

**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**

**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**  
**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO CIVIL**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**  
ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL FRENTE ROCOSO,  
EN CANTERAS DE LA PROVINCIA DE MANABI

**TITULO**  
ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL FRENTE ROCOSO,  
DEL QUE SE OBTIENEN LOS AGREGADOS PETREOS EN CANTERAS CERCANAS  
AL CANTON DE MANTA

**ELABORADO POR**  
GUSTAVO ADRIAN ANCHUNDIA CHELE

**TUTOR (a)**  
ING. CARMITA JIMENEZ MERCHAN

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

2026

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Gustavo Adrián Anchundia Chele con CI: 1314202944 Declaro que el siguiente trabajo de titulación en la modalidad "Proyecto de Investigación" es de mi autoría con el tema "ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL FRENTE ROCOSO, DEL QUE SE OBTIENEN LOS AGREGADOS PETREOS EN CANTERAS CERCANAS AL CANTON DE MANTA" el cual fue dirigido por el tutor (a); ING. Carnita Jiménez Merchán

. Las concepciones tomadas de diferentes autores se encuentran debidamente citados y se incluyen en las referencias bibliográficas. El análisis de resultados y las conclusiones expuestas son de exclusiva responsabilidad del autor.

24 de Julio, Manta, 2026



Nombre: Gustavo Adrián Anchundia Chele

CI: 1314202944

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

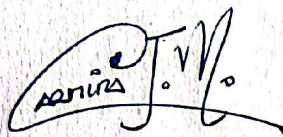
Como tutor académico de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico lo siguiente:

He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 400 horas, bajo la modalidad de **Proyecto de investigación**. El tema del proyecto se titula **"ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL FRENTE ROCOSO, DEL QUE SE OBTIENEN LOS AGREGADOS PETREOS EN CANTERAS CERCANAS AL CANTON DE MANTA"**. Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, certifico que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Gustavo Adrián Anchundia Chele, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, periodo académico 2026 (I), quien se encuentra apto para la sustentación de su trabajo de titulación.

Manta, 24 de julio de 2026.

Lo certifico



**ING. Camila Jiménez Merchán**

**C.I:1306326230**

**Tutor (a)**

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a Dios, por ser mi fortaleza en los momentos de incertidumbre y mi guía en cada paso de este camino.

A mis padres, por ser el origen de mis sueños y el impulso constante para alcanzarlos. Por cada sacrificio, cada consejo y cada gesto de amor, siempre estuvo presente. Este triunfo es el reflejo de todo lo que sembraron en mí.

A mi familia, por acompañarme en cada etapa, por sus palabras de aliento y por ser ese refugio donde siempre encontré fuerzas para continuar, incluso cuando el camino parecía difícil.

A mis amigos, compañeros y personas que dejaron huella en este proceso, haciendo de este recorrido una experiencia llena de aprendizajes y momentos inolvidables.

A mí, porque con esfuerzo y sacrificio pude sobrellevar todos y cada uno de los obstáculos que la vida me presentó en el camino, sabiendo que la recompensa estaba muy cerca de alcanzar.

**GUSTAVO ADRIAN ANCHUNDIA CHELE**

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TÍTULO:**

**“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL FRENTE  
ROCOSO, QUE SE OBTIENEN LOS AGREGADOS PETREOS EN CANTERAS  
CERCANAS AL CANTON DE MANTA”.**

**TESIS DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

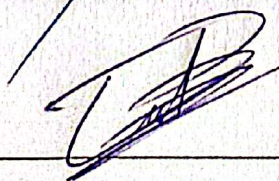
Sometida a consideración del tribunal de revisión y sustentación como  
requisito previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL**



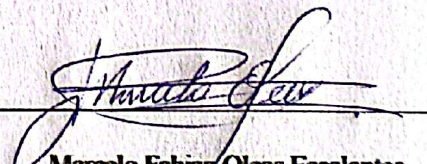
---

**Ing. Alex Geovanny Junqui Cedeño**  
**Miembro del Tribunal**



---

**Ing. Carlos Valentin Cedeño Burgos**  
**Miembro del Tribunal**



---

**Ing. Marcelo Fabian Oleas Escalantes**  
**Miembro del Tribunal**

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a Dios, por ser mi fortaleza en los momentos de incertidumbre y mi guía en cada paso de este camino.

A mis padres, por ser el origen de mis sueños y el impulso constante para alcanzarlos. Por cada sacrificio, cada consejo y cada gesto de amor, siempre estuvo presente. Este triunfo es el reflejo de todo lo que sembraron en mí.

A mi familia, por acompañarme en cada etapa, por sus palabras de aliento y por ser ese refugio donde siempre encontré fuerzas para continuar, incluso cuando el camino parecía difícil.

A mis amigos, compañeros y personas que dejaron huella en este proceso, haciendo de este recorrido una experiencia llena de aprendizajes y momentos inolvidables.

A mí, porque con esfuerzo y sacrificio pude sobrellevar todos y cada uno de los obstáculos que la vida me presentó en el camino, sabiendo que la recompensa estaba muy cerca de alcanzar.

***GUSTAVO ADRIAN ANCHUNDIA CHELE***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer al padre celestial por regalarme vida para poder presenciar este gran momento, en donde el esfuerzo que se ha venido realizando durante estos años al fin dará sus frutos, y traerá consigo la mejor de las bendiciones para poder ejercer esta hermosa profesión.

A los docentes a lo largo de mi formación académica, compartiendo sus conocimientos y enseñanzas, su dedicación fueron fundamentales para contribuir a mi crecimiento profesional, cada docente aportó considerablemente a mi aprendizaje gracias por motivarme alcanzar mis objetivos. La Ing. Carmita Jiménez mi tutora por el apoyo, el Ing. Carlos Valentin por brindarme una valiosa orientación, apoyo y disposición para compartir sus conocimientos gracias a sus enseñanzas pude enfrentar los desafíos en este proyecto

A mis padres porque me apoyaron siempre en el ámbito académico, entendieron mi visión, mis ganas de superarme como persona y sobre todo quisieron que su hijo pueda aspirar a tener un futuro mejor al que quizás ellos no pudieron tener por razones económicas, quiero dedicarle este logro que no solamente es el resultado de mi esfuerzo, si no el fruto de su sacrificio y apoyo, por creer en mi y mostrarme que podemos alcanzar nuestro objetivo con perseverancia y esfuerzo

A mi esposa por darme motivación, gracias por darme una hermosa niña y poder ser la razón por la cual nunca me di por vencido, por tener un mejor futuro para nuestra familia, y sobre todo ser a futuro una inspiración para mi hija en su futura vida profesional.

A todos y cada una de las personas que de alguna manera creyeron en que lo lograría, quizás no en el tiempo previsto, pero si con el mismo ímpetu que demostré desde el primer día que entre a esta hermosa facultad.

***GUSTAVO ADRIAN ANCHUNDIA CHELE***

## RESUMEN

El presente tema de investigación se realizó con la finalidad de estudiar la resistencia a la compresión y el pulso ultrasónico del frente de explotación, provenientes de 3 canteras cercanas al cantón de Manta, en lo cual son utilizados como fuente de materiales pétreos para las construcciones u obras civiles, el presente estudio se realizó en las canteras La Travesía de Manta, Galo Molina de Montecristi, y San José de Portoviejo, con la finalidad de estudiar e identificar las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales pétreos y así definir sus diferentes comportamientos en los siguientes ensayos.

En esta investigación también se realizaron ensayos en laboratorio mediante probetas cilíndricas del mismo basalto, aquellas muestras se obtuvieron mediante extracción de núcleos, después fueron cortadas y rectificadas en sus extremos obteniendo cilindros perfectos, a continuación se realizaron ensayos de ultrasonido para poder evaluar la calidad interna, poder detectar discontinuidades y fallas ocultas del basalto, también se realizaron ensayos de compresión uniaxial para medir y conocer la carga máxima del basalto cilíndrico que pueda soportar hasta alcanzar su falla.

En los ensayos ultrasónicos los resultados que obtuvimos fue que La Travesía presentó una mayor velocidad promedio con 6485,998 m/s, seguido por Galo Molina con 5219,674 m/s y San José con 5075,380 m/s. En los resultados observamos diferencias en la compactación del masivo rocoso en la cual La Travesía se vincula a una mayor homogeneidad o compactación y menos fisuras internas o discontinuidades.

En los ensayos de compresión uniaxial, la cantera San José obtuvimos el mayor valor promedio con 75,08 MPa, seguido por La Travesía con 64,60 MPa y Galo Molina con 61,63 MPa,

en los resultados obtenidos pudimos evidenciar diferentes resistencias y fallas, relacionadas a cada a cualidades de cada basalto, destacando la cantera de San José teniendo un mayor promedio en resistencia uniaxial asociándolo como un material rígido y resistente a las compresiones.

Los resultados de ambos ensayos logramos establecer que una mayor velocidad de pulso ultrasónico no esta relacionado a una mayor resistencia a la compresión uniaxial, aun cuando las muestras de la cantera la travesía dio a conocer un mayor resultado en los ensayos ultrasónicos, en caso de los ensayos de compresión uniaxial no fueron así, en este caso destaco las muestras de la cantera San Jose al demuestras una mayor compresión y resistencia. Esto nos indica que la resistencia del macizo rocoso depende de varios factores como la orientación de discontinuidades, texturas, manejo del material, transporte. Para el comportamiento geomecánica del basalto estos ensayos deben de ser suplemento para una definición complementaria

Este estudio permitió concluir que las canteras investigadas presentas frentes rocosos con cualidades físicas y mecánicas diferentes. En la cual las muestras pertenecientes a la cantera San Jose un mayor valor en resistente a la compresión la cual seria apropiado su uso a elementos que estén sometido a cargas axiales tales como cimentaciones o muros estructura que requieran alta capacidad portante. Por otra parte, los materiales de la cantera La Travesía presenta una mayor velocidad de pulso ultrasónico destacan por homogeneidad interna y compactación característica de alta durabilidad, su uso estaría relacionada como agregado de hormigón de alta calidad, finalmente las muestras de la cantera Galo Momila que presento un comportamiento adecuado para un uso mixto en obras civiles

## ABSTRACT

This research was conducted to study the compressive strength and ultrasonic pulse velocity of basalt from the working faces of three quarries near the Manta canton—quarries that serve as sources of stone materials for construction and civil engineering projects. The study focused on the La Travesía (Manta), Galo Molina (Montecristi), and San José (Portoviejo) quarries, aiming to identify the physical and mechanical properties of these stone materials and characterize their behavior through specific tests.

Laboratory tests were also performed on cylindrical specimens of the basalt. These samples were obtained via core extraction; the cores were subsequently cut and their ends ground flat to produce perfect cylinders. Ultrasonic testing was then carried out to evaluate internal quality and detect discontinuities or hidden flaws within the basalt. Additionally, uniaxial compression tests were conducted to measure the maximum load the cylindrical basalt samples could withstand before failure.

The ultrasonic test results showed that the La Travesía material exhibited the highest average velocity (6,485.998 m/s), followed by Galo Molina (5,219.674 m/s) and San José (5,075.380 m/s). These results reveal differences in the compaction of the rock mass, indicating that the La Travesía material possesses greater homogeneity or compaction and fewer internal fissures or discontinuities.

In the uniaxial compression tests, the San José quarry yielded the highest average value at 75.08 MPa, followed by La Travesía at 64.60 MPa and Galo Molina at 61.63 MPa. The results revealed varying strengths and failure modes linked to the specific qualities of each basalt type;

notably, the San José quarry exhibited the highest average uniaxial strength, characterizing it as a rigid material highly resistant to compression.

Based on the results of both tests, we determined that a higher ultrasonic pulse velocity does not necessarily correlate with higher uniaxial compressive strength. Although samples from the La Travesía quarry showed higher ultrasonic test values, this trend was not mirrored in the uniaxial compression tests, where samples from the San José quarry demonstrated superior compressive strength. This indicates that rock mass strength depends on various factors, such as discontinuity orientation, texture, material handling, and transport. Regarding the geomechanical behavior of the basalt, these tests should serve as a supplement for a comprehensive characterization.

This study concluded that the investigated quarries possess distinct physical and mechanical properties. Samples from the San José quarry exhibited the highest compressive strength, making them suitable for elements subjected to axial loads—such as foundations or structural walls—that require high load-bearing capacity. Conversely, materials from the La Travesía quarry displayed higher ultrasonic pulse velocities and stood out for their internal homogeneity and compaction, indicating high durability; their use would be appropriate as high-quality concrete aggregate. Finally, samples from the Galo Molina quarry demonstrated behavior suitable for mixed applications in civil engineering projects.

## INDICE

|                                           |                               |
|-------------------------------------------|-------------------------------|
| CERTIFICACIÓN .....                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....               | ¡Error! Marcador no definido. |
| APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| DEDICATORIA.....                          | 1                             |
| AGRADECIMIENTO .....                      | 2                             |

## RESUMEN 3

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| ABSTRACT.....                          | 5  |
| CAPITULO I .....                       | 14 |
| INTRODUCCION .....                     | 14 |
| OBJETIVOS .....                        | 17 |
| Objetivo General.....                  | 17 |
| Objetivos Específicos.....             | 17 |
| 1.2    Antecedentes .....              | 18 |
| 1.3    Justificación .....             | 16 |
| 1.4    Planteamiento del problema..... | 15 |
| 1.5    Hipótesis .....                 | 18 |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| CAPITULO II .....                                      | 19 |
| 2 Marco Teórico .....                                  | 19 |
| 2.1 Agregado grueso .....                              | 19 |
| 2.1.1 Características .....                            | 19 |
| 2.2 Tipos y Clasificación .....                        | 20 |
| 2.2.1 Grava.....                                       | 20 |
| 2.2.2 Piedra .....                                     | 24 |
| 2.3 Uso en la industria de la construcción .....       | 28 |
| 2.3.1 Grava.....                                       | 28 |
| 2.3.2 Piedra .....                                     | 31 |
| 2.4 Propiedades mecánicas .....                        | 32 |
| 2.4.1 Resistencia a la Abrasión e impacto.....         | 32 |
| 2.4.2 Resistencia a la compresión y aplastamiento..... | 32 |
| 2.4.3 Tenacidad .....                                  | 33 |
| 2.5 Estado del frete rocoso de las canteras .....      | 33 |
| 2.5.1 Cantera la travesía.....                         | 33 |
| 2.5.2 Cantera San Jose .....                           | 34 |
| 2.5.3 Cantera Galo Molina.....                         | 35 |
| 2.5.4 Comparativa visual de los frentes rocosos.....   | 37 |
| 2.6 Ensayos .....                                      | 37 |

|       |                                                                                                                               |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.1 | Ensayo de velocidad sónica en rocas. ....                                                                                     | 37 |
| 2.6.2 | Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes<br>Cilíndricos de Concreto ASTM: C 39 / C 39M – 01 ..... | 41 |
|       | CAPITULO III.....                                                                                                             | 42 |
| 3     | METODOLOGÍA Y RESULTADOS EXPERIMENTALES .....                                                                                 | 42 |
| 3.1   | Introducción .....                                                                                                            | 42 |
| 3.2   | Relación entre la condición del frente rocoso y la procedencia de las muestras<br>43                                          |    |
| 3.3   | Materiales objeto de estudio .....                                                                                            | 44 |
| 3.4   | Equipos utilizados.....                                                                                                       | 45 |
| 3.5   | Preparación de las probetas.....                                                                                              | 46 |
| 3.6   | Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico .....                                                                                | 48 |
| 3.6.1 | Fundamento teórico .....                                                                                                      | 48 |
| 3.6.2 | Procedimiento .....                                                                                                           | 49 |
| 3.6.3 | Resultados .....                                                                                                              | 49 |
| 3.6.4 | Análisis de los resultados del ensayo de velocidad de pulso ultrasónico ...                                                   | 52 |
| 3.7   | Ensayo de compresión uniaxial .....                                                                                           | 54 |
| 3.7.1 | Fundamento teórico .....                                                                                                      | 54 |
| 3.7.2 | Procedimiento experimental .....                                                                                              | 54 |
| 3.7.3 | Resultados .....                                                                                                              | 54 |

|       |                                                                                                                 |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7.4 | Análisis de la relación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión uniaxial ..... | 68 |
| 3.8   | Análisis de los resultados en función de las conficiones de los frentes rocosos.                                | 69 |
| 4     | CAPITULO IV .....                                                                                               | 76 |
| 4.1   | Conclusiones .....                                                                                              | 76 |
| 4.2   | Recomendaciones .....                                                                                           | 79 |
| 5     | Bibliografía .....                                                                                              | 80 |

### Índice de figuras

|                |    |
|----------------|----|
| Figura 1 ..... | 20 |
| Figura 2 ..... | 21 |
| Figura 3 ..... | 22 |
| Figura 4 ..... | 22 |
| Figura 5 ..... | 23 |
| Figura 6 ..... | 23 |
| Figura 7 ..... | 24 |
| Figura 8 ..... | 26 |
| Figura 9 ..... | 26 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| Figura 10 ..... | 27 |
| Figura 11 ..... | 27 |
| Figura 12 ..... | 28 |
| Figura 13 ..... | 29 |
| Figura 14 ..... | 29 |
| Figura 15 ..... | 30 |
| Figura 16 ..... | 31 |
| Figura 17 ..... | 39 |
| Figura 18 ..... | 40 |
| Figura 19 ..... | 47 |
| Figura 20 ..... | 50 |
| Figura 21 ..... | 51 |
| Figura 22 ..... | 51 |
| Figura 23 ..... | 52 |
| Figura 24 ..... | 55 |
| Figura 25 ..... | 56 |
| Figura 26 ..... | 58 |
| Figura 27 ..... | 59 |
| Figura 28 ..... | 61 |
| Figura 29 ..... | 61 |
| Figura 30 ..... | 62 |
| Figura 31 ..... | 63 |
| Figura 32 ..... | 63 |



## Índice de tablas

|                |    |
|----------------|----|
| Tabla 1 .....  | 44 |
| Tabla 2.....   | 45 |
| Tabla 3.....   | 49 |
| Tabla 4.....   | 54 |
| Tabla 5.....   | 55 |
| Tabla 6.....   | 57 |
| Tabla 7.....   | 57 |
| Tabla 8.....   | 59 |
| Tabla 9.....   | 60 |
| Tabla 10.....  | 68 |
| Tabla 11 ..... | 72 |
| Tabla 12.....  | 75 |

## Índice de ecuaciones

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Ecu. Módulo de Poisson Dinámico ( $V_d$ ) ( 1 ) ..... | 39 |
| Ecu. Módulo de Young Dinámico ( $E_d$ ) ( 2 ) .....   | 39 |

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

En el Ecuador, con el pasar de los años la explotación de canteras se ha vuelto una actividad muy común, razón principal por la que existen 1171 minas y canteras de material pétreo, y solo 867 se encontraban legalmente inscritas, en la provincia de Manabí se registran 16 canteras, las mismas que están distribuidas a lo largo de su territorio esto según lo que se informa en el Geo portal del Catastro Minera Nacional de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos, 2022)

Los áridos finos y gruesos o materiales granulares se obtienen de la destrucción de rocas naturales y cantos rodados, la cual pasa por un proceso selectivo en el que se resaltan sus propiedades físicas y mecánicas, las mismas juegan su papel importante al momento de dicha selección (Sánchez, 2013)

Las características de los áridos, como su granulometría, forma, textura superficial, densidad, absorción, y resistencia, influyen directamente en las propiedades del hormigón, especialmente en su resistencia y durabilidad. (León y Rodríguez, 2022)

La función de los áridos en las propiedades del hormigón no está relacionada con el fraguado ni con el endurecimiento, ya que su principal objetivo es mantener la estabilidad dentro del hormigón sin modificar las características de este, ocupando así el 60% del volumen aproximadamente, y el otro 40% restante se compone de pasta de cemento y los huecos de aires existentes entre ellos. (Márquez, 2012)

Las canteras de las cuales se extrajo el material analizado se encuentran ubicadas dentro de la provincia de Manabí específicamente en los cantones Portoviejo, Montecristi y Manta

## **1.1 Planteamiento del problema**

La provincia costera de Manabí ha presentado a través de los años, un crecimiento significativo en el ámbito urbano y de infraestructura civil, por lo que esto ha llevado al incremento en la demanda de agregados.

El distrito Manta, Montecristi y Jaramijó se ha establecido como una zona de alto desarrollo en los ámbitos comercial, industrial y residencial. Sin embargo, los constructores y profesionales a fines de esta área emplean agregados gruesos provenientes de diversas canteras locales sin contar con ensayos actualizados y rigurosos que validen las características geomecánicas de cada material y sus propiedades en el comportamiento final del hormigón.

A pesar de que las presentes canteras colindantes logran abastecer a un mismo mercado, existen características sustanciales en su etapa de origen que diferencian a cada una tales como ; índice de alargamiento, absorción, tenacidad y porcentaje de desgaste.

En la práctica habitual en el sector de la construcción existe la tendencia de asumir que cualquier agregado grueso que cumpla de manera visual con un tamaño nominal moderado es apta para la elaboración de hormigón estructural, pero estas deficiencias se ven reflejadas en los estados fresco dando variaciones en la demanda de agua para su maleabilidad requerida, lo que ocasiona una mala relación agua cemento y así mismo en su estado endurecido en donde su resistencia a la compresión estará condicionada y propensa a mostrar fallas estructurales como cizallamiento en sus elementos.

Otro factor de vital importancia a mencionar es la exposición del material a los climas costeros caracterizados por la alta humedad relativa, presencia de la brisa del mar la cual contiene alta concentración de sulfatos, esto es vinculado intrínsecamente a la durabilidad de cualquier tipo

de estructura. Un agregado grueso con micro fisuras provenientes de una mala extracción y trituración facilita la capilaridad y penetración de patógenos agresivos los cuales provocan la corrosión, pérdida de sección del acero y degradación prematura del hormigón.

Sin una comparativa actualizada del desempeño de cada cantera ante todos estos factores mencionados, las estructuras podrían quedar expuestas de deterioros patológicos y de ámbito estructural los cuales afectarían su vida útil y de diseño.

## **1.2 Justificación**

La importancia que tienen materiales pétreos en las obras de ingeniería civil, estas propiedades pueden cambiar debido a sus propiedades geológicas y las condiciones de los frentes rocoso de donde se extrañen. Lo cual es necesario evaluar técnicamente los materiales provenientes de diferentes canteras.

Esta investigación aporta Información experimental sobres las características de los materiales analizados además permite establecer diferencias entre las canteras. Estos resultados sirven como apoyo para una mejor selección y caracterización de materiales pétreos desacuerdos a las necesidades para las diferentes aplicaciones en la ingeniería

## 1.3 OBJETIVOS

### *1.3.1 Objetivo General*

Estudio del comportamiento de las muestras de rocas obtenidas de las tres canteras mediante ensayos de velocidad de pulso ultrasónico y compresión uniaxial, asociando estos resultados con las condiciones visuales de los frentes rocosos, cercanas al cantón manta

### *1.3.2 Objetivos Específicos*

- Identificar las características geológicas de los frentes de rocas de las canteras Galo Molina, San José y la Travesía.
- Evaluar las propiedades físicas tales como área, volumen y densidad aparente
- Determinar las velocidades de las ondas sónicas mediante el equipo TOYOCO ELMES CO.,LTD
- Determinar la resistencia a la compresión uniaxial mediante el equipo UH-F500 KNX
- Comparar los resultados de los ensayos obtenidos entre las tres canteras con la finalidad de establecer las diferencias entre sus propiedades mecánicas y condiciones del frente rocoso y explotación de estas.

## **1.4 Antecedentes**

Dentro de los agregados sus características se ven influenciadas por el lugar de explotación, el tratamiento después de su extracción, transporte, etc. Por ellos se busca identificar las canteras más demandantes de nuestro medio, para así poder evidenciar las propiedades que contienen sus agregados en su estado ya sea natural o artificial según el medio. (Barrera Carmona, 2019)

En la presente tesis se van a estudiar agregados de las canteras; Galo molina en montecristi, San José en Portoviejo y la travesía en Santa Marianita.

## **1.5 Hipótesis**

Existen diferencias significativas tanto en las propiedades físicas como mecánicas de los agregados gruesos como basalto de las canteras cercanas al distrito Manta, las cuales pueden ser identificada mediante una inspección visual de los frentes rocosos, así como los ensayos de compresión uniaxial y ensayo de pulso ultrasónico

## CAPITULO II

### 2 Marco Teórico

La preparación del hormigón, es decir, su dosificación y las técnicas que se empleen en su preparación, precisan de control y conocimiento de los materiales, además, de factores que puedan incidir en sus propiedades, específicamente la clasificación, forma, textura y proporción de agregados tanto gruesos como finos a emplearse en la mezcla.

(Aguilar et al., 2019) afirman que: “conocer las propiedades de los agregados conlleva a la posibilidad de realizar mejores diseños de mezclas de hormigones y asfaltos, ya que se pueden obtener resistencias estimadas y durabilidades más prolongadas”

#### 2.1 Agregado grueso

Se conoce como agregado grueso al material proveniente de la desintegración de la roca de origen volcánico y que por su tamaño queda retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm). Está elaborado bajo cumplimiento de la norma NTE INEN 872, equivalente a la norma ASTM C33. (Holcim Ecuador, s.f.)

##### 2.1.1 Características

Los agregados deben estar constituidos por partículas que sean:

- ❖ Duras y resistentes.
- ❖ Íntegras, es decir, fuertes y estables a la acción del congelamiento y de los agentes atmosféricos.
- ❖ Limpias, es decir libres de impurezas tales como: materia orgánica, nos nocivos (p.ej. arcilla), partículas livianas o deleznable (p.ej. madera), contaminantes (p.ej. cloruros).
- ❖ Sin reacciones deletéreas con los álcalis.

- ❖ De buena forma (ni planas, ni elongadas).
- ❖ Bien gradadas en tamaño.

## 2.2 Tipos y Clasificación

- ❖ Grava
- ❖ Piedra

### 2.2.1 Grava

- ❖ Son aquellas piedras que por efecto natural han perdido sus aspereza o ángulos.
- ❖ Aquellas que a través del tiempo y las condiciones climáticas se han ido desintegrando y perdiendo sus aristas vivas.
- ❖ Piedras redondeadas pulidas por efecto natural en ríos y canteras. (Haro, s.f.)

### Figura 1

*Grava en estado natural.*



*Nota. De grava, por Construx Perú, s.f., en Construx:*

*([https://www.construx.com.pe/exhibidores/comercializadora\\_erre\\_zeta/producto/grava\\_peru](https://www.construx.com.pe/exhibidores/comercializadora_erre_zeta/producto/grava_peru)).*

### 2.2.1.1 Clasificación

#### 2.2.1.1.1 Por su procedencia:

- ❖ **De Ríos:** Originadas por el movimiento del agua y por el roce de piedras, son en su mayoría redondas.
- ❖ **De canteras:** Son de origen natural, en un terreno donde abundan en gran cantidad.

#### 2.2.1.1.2 Por su tamaño:

- ❖ **Gravilla:** La más pequeña, se encuentra entre 5 mm y 10 mm. (Haro, s.f.)

**Figura 2**

*Gravilla.*



*Nota. De Gravilla, por Semex, s.f., en construrama: ([https://www.construrama.com/catalogo/materiales-de-construccion/triturados/arena-grava-y-piedra/gravilla-metro-cubico/p/0301070354?srsId=AfmBOopErnOUtANOx9DWNEggibs4098GJuwR\\_6RxA32SrFE4QeiyEoLY](https://www.construrama.com/catalogo/materiales-de-construccion/triturados/arena-grava-y-piedra/gravilla-metro-cubico/p/0301070354?srsId=AfmBOopErnOUtANOx9DWNEggibs4098GJuwR_6RxA32SrFE4QeiyEoLY)).*

- ❖ **Grava fina:** Su tamaño está entre los 10 mm y 20 mm.

### Figura 3

*Grava fina.*



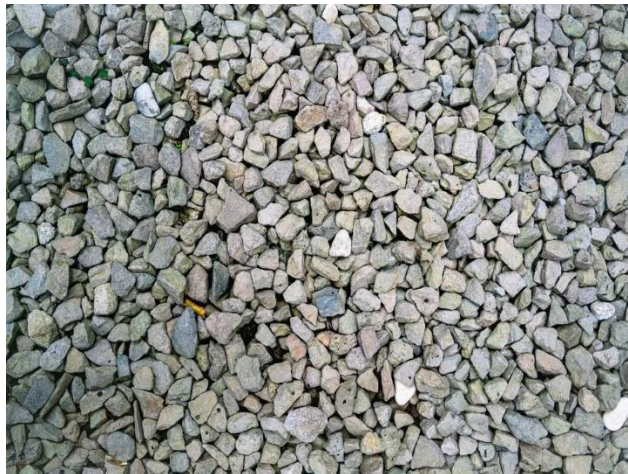
*Nota. De grava fina, por Construx Perú, s.f., en Construx:*

*([https://www.construx.com.mx/exhibidores/triturados\\_cribissa/producto/grava\\_fina\\_ciudad\\_lerdo](https://www.construx.com.mx/exhibidores/triturados_cribissa/producto/grava_fina_ciudad_lerdo)).*

❖ **Grava media:** Está entre los 20 mm y los 40 mm.

### Figura 4

*Grava media.*



*Nota. De grava media, por J. Raditya valerian, s.f., en dreamstime:*

*([https://www.construx.com.mx/exhibidores/triturados\\_cribissa/producto/grava\\_fina\\_ciudad\\_lerdo](https://www.construx.com.mx/exhibidores/triturados_cribissa/producto/grava_fina_ciudad_lerdo)).*

- ❖ **Grava gruesa:** Se encuentra entre los 40 mm y el 75 mm de tamaño.

**Figura 5**

*Grava gruesa, textura de piedra sepulcro.*



*Nota. De grava gruesa, por Romberi, s.f., en dreamstime:*

*(<https://es.dreamstime.com/grava-gruesa-textura-de-piedra-image104763246>).*

- ❖ **Canto Rodado:** Proviene de los ríos. Su tamaño va desde los 75 mm a más (mayormente usado en acabados).

**Figura 6**

*Canto rodado de color.*



*Nota. De canto rodado, por R. Rynkiewicz.,s.f., en dreamstime:*

(<https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-libre-de-regal%C3%ADas-una-pared-de-piedra-del-canto-rodado-viejo-image30949675>).

### **2.2.2 Piedra**

- ❖ Es un mineral duro y sólido.
- ❖ Son aquellas más grandes que las gravas, que dependiendo de su tamaño o molidas para obtener gravilla artificial.
- ❖ La piedra constituye una forma del agregado grueso que interviene en la elaboración del hormigón.

#### **Figura 7**

*Piedra bola.*



*Nota. De piedra bola.* Recuperado de Construx Ecuador:

([https://www.construx.com.ec/exhibidores/copeto/producto/piedra\\_bola\\_30\\_cm\\_ecuador](https://www.construx.com.ec/exhibidores/copeto/producto/piedra_bola_30_cm_ecuador)).

### 2.2.2.1 Clasificación

#### 2.2.2.1.1 Por su procedencia

- ❖ **Canteras:** Es en la mayoría de los casos donde se extraen comúnmente las piedras.
- ❖ **Ríos:** Son piedras grandes que no han sido muy trituradas por el agua mayormente está en la orilla de los ríos.
- ❖ **Artificiales:** Se logran a través de un proceso de trituración por medio de maquinarias, explosiones y acción del hombre.

#### 2.2.2.1.2 Por su forma

- ❖ **Angulares:** Son mayormente las chancadas en máquinas, posee ángulos muy vivos y afilados, son más adherentes al hormigón.
- ❖ **Sub-Angulares:** Sus caras poseen evidencia de estar ligeramente pulidas.
- ❖ **Sub- Redonda:** Se encuentra casi redondas y poseen ángulos pulidos.
- ❖ **Redondeada:** Se encuentran en mayor cantidad en los ríos, son aquellas que han perdido todos sus ángulos vivos, siendo menos adherentes.

#### 2.2.2.1.3 Por su obtención

- ❖ **Piedra Grande o Base:** (Ciclópea) Son las de mayor tamaño encontradas mayormente en las canteras de cielo libre. (Haro, s.f.)

## Figura 8

*Piedra grande o base.*



*Nota. De piedra grande o base de granito, por S. Kolesnikov., s.f., en dreamstime:*

*(<https://es.dreamstime.com/textura-de-fondo-muchas-piedras-grandes-diferentes-formas-una-pila-rocas-granito-fundaci%C3%B3n-dureza-piedra-concepto-base-s%C3%B3lida-image191867463>).*

- ❖ **Piedra Media:** ( Piedra de cajón) Al igual que las piedras grandes, estas también se encuentran en canteras al aire libre.

## Figura 9

*Piedra mediana o de cajón.*



*Nota. De piedra de cajón, por webtilia., s.f., en Aceros Arequipa S.A:*

(<https://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-del-maestro-constructor/la-piedra-de-cajon>).

- ❖ **Piedra chancada:** Obtenida de la trituración artificial de la piedra grande, suele reemplazar a la grava.

**Figura 10**

*Piedra chancada.*



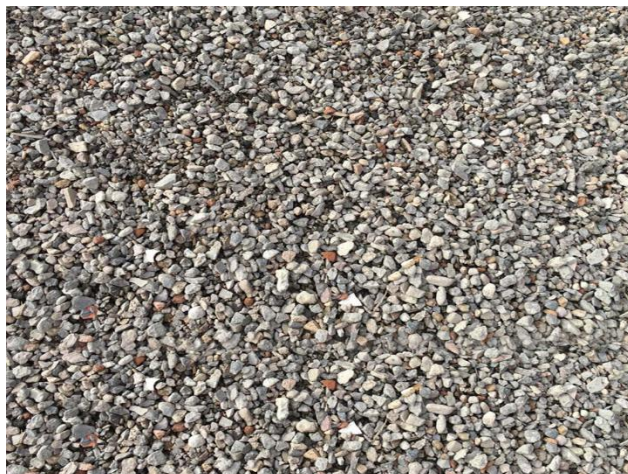
*Nota. De piedra chancada. Recuperado de Construx Perú:*

([https://www.construex.com.pe/exhibidores/dupiuu/producto/piedra\\_chancada\\_peru](https://www.construex.com.pe/exhibidores/dupiuu/producto/piedra_chancada_peru)).

- ❖ **Confitillo:** Es lo que sobra del proceso de trituración de la piedra chancada.

**Figura 11**

*Confitillo.*



*Nota. De confitillo. Recuperado de Konstruccion-Perú: (<https://konstruccion.com/p/confitillo-m3>).*

#### **2.2.2.1.4 Por su tamaño**

- ❖ **Piedra Grande o Base:** Sus tamaños van desde las 10" (pulgadas) hasta tamaños poco mayores.
- ❖ **Piedra Media:** Su tamaño ronda entre las 4" y 6" (pulgadas).
- ❖ **Piedra Chancada:** Su tamaño está determinado por el tamaño comercial de las gravillas del medio.
- ❖ **Confitillo:** Su tamaño oscila entre 1.5 a 2.5 cm.

### **2.3 Uso en la industria de la construcción**

#### **2.3.1 Grava**

##### **2.3.1.1 Grava fina**

Son usadas en las dosificaciones para columnas, placas, vigas y aligerados.

#### **Figura 12**

*Dosificación para elementos estructurales con grava fina.*



*Nota. De grava fina en hormigones. Recuperado de Construx Perú:*

([https://www.construex.com.mx/exhibidores/materiales\\_gorillas/producto/grava\\_fina\\_para\\_concreto\\_maxicali\\_mx](https://www.construex.com.mx/exhibidores/materiales_gorillas/producto/grava_fina_para_concreto_maxicali_mx)).

### **2.3.1.2 Grava media**

Son trabajadas en columnas, placas, aligerados y vigas.

#### **Figura 13**

*Dosificación para elementos estructurales con grava media.*



*Nota. De grava media en hormigones. Recuperado de Holcim Colombia:*

(<https://holcimsoluciones.com/colombia/guia-practica-dosificacion-del-concreto-en-obras>).

### **2.3.1.3 Grava gruesa**

Suelen usarse en sobre cimientos con armadas menos robustos.

#### **Figura 14**

*Cimientos con grava gruesa.*



*Nota. De grava gruesa en cimientos. Recuperado de vecteezy:*

*(<https://es.vecteezy.com/foto/15958243-los-cimientos-de-la-casa-poniendo-los-cimientos-hechos-de-piedra-arena-semen-y-acero-trabajos-de-construccion>).*

#### **2.3.1.4 Cantos Rodado**

Se usa principalmente en acabados.

#### **Figura 15**

*Acabados en jardín con cantos rodados.*



*Nota. De cantos rodados para jardines, Por J.Menguez, s.f., en mejor con salud :*

*(<https://mejorconsalud.as.com/lifestyle/jardines/canto-rodado-jardin/>).*

### 2.3.2 Piedra

- ❖ **Piedra Grande o Base:** Para elaboración de hormigón ciclópeo, son usadas para cimientos.

**Figura 16**

*Cimientos de hormigón ciclópeo.*



*Nota. De cimientos de hormigón ciclópeo, Por Gestión IEB, 28 abril del 2023, en instituto baubiologie:*

*(<https://www.baubiologie.es/cimentaciones-de-hormigon-ciclopeo/>).*

- ❖ **Piedra Media:** Son usadas en los sobrecimientos.
- ❖ **Piedra Chancada:** Son utilizadas para la elaboración de hormigones.
- ❖ **Confitillo:** Se usa mezclado con otras sustancias para la pavimentación de las pistas y también son usados para la fabricación de ladrillos de techo artesanales.  
(Morales, 2017)

## **2.4 Propiedades mecánicas**

### ***2.4.1 Resistencia a la Abrasión e impacto.***

Los agregados sufren un desgaste considerable a lo largo de su vida útil. En general, deben ser lo suficientemente duros y resistentes para soportar la trituración, la degradación y la desintegración derivadas de las actividades asociadas, como la fabricación, el almacenamiento, la producción, la colocación y la compactación (Roberts et al., 1996).

Estas propiedades son especialmente críticas para las mezclas asfálticas en caliente de granulometría abierta o discontinua, que no se benefician del efecto amortiguador del agregado fino y donde las partículas gruesas están sometidas a altas tensiones de contacto (Wu et al., 1998). Los agregados que no son suficientemente resistentes a la abrasión y al pulido pueden provocar fallos estructurales prematuros y/o una pérdida de resistencia al deslizamiento.

### ***2.4.2 Resistencia a la compresión y aplastamiento.***

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para soportar cargas, para verificar la consistencia y eficiencia del hormigón, mortero y otros materiales fabricados; esta propiedad es el parámetro básico que se prueba exhaustivamente para la mayoría de los materiales de construcción o compuestos estructurales. Todos los materiales deben superar o cumplir los requisitos estándar básicos de la aplicación estructural para poder ser aplicados o utilizados en cualquier actividad de construcción. (Science Direct, 2014)

En ciertos casos se ha evidenciado que bajo altas cargas se producen fallas por aplastamiento, en donde la pasta cementicia resiste, pero agregado grueso se parte o desmorona provocando así resultados inferiores esperados en el diseño de mezcla. Para evitarlo los agregados se evalúan mediante ensayos de tracción indirecta en donde se garantizará que la dureza del material supere los esfuerzos mecánicos a los que estará sometido.

### **2.4.3 Tenacidad**

La tenacidad es la capacidad de las partículas de los agregados para resistir la fractura y la degradación mecánica bajo cargas dinámicas, Por lo tanto, los agregados determinan las propiedades reológicas del hormigón fresco, la resistencia del hormigón endurecido y la durabilidad del hormigón (Hubler et al., 2020).

### **Estado del frente rocoso de las canteras**

Como parte de mi proyecto se realizó una inspección visual de cada frente rocoso en explotación de cada cantera las cuales son La Travesía, Galo molina y San José. En este estudio visual nos permitió analizar las condiciones del material rocoso, enfocándonos primeramente en la presencia de discontinuidades y el grado de fracturación y condiciones de la superficie que se encuentra expuesta.

### **2.4.4 Cantera la travesía**

#### **Figura 17**

*Inspección visual del frente rocoso de la cantera La Travesía*



*Nota.* Elaboración Propia.

En la cantera la travesía se observa la masa rocosa tiene presencia de discontinuidades y en tramos visibles separaciones. Además, en la superficie se diferencian lugares con una geometría irregular y algunos fragmentos del mismo material en su base de explotación.

Estas observaciones y análisis del frente es de suma importancia, ya que así podemos complementar nuestros ensayos en laboratorio, ya que los resultados corresponden a muestras extraídas del frente rocoso presentas cualidades estructurales propias, por lo tanto los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y ultrasonido se analizarán considerando el entorno geo mecánico observado en su centro de explotación

#### ***2.4.5 Cantera San Jose***

#### **Figura 18**

*Inspección visual del frente rocoso de cantera San José*



*Nota.* Elaboración Propia.

Este frente rocoso de la cantera san José haciendo nuestro estudio visual logramos analizar una considerable extensión de explotación con grandes volúmenes rocoso de distintos tamaños en su parte inferior. En la superficie en nuestro macizo logramos evidenciar cierto grado de fracturación y discontinuidades e algunas partes se evidencia separación entre bloques todo esto correspondiente a la actividad de explotación del material.

Visualmente en ciertos sectores se conserva una masa rocosa continua, además se aprecian zonas en las cuales las discontinuidades aportan a la separación de algunos de los bloques, con esto se logra evidenciar que este proceso de extracción genera una diversidad en las dimensiones de este material.

Como parte de la investigación los resultados de ensayos de laboratorio tienen que estar relacionados con el origen de las muestras y condiciones del frente rocoso y análisis visual.

#### ***2.4.6 Cantera Galo Molina***

#### **Figura 17**

*Inspección visual del frente rocoso de cantera Galo Molina*



*Nota.* Elaboración Propia.

En la canchalar de Galo Molina observamos que este frente rocoso presenta estado visual más fragmentada, también se logra apreciar numerosas discontinuidades, y muestras de diferente tamaño en la base del frente rocoso producto de la explotación del material, este frente nos muestra una estructura mayoritariamente discontinua.

Este análisis visual nos permite clasificar este frente rocoso esta zona con grado de fracturación notable. El estado actual observado de este frente rocoso destaca un componente clave para el análisis de nuestras muestras de basalto obtenidas en esta canchalar, en la cual podremos relacionar las características visuales con los resultados obtenidos en el laboratorio

#### ***2.4.7 Comparativa visual de los frentes rocosos***

Haciendo una comparativa visual de estos tres frentes nos presentan unas condiciones estructurales distintas. Comenzando con la cantera de San José presenta una mezcla de sectores relativamente continua y otros con macizo separados la parte inferior, en el frente de la cantera la Travesía presenta amplia discontinuidades y determinados sectores hay presencia de continuidad en el macizo y su parte inferior desprendimientos de bloques. Mientras que Galo molina observamos una mayor presencia de bloques y discontinuidades el frente de explotación analizado

### **2.5 Ensayos**

Los ensayos de caracterización de los áridos gruesos serán los siguientes:

#### ***2.5.1 Ensayo de velocidad sónica en rocas.***

El ensayo de velocidad sónica permite medir la velocidad de las ondas elásticas Longitudinales y transversales,  $V_p$  y  $V_s$ , al atravesar una probeta de roca seca o saturada. La

velocidad de las ondas está relacionada con las características mecánicas del material, su resistencia y su deformabilidad, y a partir de ella se calculan los módulos de deformación elásticos dinámicos:  $E_d$  y  $V_d$ .

El ensayo consiste en transmitir ondas longitudinales mediante compresión ultrasónica y medir el tiempo que tardan dichas ondas en atravesar la probeta. De igual forma se transmiten ondas transversales o de corte mediante pulsos sónicos y se registran los tiempos de llegada.

Las velocidades correspondientes,  $V_p$  y  $V_a$ , se calculan a partir de los tiempos. El transmisor o generador de la fuerza compresiva y de los pulsos se fija sobre un extremo de la probeta, y en el otro se sitúa el receptor que mide el tiempo que tardan las ondas en atravesar la longitud de la muestra de roca. El receptor puede también colocarse en un lateral de la probeta, variando así la distancia a recorrer por las ondas. Las probetas pueden ser cilindros o bloques rectangulares, recomendándose que su mínima dimensión sea al menos de 10 veces la longitud de onda. (Rea Bryan, 2015)

La velocidad con la que se propagan las ondas elásticas a través de los materiales rocosos es una propiedad utilizada en la caracterización de estos, especialmente desde el punto de vista de su calidad o grado de alteración ello es debido a su relación con las características petrográficas y más específicamente con los espacios vacíos.

A partir de los valores obtenidos mediante dicho ensayo, se han considerado nuevos parámetros con el significado de índices de calidad.

La velocidad de las ondas de corte  $V_s$  se aproxima a  $2/3$  de la velocidad  $V_p$  de las ondas longitudinales.

A partir de las siguientes fórmulas se obtienen los módulos dinámicos  $E_d$  y  $V_d$  :

$$v_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)}$$

***Ecu. Módulo de Poisson Dinámico (Vd)*** ( 1 )

$$E_d = p v_s^2 \left( \frac{3v_p^2 - 4v_s^2}{v_p^2 - v_s^2} \right)$$

***Ecu. Módulo de Young Dinámico (Ed)*** ( 2 )

El valor de  $E_d$  es mayor que el determinado a partir de ensayos uniaxiales, ya que la rápida aplicación de los esfuerzos de baja magnitud condiciona a la roca para que presente un comportamiento puramente elástico.

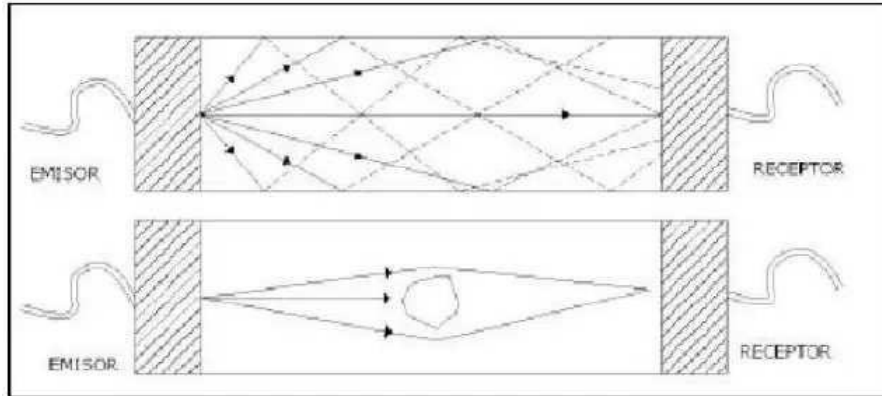
Por otra parte, es conocida la gran variabilidad. Tanto petrográfica como de propiedades físicas, que presentan las rocas sedimentarias, es por ello que es de gran importancia técnica la evaluación de la propagación de ondas, con la finalidad de valorar la homogeneidad entre los diferentes especímenes de una misma muestra.

#### **2.5.1.1 Técnica de transmisión**

En la técnica de transmisión, la presión sonora es máxima para la dirección axial de los transductores y disminuye para las direcciones oblicuas conforme aumenta el ángulo de aplicación. Es esta técnica, una discontinuidad en el material, tiene por efecto un aumento del tiempo transcurrido hasta llegar al receptor. El camino seguido por las ondas ultrasónicas es mayor al tener que sortear un obstáculo, como puede observarse en la parte inferior de la **Figura** .

### **Figura 20**

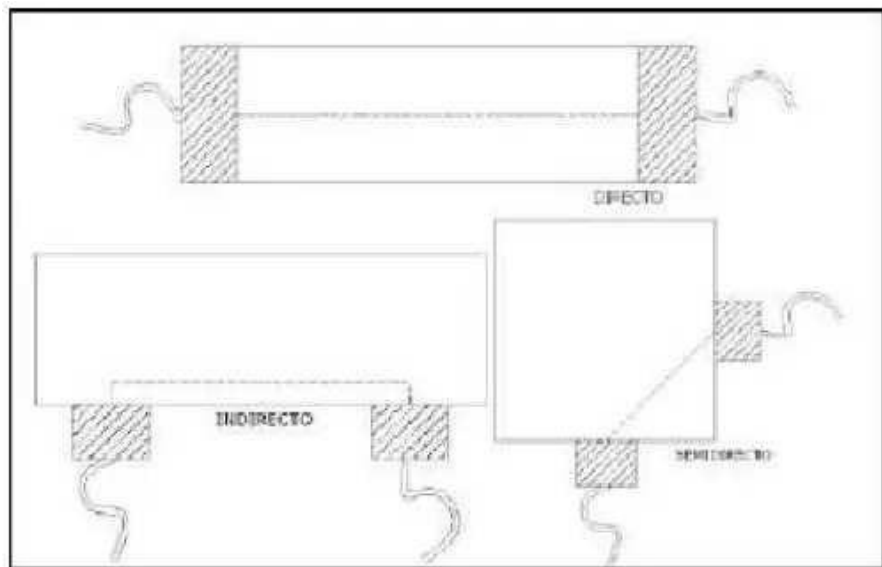
*Técnica de transmisión de ondas sónicas.*



Para esta metodología existen tres posibles configuraciones de ensayo dependiendo de la ubicación de los transductores, y por tanto, diferentes valores de velocidad que corresponderán a cada lectura realizada: lectura de transmisión directa, semidirecta e indirecta. La **Figura** muestra los tres posibles casos.

**Figura 21**

*Metodologías para configuración del ensayo en base a ubicación de transmisores.*



El método de transmisión directa suele ser el más deseable y satisfactorio, tanto por su

comodidad de ejecución como por los resultados, ya que el máximo de energía de la onda es transmitido y recibido.

Por otro lado, las lecturas semidirectas o indirectas son menos adecuadas porque la medida de amplitud señalizada y recibida es menor a las registradas en las lecturas directas, lo que traduce en peor recepción de señal y un mayor error experimental. (Rea Bryan, 2015)

### ***2.5.2 Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes***

#### ***Cilíndricos de Concreto ASTM: C 39 / C 39M – 01***

La metodología consiste en la aplicación de carga de compresión a la probeta o cilindro, moldeado o núcleo a una razón que está dentro del rango prescrito antes de que ocurra la falla.

El esfuerzo de compresión de la probeta se calcula mediante la división de la carga máxima registrada llevado a cabo el ensayo por la sección de área transversal del mismo.  
(ASTM: C 39, 2001)

#### **Procedimiento:**

- Extraer rocas macizas de las canteras del centro de explotación.
- Extraer núcleos con un taladro industrial y una broca de cilindro adiamantada
- Recortar los extremos de rocas dejarlos niveladas con una altura aproximadamente 2,5 su diámetro
- Pesar cada muestra en gramos y tomar medidas de cada probeta en mm
- Someterla a compresión en la maquina SHIMADZU UH-F500 knx
- Obtener gráficos de rotura y el esfuerzo máximo de cada muestra

## **CAPITULO III**

### **3 METODOLOGÍA Y RESULTADOS EXPERIMENTALES**

#### **3.1 Introducción**

Dentro del presente capítulo se muestra el procedimiento metodológico para llevar a cabo la evaluación de las propiedades mecánicas de las muestras de rocas provenientes de las diferentes canteras de Manabí.

La investigación tuvo un enfoque experimental mediante la ejecución de ensayos de laboratorio, en donde se deseaba determinar la resistencia a la compresión uniaxial y la velocidad de propagación del pulso ultrasónico de las muestras, con la finalidad de establecer una posible relación entre ambos ensayos y así conocer la calidad geomecánica del material.

Los ensayos fueron realizados bajo sustentación técnica con normativa actualizada y aplicable a el tipo de material que se está evaluando, por tanto, se garantiza la confiabilidad de los resultados mostrados en el presente trabajo.

El presente análisis se centra en la caracterización geológica de los frentes de roca ubicados en las canteras Galo Molina, San José y La Travesía, con el fin de establecer las condiciones estructurales y litológicas que condicionan su explotación. Esta evaluación geológica regional se fundamenta en la inspección detallada de las unidades litológicas, considerando tanto su grado de meteorización como sus heterogeneidades estructurales inherentes (Pearce et al., 1984).

### **3.2 Relación entre la condición del frente rocoso y la procedencia de las muestras**

El estudio abarca las formaciones rocosas presentes en estas áreas, donde predominan secuencias ígneas y metamórficas que exponen distintos niveles de alteración superficial (Giraldo & Arboleda, 2020)

Las muestras obtenidas para los siguientes ensayos fueron directamente del centro de explotación de cada una de las canteras, en frente rocoso se procedió a extraer las muestras en la parte inferior del centro de explotación donde se encontraba operando una máquina pesada encargada de extraer y remover el material basáltico.

Cabe recalcar que en las tres canteras el lugar de explotación se encontraba el material basáltico era removido por la maquinaria pesada y dejando expuesto en la parte inferior del frente, así permitiendo una selección directa del material. Para la selección de cada bloque o bolón de roca utilicé un martillo así examinando su estado después de unos golpes también verificando su presencia de discontinuidades y fisuras que no sean muy relevantes, como resultado fueron seleccionados las muestras con escasas fisuras y discontinuidades visibles

Los procesos de volcanismo marino antiguo, sedimentación marina, elevaciones tectónicas y erosión están vinculados con la geología del área norte de la provincia de Manabí.

Entre las condiciones de los frentes rocosos y el material seleccionado, en algunos frentes pueden presentarse partes con discontinuidades en condiciones naturales del macizo estos es necesario para las interpretaciones de los resultados, no obstante, para los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión y ultrasonido fueron seleccionados bloques de basalto con escasa fisuras y mayores continuidades para poder evaluar las propiedades de la misma en forma de probetas.

### **3.3 Materiales objeto de estudio**

Los especímenes utilizados en los ensayos fueron obtenidos a partir de la extracción de bloques de rocas, en las canteras antes mencionadas a lo largo de esta investigación.

Con el propósito de preservar las características físicas y mecánicas del material, la extracción de los testigos cilíndricos se realizó mediante un sistema de perforación diamantada, ampliamente utilizado en investigaciones geotécnicas y de mecánica de rocas debido a su precisión y a la mínima alteración que produce en la estructura interna del material.

En áreas como Manta, Montecristi, Portoviejo y Jaramijó se han detectado zonas cuya geología registra el volcanismo de la Formación Piñón, la sedimentación de la Formación Cayo y después unidades calcáreas y sedimentarias del Paleógeno.

Para la perforación de las muestras se empleó un taladro industrial para perforación diamantada

Las muestras analizadas corresponden a rocas extraídas de tres canteras ubicadas en la provincia de Manabí, seleccionadas por su importancia como fuentes de agregados pétreos para obras de infraestructura civil.

Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio, donde se prepararon mediante corte y rectificación hasta obtener probetas cilíndricas con dimensiones adecuadas para la ejecución de los ensayos mecánicos y no destructivos.

Cada muestra fue identificada mediante un código único que permitió mantener la trazabilidad durante todo el proceso experimental.

#### **Tabla 1**

**PROYECTO TESIS**

| CODIGO  | CATERA             | TIPO DE ROCA | NUMERO DE NUESTRA | NUMERO DE PROBETAS |
|---------|--------------------|--------------|-------------------|--------------------|
| TRAV- P | 1_ LA TRAVESIA     | BASALTO      | 4-5               | 5                  |
| GM-P    | 2 GALO MOLINA      | BASALTO      | 4-5               | 5                  |
| PIC-P   | 3 PICOAZA SAN JOSE | BASALTO      | 4-5               | 5                  |

*Nota.* Elaboración Propia.

### **3.4 Equipos utilizados**

- Para la ejecución de la investigación se emplearon los siguientes equipos:
- Taladro industrial Husqvarna DMS 240
- Broca cilíndrica de 2 pulgadas
- Máquina Universal de Ensayos para compresión SHIMADZU UH-F500 knx.
- Equipo de Ultrasonido de Pulso quipo de emisión de pulsos ultrasónicos modelo NO ESI/P-10 de la marca TOYOKO ELMES CO., LTD.
- Vernier digital.
- Balanza electrónica.
- Calibrador digital.
- Computadora para procesamiento estadístico.

**Tabla 2**

*Funcionalidad de los equipos de laboratorio.*

| <b>Equipo</b>      | <b>Función</b>                            |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Taladro industrial | Extraer núcleos de basalto puro           |
| Máquina Universal  | Determinar la resistencia a la compresión |
| Ultrasonido        | Medir la velocidad del pulso              |
| Vernier            | Medición de dimensiones                   |

*Nota.* Elaboración Propia.

### **3.5 Preparación de las probetas**

Las probetas empleadas en el desarrollo de los ensayos fueron elaboradas a partir de bloques de roca recolectados en las tres canteras seleccionadas como objeto de estudio dentro de la presente investigación.

Mediante la implementación del equipo Husqvarna DMS 240 se logró obtener testigos cilíndricos de dimensiones uniformes, priorizando perforaciones con alto nivel de precisión lo cual se traduce en menor aparición de fisuras durante la etapa de extracción. Para ello se utilizó una broca diamantada que facilitó poder realizar cortes continuos en el material rocoso, minimizando así vibraciones y alteraciones que pudiesen afectar los resultados en los ensayos de compresión uniaxial y velocidad ultrasónica.

Después de la obtención de los núcleos de los especímenes, fueron sometidos a un proceso rectificación y corte en sus extremos, con la finalidad de planar y acondicionar sus caras respecto al eje de cada una. Este proceso es indispensable ya que se garantiza una adecuada y uniforme

distribución de esfuerzos durante el ensayo de compresión, evitando así concentraciones de cargas que puedan alterar el mecanismo de falla del material.

Una vez terminado el proceso de rectificación se procedió a verificar las dimensiones geométricas de cada espécimen mediante un calibrador de precisión, obteniéndose los datos de diámetro y longitud, así mismo cada uno fue identificado según la cantera de la cual se obtuvo.

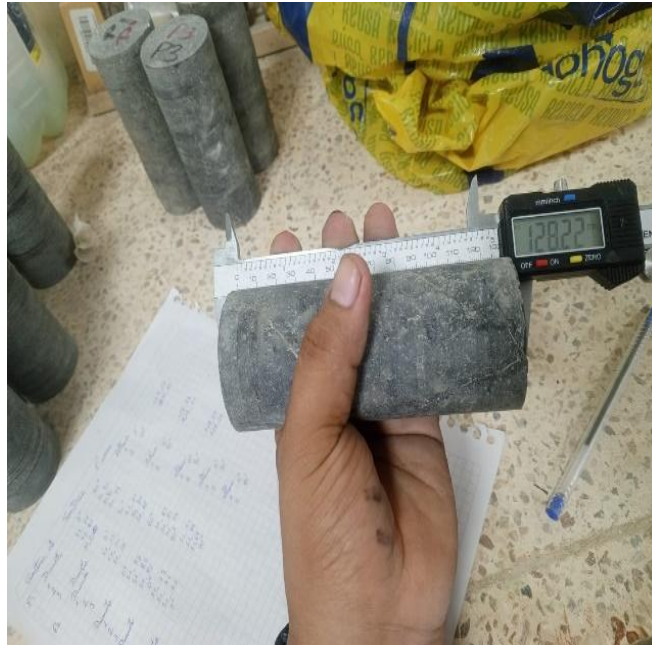
Por último los especímenes fueron inspeccionados de manera visual para descartar posibles fracturas visibles y desperfectos generados durante la extracción, preservando así las características naturales en su estado natural.

Las muestras de roca fueron cortadas mediante disco diamantado hasta obtener probetas cilíndricas. Posteriormente se realizó el rectificado de las caras extremas para garantizar su paralelismo, condición indispensable para la correcta distribución de las cargas durante el ensayo de compresión.

Finalmente se verificaron las dimensiones mediante un calibrador digital y se registró el diámetro y longitud de cada probeta.

## **Figura 22**

*Medición de probeta de roca empleando calibrador digital.*



*Nota.* Elaboración Propia.

### **3.6 Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico**

Determinar la velocidad de propagación del pulso ultrasónico en las probetas de roca con el fin de evaluar su calidad interna, continuidad estructural y posibles discontinuidades.

#### **3.6.1 Fundamento teórico**

El ensayo ultrasónico es un método no destructivo que consiste en transmitir un pulso de alta frecuencia a través de una muestra de roca. El tiempo requerido para que el pulso atraviese la probeta permite calcular la velocidad de propagación, parámetro estrechamente relacionado con la

densidad, elasticidad y grado de fracturamiento del material.

Una mayor velocidad generalmente indica una roca más compacta y homogénea, mientras que velocidades menores pueden asociarse con la presencia de fisuras, porosidad o alteración mineralógica.

### **3.6.2 Procedimiento**

- Calibrar el Equipo Ultrasonido de Pulso quipo de emisión de pulsos ultrasónicos modelo NO ESI/P-10 de la marca TOYOKO ELMES CO., LTD.
- Limpieza de la superficie de las probetas.
- Aplicación del gel acoplante o grasa
- Colocación de los transductores.
- Medición del tiempo de tránsito.
- Registro de datos.
- Repetición del ensayo para todas las muestras.

### **3.6.3 Resultados**

**Tabla 3**

*Velocidades ultrasónicas de las diferentes probetas de roca.*

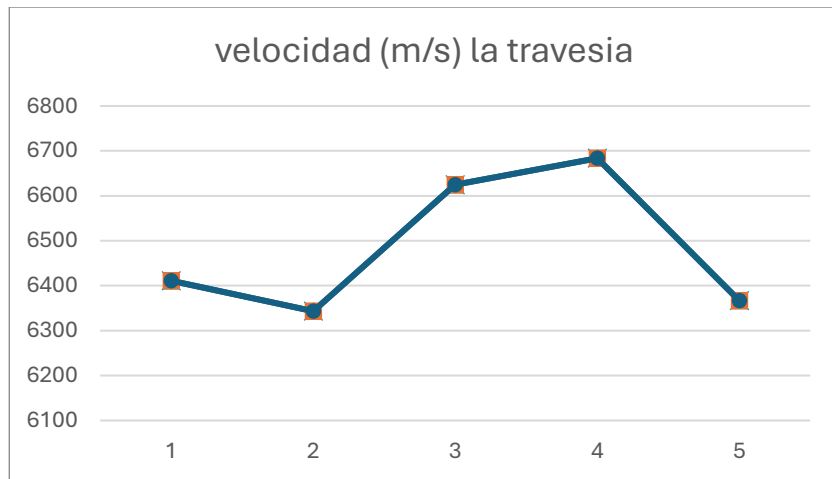
| Probeta de las canteras | Longitud altura | microsegundo (tiempo) | velocidad (m/s) | velocidad promedio (m/s) |
|-------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|
| travesía                | 130.74          | 20.393333             | 6410.9186       | 6485.998                 |
|                         | 129.17          | 20.363333             | 6343.264        |                          |
|                         | 128.46          | 19.39                 | 6625.0645       |                          |
|                         | 129.595         | 19.39                 | 6683.5998       |                          |

|                |         |           |           |           |
|----------------|---------|-----------|-----------|-----------|
|                | 127.64  | 20.046667 | 6367.1433 |           |
|                | 116.135 | 22.456667 | 5171.5155 |           |
| galo<br>molina | 128.915 | 25.4      | 5075.3937 |           |
|                | 126.85  | 24.3      | 5220.1646 | 5219.6743 |
|                | 108.355 | 20.733333 | 5226.1254 |           |
|                | 109.725 | 20.3      | 5405.1724 |           |
|                | 127.665 | 25.933333 | 4922.8149 |           |
| San jose       | 128.74  | 20.166667 | 6383.8017 |           |
|                | 128.275 | 25.333333 | 5063.4868 | 5075.3678 |
|                | 128.16  | 27.466667 | 4666.0194 |           |
|                | 119.225 | 27.466667 | 4340.716  |           |

*Nota.* Elaboración Propia.

### **Figura 23**

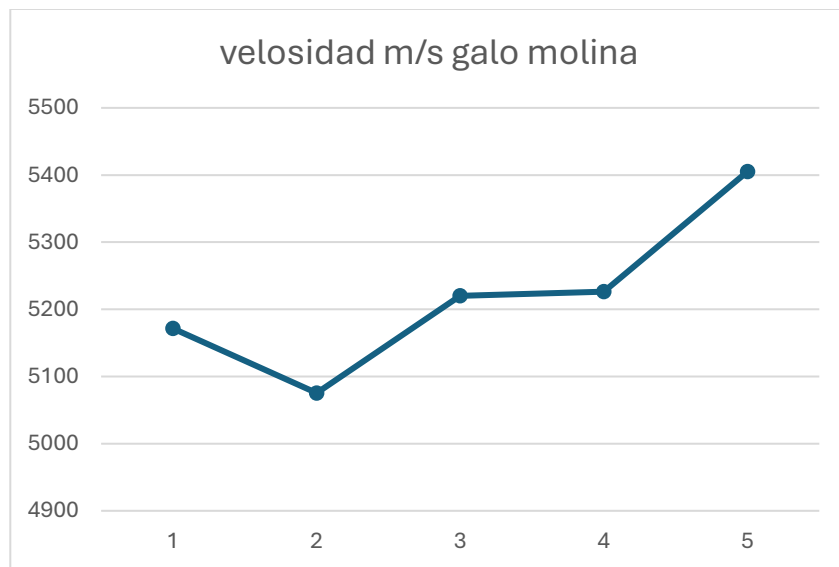
*Velocidad ultrasónica de la cantera la travesía.*



*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 24**

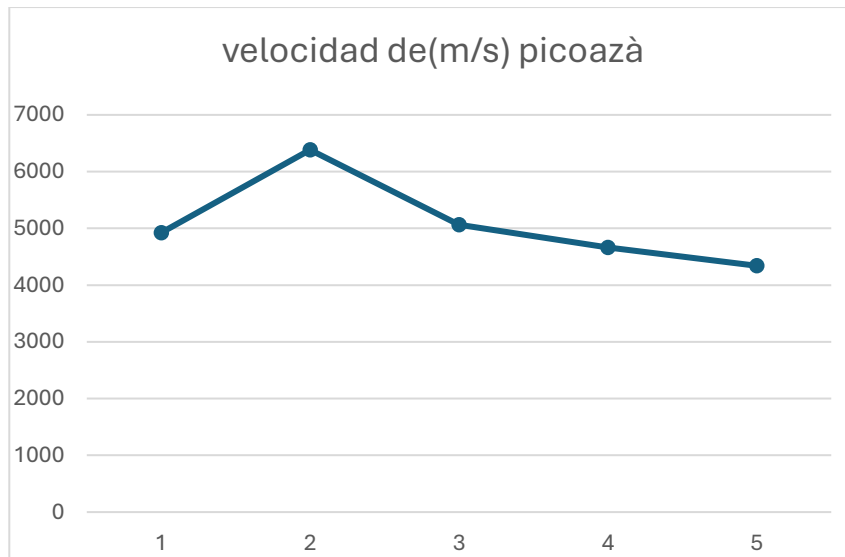
*Velocidad ultrasónica de la cantera Galo Molina.*



*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 25**

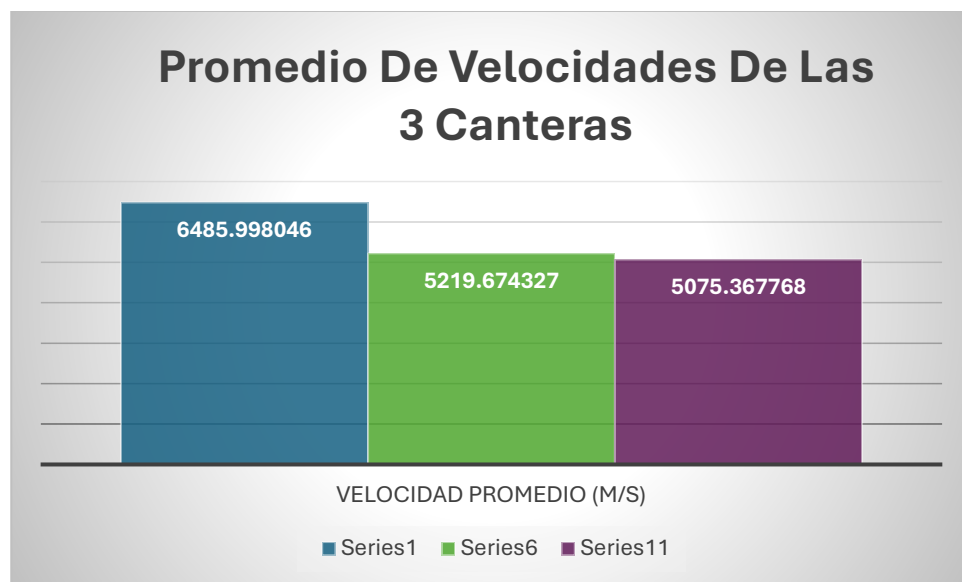
*Velocidad ultrasónica de la cantera San José.*



*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 26**

*Promedio de velocidades de las muestras de las 3 canteras.*



*Nota.* Elaboración Propia.

### 3.6.4 Análisis de los resultados del ensayo de velocidad de pulso ultrasónico

Los resultados del ensayo de pulso ultrasónico dejan en evidencia el diferente

comportamiento de los especímenes provenientes de las canteras analizadas. La cantera la Travesía

Obtuvo la mayor velocidad promedio de propagación de ondas con (6485,998 m/s), seguida por Galo Molina con (5219,674 m/s) y por último San José (5075,380 m/s). Mediante estos datos se pueden identificar diferencias significativas en sus características físicas y estructurales.

La formación Piñon está conformada por basalto toleítico, que se manifiesta como flujos masivos y, en numerosas áreas, como lavas almohadilladas (o "pillow lavas"), propias del volcanismo submarino. Aparte de las mencionadas lavas, es posible encontrar gabros y basalto columnar, que son rocas básicas intrusivas y constituyen las facies intrusivas más profundas del complejo máfico.

La velocidad que registra la cantera la Travesía indica que el pulso ultrasónico se propagó con menor resistencia experimentada a través del material, lo que indica que es un tipo de roca con fuerte continuidad estructural, presentando así menor evidencia de micro fisuras y una distribución mas uniforme de sus minerales. Por otro lado, las velocidades de las canteras Galo Molina y San José, demuestran ser materiales considerados de buena calidad, pero reflejando una menor capacidad de transmisión de ondas ultrasónicas, lo que podría estar ligado a variaciones presentes en el grado de compactación, porosidad o presencia de discontinuidades internas.

En resumen, estos resultados permiten evidenciar el variado comportamiento entre las distintas canteras, por lo que es de vital importancia evaluar la calidad interna de las rocas, dado a las características geomecánicas del material, estos mismos servirán como fuente para constatar el comportamiento determinado en los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial, pudiéndose así realizar una interpretación adecuada que pueda asociar las distintas propiedades de las mismas.

### 3.7 Ensayo de compresión uniaxial

Determina la resistencia máxima que soportan las probetas de roca sometidas a carga axial hasta su falla.

#### 3.7.1 *Fundamento teórico*

La resistencia a la compresión uniaxial constituye una de las propiedades mecánicas más importantes de los materiales rocosos, ya que representa su capacidad para soportar esfuerzos compresivos sin confinamiento lateral. Este parámetro es ampliamente utilizado en el diseño de cimentaciones, excavaciones, túneles, taludes y obras de infraestructura.

#### 3.7.2 *Procedimiento experimental*

- Colocación de la probeta.
- Centrado.
- Aplicación gradual de la carga.
- Registro de la carga máxima.
- Observación del tipo de falla.

#### 3.7.3 *Resultados*

##### 3.7.3.1 Cantera la Travesía

**Tabla 4**

*Dimensiones de las muestras cantera la Travesía.*

| Nombre de muestra | Díámetro | Altura   | ID_ PERF  | PROFUNDIDAD | Fecha   |
|-------------------|----------|----------|-----------|-------------|---------|
| Unidad            | mm       | mm       |           |             |         |
| 1 _ 1             | 51,8600  | 130,7400 | TRV - P_1 | -           | 16-7-26 |
| 1 _ 2             | 51,7400  | 129,1750 | TRV - P_2 | -           | 16-7-26 |
| 1 _ 3             | 51,4500  | 128,4600 | TRV - P_3 | -           | 16-7-26 |
| 1 _ 4             | 52,0000  | 129,5900 | TRV - P_4 | -           | 16-7-26 |
| 1 _ 5             | 51,8800  | 127,6400 | TRV - P_5 | -           | 16-7-26 |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 5**

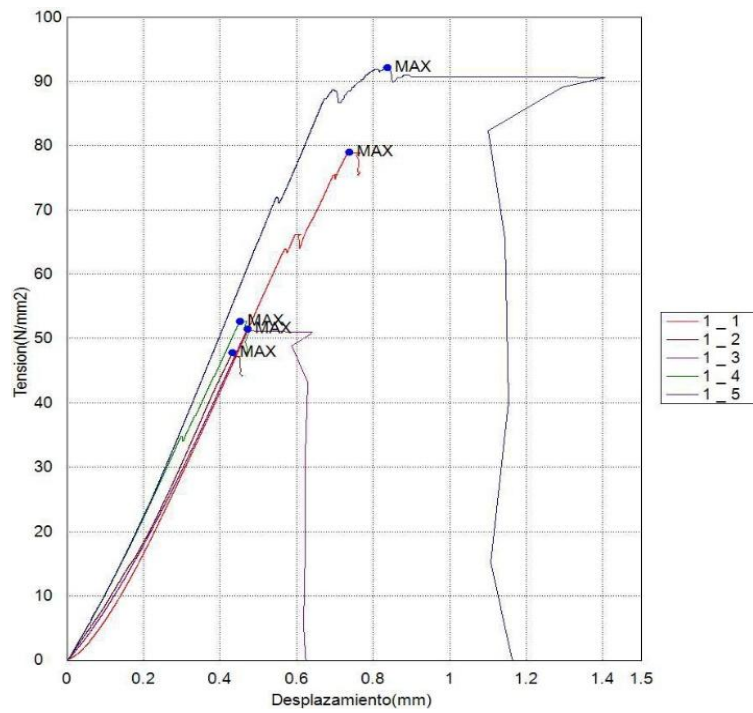
*Desplazamientos y deformaciones de las probetas.*

| Nombre              | Max. Fuerza           | Max. Tensión          | Max. _Desplazamiento  | Max. _Deformación     |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Parámetros          | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas |
| Unidad              | kN                    | N/mm2                 | mm                    | %                     |
| 1 _ 1               | 166,815               | 78,9734               | 0,73738               | 0,56400               |
| 1 _ 2               | 100,542               | 47,8193               | 0,43313               | 0,33530               |
| 1 _ 3               | 106,938               | 51,4363               | 0,47325               | 0,36840               |
| 1 _ 4               | 111,835               | 52,6601               | 0,45225               | 0,34899               |
| 1 _ 5               | 194,667               | 92,0881               | 0,83738               | 0,65604               |
| Media               | 136,159               | 64,5954               | 0,58668               | 0,45455               |
| Desviación Estándar | 42,0627               | 19,7461               | 0,18713               | 0,14608               |
| Rango               | 94,1250               | 44,2688               | 0,40425               | 0,32074               |

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 27**

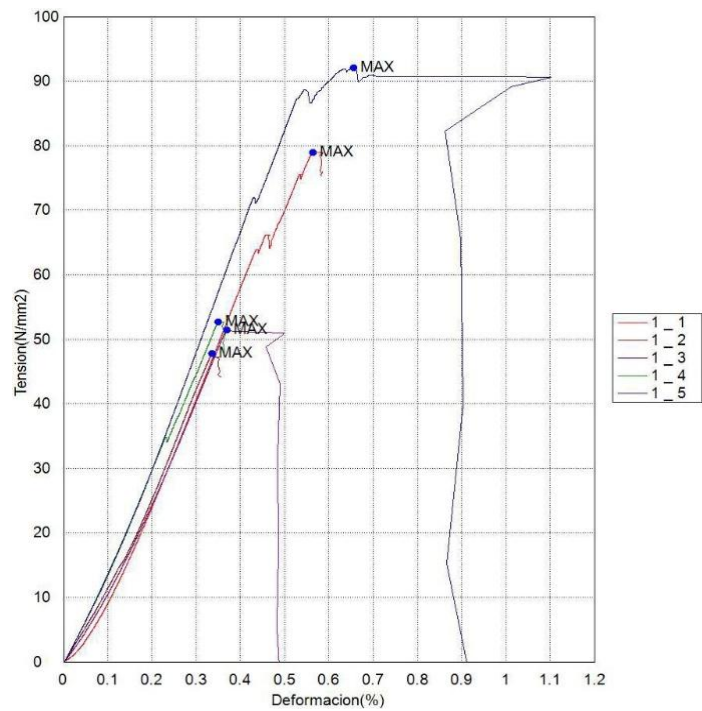
*Desplazamiento de las muestras mediante carga axial.*



Nota. Elaboración Propia.

**Figura 28**

*Deformación de las muestras mediante carga axial.*



Nota. Elaboración Propia.

### 3.7.3.2 Cantera San José

**Tabla 6**

*Dimensiones de las muestras cantera San José.*

| Nombre de muestra | Diámetro | Altura   | ID_PERF | PROFUNDIDAD | Fecha    |
|-------------------|----------|----------|---------|-------------|----------|
| Unidad            | mm       | mm       |         |             |          |
| 1 _ 1             | 51,8000  | 127,6800 | PIC P_1 | - -         | 16-07-26 |
| 1 _ 2             | 51,5400  | 128,7400 | PIC P_2 | - -         | 16-07-26 |
| 1 _ 3             | 51,8300  | 128,2700 | PIC P_3 | - -         | 16-07-26 |
| 1 _ 4             | 51,7200  | 128,1600 | PIC P_4 | - -         | 16-07-26 |
| 1 _ 5             | 51,7000  | 119,2200 | PIC P_5 | - -         | 16-07-26 |

Nota. Elaboración Propia.

**Tabla 7**

*Desplazamientos y deformaciones de las probetas.*

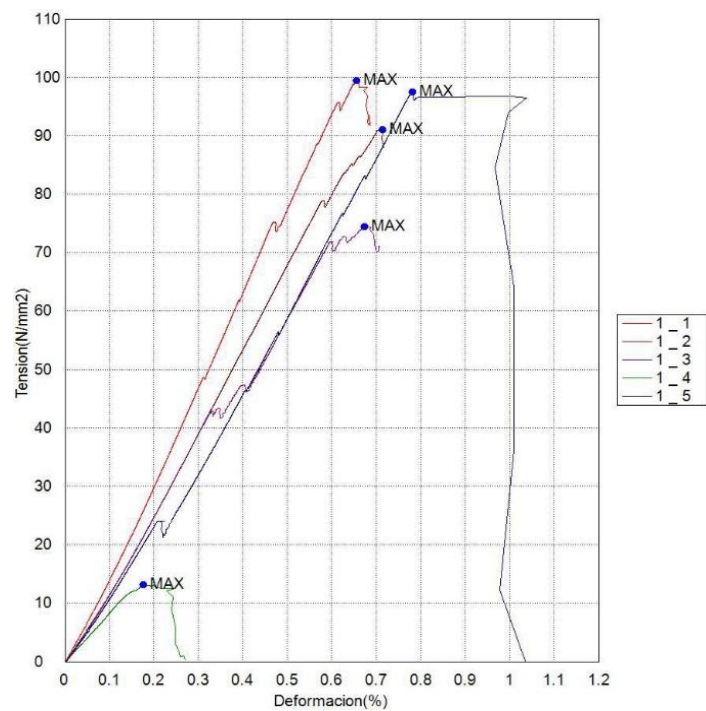
| Nombre              | Max. Fuerza           | Max. Tensión          | Max. _Desplazamiento  | Max. _Deformación     |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Parámetros          | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas |
| Unidad              | kN                    | N/mm2                 | mm                    | %                     |
| 1 _ 1               | 209,466               | 99,3947               | 0,83800               | 0,65633               |
| 1 _ 2               | 189,769               | 90,9590               | 0,91938               | 0,71413               |
| 1 _ 3               | 157,045               | 74,4341               | 0,86350               | 0,67319               |
| 1 _ 4               | 27,6056               | 13,1399               | 0,22650               | 0,17673               |
| 1 _ 5               | 204,589               | 97,4565               | 0,93088               | 0,78080               |
| Media               | 157,695               | 75,0768               | 0,75565               | 0,60024               |
| Desviación Estándar | 75,5508               | 35,9898               | 0,29830               | 0,24156               |

|       |         |         |         |         |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| Rango | 181,860 | 86,2548 | 0,70438 | 0,60407 |
|-------|---------|---------|---------|---------|

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 29**

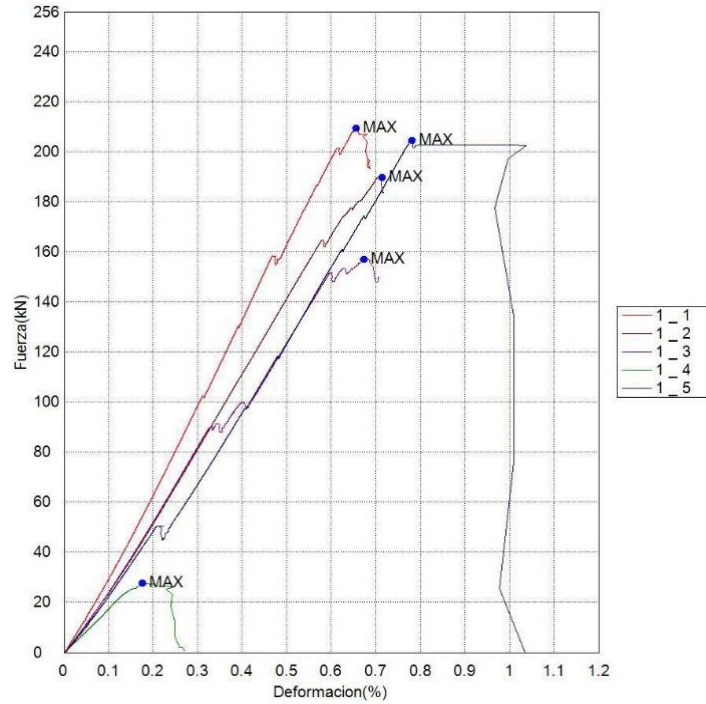
*Desplazamiento de las muestras mediante carga axial.*



Nota. Elaboración Propia.

**Figura 30**

*Deformación de las muestras mediante carga axial.*



Nota. Elaboración Propia

### 3.7.3.3 Cantera Galo Molina

**Tabla 8**

*Dimensiones de las muestras cantera Galo Molina.*

| Nombre de muestra | Diámetro | Altura   | ID_PERF       | PROFUNDIDAD | Fecha    |
|-------------------|----------|----------|---------------|-------------|----------|
| Unidad            | mm       | mm       |               |             |          |
| 1 _ 1             | 51,9300  | 116,6300 | GM - -<br>P_1 |             | 16-07-26 |
| 1 _ 2             | 51,9700  | 128,9100 | GM - -<br>P_2 |             | 16-07-26 |
| 1 _ 3             | 51,9100  | 126,8500 | GM - -<br>P_3 |             | 16-07-26 |
| 1 _ 4             | 51,8800  | 108,3500 | GM - -<br>P_4 |             | 16-07-26 |
| 1 _ 5             | 51,8800  | 109,7200 | GM - -<br>P_5 |             | 16-07-26 |

*Nota.* Elaboración Propia

**Tabla 9**

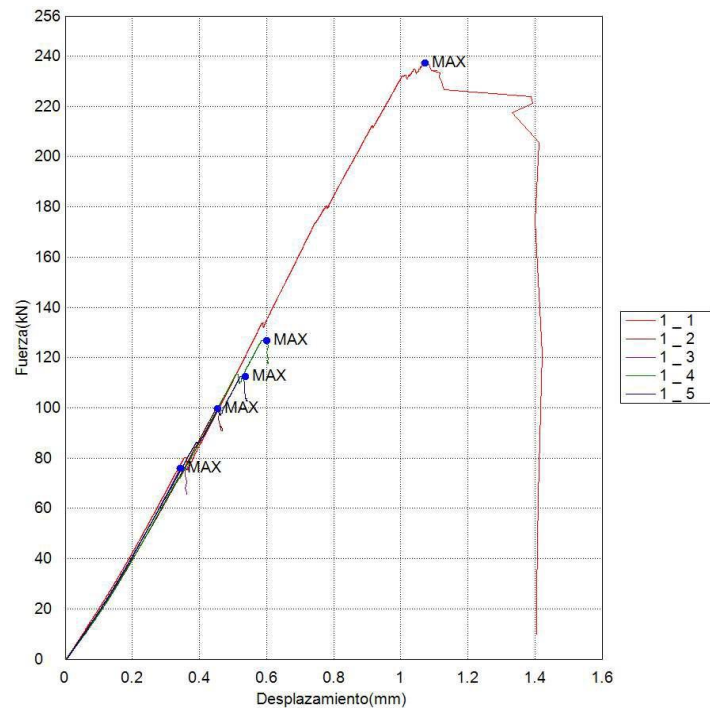
*Desplazamientos y deformaciones de las probetas.*

| Nombre              | Max. Fuerza           | Max. Tensión          | Max. _Desplazamiento  | Max. _Deformación     |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Parámetros          | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas | Calc. at Entire Áreas |
| Unidad              | kN                    | N/mm2                 | mm                    | %                     |
| 1 _ 1               | 237,406               | 112,090               | 1,07213               | 0,91925               |
| 1 _ 2               | 99,5557               | 46,9322               | 0,45325               | 0,35160               |
| 1 _ 3               | 75,9664               | 35,8946               | 0,34438               | 0,27148               |
| 1 _ 4               | 126,919               | 60,0394               | 0,59963               | 0,55341               |
| 1 _ 5               | 112,468               | 53,2035               | 0,53775               | 0,49011               |
| Media               | 130,463               | 61,6319               | 0,60143               | 0,51717               |
| Desviación Estándar | 62,6465               | 29,5723               | 0,28002               | 0,25074               |
| Rango               | 161,440               | 76,1954               | 0,72775               | 0,64777               |

*Nota.* Elaboración Propia

**Figura 31**

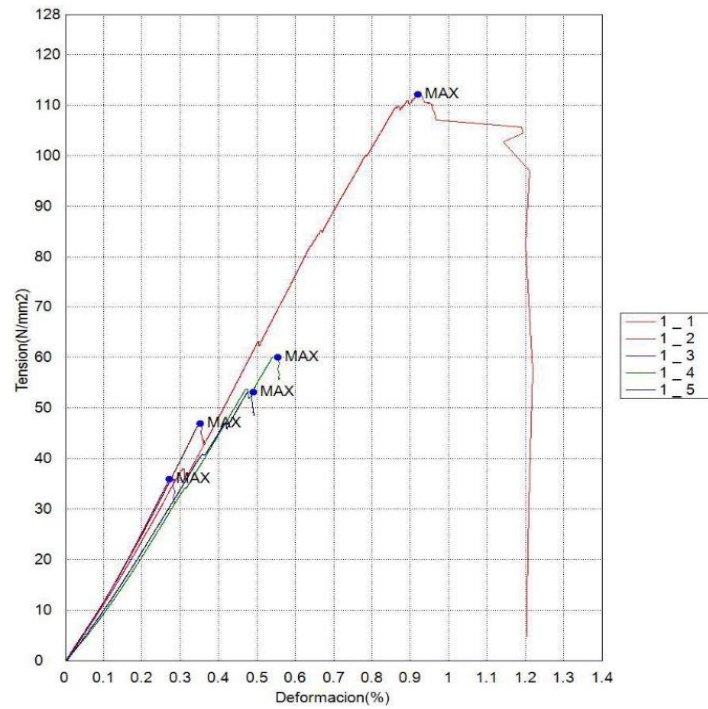
*Desplazamiento de las muestras mediante carga axial.*



*Nota.* Elaboración Propia

**Figura 32**

*Deformación de las muestras mediante carga axial.*



*Nota.* Elaboración Propia

### 3.7.3.4 Imágenes de resultados

**Figura 33**

*Ensayos de laboratorio en maquina ultrasónica TOYOKO ELMES.*



*Nota.* Elaboración Propia.

### **Figura 34**

*Identificación de probeta según la cantera.*



*Nota.* Elaboración Propia.

### **Figura 35**

*Falla de probeta llevada hasta el límite de soporte de carga axial.*



*Nota.* Elaboración Propia.

### **3.7.3.5 Análisis de los resultados del ensayo de compresión uniaxial**

Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión uniaxial evidencian diferencias en el comportamiento mecánico de las probetas provenientes de las tres canteras evaluadas. Los parámetros analizados corresponden a la fuerza máxima soportada (kN), el esfuerzo máximo de compresión (N/mm<sup>2</sup>) y la deformación máxima alcanzada durante el ensayo.

En la cantera Galo Molina, es común encontrar lavas almohadilladas, las cuales se producen cuando la lava basáltica caliente entra en contacto directo con el agua de un lago profundo o del mar durante una erupción subacuática.

Basaltos, que son el resultado del enfriamiento, se forman en la cantera San José. de las lavas almohadilladas, y se perciben muy pocos basaltos columnares.

En la Cantería, la travesía incluye almohadillas de lava y rocas basálticas intrusivas conocidas como Diabasa. Estas se forman cuando el magma queda atrapado en grietas o espacios reducidos debajo de las almohadillas de lava, sin llegar al mar.

Las probetas de la cantera Picoza registraron el mayor esfuerzo promedio de compresión, con un valor de 75,08 N/mm<sup>2</sup>, alcanzando además una fuerza máxima promedio de 157,70 kN.

El análisis de los resultados indica que el material presenta una fuerte capacidad para soportar cargas a compresión, lo que se traduce como un comportamiento mecánico factible con una óptima resistencia estructural.

La geología de la zona norte de la provincia de Manabí es el resultado de una evolución geológica compleja, relacionada principalmente con el **volcanismo submarino de la Formación Piñón, procesos intrusivos máficos, sedimentación marina, levantamientos tectónicos y posterior erosión**. Esta evolución ha generado una importante diversidad de

rocas, cuyas características mineralógicas, texturales y estructurales influyen directamente en su comportamiento mecánico y, particularmente, en su **resistencia a la compresión**.

Mientras tanto los especímenes de la cantera la Travesía presentaron esfuerzos de  $64,60 \text{ N/mm}^2$  y una fuerza máxima de  $136,16 \text{ KN}$ , valores que comparados con la cantera San José son ampliamente menores, pero no obstante esto se traduce en que el material mantiene un comportamiento estable con una capacidad óptima y resistente frente a esfuerzos de compresión uniaxial.

En cuanto a la cantera Galo Molina, el esfuerzo promedio obtenido fue de  $61,63 \text{ MPa}$ , valor que, si bien es ligeramente inferior al de las otras canteras, continúa ubicándose dentro del intervalo de resistencia observado en el estudio. Este comportamiento evidencia que las muestras presentan una respuesta mecánica consistente durante el ensayo, pudiendo atribuirse las diferencias registradas a las características mineralógicas, texturales y estructurales propias de la roca, las cuales influyen de manera natural en su capacidad resistente.

Objetivamente se presenta una variabilidad representada por el rango de los resultados que demuestran que las rocas presentan un comportamiento heterogéneo, condición muy común en los materiales geológicos debido a los procesos naturales de formación y alteración que se experimentan dentro del medio.

Si hablamos de valores de resistencia la cantera de San José mostró valores con una dispersión relativamente menor en su resistencia, lo que se traduce en una mayor uniformidad dentro de sus propiedades mecánicas, sin embargo, las canteras la Travesía y Galo Molina demostraron valores más inconsistentes lo que podría deberse a variables naturales como textura, composición o grado de alteración de las rocas.

Si analizamos los resultados del ensayo de compresión uniaxial podemos determinar un

comportamiento muy diferencial, en donde los especímenes de la cantera de San José presentan una mayor resistencia frente a cargas de compresión, esto seguido por la cantera la travesía y por último Galo Molina.

Este comportamiento será contrastado con los resultados obtenidos en el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico para determinar la relación existente entre la calidad interna del material y su resistencia mecánica.

Existe un resultado interesante en el ultrasonido, la cantera Travesía obtuvo la mayor velocidad promedio (6 485,998 m/s), lo que indica una roca más homogénea; sin embargo, en el ensayo de compresión, la mayor resistencia fue obtenida por la cantera Picosa (75,08 MPa). Esto demuestra que una mayor velocidad ultrasónica no siempre implica la mayor resistencia a la compresión, ya que esta también depende de factores como la composición mineralógica, el tipo de cementación, la anisotropía y las características petrográficas de la roca.

#### **3.7.3.6 Análisis del tipo de falla de las probetas ensayadas**

Las probetas sometidas al ensayo de compresión uniaxial presentaron diferentes modos de fractura, los cuales son representativos del comportamiento mecánico de las rocas frente a la aplicación de cargas axiales crecientes. Las fallas evidenciadas específicamente en los ensayos corresponden a fallas por corte, por división axial y por último falla combinada.

En los especímenes de la cantera la Travesía se evidencia un predominio de fallas por corte dadas en función a la formación del plano de fractura inclinado con respecto a su eje longitudinal. Este comportamiento se traduce en que la roca alcanzó la resistencia máxima mediante los esfuerzos sometida, generando una segregación de partículas y fragmentos.

Asimismo, en uno de los especímenes se aprecia la presencia de fisuras longitudinales asociadas al plano de corte, lo que evidencia un mecanismo de falla combinado.

Los especímenes correspondientes a la cantera Picosá presentan principalmente una falla combinada de corte y división axial. Visualmente se identifican grietas longitudinales que se desarrollan paralelamente al eje de la probeta, acompañadas por planos inclinados de fractura que se generan al aproximarse a la carga máxima. El comportamiento de los mismos refleja una prolongada presencia de fisuras internas antes de producirse la rotura final, característica que evidencia la buena capacidad de un material que estuvo sometido a esfuerzos de compresión uniaxial.

Para la cantera Galo Molina se evidencia un comportamiento homogéneo respecto al del resto de las canteras en donde predominan las fallas por corte, las fracturas longitudinales se desarrollan a lo largo de los especímenes y en casos puntuales, este tipo de respuesta es común y característico de rocas que distribuyen inicialmente esfuerzos de manera uniforme y luego estos se concentran en zonas específicas hasta darse la falla.

En conclusión, las fracturas evidenciadas en las tres canteras permiten determinar que estas presentan un comportamiento frágil bajo esfuerzos de compresión uniaxial. A su vez la presencia recurrente y predominantes de fallas por cortes y división axial indican que las roturas estuvieron dominadas por la interacción entre los esfuerzos de compresión y la tracción interna del material, descartándose a su vez indicios de deformaciones plásticas significativas presentadas antes del colapso de los especímenes.

Estos resultados son coherentes con la naturaleza mecánica de las rocas evaluadas y complementan la interpretación de los valores obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico.

### 3.7.4 *Análisis de la relación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión uniaxial*

**Tabla 10**

*Desplazamientos y deformaciones de las probetas.*

| Ultrasonido (VPU):         |              |
|----------------------------|--------------|
| Travesía:                  | 6485,998 m/s |
| Galo Molina                | 5219,674 m/s |
| San Jose                   | 5075,380 m/s |
| Compresión uniaxial (UCS): |              |
| San José                   | 75,08 MPa    |
| Travesía                   | 64,60 MPa    |
| Galo Molina                | 61,63 MPa    |

*Nota.* Elaboración propia.

A nivel comparativo los resultados de los ensayos de velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a la compresión uniaxial permiten definir y evaluar el comportamiento mecánico de las rocas, aportando información complementaria ya que mientras el primero permite conocer la calidad interna y la uniformidad del material, el otro permite determinar la capacidad máxima para resistir esfuerzos hasta llegar al fallo.

Una vez obtenidos los resultados, se evidenció que la cantera la Travesía presentó la mayor velocidad de pulso ultrasónico con 6485,998 m/s, lo que se traduce en una roca con alta uniformidad estructural, buena compactación y menor presencia de discontinuidades en sus

partículas internas, sin embargo, dentro del ensayo de compresión la mayor resistencia fue registrada en la cantera San José con un valor de 75,08 MPa, en comparación a la Travesía que alcanzó 64,60 MPa.

Es importante también mencionar que dentro de las propiedades de un material existen factores que condicionan de forma significativa la capacidad resistente del mismo tales como; la composición mineralógica, el grado de cementación, la textura, el tamaño de grano y la orientación de las discontinuidades.

En tanto, la cantera Galo molina se consolidó con valores intermedios de velocidad ultrasónica de 5219,674 m/s, y valores de resistencia a la compresión de 61,63 MPa, traduciéndose en un comportamiento coherente y estable en función a las características analizadas en los ensayos. Queda demostrado que las tres canteras presentan dentro de las propiedades de los materiales condiciones favorables. Por ello, la aplicación conjunta de ambos ensayos proporciona una caracterización más completa y confiable del comportamiento geo mecánico de las rocas analizadas, permitiendo sustentar de manera integral la evaluación de su desempeño para aplicaciones en ingeniería civil.

Este análisis tiene una ventaja importante: no fuerza la idea de que “ a mayor cantidad de velocidad ultrasónica existirá mayor resistencia” porque tus propios datos muestran que eso no ocurre exactamente. En cambio, explica correctamente que ambos ensayos se complementan y que la resistencia depende de varios factores geológicos, lo que hace que tu discusión sea técnicamente sólida y defendible ante un tribunal de tesis.

### **3.8 Análisis de los resultados en función de las condiciones de los frentes rocosos.**

Una vez culminados los ensayos correspondientes los cuales fueron de ultrasonido y compresión uniaxial, fueron analizados en función de las condiciones de los frentes rocosos de

las canteras. A partir de la inspección visual también consideramos fisuras, grietas, discontinuidades y continuidad de aparentemente del macizo.

En la cantera Galo Molina, las condiciones observadas en este presentando discontinuidades y presencia de bloques en el macizo, mientras en los resultados nos demuestran que en el ensayo ultrasónico obtenemos un valor promedio de 5219,674 m/s y un promedio resistencia a la compresión 61,63 Mpa estos valores se consideran aceptables en el ámbito de las construcciones civiles.

En la cantera de la travesía las muestras destacaron en una mayor velocidad promedio en los ensayos de pulso ultrasónico dando un resultado de 6485,998 m/s, y una resistencia a la compresión de 64,60 Mpa, en las condiciones observada en este frente rocoso fueron macizos compactos y continuos, pero también contaba partes con discontinuidades productos a la explotación.

En la cantera de San Jose en el estudio visual del frente rocoso logramos observar que presentan un macizo medianamente fracturado, ya que muestran un 50% de fisuras y discontinuidades y otro 50 % un macizo continuo. Como resultados de nuestros ensayos comenzando con el de ultrasonido obtuvimos un resultado de 5075,38 m/s y en resultados de compresión uniaxial este destaco con un resultado de 75,08Mpa.

**Tabla 11**

*Análisis de los Resultados en función de las condiciones de los frente rocosos*

| Probeta<br>De Las<br>Canteras | Condición<br>Observada En El<br>Frente Rocosó | Clasificación | Velocidad<br>Ultrasónica<br>Promedio (M/S) | Resistencia<br>A La Compresión<br>Promedio Mpa |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Travesía                      |                                               |               | 6485.998                                   | 64,60 Mpa                                      |

|             |                                                                                      |                                      |           |           |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|
|             | Observamos un macizo más compacto y continuo, pero con presencia de discontinuidades | Poco a moderadamente fracturado      |           |           |
| San José    | En este frente observamos un 50% de discontinuidad y otro 50% continuo               | Medianamente fracturado              | 5075.3678 | 75,08 Mpa |
| Galo Molina | En el frente tenemos presencias de bloques separados con mayor discontinuidad        | Mayor grado aparente de fracturación | 5219.6743 | 61,63 Mpa |

---

*Nota.* Elaboración propia.

Tabla 11

Propiedades de las probetas en función a su geometría.

| CÓDIGO<br>PROBETA | TRV-<br>P_1 | TRV-<br>P_2 | TRV-<br>P_3 | TRV-<br>P_4 | TRV-<br>P_5 | GM-<br>P_1 | GM-<br>P_2 | GM-<br>P_3 | GM-<br>P_4 | GM-<br>P_5 | PIC-<br>P_1 | PIC-<br>P_2 | PIC-<br>P_3 | PIC-<br>P_4 | PIC-<br>P_5 |       |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| D superior        | D11         | 51.70       | 51.58       | 51.50       | 51.90       | 51.90      | 52.00      | 51.95      | 51.85      | 51.99      | 51.84       | 51.79       | 51.55       | 51.87       | 51.77       | 51.71 |
|                   | D12         | 52.00       | 51.59       | 51.38       | 51.65       | 51.78      | 52.09      | 52.04      | 51.93      | 51.86      | 51.86       | 51.95       | 51.71       | 51.71       | 51.64       | 51.63 |
| D media           | D21         | 52.10       | 51.99       | 51.58       | 52.10       | 51.85      | 51.95      | 52.00      | 51.98      | 51.80      | 51.98       | 51.87       | 51.51       | 51.51       | 51.76       | 51.67 |
|                   | D22         | 52.00       | 51.44       | 51.48       | 51.69       | 51.80      | 52.05      | 51.95      | 51.94      | 51.90      | 51.89       | 51.92       | 51.70       | 51.70       | 51.66       | 51.60 |

|                 |     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D inferior      | D31 | 51.80  | 51.65  | 51.29  | 52.00  | 51.89  | 51.81  | 51.98  | 51.91  | 51.87  | 51.85  | 51.75  | 51.58  | 51.58  | 51.65  | 51.74  |
|                 | D32 | 51.96  | 51.54  | 51.28  | 51.82  | 51.72  | 51.84  | 52.00  | 51.86  | 52.01  | 51.75  | 51.99  | 51.68  | 51.68  | 51.69  | 51.59  |
| <hr/>           |     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| D medio         | Dm  | 51.93  | 51.63  | 51.42  | 51.86  | 51.82  | 51.96  | 51.99  | 51.91  | 51.91  | 51.86  | 51.88  | 51.62  | 51.68  | 51.70  | 51.66  |
| <hr/>           |     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Altura probetas | H1  | 130.73 | 129.09 | 128.54 | 129.50 | 127.78 | 116.07 | 128.83 | 126.80 | 108.20 | 109.80 | 127.63 | 128.77 | 128.29 | 128.22 | 119.30 |
|                 | H2  | 130.75 | 129.25 | 128.38 | 129.69 | 127.50 | 116.20 | 129.00 | 126.90 | 108.51 | 109.65 | 127.70 | 128.71 | 128.26 | 128.10 | 119.15 |
| <hr/>           |     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Altura media    | Hm  | 130.74 | 129.17 | 128.46 | 129.60 | 127.64 | 116.14 | 128.92 | 126.85 | 108.36 | 109.73 | 127.67 | 128.74 | 128.28 | 128.16 | 119.23 |

|                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Esbeltez          | λ       | 2.52    | 2.50    | 2.50    | 2.50    | 2.46    | 2.24    | 2.48    | 2.44    | 2.09    | 2.12    | 2.46    | 2.49    | 2.48    | 2.48    | 2.31    |
|                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Masa aparente     | Ma (g)  | 835.40  | 825.60  | 807.90  | 832.10  | 814.60  | 663.40  | 723.00  | 718.80  | 629.00  | 627.50  | 719.60  | 813.40  | 725.00  | 707.80  | 671.80  |
|                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Área              | (mm2)   | 2117.73 | 2093.74 | 2076.47 | 2112.30 | 2109.31 | 2120.18 | 2122.63 | 2116.51 | 2115.96 | 2112.43 | 2113.79 | 2092.93 | 2097.25 | 2098.88 | 2095.77 |
|                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Volumen           | (cm3)   | 276.87  | 270.45  | 266.74  | 273.74  | 269.23  | 246.23  | 273.64  | 268.48  | 229.28  | 231.79  | 269.86  | 269.44  | 269.03  | 268.99  | 249.87  |
|                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Densidad Aparente | (g/cm3) | 3.02    | 3.05    | 3.03    | 3.04    | 3.03    | 2.69    | 2.64    | 2.68    | 2.74    | 2.71    | 2.67    | 3.02    | 2.69    | 2.63    | 2.69    |

Nota. Elaboración Propia.

**Tabla 12**

*Velocidades y promedio de las muestras según el tipo de cantera.*

|                            |           |               |         |                     |           |           |        |        |           |        |           |           |           |           |           |
|----------------------------|-----------|---------------|---------|---------------------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PROYECTO: TESIS            |           | TIPO DE ROCA: |         | BASALTO Ignea       |           |           |        |        |           |        |           |           |           |           |           |
| FECHA TOMA DE MEDIDAS:     |           | 1/6/2026      |         | TAMAÑO PROBETA: 2.5 |           |           |        |        |           |        |           |           |           |           |           |
| CÓDIGO PROBETA             | TRV-P_1   | TRV-P_2       | TRV-P_3 | TRV-P_4             | TRV-P_5   | GM-P_1    | GM-P_2 | GM-P_3 | GM-P_4    | GM-P_5 | PIC-P_1   | PIC-P_2   | PIC-P_3   | PIC-P_4   | PIC-P_5   |
| VELOCIDADES $\mu$ Seg      | 21.01     | 20.03         | 20.05   | 20.05               | 19        | 22.07     | 25.60  | 24.60  | 21.00     | 19.20  | 27.10     | 20.20     | 26.50     | 27.90     | 27.90     |
|                            | 20.08     | 21.01         | 19.08   | 19.08               | 22.06     | 22.9      | 24.4   | 23.8   | 20.5      | 21.1   | 25.5      | 20.6      | 24.5      | 27.4      | 27.4      |
|                            | 20.09     | 20.05         | 19.04   | 19.04               | 19.08     | 22.4      | 26.2   | 24.5   | 20.7      | 20.6   | 25.2      | 19.7      | 25        | 27.1      | 27.1      |
|                            | 20.393333 | 20.363333     | 19.39   | 19.39               | 20.046667 | 22.456667 | 25.4   | 24.3   | 20.733333 | 20.3   | 25.933333 | 20.166667 | 25.333333 | 27.466667 | 27.466667 |
| VELOCIDADES $\mu$ Seg PROM | 20.393333 | 20.363333     | 19.39   | 19.39               | 20.046667 | 22.456667 | 25.4   | 24.3   | 20.733333 | 20.3   | 25.933333 | 20.166667 | 25.333333 | 27.466667 | 27.466667 |

*Nota.* Elaboración Propia.

## 4 CAPITULO IV

### 4.1 Conclusiones

Estos resultados de laboratorio indican que los tres macizos presentan condiciones mecánicas favorables. Cabe recalcar la comparación entre los frentes de los macizos rocosos y los resultados de laboratorio demuestran que la calidad de los frentes rocosos no depende por sí solo de la resistencia a la compresión de la roca sino que también influyen varios factores como su continuidad y fisuramiento, esto nos permitió establecer que las muestras de las canteras Galo Molina, La Travesía Y San José fueron obtenidas de macizos diferentes en condiciones de discontinuidad y fisuración, cabe recalcar en la cantera La Travesía se observó una mejor estructuración y compactación en su frente rocoso con poca presencia de discontinuidades, en la cantera de San José se visualizó un frente rocoso medianamente fracturado pero con zona donde presentaban continuidad, en la de Galo Molina se observó en su frente rocoso presencia de discontinuidades y presencia de bloques separados, cabe recalcar que para la selección de muestras se escogieron las cuales se observaban poca presencia de fisuras y discontinuidades.

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar el comportamiento geomecánico de las rocas provenientes de las canteras La Travesía, San José y Galo Molina, mediante la aplicación complementaria de ensayos no destructivos y destructivos. Una vez obtenidos los resultados, se evidenció que la cantera La Travesía presentó la mayor velocidad de pulso ultrasónico con 6485,998 m/s, lo que se traduce en una roca con alta uniformidad estructural, buena compactación y menor presencia de discontinuidades en sus partículas internas, sin embargo, dentro del ensayo de compresión la mayor resistencia fue registrada en la cantera San José con un valor de 75,08 MPa demostrando tener la mejor capacidad de soportar esfuerzos.

Dentro de la comparación entre ambos ensayos se estableció que aunque existe una relación entre la calidad del material y su comportamiento mecánico está no es estrictamente lineal dado a que, mayor velocidad ultrasónica no implica necesariamente mayor resistencia a esfuerzos de compresión, además es importante también mencionar que dentro de las propiedades de un material existen factores que condicionan de forma significativa la capacidad resistente del mismo tales como; la composición mineralógica, el grado de cementación, la textura, el tamaño de grano y la orientación de las discontinuidades

Los ensayos realizados dejan en clara evidencia la predominancia de fracturas por corte y división axial, y esto se traduce en que la roca tiene un comportamiento frágil factor característico en el tipo de roca ensayada, además se afirma que la respuesta mecánica de las mismas estuvo controlada por la interacción de esfuerzos de compresión, tracción y cizallamiento.

A lo largo de la presente investigación se ha indicado que los resultados obtenidos permitirán seleccionar los materiales de manera óptima en función a la necesidad y al tipo de obra que se requiera. La roca proveniente de la cantera de San José, al presentar mayores valores de resistencia a la compresión resulta adecuada a utilizarse en elementos que estar sometidos a mucha carga axial tales como; cimentaciones, muros de contención, estructuras de soporte y todo tipo de obra que requieran una elevada capacidad portante. Por otro lado, el material de la cantera la Travesía al registrar la mayor velocidad de pulso ultrasónico se sobreentiende que posee excelente homogeneidad interna, características que permiten la aplicación del material por su durabilidad, integridad estructural etc. Su uso estaría determinado como agregados de hormigón de alta calidad y conformación de elementos estructurales. Finalmente, el material de la cantera Galo Molina presentó un comportamiento adecuado, por lo que puede considerarse como una alternativa técnica

para conformación como pavimentos, subbases, bases granulares y demás aplicaciones.

En conclusión los resultados de la presente investigación han demostrado que las tres canteras extraen materiales con características lo suficientemente favorables para la realización de proyectos dentro del ámbito de la ingeniería civil, sin embargo, la selección del material si estará condicionada por la necesidad del proyecto y las condiciones de servicio, por tanto si es de vital importancia el uso de estos valores para obtener una evaluación fiable del comportamiento geomecánico de las rocas. No obstante, siempre se recomienda tener en cuenta la combinación de los ensayos de velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a la compresión uniaxial aplicada a los materiales de cada proyecto con criterios técnicos y científicos.

## **4.2 Recomendaciones**

**Selección de materiales según sus propiedades geomecánicas:** Se recomienda que la selección de los materiales pétreos para obras de ingeniería civil se sustente en la caracterización geomecánica de cada cantera, considerando los resultados de resistencia a la compresión uniaxial y velocidad de pulso ultrasónico. Esto permitirá elegir el material más adecuado según las exigencias estructurales de cada proyecto y mejorar el desempeño y la durabilidad de las obras.

**Fortalecimiento en controles de calidad en agregados :** Se recomienda un control más riguroso respecto a la calidad de material recibidos desde distintas canteras, gran parte del éxito de un proyecto está ligado a los materiales con los que se fundan los elementos estructurales, he aquí que se debe optimizar su aprovechamiento y sobre todo mejorar los procesos de extracción de los mismos.

## 5 Bibliografía

- Aguilar, L., Loria, D., & Kauil, S. (2019). *Caracterización de agregados calizos. [Informe técnico]*. Retrieved 8 de junio de 2026, from <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0086>
- ASTM: C 39, A. (2001). *Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos*. Retrieved 16 de julio de 2026, from [https://www.academia.edu/19792856/ASTM\\_C39](https://www.academia.edu/19792856/ASTM_C39)
- Barrera Carmona, C. M. (2019). *Caracterización de los Agregados y Propiedades Físico – Mecánicas para uso del Laboratorio de hormigones. [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]*. Repositorio Digital USFQ. Retrieved junio de 2026, from <https://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/8654/1/144364.pdf>
- Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos. (2022). *Guías de Minas y Canteras de material pétreo. Asociación de Bancos de Ecuador*. Retrieved Mayo de 2026, from <https://asobanca.org.ec/wp-content/uploads/2022/12/12.-Guia-Minas-y-Canteras-de-material-petreo.pdf>
- Haro, H. (s.f.). *Slideshare.net*. Retrieved 3 de junio de 2026, from Agregados: <https://es.slideshare.net/slideshow/agregados-48291137/48291137>
- Holcim Ecuador. (s.f.). *Ficha técnica: Agregados gruesos*. Retrieved 2 de junio de 2026, from Holcim Ecuador: [https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2023-10/holcim\\_fichatecnica\\_agregadosgruesos\\_lomaalta\\_ac77.pdf](https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2023-10/holcim_fichatecnica_agregadosgruesos_lomaalta_ac77.pdf)

Hubler, M., Wakeel, S., & Wang, B. (2020). *Mejora de la resistencia del hormigón mediante la disposición de los áridos*. RILEM Technical Letters.

<https://doi.org/https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2020.109>

INEN 1573, N. (2010). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO*. Retrieved 17 de mayo de 2026, from <https://es.scribd.com/document/334549037/Nte-Inen-1573>

INEN 696, N. (2011). *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINOS Y GRUESOS*. Retrieved 17 de mayo de 2026, from <https://es.scribd.com/document/466702008/nte-inen-696-1-pdf>

INEN 856, N. (2010). *ÁRIDOS. DETERMINACION DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO*. Retrieved 17 de mayo de 2026, from [https://www.academia.edu/34453696/INSTITUTO\\_ECUATORIANO\\_DE\\_NORMALIZACI%C3%93N\\_NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_856\\_2010\\_%C3%81RIDOS\\_DETERMINACI%C3%93N\\_DE\\_LA\\_DENSIDAD\\_DENSIDAD\\_RELATIVA\\_GRAVEDAD\\_ESPEC%C3%8DFICA\\_Y\\_ABSORCI%C3%93N\\_DEL\\_%C3%81RIDO\\_FINO](https://www.academia.edu/34453696/INSTITUTO_ECUATORIANO_DE_NORMALIZACI%C3%93N_NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_856_2010_%C3%81RIDOS_DETERMINACI%C3%93N_DE_LA_DENSIDAD_DENSIDAD_RELATIVA_GRAVEDAD_ESPEC%C3%8DFICA_Y_ABSORCI%C3%93N_DEL_%C3%81RIDO_FINO)

INEN 860, N. (2011). *determinacion del valor de la degradación del arido grueso de particulas menores a 37,5 mm mediante uso de máquina de los angeles*. Retrieved 26 de abril de 2026, from <https://es.scribd.com/document/470369163/NTE-INEN-0860-Aridos-Determinacion-del-valor-de-la-degradacion>

INEN 863, N. (2011). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO.*

Retrieved 17 de mayo de 2026, from

[https://www.academia.edu/32938574/INSTITUTO\\_ECUATORIANO\\_DE\\_NORMALIZACI%C3%93N\\_NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_863\\_2011\\_%C3%81RIDOS\\_DETERMINACI%C3%93N\\_DE\\_LA\\_SOLIDEZ\\_DE\\_LOS\\_%C3%81RIDOS\\_MEDIANTE\\_EL\\_USO\\_DE\\_SULFATO\\_DE\\_SODIO\\_O\\_DE\\_SULFATO\\_DE\\_MAGNESIO](https://www.academia.edu/32938574/INSTITUTO_ECUATORIANO_DE_NORMALIZACI%C3%93N_NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_863_2011_%C3%81RIDOS_DETERMINACI%C3%93N_DE_LA_SOLIDEZ_DE_LOS_%C3%81RIDOS_MEDIANTE_EL_USO_DE_SULFATO_DE_SODIO_O_DE_SULFATO_DE_MAGNESIO)

Intriago, J., Zambrano , F., & Guerra, J. (2025). Evaluar las propiedades de los áridos de tres canteras de la provincia de Manabí, y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 8(15), 680-692. Retrieved 5 de abril de 2026, from

<https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/316>

León, L., & Rodríguez, C. (2022). Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 16(3), 1-11.

<https://www.redalyc.org/journal/1939/193972950003/html/>

Márquez, C. (2012). *Caracterización de un árido granítico para fabricación de hormigón. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved 2026, from <https://oa.upm.es/14997/>

Morales, G. (3 de septiembre de 2017). *Agregados Gruesos*. Retrieved 29 de marzo de 2026, from Scribd: <https://es.scribd.com/document/357873519/AGREGADOS-GRUESOS>

Rea Bryan. (2015). *Scribd*. Retrieved 18 de julio de 2026, from <https://es.scribd.com/document/401912575/Ensayo-de-Velocidad-Sonica-en-Rocas>

Roberts, F., Kandhal, P., Brown, E., Lee, D., & Kennedy, T. (1996). *Materiales de mezcla asfáltica en caliente, diseño de mezclas y construcción*. Lanham, MD: Fundación Educativa de la Asociación Nacional de Pavimentos Asfálticos. Retrieved 31 de Mayo de 2026, from <https://pavementinteractive.org/reference-desk/testing/aggregate-tests/los-angeles-abrasion/>

Salinas, E., Vélez, A., & Espín, S. (2023). Incidencia del tipo de agua y curado en las propiedades del hormigón. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 5964–5981. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1028>

Sánchez, J. (2013). *La resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el módulo de elasticidad estático en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato. Retrieved junio de 2026, from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6031>

Santamaría, J., Adame, B., & Bermeo, C. (2021). Influencia de la calidad de los agregados y tipo de cemento en la resistencia a la compresión del hormigón dosificado al volumen. *Novasinerгия*, 4(1), 91-101. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.05>

*Science Direct*. (15 de enero de 2014). Retrieved Mayo de 2026, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813008593>

*Vista de Evaluar las propiedades de los áridos de tres canteras de la provincia de Manabí, y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. (s.f.).*

<https://doi.org/https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/316/448>

Wu, Y., Parker, F., & Kandhal, K. (1998). *Pruebas de tenacidad/resistencia a la abrasión y durabilidad/solidez de agregados relacionadas con el desempeño del concreto asfáltico en pavimentos*. Centro Nacional de Tecnología del Asfalto. . Informe NCAT 98-4.

<http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep98-4.pdf> .

Wu, Z., Xu, S., & Liu, H. (2000). *Influencia del tamaño máximo de partícula del agregado en los parámetros de fractura doble K del hormigón*. Revista de la Universidad Tecnológica de Dalian. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bja.a013440>