (grava, gravilla) y el árido fino (arena) (Salinas Nuñez, 2015) . Forman el esqueleto inerte de la estructura y aportan rigidez al hormigón, siendo esenciales para su durabilidad y estabilidad a lo largo del tiempo. El agua

proporciona plasticidad y trabajabilidad en estado fresco, además de hidratar el aglomerante y facilitar el curado del hormigón. Por último, se pueden añadir aditivos a estos componentes básicos para mejorar diversas propiedades del hormigón. (Proaño Calucho & Tuglema Mangia, 2018).

### **2.3. Métodos de mejora para pavimentos rígidos**

#### **2.3.1. *Aditivo del concreto***

El ACI define un aditivo como cualquier sustancia que se añade a la mezcla de concreto, además de los materiales cementantes, agregados, minerales y fibras, y que no excede el 5% del peso del cemento. Por su parte, el INEN describe el aditivo como un producto químico que se incorpora a la mezcla de mortero o concreto, ya sea antes o después de su preparación, y que mejora sus propiedades (Abarracín Bolaños & Cañarte Sarango, 2023).

Generalmente, se incorporan uno o varios aditivos a la mezcla de hormigón con el objetivo de:

Alterar sus propiedades permitiendo que se acomoden a las necesidades de la obra.

Facilitar la trabajabilidad al momento de manipular la mezcla.

Mantener un rendimiento eficaz en el diseño, transporte, y colocación de la mezcla.

Generar resultados rentables por la variación de proporciones de los materiales.

#### **2.3.2. *Requisitos de norma para empleo***

Existe diferentes tipos de aditivos en nuestro país, que debe cumplir con la Norma (NEC, 2011), basada en el (ACI, 2014) que indica:

Aditivos reductores y modificadores para tiempo de fraguado: ASTM C494.

Aditivos plastificantes para estimular la fluidez: ASTM C1017.

Aditivos para incorporación de aire: ASTM C260.

Aditivos inhibidores de la corrosión: ASTM C1582.

### **2.3.3. Aditivo superplastificante**

En las obras civiles y en la construcción en general, es crucial emplear sistemas que garanticen la fluidez de la mezcla y reduzcan la energía requerida para su consolidación. Para aumentar la fluidez, se puede disminuir el contacto entre las partículas, lo que se puede lograr incrementando la cantidad de agua o minimizando el proceso químico de atracción entre las partículas mediante el uso de superplastificantes (Sika, 2014).

### **2.3.4. Aditivo hiperplastificante**

Los policarboxilatos representan una nueva generación de plastificantes que pueden disminuir la cantidad requerida hasta tres veces en comparación con los superplastificantes tradicionales, obteniendo resultados efectivos. Estos aditivos producen fuerzas repulsivas electrostáticas o estéricas entre las partículas del cemento. Su eficacia depende del grado de absorción, la cantidad de moléculas absorbidas, el espesor y el porcentaje de superficie cubierta por el polímero (Sika, 2014).

Según (Sika E. , 2019), Sika Viscocrete 4100 es un aditivo reductor de agua de alto rango y hiperplastificante, elaborado con polímeros policarboxilatos de la tecnología Sika Viscocrete, y está diseñado para cumplir con todos los requisitos de la norma ASTM C-494.

Entre sus principales características técnicas se puede mencionar las siguientes:

Proporciona mayor plasticidad con altos asentamientos.

Permite reducir el agua hasta 45% con altas dosificaciones.

Facilita la trabajabilidad por más de una hora y controla el tiempo de fraguado.

Mantiene la cohesión evitando la segregación y/o sangrado.

La dosificación de los policarboxilatos depende de los requisitos técnicos específicos de la obra, así como del tipo de agregado y las condiciones ambientales de la zona. Se sugiere utilizar una proporción que oscile entre el 0.19% y el 0.9% del peso del cemento.(Sika E. , 2019)

## 2.4. Granulometría

La granulometría se refiere al proceso de clasificar las partículas del agregado según su tamaño. Este proceso se lleva a cabo al pasar el material a través de una serie de tamices dispuestos verticalmente en orden descendente, comenzando con el tamiz de mayor abertura en la parte superior. Los tamices son mallas de alambre que filtran el tamaño máximo del agregado (Abarracín Bolaños & Cañarte Sarango, 2023).

La normativa ecuatoriana vigente indica que los áridos tienen que cumplir exigencias granulométricas establecidas en la INEN 696:2011.

### 2.4.1. Granulometría de finos

Según la normativa vigente ASTM-C33 (INEN696) los agregados deben ser tamizados por la siguiente serie de mallas.

**Tabla 1.**

*Gradación del árido fino*

<b>REQUISITOS DE GRADACIÓN DE ÁRIDO FINO</b>	
<b>TAMIZ</b>	<b>PORCENTAJE QUE PASA</b>
9,5 mm (3/8")	100
4,75 mm (N° 4)	95 - 100
2,36 mm (N°8)	80 - 100
1,18 mm (N°16)	50 - 85
600 mm (N°30)	25 - 60
300 mm (N°50)	10 - 30
150 mm (N°100)	2 - 10

*Fuente:* Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 872:2011)

### 2.4.2. Granulometría de gruesos

Los agregados gruesos deben ser tamizados por la siguiente serie de mallas.



90		90 - 100									
75	3		100								
63	2 1/4	25 - 60	90 - 100	100						100	
53			35 - 70	95 - 100	100					90 - 100	100
37,5	1 1/2	0 - 15	0 - 15		95 - 100	100				35 - 70	90 - 100
26,5				35 - 70		95 - 100	100			0 - 15	20 - 55
19,1	3/4	0 - 5	0 - 5		35 - 70		90 - 100	100			0 - 15
13,5				10 - 30		25 - 60		90 - 100	100	0 - 5	
9,5	3/8				10 - 30		20 - 55	40 - 70	85 - 100		0 - 5
4,75	No. 4			0 - 5	0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 15	10 - 30		
2,36	No. 8					0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 10		
									0 - 5		

Fuente: Noma Técnica Ecuatoriana (INEN 872:2011)

## **2.5. Módulo de finura**

El módulo de finura sirve como un indicador de la finura de un agregado; a mayor valor, más gruesas serán las partículas. Este módulo se determina sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados que quedan retenidos en una serie de mallas específicas (Pantoja Peña, 2019).

De acuerdo con la normativa, el módulo de finura debe encontrarse entre 2.3 y 3.1, con una tolerancia de 0.2 en más o en menos en relación al módulo de finura empleado en el diseño de la dosificación del concreto hidráulico (Pantoja Peña, 2019).

## **2.6. Tamaño nominal**

Es el siguiente tamiz con una abertura mayor al que muestra un porcentaje retenido acumulado del 15% o más. El tamaño nominal máximo afecta la resistencia del hormigón, ya que los niveles más altos de resistencia se logran con tamaños máximos más pequeños y dosis elevadas de cemento. (Hurtado Flores, 2014).

## **2.7. Peso volumétrico**

Se define como la relación entre la masa seca del material y el volumen que ocupa en un recipiente determinado. Este valor está influenciado por la composición del material, así como por la forma y textura de sus partículas.

## **2.8. Densidad**

La densidad es una propiedad física que se define como la relación entre el peso y el volumen de una masa específica, y depende de las características del grano del agregado. Este factor es crucial para el diseño de mezclas, ya que permite determinar las cantidades de agregado necesarias para un volumen unitario de hormigón. Esto se debe a que los poros internos de las partículas de agregado ocupan un volumen dentro de la masa de concreto y el agua se aloja en los poros saturables. (Hurtado Flores, 2014).

### **2.8.1. Densidad de volumen en estado seco**

También conocida como densidad absoluta, se define como la relación entre la masa sólida del agregado y el volumen del material sólido, excluyendo todos los vacíos entre las partículas y los poros permeables (Hurtado Flores, 2014).

### **2.8.2. Densidad aparente**

Esta propiedad se define como la relación entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan sus partículas, incluyendo todos los poros saturables y no saturables (Hurtado Flores, 2014).

### **2.8.3. Densidad de volumen en estado saturado superficialmente seco (SSS)**

Es la relación entre la masa de un volumen específico de agregado en el aire, incluyendo la masa del agua en los poros saturables (después de haber estado sumergido en agua durante aproximadamente 24 horas), pero excluyendo los vacíos entre las partículas. (Hurtado Flores, 2014).

La capacidad de absorción de un material influye significativamente en el grado de deterioro que puede experimentar; la cantidad de espacios vacíos, como poros y fisuras, y la permeabilidad son factores que afectan la durabilidad de cualquier estructura de concreto. Esto es especialmente relevante en concretos ubicados en áreas donde ocurren ciclos de congelación y descongelación, ya que el agua puede expandirse hasta un 9% al congelarse. Este cambio en volumen puede afectar gravemente la estructura interna del concreto. (Rodríguez Villalba, 2013).

El porcentaje de absorción (%) permite ajustar la cantidad de agua en la mezcla y, al mismo tiempo, evaluar si el material presenta porosidad.

## **2.9. Contenido de humedad**

El contenido de humedad de los agregados es el porcentaje de agua presente en el agregado en el momento de realizar la mezcla. Su cálculo se lleva a cabo para determinar la

variación del agua en la mezcla, permitiendo así un control más preciso de la relación agua/material cementante y asegurando que esta relación se mantenga constante (Mancheno Guallichico & Salazar Pozo, 2021).

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo se detalla en la normativa INEN 862. A continuación, se presenta la fórmula para calcular el contenido de humedad.

$$CH(\%) = \frac{M_s - M_h}{M_h} * 100 \quad (1)$$

CH (%): contenido de humedad expresada en porcentaje.

Ms: masa de agregado es estado natural (g).

Mh: masa secada al horno (g).

## 2.10. Abrasión

El ensayo de abrasión, regulado por la normativa INEN 861, permite evaluar el desgaste de las partículas del agregado grueso, aplicándose a aquellas mayores de 19 mm.

En este proceso, el agregado es sometido a desgaste por esferas de acero en una máquina conocida como "Máquina de los Ángeles". Dentro de su tambor rotatorio, se colocan las esferas y el agregado, generando desgaste por impacto durante 500 revoluciones. Después, se tamiza el material y se procede a realizar el cálculo utilizando la fórmula establecida en la norma.(Mancheno Guallichico & Salazar Pozo, 2021).

$$D = \frac{B - C}{B} * 100 \quad (2)$$

D: valor de degradación, en porcentaje.

B: masa inicial de la muestra de ensayo

C: masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm, después del ensayo.

Un agregado con un desgaste elevado puede comprometer la resistencia de un diseño de hormigón, ya que el desgaste incrementa el tamaño de los finos y altera su granulometría.

## **2.11. Propiedades del hormigón**

### **2.11.1. Consistencia**

La trabajabilidad del hormigón en su estado fresco está influenciada por diversas variables, entre las que se incluyen la demanda de agua y las relaciones agua/cemento (a/c) y agregado/cemento. Esta última relación es especialmente importante para determinar la cantidad óptima de pasta necesaria para lubricar las partículas del material. (González Petro & Salcedo Hernández, 2022).

Este dispositivo proporciona una forma práctica y estandarizada para medir el asentamiento del hormigón, lo que refleja su consistencia y trabajabilidad. El procedimiento de ensayo generalmente sigue los lineamientos de una norma técnica específica. En este caso, en Ecuador, se emplea la norma NTE INEN 1578, que está alineada con el equivalente internacional ASTM C143. Ambas normas describen el procedimiento detallado para la realización del ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams.

### **2.11.2. Trabajabilidad**

Es la capacidad de una mezcla de hormigón en estado fresco para ser manipulada, mezclada, transportada y vertida en su ubicación final. (González Petro & Salcedo Hernández, 2022).

### **2.11.3. Uniformidad**

Es una propiedad esencial que debe mantenerse durante la mezcla, colocación y compactación del hormigón para asegurar una distribución uniforme de sus características físicas y mecánicas. Sin embargo, esta uniformidad puede verse afectada por fenómenos como la exudación y la segregación. (González Petro & Salcedo Hernández, 2022).

### **2.11.4. Fraguado**

Es el proceso en el que el hormigón pasa de estado líquido a sólido, experimentando transformaciones químicas y físicas que le otorgan resistencia y durabilidad. Durante este

proceso, el cemento se combina con el agua para formar compuestos sólidos y cristalinos que unen los agregados, resultando en una masa sólida y robusta (González Petro & Salcedo Hernández, 2022).

#### **2.11.5. Estado endurecido**

El hormigón endurecido es un material con características excepcionales que lo convierten en el más utilizado en la construcción a nivel mundial. Su resistencia mecánica, especialmente a la compresión y la flexión, es una de sus propiedades más destacadas (Crespo Crespo, 2018) .

La determinación de la resistencia a la compresión del hormigón se logra mediante la realización de pruebas en testigos cilíndricos o prismáticos. Estos testigos se someten a una carga axial hasta que se produce su falla. Este proceso, regido por la norma INEN NTE 1576, se basa en la norma ASTM C31M.

En lo que respecta a la resistencia a la flexión, se llevan a cabo ensayos utilizando vigas. Durante estos ensayos, las vigas son sometidas a una carga que induce una flexión en el material hasta que se produce su fallo.

### **2.12. Ensayos para pavimentos**

#### **2.12.1. Ensayo a compresión**

En el Ecuador, los concretos utilizados para fines estructurales suelen especificarse en un rango de 180 a 210 kg/cm<sup>2</sup>, aunque en algunos casos pueden alcanzar resistencias de entre 280 y 350 kg/cm<sup>2</sup>. Estas últimas se consideran en el país como concretos de alta resistencia (Salinas, 2015).

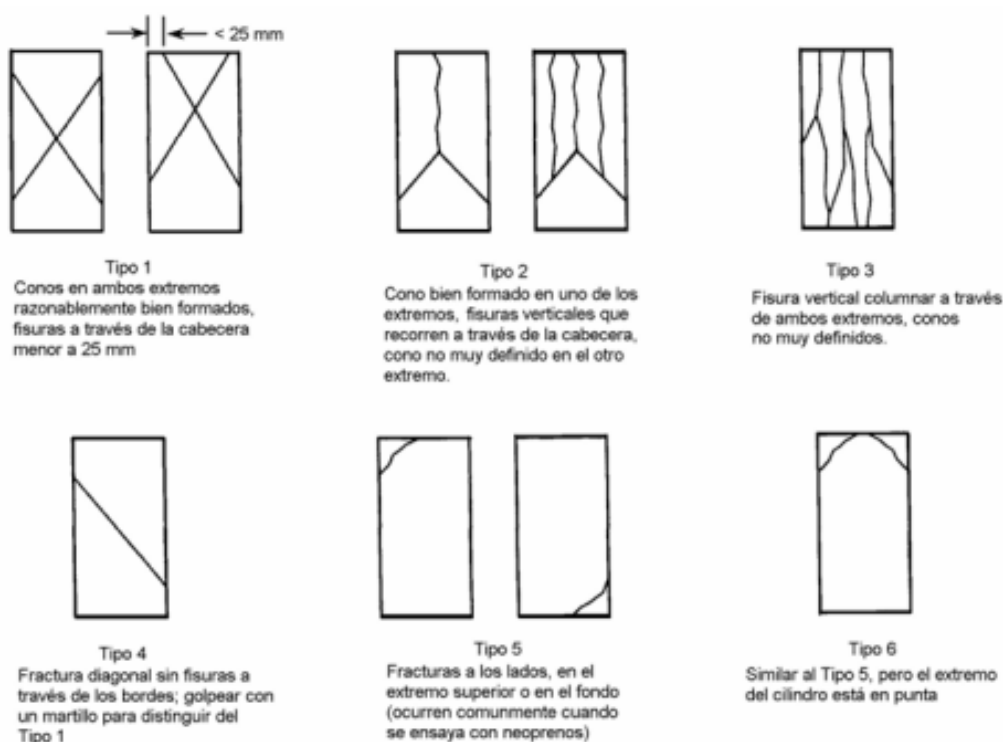
Este ensayo lo regula la norma NTE INEN 1573 cuyo objetivo es determinar la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón. Los resultados que se obtienen del ensayo son fundamentales para el control de calidad en la dosificación del

hormigón, en el manejo del mezclado y colocación, verificación en el cumplimiento de las especificaciones y evaluación de la eficacia de los aditivos.

El procedimiento de ensayo implica la aplicación de una carga axial de compresión a los cilindros de hormigón a una velocidad de carga predefinida, hasta que el espécimen falle. La resistencia a compresión se calcula dividiendo la carga máxima registrada a la hora del ensayo entre el área de la sección transversal del cilindro (NTE INEN 25554, 2011).

La carga aplicada a los especímenes debe mantenerse a una velocidad de esfuerzo de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s y debe ser aplicada de forma continua. También es crucial que los especímenes de ensayo tengan dimensiones de 150x300 mm o 100x200 mm, o, en su defecto, cumplir con la relación Longitud/Diámetro=2, conforme a las especificaciones para la preparación de especímenes establecidas en la normativa ASTM.

Se han creado modelos para describir la fractura de cilindros de hormigón bajo compresión. Estos modelos se emplean para prever cómo se comportará el hormigón bajo cargas compresivas y para evaluar su resistencia. Entre los modelos más conocidos, destacan:

**Figura 3.***Esquema de modelos típicos de fractura*

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 1573.2010)

**2.12.2. Ensayo a flexión**

Una viga de hormigón simple, apoyada libremente en sus extremos, se somete a una carga aplicada en los tercios de su luz hasta que se produce la rotura del espécimen. La carga se aplica de forma continua y sin impactos, a una velocidad constante. La resistencia a la flexión se determina mediante el módulo de rotura, según las fórmulas especificadas en esta norma.

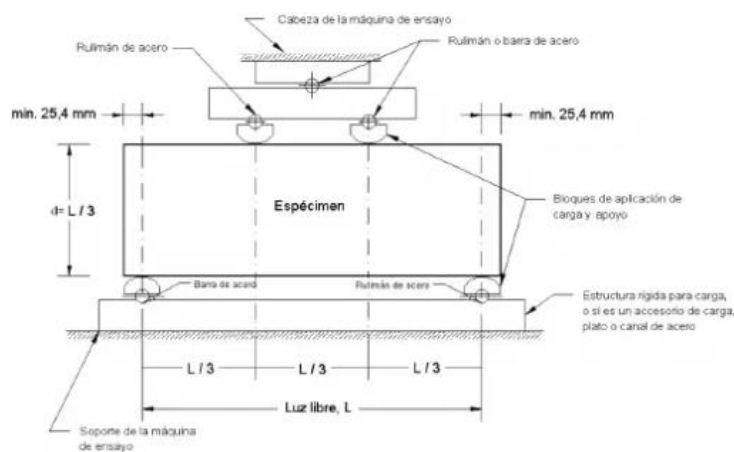
La máquina de ensayo debe cumplir con los requisitos de verificación, correcciones y períodos entre verificaciones según la norma ASTM E 4. No se permiten máquinas de ensayo manuales con bombas que no ofrezcan una carga continua en un solo movimiento. Se permiten bombas a motor o de desplazamiento positivo operadas manualmente, siempre que

tengan la capacidad de realizar el ensayo en un movimiento continuo sin recargas y que apliquen cargas a una velocidad uniforme, sin golpes ni interrupciones.

El método de carga en los tercios de la luz libre se utiliza para realizar ensayos de flexión del hormigón, utilizando bloques de carga que garantizan que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y se apliquen sin excentricidad.

#### Figura 4.

*Ensayo a flexión en el hormigón, por método de carga en los tercios de la luz*



Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 2554)

Todos los dispositivos para realizar ensayos de flexión en hormigón deben ser capaces de mantener constante la longitud de la luz libre especificada, así como las distancias entre los bloques de carga y los bloques de apoyo, con una tolerancia de  $\pm 1,3$  mm.

La relación entre la distancia horizontal medida desde el punto de aplicación de la carga y el punto de reacción más cercano en relación a la altura de la viga debe ser de  $1,0 \pm 0,03$ . Los especímenes de ensayo deben cumplir con los requisitos de las normas ASTM C 42, ASTM C 31 o ASTM C 192, según corresponda, y la luz libre entre los apoyos debe estar dentro del 2% en relación a tres veces su altura durante el ensayo. Los lados del espécimen deben formar un ángulo recto con la parte superior e inferior, y todas las superficies deben ser lisas y estar libres de marcas, desportilladuras, agujeros o impresiones de identificación (NTE INEN 1578, 2011).

## 2.13. Diseño de mezcla de hormigón

### 2.13.1. Método ACI

El método americano ACI es el más conocido y ampliamente utilizado para diseñar mezclas de concreto que cumplen con los estándares apropiados para agregados gruesos y finos. Aunque este método a veces resulta en una mezcla más seca y ligeramente pedregosa de lo esperado, permite hacer correcciones tanto para el agua como para los agregados. Sin embargo, su aplicación es limitada, ya que no puede diferenciar entre tipos de áridos, como redondos, triturados o angulares. Un enfoque alternativo para corregir el asentamiento es evaluar la cantidad de agua, intentando mantener la misma relación agua/cemento, mientras se conserva constante la cantidad de agregado grueso (Cáceres Silupu & Chira Chávez, 2021).

### 2.13.2. Método de Fuller – Thompson

En 1907, Fuller y Thompson desarrollaron una fórmula matemática para seleccionar una curva granulométrica continua, con el objetivo de optimizar la provisión de áridos en el hormigón (Giraldo, 1987) . La ecuación de la curva granulométrica de Fuller y Thompson es un método utilizado en ingeniería civil y en la industria de materiales de construcción para determinar la cantidad óptima de agregado fino y grueso en una mezcla de hormigón. La ecuación se representa de la siguiente manera:

$$y=100*\left(\frac{d}{D}\right)^m \quad (3)$$

Donde:

y=porcentaje retenido en cada tamiz de abertura d;

d=abertura del tamiz en mm; m=0,5;

D=tamaño máximo del agregado.

Este método se lo utiliza siempre y cuando el agregado no cumpla con la “regla Según la norma ASTM C 33, las dosis de cemento utilizadas son superiores a 300 kg por metro cúbico de hormigón, además de emplear áridos gruesos en un rango de 3/4” a 2” (Cáceres Silupu & Chira Chávez, 2021).

Es recomendable utilizar el método Fuller-Thompson en las siguientes condiciones:

La cantidad de cemento que se tiene que incluir supera los 300 kgf.

El armado de la estructura no da las garantías necesarias.

El tamaño máximo del agregado es menor de 2”  $\pm$  3/4”.

Los agregados son preferiblemente de forma redonda.

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Caracterización de los materiales**

Los materiales que intervienen en el diseño de mezclas de hormigón son el cemento, el agua, el árido fino y el árido grueso. Para nuestro proyecto, estos materiales provienen de las cuencas de los ríos Jubones y Paute. Además, se empleará un aditivo específico según las especificaciones del proyecto.

#### **3.1.1. *Cemento***

Las probetas y vigas en el laboratorio de suelos, fueron elaboradas con cemento Atenas Tipo GU. Este tipo de cemento está diseñado para ser utilizado en una amplia gama de construcciones, ya que cumple con los requisitos establecidos por la normativa NTE INEN 2380 y se destaca por su resistencia, rendimiento y durabilidad.

#### **3.1.2. *Agua***

El agua utilizada en la mezcla debe cumplir con la norma NTE INEN 1108. En ausencia de agua potable, debe ser clara y limpia, libre de sustancias perjudiciales como aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras que puedan dañar el hormigón o el acero de refuerzo. Si el agua presenta sustancias que la manchen o generen olores o sabores inusuales, no debe utilizarse, a menos que existan registros de hormigones elaborados con ella o información que demuestre que no afecta la calidad del hormigón.

##### **3.1.2.1. Geología de Santa Isabel**

La superficie de la concesión minera se encuentra en una llanura aluvial, cubierta por conglomerados transportados por el río Jubones, que forman depósitos en el cauce y las terrazas.

La unidad geomorfológica del río Jubones incluye el valle creado por este y sus afluentes, que provienen de las partes altas de la cuenca durante todo el año. El río discurre

de forma encajonada hasta llegar a la planicie; según la información recopilada, los aportes de agua se producen principalmente en invierno, con algunos episodios extraordinarios cada 2 o 3 años. Los materiales arrastrados incluyen arenas, gravas y otros materiales gruesos, lo que facilita la circulación y el almacenamiento de grandes volúmenes de agua. (León Ortiz , 2017).

### 3.1.2.2. Geología de Paute

La geología del cantón Paute se caracteriza por la presencia de materiales geológicos duros, que en su mayoría se mantienen estables. Sin embargo, los procesos erosivos y de meteorización, tanto naturales como antrópicos, están debilitando esta estabilidad. Además, se pueden identificar depósitos aluviales y coluviales resultantes de estos procesos de degradación, los cuales en muchos casos ya enfrentan problemas de inestabilidad y deslizamientos (PDOT-PAUTE-2020, 2020).

## 3.2. Análisis granulométrico del árido grueso

### 3.2.1. Granulometría del árido grueso de Paute

A continuación, se presenta el porcentaje de material pasante del árido grueso de Paute, y los criterios de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

**Tabla 4.**

*Límites del agregado grueso – Paute*

Tamiz	Porcentaje de Material Pasante	Porcentaje Pasante NTE	
		INEN 872	
		Lim. Superior	Lim. Inferior
25,4	100	100	100
19,1	96	100	90
12,7	20	55	20

9,52	6	10	0
4,76	0	5	0

*Fuente:* NTE INEN 872

### 3.2.2. Granulometría del árido grueso de Santa Isabel

A continuación, se presenta el porcentaje de material pasante del árido grueso de Santa Isabel de la cantera Tiburón, y los criterios de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

**Tabla 5.**

*Límites del agregado grueso - Santa Isabel*

Tamiz	Porcentaje de Material Pasante	Porcentaje Pasante NTE INEN 872	
		Lim. Superior	Lim. Inferior
		38,1	99
25,4	84	100	95
12,7	46	60	25
4,76	30	10	0

*Fuente:* NTE INEN 872

### 3.3. Análisis granulométrico del árido fino

La norma NTE INEN 872 establece requisitos específicos para el análisis granulométrico de estos áridos finos, detallando los tamaños de partículas que deben cumplir según el tipo de material evaluado.

**Tabla 6.***Requisitos de gradación del áridos fino*

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa (%)
9,5 mm (3/8 in)	100
4,75 mm (N°4)	95 a 100
2,36 mm (N°8)	80 a 100
1,18 mm (N°16)	50 a 85
600 µm (N°30)	25 a 60
300 µm (N°50)	5 a 30
150 µm (N°100)	0 a 10

*Fuente: NTE INEN 872***3.3.1. Granulometría del árido fino de Paute**

A continuación, se presenta el porcentaje de material pasante del árido fino de Paute, y se ajusta a los estándares de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

**Tabla 7.***Límites del agregado fino - Paute*

Tamiz	Porcentaje de Material Pasante	Porcentaje Pasante NTE INEN 872	
		Lim. Superior	Lim. Inferior
9,50	100	100	100
4,76	97	100	95

2,38	88	100	80
1,19	74	85	50
0,59	52	60	25
0,297	20	30	5
0,149	4	10	0

*Fuente:* NTE INEN 872

### **3.3.2. Granulometría del árido fino de Santa Isabel**

A continuación, se presenta el porcentaje de material pasante del árido fino de Santa Isabel cantera Tiburón, y se ajusta a los estándares de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

#### **Tabla 8.**

*Límites del agregado fino - Santa Isabel - Tiburón*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje de Material Pasante</b>	<b>Porcentaje Pasante NTE INEN 872</b>	
		<b>Lim. Superior</b>	<b>Lim. Inferior</b>
9,52	100	100	100
4,76	100	100	95
2,38	95	100	80
1,19	85	85	50
0,58	63	60	25
0,3	26	30	5

0,15	6	10	0
------	---	----	---

*Fuente:* NTE INEN 872

### **3.4. Peso Especifico**

El peso específico de los agregados, tanto finos como gruesos, es un elemento fundamental en la producción de hormigones, dado que constituye el 70% del volumen total de la mezcla.

Para los ensayos, se utilizó como referencia la norma NTE INEN 856 y 857, que especifican el procedimiento correspondiente para las pruebas de agregados finos y gruesos, respectivamente.

### **3.5. Abrasión**

Este ensayo evalúa la pérdida de masa de los agregados minerales con una gradación específica, provocada por la abrasión, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero.

Dentro del tambor, que cuenta con un número determinado de esferas de acero (cuya cantidad varía según la gradación de la muestra), los agregados son sometidos a estas acciones para evaluar su resistencia al desgaste.

Según la norma NTE INEN 860 el desgaste máximo de árido no debe superar el 50% de material sometido al ensayo.

### **3.6. Diseño de la mezcla de hormigón**

#### **3.6.1. Metodología de diseño**

Los áridos obtenidos de las cuencas del río Jubones y del río Paute no cumplen con las propiedades granulométricas necesarias para el diseño de mezclas según el método del American Concrete Institute (ACI). Por esta razón, se ajustó la proporción óptima de los agregados utilizando la curva granulométrica basada en el método de Fuller-Thompson. Este estudio, de naturaleza experimental, incluyó ensayos de laboratorio para evaluar las

propiedades del hormigón destinado a pavimentos rígidos, lo que permitió comparar sus parámetros y determinar qué material presenta las mejores características. Se llevaron a cabo los cálculos requeridos utilizando una hoja de Excel para desarrollar un diseño inicial de mezcla con una resistencia a la compresión de 350 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando las proporciones adecuadas de los materiales necesarios.

### 3.6.1.1. Análisis de la resistencia requerida

El código ACI 318-08 sugiere calcular la resistencia requerida utilizando la desviación estándar de la muestra. Sin embargo, dado que no disponemos de los datos de ensayos de resistencia en el sitio para calcular el factor de desviación estándar, es esencial emplear los valores indicados en la tabla siguiente para definir la resistencia de diseño necesaria junto con su factor de aumento correspondiente.

**Tabla 9.**

*Resistencia promedio la compresión*

<b>Resistencia especificada <math>f'_c</math></b> <b>(kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia requerida <math>f'_{cr}</math></b> <b>(kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
$f'_c < 210$	$f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_c + 84$
$f'_c > 350$	$f'_c + 98$

*Fuente:* Instituto Ecuatoriano del Cemento

### 3.6.1.2. Selección de asentamiento

La selección de asentamiento en hormigones es una fase crítica en la colocación del hormigón fresco, donde se garantiza que el material se compacte adecuadamente para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad.

**Tabla 10.***Asentamientos recomendados para hormigones*

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Fluidez (%)</b>
Seca	0 – 2	0 - 40
Plástica	2 – 5	40 - 70
Blanda	5 – 11	70 - 100
Fluida	11 - 20	100 - 130

*Fuente: ACI 211 4R-93***3.6.1.3. Tamaño máximo nominal del agregado**

El tamaño máximo nominal del agregado estará determinado por la granulometría específica realizada.

**3.6.1.4. Estimación de la cantidad de agua**

Se empleó el método recomendado por Fuller-Thompson para estimar la proporción de agua. La tabla sugerida indica que la cantidad de agua varía según el tamaño máximo nominal y la tipología del agregado (canto rodado o triturado).

*Cantidad de agua requerida en función del tamaño máximo nominal del agregado*

<b>TMN. AGREG</b>	<b>AG. REDONDEADO</b>	<b>AG. TRITURADO</b>
(plg)	Lts	Lts
1/2"	199	214
3/4"	184	199

1"	178	193
1 1/2"	166	181
2"	157	172
3"	148	163
6"	131	145

*Fuente:* Método de Fuller-Thomson

La siguiente tabla expone la corrección por volumen unitario de agua de ser el caso que varíe las condiciones especificadas en la tabla anterior.

**Tabla 11.**

*Contenido de humedad*

<b>Cambio en las condiciones de la capacidad de medida</b>	<b>Modificación de la cantidad de agua</b>
Por cada 25 mm de aumento o disminución en el asentamiento	±3%
Arenas trituradas	6,80%
Hormigones poco trabajables	-3,60%

*Fuente:* Método de Fuller-Thomson

El volumen de agua requerido para producir 1 metro cúbico de hormigón se calculó dividiendo la cantidad ajustada entre el peso específico del material.

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{cuantía de agua (kg)}}{\text{peso específico del agua} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

### 3.6.1.5. Relación agua cemento

El valor de la relación agua/cemento dependerá de la resistencia de diseño del hormigón como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 12.**

*Relación entre  $f'_{cr}$  y  $(a/c)$*

F'cr (28 días)	Relación a/c de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
	150	0,8
200	0,7	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	0,35
450	0,38	0,31

*Fuente:* American Concrete Institute (ACI)

### 3.6.1.6. Cantidad de cemento

Para calcular la cantidad de cemento, se utilizó la ecuación especificada en la normativa ACI, que consiste en dividir la cantidad de agua entre la relación agua/cemento.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua}}{\left(\frac{A}{C}\right)}$$

Para el análisis de la cantidad de cemento que se requiere para la mezcla se utilizó el método de volumen absoluto que consiste en dividir el peso del cemento entre el peso específico.

$$\text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

### **3.6.1.7. Proporciones de los agregados**

Para el diseño de la mezcla, se necesitó examinar la gráfica granulométrica según el método de Fuller–Thompson. Esta gráfica presenta las aberturas de los tamices en el eje horizontal (abscisas) y los porcentajes de material que pasa a través de cada tamiz en el eje vertical (ordenadas).

Para determinar el porcentaje y el peso de los agregados en la mezcla, se utilizó el Método de Módulos de Finura. Este método, basado en operaciones matemáticas, facilitó la obtención de la combinación óptima de los agregados empleados.



4. Para determinar la curva de Fuller Thompson se utilizó la siguiente formula:

$$Y = 100 * \sqrt{\frac{d}{D}}$$

donde d es el tamaño del agregado y D es el tamaño máximo nominal.

5. Una vez calculada la curva de Fuller-Thompson, se comparó con la curva obtenida del análisis granulométrico.
6. El diseño final debe ajustarse adecuadamente para garantizar la resistencia y durabilidad de la mezcla.

#### **3.6.1.8. Porcentaje y volumen de agregado fino**

Mediante el método de Fuller–Thompson, se calculó el porcentaje óptimo de volumen del árido fino para el diseño de la mezcla de hormigón utilizando la ecuación correspondiente.

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} * 100 \quad (3)$$

$$V. agregado fino = \frac{\alpha}{100} x V. total agregados en m^3$$

#### **3.6.1.9. Porcentaje y volumen de agregado grueso**

Para el cálculo del porcentaje optimo del agregado grueso se procedió a utilizar las siguientes ecuaciones.

$$\beta = 100 - \alpha \quad (4)$$

$$V. agregado grueso = \frac{\beta}{100} x V. total agregados en m^3$$

#### **3.6.1.10. Corrección por humedad**

Para pesar los agregados finos y gruesos, fue necesario ajustar por humedad para evitar exceder la cantidad de agua, dado que estos materiales contienen su propia humedad.

Esta corrección se llevó a cabo utilizando el método de cuarteo de los materiales y la fórmula que se muestra a continuación.

$$\%H = W_s * \left( \frac{\%w - \%abs}{100} \right) \quad (5)$$

Siendo:

%H: contenido de humedad natural

Ws: peso seco del agregado

%w: Porcentaje de contenido de humedad del agregado

%abs: Porcentaje de absorción del agregado

#### **3.6.1.11. Proceso para el diseño de cilindros de hormigón**

El proceso para realizar cilindros de hormigón en probetas con los distintos diseños de mezclas especificados se llevó a cabo en el laboratorio de materiales del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT). A continuación, se detalla el procedimiento:

Se engrasaron los moldes cilíndricos con una brocha para facilitar el desmolde de las probetas endurecidas después de 24 horas.

Se preparó la bandeja de mezclado y las herramientas necesarias (Cono de Abrams, bailejos, varilla de compactación, martillo, flexómetro y bandejas metálicas).

Se pesaron los componentes necesarios para la mezcla. Primero se enceró la balanza con la bandeja (o balde para el agua) vacía y luego se añadió cada material para verificar su peso.

Antes de mezclar, se humedeció ligeramente la bandeja con agua, se añadieron los áridos y se mezclaron. Luego se añadió el material cementante y se mezcló durante 3 minutos usando bailejos, mientras se incorporaba el agua restante y el aditivo. Después, se verificó la consistencia de la mezcla y se mezcló por 2 minutos más.

Se humedeció el Cono de Abrams y se comprobó el asentamiento colocando el diámetro superior del cono hacia abajo en una bandeja. Luego se llenó el cono de Abrams con hormigón en 2 capas, compactando la primera capa con 25 golpes y la última con 15 golpes, usando una varilla normalizada. Se niveló la capa final y se retiró el cono verticalmente, evitando inclinaciones. Finalmente, se midió la diferencia de desplazamiento entre la mezcla y la varilla.

La mezcla se vertió en los moldes, compactándola en 2 capas de la misma manera que en el paso anterior. Después de la última compactación, se nivelaron las probetas para obtener una superficie lisa y se colocaron en un lugar fresco.

Tras 24 horas, se desencofraron las probetas usando las herramientas adecuadas, retirando cuidadosamente los especímenes de hormigón para su curado.

Para la fabricación de las vigas, primero se realizaron los encofrados, los cuales tenían dimensiones de 50 cm de luz, 15 cm de altura y 15 cm de base para cada viga. Se vertió el hormigón y se dejó reposar durante 24 horas. Luego, se desencofró y se sumergieron las vigas en una piscina durante 28 días para el proceso de curado del hormigón. Finalmente, se procedió a ensayarlas a flexión.

#### **3.6.1.12. Curado de las muestras obtenidas**

Se elaboro 18 especímenes: 9 con agregados de Paute y 9 con agregados de Santa Isabel. Luego se procede almacenar en la piscina por 7, 14 y 28 días para realizar el ensayo de resistencia de cada hormigón.

#### **3.6.1.13. Ensayo de resistencia de los cilindros de hormigón**

Se realizo las pruebas de compresión de acuerdo con la Norma NTE INEN 1573, utilizando el equipo de falla de compresión del laboratorio de suelos del CIITT y bajo la supervisión del docente laboratorista. Las pruebas de compresión se llevaron a cabo según el cronograma establecido a los 7, 14 y 28 días, con el objetivo de obtener datos precisos sobre

el proceso de maduración de cada mezcla. A continuación, se describe el procedimiento realizado:

Se retiraron los especímenes de la piscina y se colocaron en un lugar fresco para su posterior ensayo.

Se llevó a cabo el ensayo en cada grupo de especímenes en la fecha planificada, es decir a los 7, 14 y 28 días se retiró tres especímenes de Paute y tres especímenes de Santa Isabel en dichos días.

Los especímenes se pesaron y se colocaron con la cara endurecida hacia arriba, alineándolos cuidadosamente en el centro de la platina de la máquina de ensayo, debajo del bloque de carga esférico superior.

Se ingresaron las dimensiones del espécimen en el software de la máquina y se configuró la velocidad de carga.

La máquina aplicó una carga de compresión constante hasta que el espécimen presentó un patrón de falla evidente y el indicador gráfico mostró una disminución. Es crucial mantener la máquina en funcionamiento hasta que la carga baje al 95% de su valor máximo, para asegurar la capacidad última del espécimen.

La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la fuerza aplicada entre el área de la base del cilindro.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados de la granulometría del agregado grueso de Paute

A continuación, se presenta la distribución de tamaños del árido grueso de Paute, y se verificará si cumple con los criterios de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

**Tabla 13.**

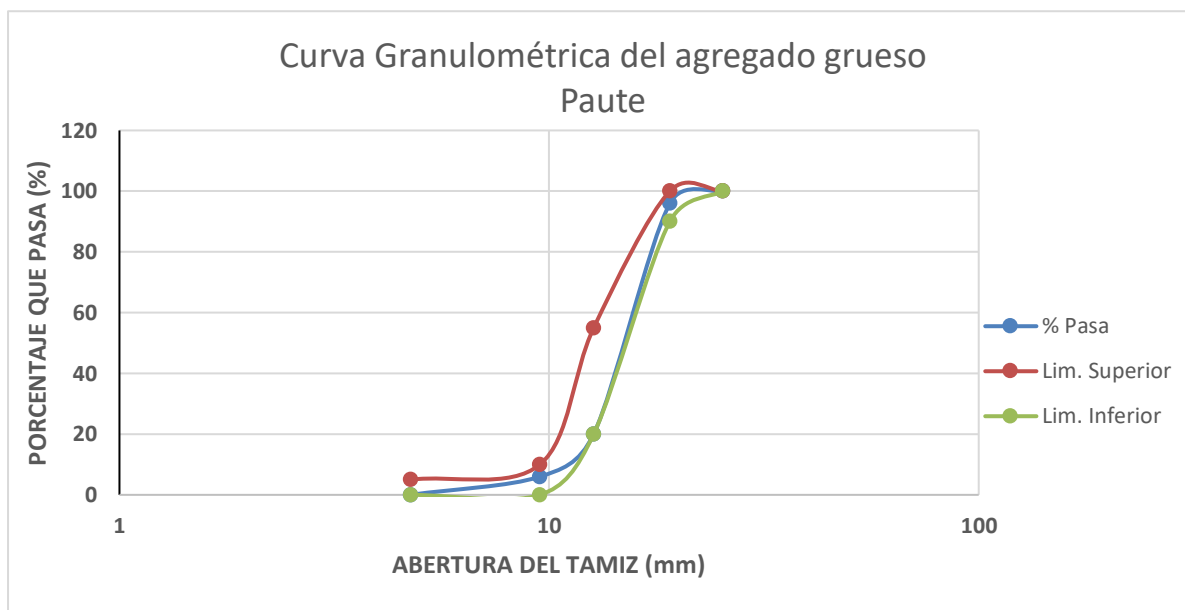
*Granulometría del árido grueso de Paute*

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%
TAMIZ N.º	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA
3"	76,2	0	0	0%	100%
2 1/2"	63,5	0	0	0%	100%
2"	50,8	0	0	0%	100%
1 1/2"	38,1	0	0	0%	100%
1"	25,4	31,59	31,59	0%	100%
3/4"	19,1	383,59	415,18	4%	96%
1/2"	12,7	7418	7833,18	80%	20%
3/8"	9,52	1307	9140,18	94%	6%
Nº4	4,76	608,5	9748,68	100%	0%
<b>FONDO</b>		25,5			
<b>TOTAL</b>		9774,18			

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

**Figura 6.**

*Curva granulométrica del agregado grueso – Paute*



*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

La gráfica muestra que la curva granulométrica del material se encuentra dentro de los límites inferior y superior establecidos por la NTE INEN 872, considerando un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm) para los áridos gruesos de Paute. El porcentaje de material pasante es del 96%, cumpliendo con los criterios al ubicarse dentro del rango requerido, según lo indicado en la Tabla 7.

En el análisis del agregado grueso, la especificación granulométrica depende del tamaño máximo nominal del material. Según la tabla proporcionada por la NTE INEN 696, se establece el tamaño nominal máximo de la muestra requerida para realizar el ensayo de granulometría en áridos gruesos, considerando un rango de tamaño nominal de 9,5 mm hasta 90 mm para los áridos provenientes de las canteras. El tamaño máximo nominal del agregado grueso de Paute es de 19,1 mm.

**Tabla 14.***Tamaño nominal del agregado grueso*

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

*Fuente:* Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 696)

Se han definido límites mínimos y máximos para la granulometría, la curva debe ajustarse al punto medio de estos límites para garantizar la calidad del material. Según el tamaño máximo nominal del material se debe establecer dichos límites como se puede ver en la Tabla 3.

**Tabla 15.***Requisitos de gradación de áridos gruesos*

Abertura del tamiz	% Pasa
25,4	100
19,1	90 a 100
12,7	20 a 55
9,53	0 a 10
4,75	0 a 5

*Fuente:* Noma Técnica Ecuatoriana (INEN 872)**4.2. Resultados de la granulometría del agregado grueso de Santa Isabel**

A continuación, se presenta la distribución de tamaños del árido grueso de Santa Isabel de la cantera Tiburón, y se verificará si cumple con los criterios de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

**Tabla 16.***Granulometría del agregado grueso – Santa Isabel*

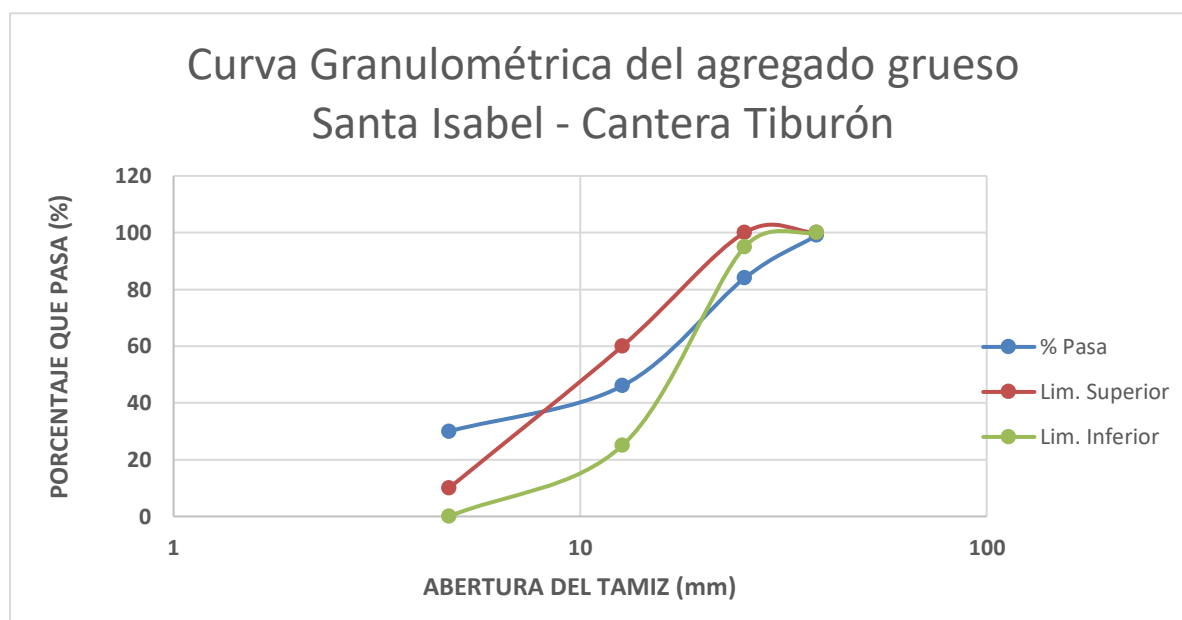
	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%
TAMIZ N°	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA
3"	76,2	0	0	0%	100%
2 1/2"	63,5	0	0	0%	100%
2"	50,8	0	0	0%	100%

1 1/2"	38,1	137	137	1%	99%
1"	25,4	1926	2063	16%	84%
3/4"	19,1	3010	5073	38%	62%
1/2"	12,7	2052,5	7125,5	54%	46%
3/8"	9,52	777	7902,5	60%	40%
N°4	4,76	1388,5	9291	70%	30%
<b>FONDO</b>		4112			
<b>TOTAL</b>		13266			

Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

**Figura 7.**

*Curva granulométrica del agregado grueso – Santa Isabel*



Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

La gráfica muestra que la curva granulométrica del material no se ajusta a los límites inferior y superior establecidos por la NTE INEN 872, ya que el porcentaje de material

pasante es del 84% con un tamaño máximo nominal de 25,4 mm. Según la Tabla 9, el porcentaje de material pasante debería estar entre el 95% y el 100%, por lo que no cumple con los criterios requeridos. Esto se debe a que el material contiene predominantemente agregado fino, lo que afecta negativamente su granulometría.

### 4.3. Resultados de la granulometría del agregado fino de Paute

A continuación, se presenta la gradación de tamaños del árido fino de Paute, y se verificará si se ajusta a los estándares de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

**Tabla 17.**

*Granulometría del agregado fino – Paute*

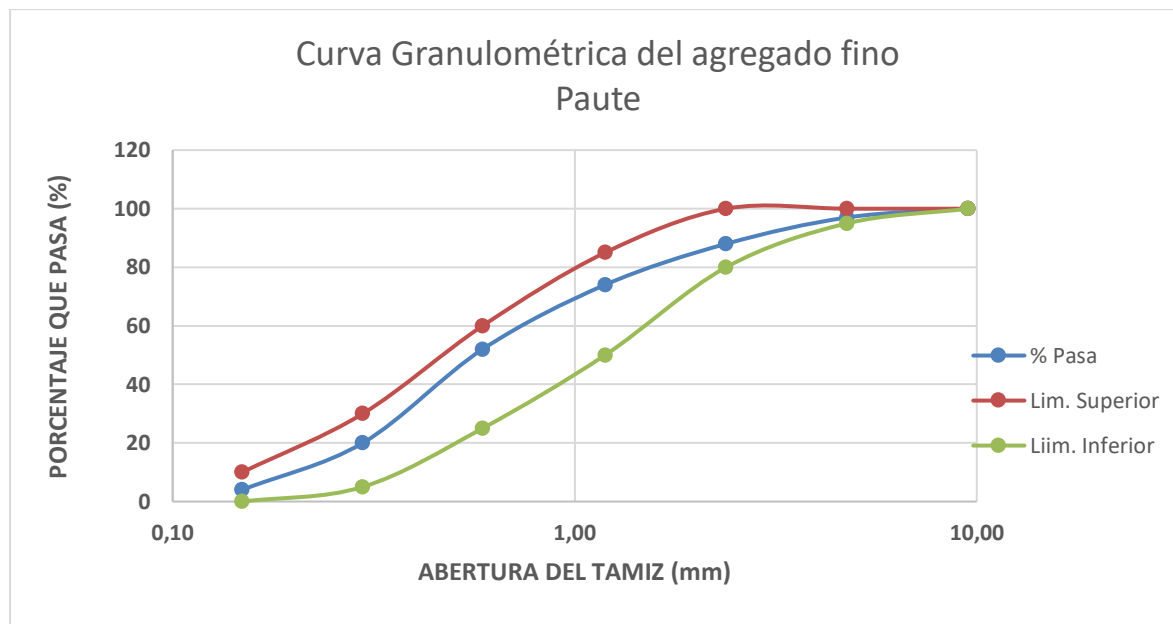
	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%
TAMIZ N°	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA
3/8"	9,52	0	0	0%	100%
N°4	4,76	25,2	25,2	3%	97%
N°8	2,38	67,6	92,8	12%	88%
N°16	1,19	109,2	202	26%	74%
N°30	0,58	165,2	367,2	48%	52%
N°50	0,3	249,2	616,4	80%	20%
N°100	0,15	123,3	739,7	96%	4%
N°200	0,075	19,6	759,3	99%	1%
FONDO		7,3	766,6	100%	0%

---

**TOTAL**

766,6

---

*Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)*
**Figura 8.***Curva granulométrica del agregado fino – Paute*

La gráfica demuestra que la curva granulométrica del material está dentro de los límites inferior y superior establecidos por la NTE INEN 872, cumpliendo con los criterios al ubicarse dentro del rango requerido.

**4.4. Resultados de la granulometría del agregado fino de Santa Isabel**

A continuación, se presenta la gradación de tamaños del árido fino de Santa Isabel cantera Tiburón, y se verificará si se ajusta a los estándares de granulometría establecidos en la norma NTE INEN 872.

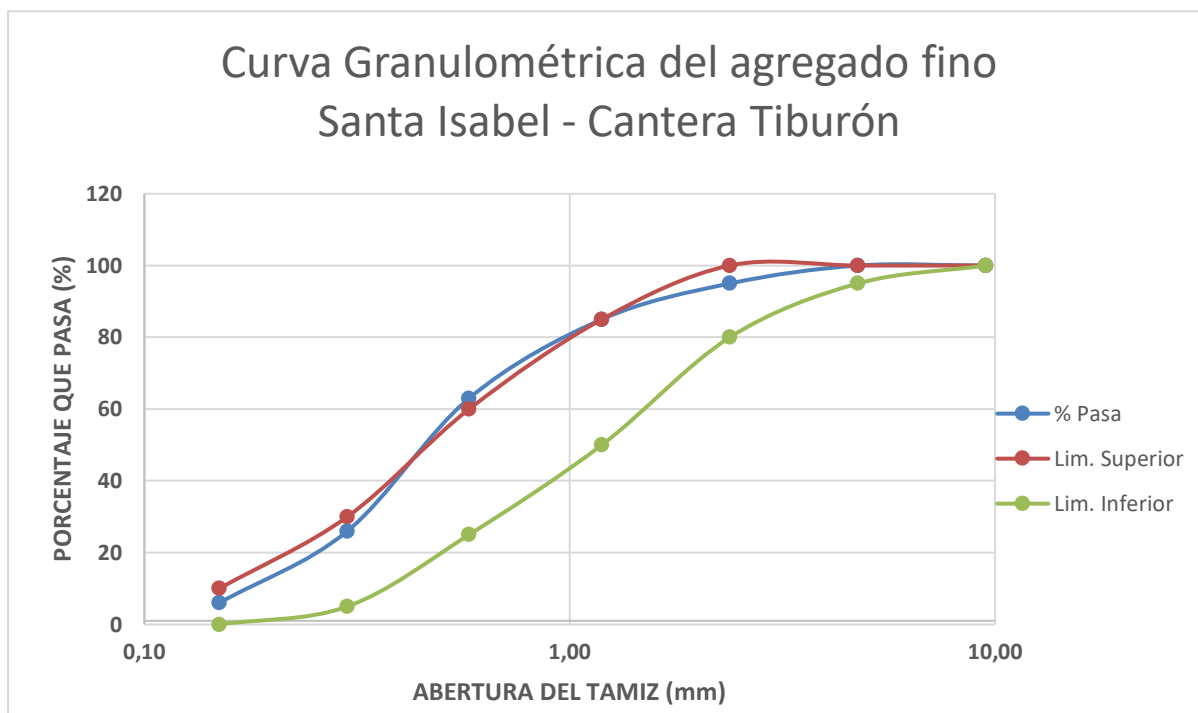
**Tabla 18.***Granulometría del agregado fino - Santa Isabel - Tiburón*

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%
TAMIZ N.º	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA
<b>3/8"</b>	<b>9,52</b>	0	0	0%	100%
<b>Nº4</b>	<b>4,76</b>	1,4	1,4	0%	100%
<b>Nº8</b>	<b>2,38</b>	34,2	35,6	5%	95%
<b>Nº16</b>	<b>1,19</b>	81,7	117,3	15%	85%
<b>Nº30</b>	<b>0,58</b>	166,7	284	37%	63%
<b>Nº50</b>	<b>0,3</b>	290,8	574,8	74%	26%
<b>Nº100</b>	<b>0,15</b>	158,9	733,7	94%	6%
<b>Nº200</b>	<b>0,075</b>	33,4	767,1	99%	1%
<b>FONDO</b>		10,2	777,3	100%	0%
<b>TOTAL</b>		777,3			

*Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)*

**Figura 9.**

*Curva granulométrica del agregado fino – Santa Isabel – Tiburón*



*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

La gráfica demuestra que la curva granulométrica del material está dentro de los límites inferior y superior establecidos por la NTE INEN 872, cumpliendo con los criterios al ubicarse dentro del rango requerido. Teniendo en cuenta que la curva del agregado no es la más óptima ya que esta se encuentra rodeando la curva recomendada por la norma.

Los datos mostrados en las figuras anteriores indican que tanto los agregados de Paute como el agregado fino de la cantera Tiburón de Santa Isabel se ajustan a los límites recomendados por la norma NTE INEN 872. Sin embargo, el agregado grueso de Santa Isabel no cumple con los límites sugeridos, por lo que se utilizará el método de FULLER – THOMPSON para ajustar la distribución del tamaño de las partículas.

#### 4.5. Resultados del peso específico de los agregados

##### 4.5.1. Agregado fino de Paute

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados a los agregados finos originarios de Paute.

**Tabla 19.**

*Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Paute*

<b>Masa de la muestra seca al horno</b>	A	666,8 gr
<b>Picnómetro + Agua hasta la marca de calibración</b>	B	284,4 gr
<b>Picnómetro + Agua + Muestra hasta la marca de calibración</b>	C	843,9 gr
<b>Muestra de la muestra SSS</b>	S	300 gr
<b>Gravedad específica seca al horno</b>	$A/(B+S+C)$	2,314
<b>Gravedad específica saturada superficialmente seco</b>	$S/(B+S-C)$	2,44
<b>% Absorción</b>	$(S-A) * 100$	5,48%

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

##### 4.5.2. Agregado fino de Santa Isabel

Se presenta los resultados de los áridos finos de Santa Isabel de la cantera Tiburón.

**Tabla 20.**

*Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Santa Isabel – Tiburón*

<b>Masa de la muestra seca al horno</b>	A	288,3 gr
<b>Picnómetro + Agua hasta la marca de calibración</b>	B	666,8 gr
<b>Picnómetro + Agua + Muestra hasta la marca de calibración</b>	C	842,9 gr

<b>Muestra de la muestra SSS</b>	S	300 gr
<b>Gravedad específica seca al horno</b>	$A/(B+S+C)$	2,33
<b>Gravedad específica saturada superficialmente seco</b>	$S/(B+S-C)$	2,421
<b>% Absorción</b>	$(S-A) * 100$	4,06%

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

#### **4.5.3. Agregado grueso de Paute**

Se utilizó la norma NTE INEN 857 para la determinación de los pesos específicos del agregado grueso.

Los resultados que se obtuvieron del agregado grueso se muestran a continuación para la cantera situada en Paute.

#### **Tabla 21.**

*Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Paute*

<b>Masa en aire de la muestra seca al horno</b>	A	1213 gr
<b>Masa en aire de la muestra SSS</b>	B	1231 gr
<b>Masa aparente en agua de la muestra saturada</b>	C	781 gr
<b>Gravedad específica se al horno</b>	A	2,695
<b>Gravedad específica saturada superficialmente seco</b>	B	2,735
<b>% Absorción</b>	C	1,483

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

#### 4.5.4. Agregado grueso de Santa Isabel

Se presenta los resultados obtenidos de la cantera Tiburón ubicada en Santa Isabel.

**Tabla 22.**

*Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Santa Isabel – Tiburón*

<b>Masa en aire de la muestra seca al horno</b>	a	1234,5 gr
<b>Masa en aire de la muestra SSS</b>	b	1260 gr
<b>Masa aparente en agua de la muestra saturada</b>	c	792 gr
<b>Gravedad específica se al horno</b>	a	2,637
<b>Gravedad específica saturada superficialmente seco</b>	b	2,69
<b>% Absorción</b>	c	2,065

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

#### 4.6. Resultado de Abrasión

Para el agregado de la cantera de Santa Isabel, con un tamaño máximo de 1 pulgada, se tomó una muestra de 1250 gramos  $\pm$  25 gramos del material retenido en los tamices de 25 mm a 2.36 mm. De manera similar, en la cantera de Paute, donde el tamaño máximo del agregado es de 3/4 de pulgada, se extrajo una muestra de 2500 gramos  $\pm$  10 gramos, también del material retenido en el tamiz de 25 mm hasta el tamiz de 2.36 mm.

**Tabla 23.**

*Desgaste del material Paute - Santa Isabel*

<b>MATERIAL</b>	<b>ABRASIÓN</b>
Árido de Santa Isabel	20,97%
Árido de Paute	14,61%

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

Los porcentajes de abrasión cumplen con los estándares de desgaste para los dos materiales en estudio.

#### **4.7. Diseño de la mezcla de hormigón**

##### **4.7.1. Resistencia requerida**

Se estableció la resistencia de diseño requerida  $f_c = 448 \text{ kg/cm}^2$ , que se utilizará para los cálculos correspondientes del diseño de la mezcla.

##### **4.7.2. Verificación de Asentamiento**

Se ha seleccionado un valor de asentamiento de 5 cm para el diseño del hormigón.

#### **Figura 10.**

*Asentamiento obtenido para el diseño*



*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

##### **4.7.3. Tamaño máximo nominal del agregado**

Para los agregados de Santa Isabel, se obtuvo un tamaño máximo nominal de 1 pulgada, mientras que para los áridos de Paute fue de 3/4 de pulgada.

##### **4.7.4. Estimación de la cantidad de agua**

Para el diseño con los agregados de Santa Isabel se empleó un contenido de agua de  $0.179 \text{ m}^3$ , mientras que con los agregados de Paute se utilizó un contenido de agua de  $0.19 \text{ m}^3$ .

#### 4.7.5. *Relación agua cemento*

Debido a las variaciones generadas en los áridos empleados en esta investigación, se examinó el comportamiento del hormigón con una relación agua/cemento de 0.36 para los agregados de Paute y 0.33 para los agregados de Santa Isabel, dando así una resistencia más alta en los ensayos a compresión. La variación en la relación agua/cemento (A/C) es diferente debido a que el agregado de Santa Isabel contiene una cantidad significativa de material fino.

#### 4.7.6. *Cantidad de cemento*

En este caso, el diseño con los agregados de Santa Isabel resultó en una cantidad de cemento de 533,33 kg, mientras que para los agregados de Paute se obtuvo una cantidad de 513,33 kg, considerando un peso específico del cemento de 2900 kg/m<sup>3</sup>.

Por lo tanto, el volumen necesario de cemento para el diseño de la mezcla con los agregados de Santa Isabel es de 0.183 m<sup>3</sup>, mientras que para los agregados de Paute es de 0.177 m<sup>3</sup>.

#### 4.7.7. *Proporción de los agregados*

- AJUSTE DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA - CANTERA SANTA ISABEL

**Tabla 24.**

*Método de Fuller - Thompson Ajuste Granulometría - Santa Isabel*

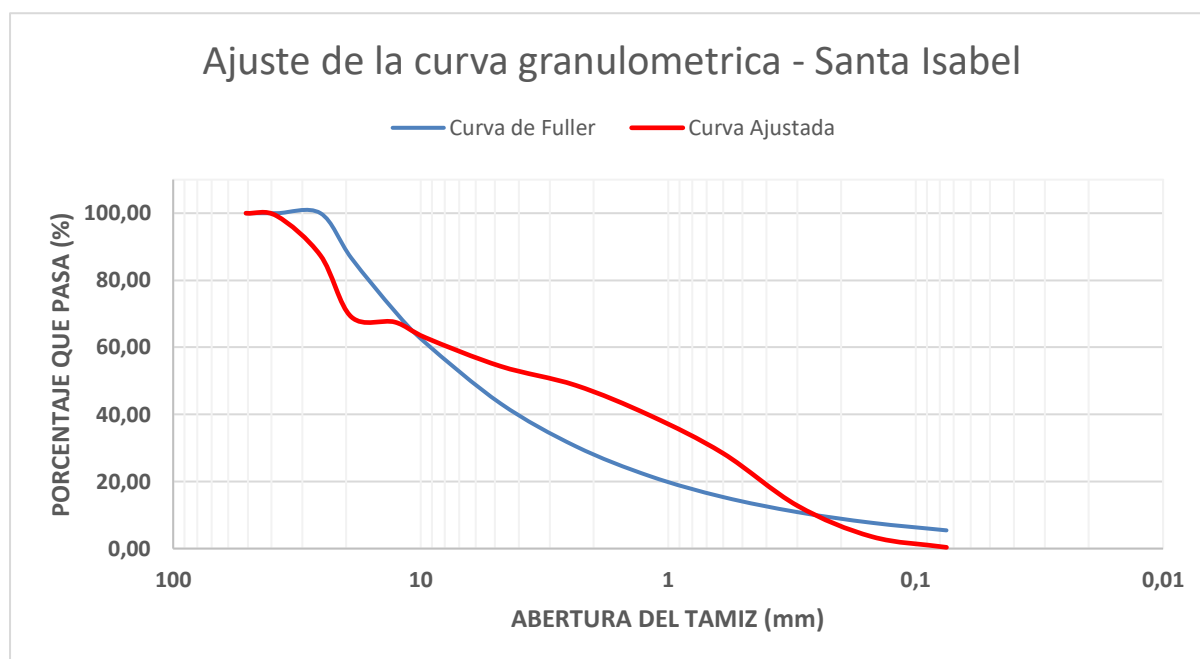
	<b>d</b>	<b>D</b>	<b>y</b>	<b>Gruesos</b>	<b>Arena</b>	
	mm	plg	mm	%	%Pasa	%Pasa
	50,8	2"	25,4	100,00	100,00	100,00
	38,1	1 1/2"	25,4	100,000	98,80	100,00
	25,4	1"	25,4	100,00	82,00	100,00

19,05	3/4"	25,4	86,60	55,80	100,00
12,7	1/2"	25,4	70,71	53,60	100,00
9,52	3/8"	25,4	61,22	46,90	100,00
4,75	N°4	25,4	43,24	34,80	100,00
2,36	N°8	25,4	30,48	28,80	95,00
1,18	N°16	25,4	21,55	20,20	85,00
0,6	N°30	25,4	15,37	13,60	63,00
0,3	N°50	25,4	10,87	7,10	26,00
0,15	N°100	25,4	7,68	2,50	6,00
0,075	N°200	25,4	5,43	0,10	1,00
			<b>453,17</b>	<b>345,40</b>	<b>776,00</b>

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

**Figura 11.**

*Curva granulométrica ajustada - Santa Isabel*



*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

- AJUSTE DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA – CANTERA PAUTE

**Tabla 25.**

*Método de Fuller - Thompson Ajuste Granulometría - Paute*

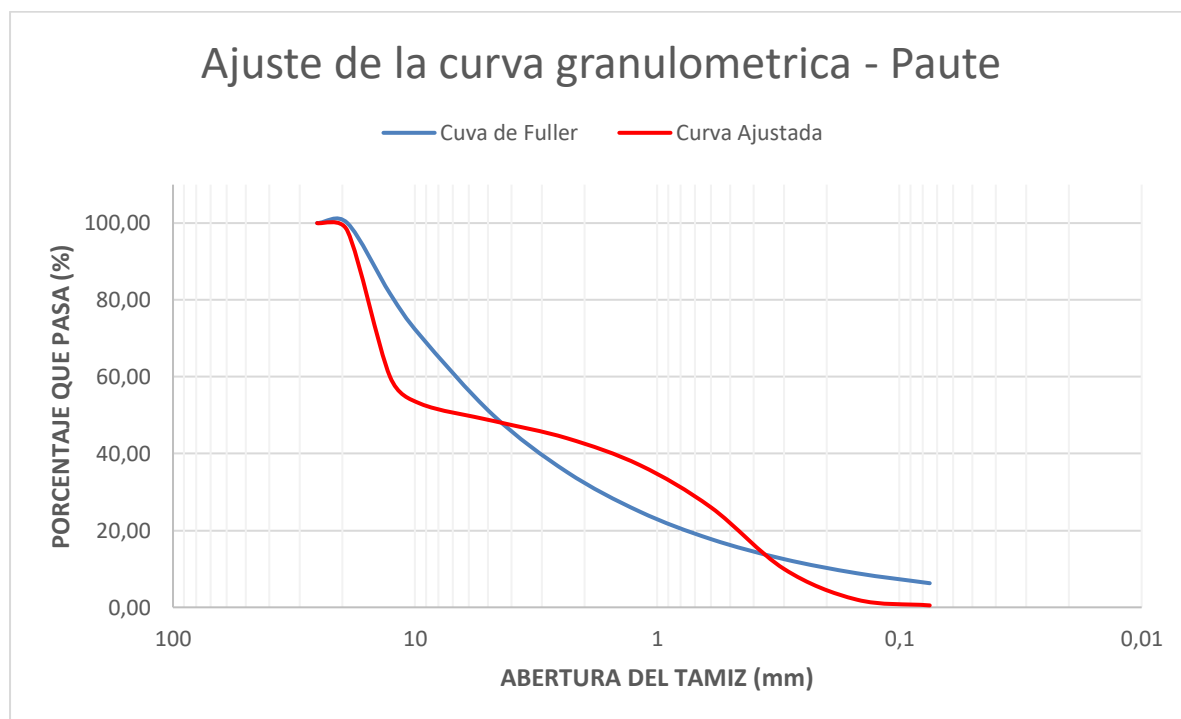
<b>d</b>		<b>D</b>	<b>y</b>	<b>Gruesos</b>	<b>Arena</b>
mm	plg	mm	%	%Pasa	%Pasa
25,4	1"	19,05	100,00	100,00	100,00
19,05	3/4"	19,05	100,00	96,00	100,00
12,7	1/2"	19,05	81,65	20,00	100,00
9,52	3/8"	19,05	70,69	6,00	100,00
4,75	N°4	19,05	49,93	0,00	97,00

2,36	N°8	19,05	35,20	0,00	88,00
1,18	N°16	19,05	24,89	0,00	74,00
0,6	N°30	19,05	17,75	0,00	52,00
0,3	N°50	19,05	12,55	0,00	20,00
0,15	N°100	19,05	8,87	0,00	4,00
0,075	N°200	19,05	6,27	0,00	1,00
			<b>507,81</b>	<b>222,00</b>	<b>736,00</b>

Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

### Figura 12.

Curva granulométrica ajustada – Paute



Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

#### 4.8. Dosificación para la mezcla de hormigón

En las Tablas 26 y 27 se expone la dosificación por metro cúbico para el diseño de la mezcla de las probetas para los dos agregados en estudio.

**Tabla 26.**

*Dosificación óptima para la mezcla de hormigón – Paute*

<b>DISEÑO PARA 1M3 CON AGREGADOS DE PAUTE</b>		
Arena	713,122	Kg
Grava	825,379	Kg
Cemento	513,333	Kg
Agua	194,32	Kg

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

**Tabla 27.**

*Dosificación óptima para la mezcla de hormigón - Santa Isabel*

<b>DISEÑO PARA 1M3 CON AGREGADOS DE SANTA ISABEL</b>		
Arena	432,438	Kg
Grava	1136,66	Kg
Cemento	533,33	Kg
Agua	183,711	Kg

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

#### 4.9. Ejecución de ensayos de laboratorio

Para los ensayos se realizaron probetas con dimensiones de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura. Con la finalidad de tener resultados certeros se elaboraron 3 probetas para los 7, 14 y 28 días de curado.

**Tabla 28.**

*Distribución de probetas para los ensayos realizados*

---

#### PROBETAS REQUERIDAS PARA LOS ENSAYOS CON AGREGADOS DE PAUTE

---

FACTORES	N° DE PROBETAS			N° TOTAL DE PROBETAS
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	
A/C 0,36	3	3	3	9

#### PROBETAS REQUERIDAS PARA LOS ENSAYOS CON AGREGADOS DE SANTA

#### ISABEL

FACTORES	N° DE PROBETAS			N° TOTAL DE PROBETAS
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	
A/C 0,33	3	3	3	9

---

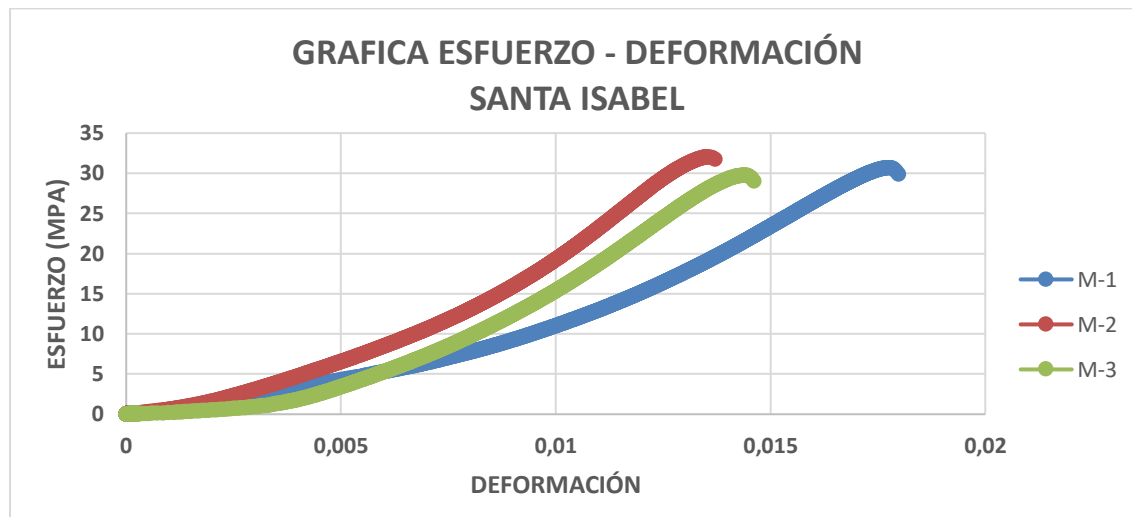
*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

#### 4.10. Análisis a compresión

##### 4.10.1. Ensayo a compresión con agregados de Santa Isabel

**Figura 13.**

*Gráfica Esfuerzo-Deformación Santa Isabel*



*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

**Tabla 29.**

*Resultado del ensayo a compresión en cilindros a los 28 días Santa Isabel.*

<b>ENSAYO A COMPRESIÓN AGREGADOS DE SANTA ISABEL</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>DIAS</b>	<b>ENSAYO A COMPRESIÓN F'C</b>	<b>PROMEDIO</b>
		<b>EN MPa</b>	<b>(MPa)</b>
M-1	28	30,1	
M-2	28	31,38	30,23
M-3	28	29,22	

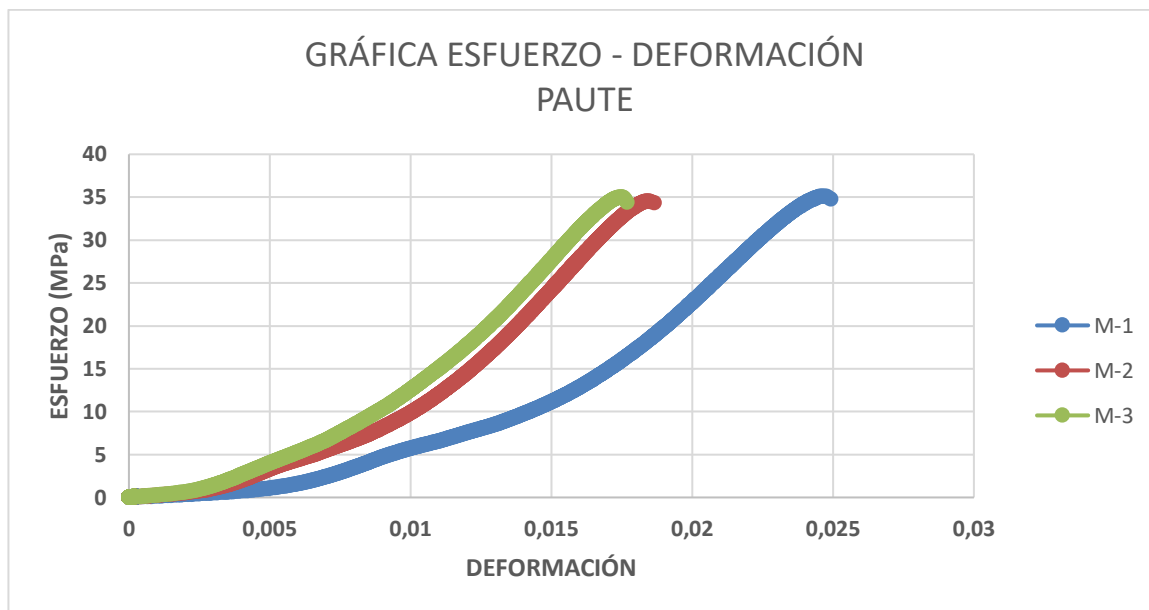
*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

En la Tabla 34 se observa los resultados de resistencia a la compresión. Los cilindros de hormigón fabricados con materiales de las minas de Santa Isabel presentaron una resistencia a la compresión de 30.2 Mpa los 28 días de curado.

#### 4.10.2. Ensayo a compresión con agregados de Paute

**Figura 14.**

*Gráfica Esfuerzo-Deformación Paute*



*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

**Tabla 30.**

*Resultado del ensayo a compresión en cilindros a los 28 días Paute*

ENSAYO A COMPRESIÓN AGREGADOS DE PAUTE			
MUESTRA	DIAS	ENSAYO A COMPRESIÓN F'C	PROMEDIO
		EN MPa	(MPa)
M-1	28	35.10	
M-2	28	35.02	35
M-3	28	34.9	

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

En la Tabla 35 se observa los resultados de resistencia a la compresión. Los cilindros de hormigón fabricados con materiales de las minas de Paute presentaron una resistencia a la

compresión de 35 Mpa los 28 días de curado. Por tanto, se ha cumplido con el objetivo de diseño para una resistencia  $f'c$  de 350 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.11. Análisis a flexión**

Para el ensayo de flexión de vigas, se esperó un período de 28 días, de acuerdo con la norma NTE INEN 2554. El procedimiento consistió en retirar las vigas de la piscina de curado y marcar tres puntos en cada una. En la ilustración 18 se muestran cuatro líneas trazadas que indican la ubicación de los apoyos y la fuerza, situadas en cada tercio de la luz libre, conforme a lo establecido en la normativa. Se probaron 6 vigas: 3 con agregados de Paute y 3 con agregados de Santa Isabel. Las dimensiones de cada viga son 50 cm de luz, 15 cm de altura y 15 cm de base.

#### **Figura 15.**

*Marcación de las vigas*



Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

##### **4.11.1. Ensayo a flexión con agregados de Santa Isabel y Paute**

Se llevó a cabo el ensayo de flexión para determinar el módulo de rotura de la viga, medido en el tercio medio de la luz libre de la viga de hormigón, como se muestra en la Figura 17. Cabe destacar que la viga puede tener diferentes dimensiones, pero esto no debería influir en la resistencia a flexión, es decir, no debería variar. Es esencial calcular el módulo de rotura para verificar si cumple con las especificaciones establecidas en la normativa.

El cálculo se realizó con la fórmula siguiente:

$$R = \left( \frac{P * L}{b * d^2} \right) \quad (6)$$

Donde:

R: Modulo de rotura en MPa.

P: Carga máxima en N.

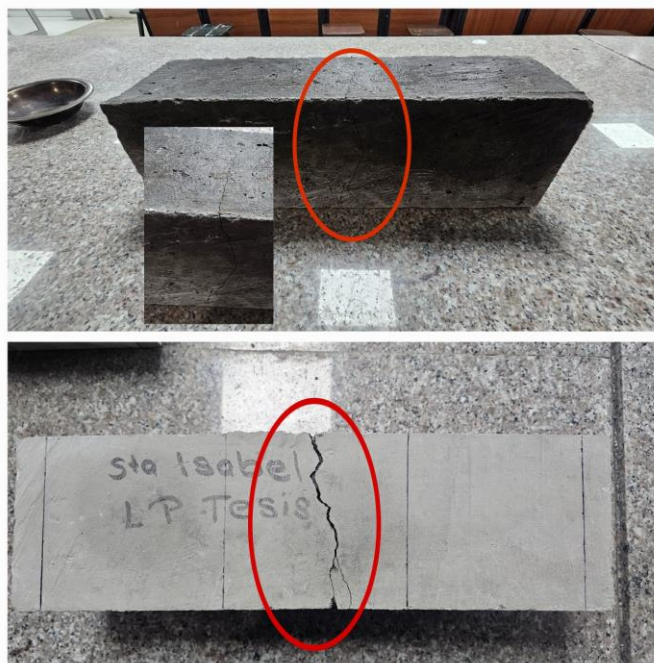
L: luz libre en mm.

b: promedio ancho espécimen en la fractura en mm.

d: promedio alto espécimen en la fractura en mm.

### Figura 16.

*Rotura en el tercio medio de la luz de la viga de hormigón*



Fuente: Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

**Tabla 31.***Resultados del módulo de rotura de Paute y Santa Isabel*

VIGAS	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	PROMEDIO DEL MÓDULO DE ROTURA (MPa)
PAUTE	28	2,60	2,89
	28	2,67	
	28	3,37	
SANTA ISABEL	28	2,37	2,66
	28	2,79	
	28	2,80	

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

En la Tabla 32, se muestran los resultados del ensayo, con un módulo de rotura promedio de 2.89 MPa para las vigas de Paute y 2.66 MPa para las vigas de Santa Isabel. Estos datos destacan la importancia de que la resistencia a flexión se mantenga dentro de este rango para asegurar que el hormigón cumpla con las especificaciones de la normativa y sea apropiado para su aplicación en pavimento.

**Tabla 32.***Relación de resultados de la resistencia a compresión y el módulo de rotura*

VIGAS	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	PROMEDIO DEL MÓDULO DE ROTURA (MPa)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN, $f'c$ (Mpa)	PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, $f'c$ (Mpa)
PAUTE	28	2,61	2,89	34,42	34,32
	28	2,68		34,23	
	28	3,38		34,32	
SANTA ISABEL	28	2,37	2,66	30,1	30,23
	28	2,80		31,38	
	28	2,80		29,22	

*Fuente:* Autoría propia (Laboratorios de Suelos CITT)

En la Tabla 32, se observa que las vigas fabricadas con agregados de Paute presentan una mayor resistencia a flexión en comparación con las vigas fabricadas con agregados de

Santa Isabel. Esto sugiere que los agregados provenientes de Paute son de mejor calidad y proporcionan un mayor rendimiento estructural que los agregados de Santa Isabel. También se puede observar que la resistencia a flexión de las vigas de Paute se encuentran en el rango a comparación de las vigas de Santa Isabel que no cumple con el rango establecido según la normativa AASHTO 93. Los valores de módulo de rotura varían entre 2.8 MPa hasta 4.8 MPa y en algunos hormigones de alta resistencia puede llegar hasta 8.2 MPa (AASHTO-93, 2006). Entonces se puede decir, que las vigas de Paute cumplen con la normativa a comparación de las vigas de Santa Isabel. El uso de agregados de Paute resulta en un hormigón que cumple con las especificaciones de la AASHTO 93 y ofrece mejores propiedades mecánicas para aplicaciones en pavimentos, es decir tiene una mayor resistencia, capacidad de carga, reducción de fisuras y una mejor eficiencia de diseño.

El módulo de ruptura del concreto es un parámetro clave en el diseño de losas de pavimento, ya que permite evaluar la capacidad del material para resistir esfuerzos de flexión. Este módulo se puede estimar teóricamente mediante la relación  $2*\sqrt{F'c}$ .

Este método ofrece una forma práctica de estimar el módulo de ruptura, lo cual es valioso en el diseño estructural. Así, se puede asegurar que las losas de pavimento cuenten con la resistencia necesaria para soportar las cargas previstas y así garantizar su durabilidad.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Las pruebas de laboratorio realizadas para caracterizar los materiales áridos utilizados mostraron que el material extraído de la cuenca del río Jubones presenta un menor grado de porosidad, lo que se traduce en un porcentaje de absorción más bajo, alcanzando un valor de 4.025%. En contraste, el material de la cuenca del río Paute tiene un porcentaje de absorción superior, que es de 5.48%.

El material extraído de la cuenca del río Paute se ajustó a los límites granulométricos definidos por el ACI para el diseño de la mezcla de hormigón. En cambio, el material de la cuenca del río Jubones no cumplió con estos parámetros. Por esta razón, se realizó un ajuste utilizando el Método de Fuller-Thompson, lo que permitió crear una mezcla de hormigón adecuada que satisface los requisitos necesarios para el uso de estos agregados en el diseño.

Se realizaron ensayos de diseño de concreto con los tipos de agregados, utilizando dos relaciones distintas de agua/cemento y sus respectivas proporciones. Los resultados de las pruebas de compresión indicaron que la relación óptima de agua/cemento para los agregados de la cuenca del río Paute fue de 0.36. En contraste, la relación agua/cemento para los agregados de la cuenca del río Jubones fue de 0.33, debido a la inadecuada proporción granulométrica del material obtenido en mina.

Según el objetivo planteado se ha cumplido con el análisis en la resistencia del hormigón, el mismo que fue verificado con ensayos de compresión de los materiales analizados mostrando que los agregados de la cuenca del río Paute lograron las mejores características, alcanzando la resistencia propuesta de 35 MPa. En contraste, los agregados de la cuenca del río Jubones no lograron la resistencia requerida, alcanzando solo 30.3 MPa, debido a la inadecuada proporción granulométrica del material.

El módulo de rotura es esencial para garantizar que los materiales utilizados de Paute y Santa Isabel puedan resistir las cargas previstas sin romperse, lo cual es fundamental para la seguridad y la fiabilidad de productos y estructuras. Se concluye que los requisitos de calidad de los agregados de Paute comparados con la normativa vigente cumplen en comparación con los materiales de Santa Isabel.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar mayor cantidad de ensayos con materiales de diferentes minas de Santa Isabel para ajustar y validar la información obtenida.

Se recomienda hacer estudios comparativos con diferentes relaciones agua -cemento y complementariamente con aditivos que permitan tener una mayor gama de datos.

Se recomienda usar diferentes métodos de curado para el hormigón como láminas de plástico los mismos que ayudan a mantener la humedad.

Se sugiere analizar el empleo de fibras de acero, polipropileno, vidrio o sintéticas para potenciar la tenacidad del hormigón, controlar las fisuras y aumentar su resistencia a la tracción.

Se aconseja combinar aditivos con fibras para maximizar los beneficios, como utilizar superplastificantes junto con fibras de acero para obtener un hormigón más resistente y duradero.

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO-93, M. (2006). *DISEÑO DE PAVIMENTOS*. La Paz.
- Abarracín Bolaños, J. E., & Cañarte Sarango, J. M. (2023). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO CON ÁRIDOS PROVENIENTES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS PAUTE Y JUBONES INCORPORANDO ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE*. Obtenido de file:///C:/Users/LU%20PERALTA/Desktop/Articulos%20tesis/ALBARRACIN%20BOLA%20C3%91OS%20JUAN%20ESTEBAN%20CA%20C3%91ARTE%20SARANGO%20JINSOP%20MARCELO.pdf
- Cáceres Silupu, F. G., & Chira Chávez, M. E. (2021). *Evaluación del mejor diseño de mezclas utilizando métodos ACI, Fuller y módulo de fineza en un concreto F'C 210 y 280 KG/CM2*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87122>
- Crespo Crespo, J. E. (21 de Mayo de 2018). *Estudio de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento Portland, empleando cementos y áridos comunes de la Ciudad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30409>
- Giraldo, B. O. (1987). *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/47282>
- González Petro, M. J., & Salcedo Hernández, R. M. (2022). *Incidencia de la granulometría y forma de las arenas en el hormigón en estado fresco y endurecido*. Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/14804>
- Hurtado Flores, J. V. (2014). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA RAMÍREZ, PARA  $f'c = 21$  MPa*. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4f076e6e-f152-4db8-ac0c-ae0150469036/content>
- León Ortiz, M. F. (2017). *UNIVERSIDAD DEL AZUAY*. Obtenido de Diseño de explotación para materiales pétreos en el río Jubones de la concesión minera Sanchez: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6855/1/12826.pdf>
- Lindao Cedeño, K. P., & Romero Ortega, A. C. (2018). *INCIDENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN UN HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS  $F'c=350$ kg/cm<sup>2</sup>*. Obtenido de file:///C:/Users/LU%20PERALTA/Desktop/Articulos%20tesis/BMAT-V097-2018-Ing.%20CIVIL%20-%20LINDAO%20CEDE%20C3%91O%20KENIA%20PATRICIA%20-%20ROMERO%20ORTEGA%20ANA%20CRISTINA.pdf
- Mancheno Guallichico, M. S., & Salazar Pozo, B. H. (2021). *Diseño de Hormigón Permeable de Alta Resistencia, con Adición de Aditivo Espumante y Perlas de Poliestireno Expandido, para la aplicación en Pavimentos*. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d77c4792-e72a-4e2a-b82f-992c66e1eb57/content>

- Monsalve, K. A., Rodriguez, A. C., Torrado, F. J., & Vergara, J. E. (Junio de 2022). Patologías de la estructura vial del pavimento rígido. 14.
- Montalvo Guevara , M. E. (Mayo de 2015). *PAVIMENTOS RIGIDOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO VERSUS PAVIMETOS TRADICIONALES* . Obtenido de file:///C:/Users/LU%20PERALTA/Desktop/Articulos%20tesis/MONTALVO\_MARCO\_PAVIMENTOS\_FIBRAS.pdf
- NTE INEN 1578. (2011).
- NTE INEN 25554. (2011).
- Pantoja Peña, L. J. (Diciembre de 2019). *MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE PAVIMENTOS RIGIDOS A TRAVES DE ADITIVOS LIQUIDOS*. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1940/1/RI005003.pdf>
- PDOT-PAUTE-2020. (2020). Obtenido de <https://www.paute.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/PDOT-PAUTE-2020-DIAGNOSTICO-PROPUESTA-Y-MODELO.pdf>
- Proaño Calucho, W., & Tuglema Mangia, M. (2018). *Correlación entre las propiedades físicas y mecánicas de adoquines fabricados a base de lodo papelerero y adoquines convencionales según la Norma INEN 3040*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/t-uce-0003-115pdf-pdf-free.html>
- Rodriguez Villalba, L. M. (2013). *Propuesta de Elaboración del Capítulo referente a la Granulometría de Agregados para el Concreto*. Obtenido de file:///C:/Users/LU%20PERALTA/Desktop/Articulos%20tesis/Rodriguez%20Villalba,%20Lida%20Margarita-2013%20%20%20%20granulometria.pdf
- Salinas Nuñez, E. (2015). *ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA Y SU INCIDENCIA EN LA TDURABILIDAD DE LA CAPA DE RODADURA DE LAS VIAS EN EL CANTON AMBATO PROVINCIA DED TUNGURAHUA*. Obtenido de file:///C:/Users/LU%20PERALTA/Desktop/Articulos%20tesis/Tesis%20897%20-%20Salinas%20N%C3%BA%20C3%B1ez%20Edgar%20Israel.pdf
- Salinas, E. (Mayo de 2015). *Estudio de hormigones de alta resistencia y su incidencia en la durabilidad de la capa de rodadura de las vías del cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Obtenido de Repositorio Digital de la universidad técnica de Ambato.: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/11814>
- Sika. (Diciembre de 2014). *Aditivos para Concreto*. Obtenido de [http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manual\\_sika.pdf](http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manual_sika.pdf)
- Sika, E. (2019). *Hoja Técnica del Producto. Sika VicoCrete 4100*. Obtenido de <https://ecu.sika.com/es/construccion/concreto/plastificantes->
- Toirac Corral, J. (2009). LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA EL LOGRO DE LA DURABILIDAD DE LAS OBRAS. *Ciencia y sociedad*, 463-504.
- Vidaud-Quintana, I. N., & Frómeta-Salas, Z. P. (2018). CONTROL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS DE ELEVADO PELIGRO SÍSMICO. *CIGET*, 72-85.

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotras, **Lourdes Cecilia Peralta Martínez** y **Johanna Paola Montesdeoca Fernández** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0106392343 y 0150110534. En calidad de autore(a)s y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis comparativo de la resistencia del hormigón con agregados de las minas ubicadas en Santa Isabel y Paute de la provincia del Azuay”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de octubre de 2024

F:   
Lourdes Cecilia Peralta Martínez  
0106392343

F:   
Johanna Paola Montesdeoca Fernández  
0150110534