



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Valoración del Índice de Carga Puntual en rocas y su relación con el
diámetro equivalente de probetas”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autores:

CARLOS EMMANUEL CHOCO SALINAS
GERARDO SEBASTIÁN PELÁEZ BECERRA

Director:

ING. ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA - ECUADOR

2022

DEDICATORIA

A mis padres Guillo y Lida, solo Dios sabe los enormes sacrificios que hicieron para que sus hijos sueñen en destinos para los cuales no nacimos, pero gracias a ustedes, nos dieron las herramientas y la confianza para cazar sueños utópicos todos los días solo de la mano de Dios. Kathyana y Sergio, hermanos, ustedes suavizaron mi camino dándome la puerta abierta de sus hogares, sabiduría y experiencia. A la memoria de mis abuelos Sergito, Esperancita, Carlitos y Tere; en los genes, sentimientos y memoria se lleva la dicha de haber caminado con ellos y la influencia de sus vidas en mi camino. A mis amigos Paulina, Christian, Jamper, Mateo, Luis y Gerardo, estos años se hicieron más fáciles con ustedes. A ti, mi inspiración secreta, pasé la mitad de mi vida tratando de resaltar para que me notes y el poder compartir mis días contigo completaron mi dicha total; mi mejor amiga y enamorada Pauli, a seguir soñando juntos.

Emmanuel Choco

Quiero dedicar este trabajo a mi Mamá Lola, quien día a día estuvo presente durante toda mi formación como profesional, y sobre todo en mi formación personal, quien se esforzó en diversas maneras para permitirme una educación universitaria. A mi Hermano Francisco, quien de igual manera supo guiarme y aconsejarme durante mis días de estudiante y a quien agradezco sus palabras y valoro su amistad.

A la Escuela de Ingeniería en Minas y sus profesores; Patricio, Fernando, Leonardo, Eduardo, Federico, entre otros, quienes gracias a su experiencia profesional supieron fortalecer mis conocimientos y no dudaron nunca en dedicar más tiempo a sus estudiantes cuando fue necesario.

Por último y no menos importante a Dios, por darme la fortaleza para alcanzar este logro. Gracias Dios por permitirme, en muchas ocasiones, escoger correctamente.

Gerardo Peláez

AGRADECIMIENTOS

No hay como empezar nada sin agradecer a Dios que como hijo mimado me ha traído a estas instancias con las bendiciones y protección que solo Él sabe tener con sus hijos. A la Universidad del Azuay, alma mater que llevaré con orgullo y dicha el poder decir que recorrí sus pasillos en búsqueda de conocimiento y encontré mucho más que ello.

A mis docentes que compartieron no sólo su ciencia en nuestras mentes, sino también tiempo y confianza: Ing. Leonardo Núñez, Ing. Eduardo Luna, Ing. Federico Auquilla, Dra. Ana Isabel Ochoa, Ing. Julia Martínez, Ing. Germán Zúñiga, Ing. Jaime Ampuero, Ing. Gil Álvarez, Ing., Iván Mendoza y más. Y un profundo agradecimiento a profesores que destacaron un poquito más para llegar a ser mentores de vida más allá del tiempo como lo son Dr. Juanito Calderón, Ing. Fernando Valencia e Ing. Pachi Feijoo.

Emmanuel Choco

Agradezco a Dios y a la vida la oportunidad de haber logrado una educación universitaria, la cual sin mayor contratiempo ha llegado a su etapa final.

Agradezco a mi familia quien me alentó en este proceso para conseguir la meta propuesta. Agradezco a la Universidad del Azuay, donde pasé una etapa estudiantil fructífera. Gracias a todo su personal.

Un agradecimiento especial al Ing. Patricio Feijoo, quien nos supo guiar durante la elaboración de algunos proyectos que han servido para ser un mejor profesional.

A los miembros de nuestro tribunal, quienes han dedicado tiempo también para la culminación de este trabajo de titulación, Ing. Leonardo Núñez e Ing. Eduardo Luna.

Gerardo Peláez

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	1
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Clasificación general de las rocas.....	3
1.1.1. Las Rocas.....	3
1.1.2. Rocas Ígneas.....	4
1.1.3. Rocas Sedimentarias.....	5
1.1.4. Rocas Metamórficas.....	6
1.2. Formación Azogues.....	8
1.3. Cerro Cojitambo.....	9
1.4. Andesitas.....	10
1.5. Ensayo Franklin.....	13
1.5.1. Sistema de Carga	13
1.5.2. Sistema de medición de carga:.....	15
1.5.3. Sistema de medición de distancia:	15
1.6. Índice de Carga Puntual.....	15
1.7. Determinación de la carga puntual.....	16
1.8. Factor de Corrección.....	17
1.9. Clasificación de las Rocas RMR.....	18

CAPÍTULO 2.....	21
METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL.....	21
2.1. Preparación de las muestras o probetas	21
2.2. Determinación de las diferentes dimensiones de probetas	24
2.3. Resultados del ensayo de carga puntual	29
CAPÍTULO 3.....	35
DIMENSIÓN DE PROBETAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
3.1. Valoración de los diferentes diámetros equivalente.....	35
3.2. Resultados del Índice de Carga Puntual Is 50.....	39
3.3. Análisis para la propuesta de correlaciones.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
Conclusiones	53
Recomendaciones	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Afloramiento de roca ígnea plutónica.....	4
Figura 1.2. La Yesera (Quebrada de Las Conchas. Salta, Argentina.).....	5
Figura 1.3. Roca con elevado grado de recristalización y fuerte estructuración.....	6
Figura 1.4. Mapa geológico regional.....	8
Figura 1.5. Cerro Cojitambo.....	9
Figura 1.6. Acercamiento y apreciación de Fenocristales en las Andesitas.....	10
Figura 1.7. Muestra de Andesita del Cojitambo (Vista lateral).....	12
Figura 1.8. Muestra de Andesita del Cojitambo (Vista frontal).....	12
Figura 1.9. Prensa hidráulica manual.....	13
Figura 1.10. Bomba hidráulica manual.....	14
Figura 1.11. Forma de puntas cónicas.....	14
Figura 1.12. Fuerzas y dimensiones para el ensayo.....	16
Figura 1.13. Correlación entre De y F.....	18
Figura 2.1. Cortadora Covington.....	22
Figura 2.2. Muestras cortadas y codificadas.....	23
Figura 2.3. Lote de muestras.....	23
Figura 2.4. Paso 1 para usar pie de rey.....	24
Figura 2.5. Paso 2 para usar pie de rey.....	25
Figura 2.6. Paso 3 para usar pie de rey.....	25
Figura 2.7. Prensa Humboldt.....	30
Figura 2.8. Probeta de andesita lista para el ensayo.....	30
Figura 2.9. Cruz centrada en las probetas.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Valoración de los parámetros del Sistema RMR en las distintas versiones....	20
Tabla 1.2. Clasificación geomecánica de CSIR.....	20
Tabla 2.1. Resultados de medición grupo P5.....	26
Tabla 2.2. Resultados de medición grupo P7.....	27
Tabla 2.3. Resultados de medición grupo P9.....	28
Tabla 2.4. Resultados de carga P grupo P5.....	32
Tabla 2.5. Resultados de carga P grupo P7.....	33
Tabla 2.6. Resultados de carga P grupo P9.....	34
Tabla 3.1. Relación D/W Grupo P5.....	35
Tabla 3.2. Relación D/W Grupo P7.....	37
Tabla 3.3. Relación D/W Grupo P9.....	38
Tabla 3.4. Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P5.....	40
Tabla 3.5. Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P7.....	42
Tabla 3.6. Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P9.....	45
Tabla 3.7. Medias, medianas y desviación estándar de los valores de I_s (50) de los tres grupos de probetas.....	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

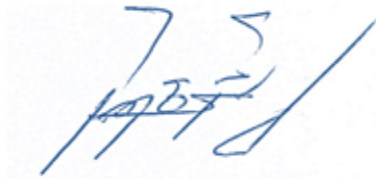
Gráfico 3.1. Dispersión de los resultados del grupo de probetas P5.....	48
Gráfico 3.2. Dispersión de los resultados del grupo de probetas P7.....	49
Gráfico 3.3. Dispersión de los resultados del grupo de probetas P9.....	50
Gráfico 3.4. Comparación de los resultados de los 3 grupos	51

“VALORACIÓN DEL ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL EN ROCAS Y SU RELACIÓN CON EL DIÁMETRO EQUIVALENTE DE PROBETAS”

RESUMEN

Este proyecto consistió en desarrollar pruebas a escala de laboratorio, donde se realizaron ensayos para determinar el índice de carga puntual en muestras de andesita. Se trabajó con tres grupos de muestras, cada grupo conformado por 30 de ellas, las probetas presentaron dos lados iguales y uno diferente dependiendo del grupo, las medidas fueron 10x10x5 cm, 10x10x7 cm y 10x10x9 cm. El objetivo fue variar la relación D/W, siendo D el lado variable y W un lado común en todas las muestras, en este caso de 10 cm, además se tomó en consideración que la relación se encuentre dentro de los parámetros aceptables para el ensayo consiguiendo una correcta determinación del Is50, dicha relación debe ser mayor a 0.3 y menor que 1. Se logró observar que mientras la relación D/W se acerca más al valor de 1, los resultados tienden a demostrar una mayor resistencia la carga puntual.

Palabras clave: Índice de carga puntual, andesita, diámetro equivalente, resistencia.



Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Director del Trabajo de Titulación



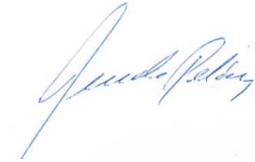
Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Carlos Emmanuel Choco Salinas

Autor



Gerardo Sebastián Peláez Becerra

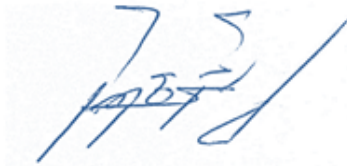
Autor

“ASSESSMENT OF THE POINT LOAD INDEX IN ROCKS AND ITS RELATION WITH THE EQUIVALENT DIAMETER OF SPECIMENS”

ABSTRACT

This project consisted of developing tests on a laboratory scale, where tests were carried out to determine the point load index on andesite samples. The study included three groups of samples, each group of 30. The test tubes had two equal sides and one that varied depending on the group. The measurements were 10x10x5 cm, 10x10x7 cm and 10x10x9 cm. The Objective was to vary the D/W ratio, where D is the variably side and W has a common value of 10 cm, also the acceptable parameters for the testand determination of Is50 were taken into consideration. This parameter considers that D/W ratio should be between 0.3 and 1. Once the results were obtained, a statistical analysis was carried out to compare results between the different groups. It was observed that while the D/W ratio is closer to the value of 1. The results showed a mayor resistance to the point load.

Keywords: Point load index, andesite, equivalent diameter, resistance.



Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle
Director of the Degree Project



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Coordinator of the School



Carlos Emmanuel Choco Salinas
Author



Gerardo Sebastián Peláez Becerra
Author

Translated by



Carlos Choco and Gerardo Peláez



Carlos Emmanuel Choco Salinas

Gerardo Sebastián Peláez Becerra

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle.

Julio, 2022

**“VALORACIÓN DEL ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL EN ROCAS Y SU
RELACIÓN CON EL DIÁMETRO EQUIVALENTE DE PROBETAS”**

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades económicas de más historia en el país y en el mundo. Se conoce como minería a toda actividad planificada que consiste en extraer técnicamente minerales, material pétreo o recursos naturales no renovables y beneficiarse económicamente por concepto de venta del mismo.

Para garantizar una explotación minera técnica responsable con el ambiente y con la seguridad de los trabajadores que son beneficiados de la misma, se debe estudiar y desarrollar una planificación minera en cuanto a la extracción del yacimiento de interés. Por lo tanto, previo a desarrollar la planificación de una mina y durante la explotación de la misma, se debe conocer a profundidad ciertas características del yacimiento en el cual se trabajará.

Independiente de que sea una mina subterránea o a cielo abierto, existen varios factores a considerar para diseñar y seleccionar un método de explotación, principalmente factores físicos y químicos del mineral o del material a extraer, así como también factores económicos, ambientales, sociales y otros más de igual relevancia. Los factores físicos son de gran importancia para prevenir accidentes laborales y uno de ellos es la geomecánica de la roca, es decir, el comportamiento físico que tendrá el macizo rocoso

ante variables geológicas como por ejemplo: la resistencia a su fraccionamiento o el ángulo de fricción, entre otros, que son considerados para el diseño de túneles o de taludes.

Uno de los parámetros físicos más importantes es la resistencia a la compresión simple o Uniaxial (RCS) del material, que se realiza mediante ensayos con el objetivo de determinar la resistencia a la compresión de las rocas, para posteriormente, desarrollar una clasificación del macizo rocoso. Consideramos entonces la aplicación del ensayo del Índice de Carga Puntual, el mismo que se presenta como una alternativa económica al ensayo de resistencia a la compresión simple y con el cual, mediante un factor de corrección ya establecido en la literatura, puede brindar valores aceptables próximos a los de un ensayo de RCS real.

En el presente trabajo de titulación, se realizaron varios ensayos de Índice de Carga Puntual a tres grupos de muestras diferentes de material andesítico proveniente del Cerro Cojitambo, ubicado en la parroquia del mismo nombre Cojitambo, al oeste de la ciudad de Azogues, Provincia de Cañar.

Este trabajo tuvo una hipótesis en cuanto a la resistencia que presentó el material al ser sometido a ensayos de carga puntual, ya que se han realizado ensayos similares a este con el mismo material y se ha caracterizado previamente el mismo. Sin embargo, se esperó apreciar un comportamiento por parte del material variando la relación del diámetro equivalente de las probetas sobre las cuales se realizó el análisis geomecánico.

Se trabajó 90 muestras agrupadas en 3 grupos, además se contó con diez muestras extras en caso de cualquier inconveniente que se llegase a presentar a lo largo de los ensayos. Cada grupo de muestras tuvo dos lados iguales y uno variable, dependiendo del grupo. Las medidas fueron: (10x10x5) cm, (10x10x7) cm y (10x10x9) cm respectivamente. El estudio se realizó con objetivo de variar el D/W tomando en cuenta que esté dentro de los parámetros aceptables para el método Is50 que es de 0.3 a 1. Una vez obtenidos los resultados, se procedió a analizarlos estadísticamente y a comparar los resultados entre los distintos grupos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

El comportamiento mecánico de las rocas se encuentra en función de las características físicas y químicas de estas. Centrándonos en las características físicas, la resistencia a la compresión es una cualidad de las rocas que determina la cantidad de carga o esfuerzo que será capaz de soportar antes de llegar al punto de ruptura, lo cual en la minería se debe prever. En caso de que las condiciones no sean favorables para mantener un equilibrio de fuerzas dentro de una faena minera, se deberá proceder a una fortificación.

La resistencia se puede medir de diferentes maneras: resistencia a la compresión simple (uniaxial o RCS), resistencia biaxial y resistencia triaxial. Comúnmente el método más utilizado para la clasificación de las rocas es el ensayo de resistencia a la compresión simple debido a su alta efectividad para analizar la dureza de una roca o una muestra. (Feijoo, 2019)

1.1. Clasificación general de las rocas

1.1.1. Las rocas

Se considera una roca como un agregado masivo de uno o varios minerales, las mismas que se han sido clasificadas dependiendo de ciertas cualidades físicas y químicas. Forman la mayor parte de la Tierra y su importancia en el área geo-científica radica, en que contienen el registro del ambiente geológico del tiempo en el que se formaron (Gonzales, 2017).

Se define como macizo rocoso a la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Así pues, un macizo rocoso está definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisotrópicas. (Ramírez, 2004).

Los geólogos dividen a las rocas en tres grandes grupos básicos, relacionando los procesos que actúan sobre y dentro del planeta, estos tres grandes grupos se dividen en: rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

1.1.2. Rocas ígneas



Figura 1.1: Afloramiento de roca ígnea plutónica

Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y la solidificación de material fundido, magma, proveniente del interior de la Tierra. Según el proceso de formación se clasifican en rocas ígneas intrusivas y rocas ígneas efusivas o volcánicas: las rocas ígneas intrusivas, son aquellas que se forman en zonas profundas de la corteza, bajo presiones que no permiten el escape de gases, además presentan cristales grandes y bien formados. Las rocas ígneas efusivas o volcánicas se forman a partir del magma que fluye hacia la superficie terrestre y son expulsadas desde un volcán (Orozco, Branch, & Jiménez, 2014)

El ambiente de formación de las rocas se ve reflejado en la textura que las mismas presentan, producto de la relación existente entre los distintos componentes de la roca y su distribución espacial. Las rocas ígneas están compuestas de minerales del grupo de los silicatos, para determinar la posición mineralógica es preciso realizar un análisis químico riguroso; sin embargo, la coloración de la roca puede ser un indicativo muy útil que permite estimar el porcentaje de los diferentes minerales presentes

1.1.3. Rocas sedimentarias



Figura 1.2: La Yesera (Quebrada de Las Conchas. Salta, Argentina.)

Fuente: (Orozco, Branch, & Jiménez, 2014)

Las rocas sedimentarias se pueden formar por la acumulación de sedimentos y partículas de rocas, ya sean ígneas, metamórficas u otras sedimentarias, o por la acumulación de material de origen biológico, también por la precipitación de sustancias químicas o bioquímicas (Orozco & Jiménez, 2014).

Estos sedimentos son transportados por agentes geológicos externos como son: agua, hielo y viento. Los sedimentos que son los que forman las rocas sedimentarias se transportan por los diversos agentes geológicos para luego depositarse en lo que se conocen como cuencas sedimentarias.

Durante el transporte de los sedimentos, las partículas de roca son sometidas a diversos procesos físicos y químicos que se conocen con el nombre de diagénesis. Con este nombre hacemos referencia al proceso de formación de rocas, lo más normal es que las rocas sedimentarias se formen en las orillas de los ríos, fondo de los mares, lagos, desembocadura de ríos y arroyos bien los barrancos, adicionalmente la formación de las rocas sedimentarias tiene lugar durante miles de millones de años, razón por la cual, para poder analizar el origen y la formación de una roca sedimentaria se debe tener en cuenta la escala de tiempo geológico. (Portillo, 2016)

Estas rocas son de gran importancia en rubros productivos como la construcción. En los últimos años, el crecimiento poblacional demanda una mayor cantidad de sitios para vivir, por lo cual la actividad constructiva se ve en un crecimiento constante y se fomenta una utilización de recursos naturales cada vez mayor.

1.1.4. Rocas metamórficas



Figura 1.3: Roca con elevado grado de recristalización y fuerte estructuración.

Fuente: (Fernández, M 2019)

Las rocas metamórficas, son aquellas que han sido sometidas a cambios de presión y temperatura, generalmente en profundidades considerables con respecto a la superficie terrestre, y que han tenido cambios en su mineralogía en respuesta a los diferentes cambios físicos y químicos gracias a factores como la presión y la temperatura. (Orozco, & Jiménez, 2014)

El metamorfismo es un proceso que implica cambios en la composición mineral y/o en la microestructura o estructura de una roca. El proceso es el resultado de un ajuste a condiciones físicas que difieren de aquellas bajo las cuales la roca se formó originalmente.

La temperatura es el principal factor que interviene en la incitación del metamorfismo y puede ser subdividido en: muy bajo (entre 100 y 200-250 °C), bajo (entre 200-250 y 400-450 °C), medio (entre 400-450 y 600-650 °C) y alto (más de 600-650 °C), según lo publicado por el Servicio Geológico Mexicano en el año 2017, así como también a una presión (de los 100 a 250 Mpa) y la profundidad (usualmente de 4 a 5 Km). Dicho esto, se entiende que el metamorfismo no puede ser observado directamente debido a la profundidad a la cual se da.

La composición mineralógica que presentan las rocas metamórficas es la que adquieren a temperaturas próximas a la máxima a la que ha estado sometida la roca, la cual recibe el nombre de “pico térmico”. (Fernández, 2019)

Las rocas sufren dos tipos de cambios durante el metamorfismo: mineralógicos, debido al reemplazamiento de minerales como resultados de reacciones químicas (asociación de minerales), y el cambio textural, que se produce debido a la cristalización y recristalización de minerales. (Fernández, 2019)

1.2. Formación Azogues

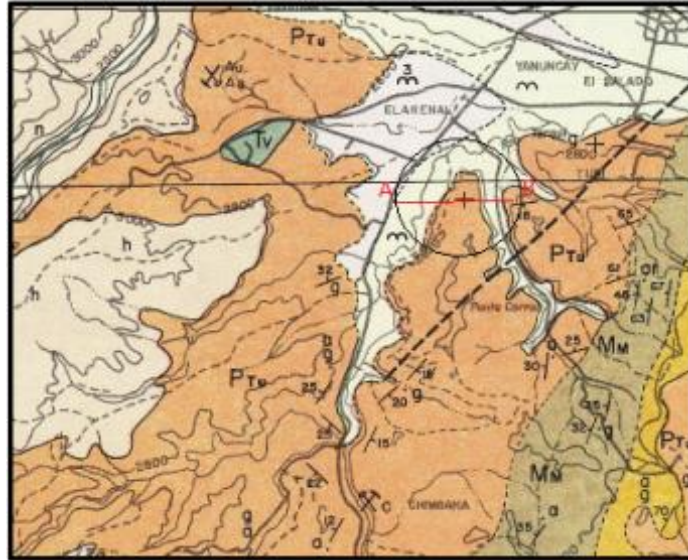


Figura 1.4: Mapa geológico regional.

Fuente: (Navas, 2013)

Se extiende en sentido Norte-Sur, desde la ciudad de Azogues; al Oeste colinda con la población del Cojitambo, hacia el Sur y Suroeste llega hasta el poblado de El Valle, donde está cubierta por la unidad cuaternaria Turi. Cerca de Cuenca, en el sector Ucubamba y Challuabamba, ocurren potentes afloramientos de areniscas, que se pueden observar en el costado occidental de la vía Cuenca-Azogues.

Al igual que la Formación Loyola, la Formación Azogues aflora principalmente en la parte del centro y sur del área de estudio. El espesor estimado es de alrededor de 200 metros en el flanco occidental del sinclinal de Azogues. El contacto entre las formaciones Loyola y Azogues es transicional, evidenciado por la intercalación de lutitas, limolitas y areniscas tobáceas, estas últimas más potentes en la formación Azogues. (Verdezoto, 2021)

La Formación Azogues consiste principalmente de areniscas tobáceas de grano fino a grueso de color gris claro y colores claros a amarillentos de alteración. Las areniscas están intercaladas con capas de limolitas y lutitas, y presentan concreciones del mismo material cementadas por carbonato de calcio, cuyos tamaños oscilan entre los 40 y 80 cm de diámetro. (Verdezoto, 2021)

La secuencia está dominada por areniscas tobáceas intemperizadas, de color café, de grano medio a grueso con presencia de capas de limolitas, arcillas y lutitas, generalmente no mayores a 1 metro de potencia. (Núñez, 2003)

1.3. Cerro Cojitambo



Figura 1.5: Cerro Cojitambo

Fuente: (Verdezoto, 2021)

El cerro Cojitambo está ubicado a unos 18 kilómetros de la ciudad de Cuenca, en el cantón Azogues. Este cerro es visible desde el sector El Descanso, con dirección al norte.

Cojitambo está compuesto por una roca volcánica intrusiva, que se levanta sobre la Formación sedimentaria Azogues, su origen se da como resultado de una inestabilidad geológica. La capa sedimentaria de uno de sus costados se hundió, perdiendo apoyo y provocando el desprendimiento de una parte de la cumbre, actualmente, es visible una pared de material en el lado del deslizamiento.

En consecuencia, a este antecedente, una gran cantidad de andesita se puede encontrar al pie del cerro y en algunos terrenos aledaños que llegan, incluso hasta el sector Chuquipata; todo este panorama alteró el orden de la formación sedimentaria, siendo parte de un grupo de diques y vetas de lava andesítica (Bedoya A, 1961).

Especificando las características del cerro Cojitambo, podemos decir que presenta una gran variedad de andesita anfibolítica de color gris claro, donde se distinguen fenocristales de anfíbol, mica negra y fragmentos más grandes de plagioclasa, acompañada de magnetita (Bedoya A, 1961). Adicionalmente, se pueden encontrar, también, algunas vetas y diques de lava andesítica, resultando en una andesita.

Actualmente, se observa un color gris en las partes de los peñascos del cerro, las cuales, son utilizados para pavimentos, construcción de fachadas, entre otras actividades. Además, se sabe que en la parte de Azogues y Biblián existe una rica variedad de minerales como: mármoles, tobas, carbón de piedra, mercurio y arenas auríferas (Bedoya A, 1961).

1.4. Andesitas



Figura 1.6: Acercamiento y apreciación de fenocristales en las andesitas.

Fuente: (Gonzales de Vallejo L, 2002)

Las andesitas son rocas características de los volcanes que surgen cerca a grandes cadenas montañosas, en el caso del Cojitambo, forman parte de la cordillera de los Andes. Su nombre se da justamente debido a esta cordillera, cuyos volcanes están compuestos por esta roca. Es una roca plutónica que presenta un color gris medio, con grano fino y de origen magmático, presenta una estructura porfídica donde claramente se aprecia fenocristales claros y/u oscuros tendiendo a un color negro producto de las plagioclasas y anfíboles respectivamente.

La andesita tiene un gran parecido con la riolita, por lo cual, para diferenciarlas, es necesario un examen microscópico con el fin de determinar el porcentaje de sílice (cuarzo) presente, al compararlas, la andesita contiene menos cantidad de cuarzo; mientras que, la riolita contiene alrededor de un 25% más (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Las andesitas pueden ser definidas como aquellas lavas en las cuales predomina el feldespato-plagioclasa; sin embargo, el cuarzo, aunque no es usualmente visible, está latente u oculto en las partes vítreas de la roca. Adicionalmente, las andesitas tienen un color oscuro debido a los minerales ferromagnesianos que pueden ser: biotita, hornblenda, augita o enstatita.

Otra característica es que las andesitas son usualmente porfídicas con presencia de feldespatos y minerales ferromagnesianos en forma de fenocristales. La masa básica muestra una textura traquítica o hialopilítica, en las rocas vítreas de composición andesítica pueden denominarse vitro o hialo-andesita, de conformidad con la cantidad de vidrio presente. Algunos vidrios volcánicos son de composición andesítica (Tyrrell, 1984).



Figura 1.7: Muestra de Andesita del Cojitambo (Vista lateral)

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1.8: Muestra de Andesita del Cojitambo (Vista frontal)

Fuente: Elaboración propia.

1.5. Ensayo Franklin

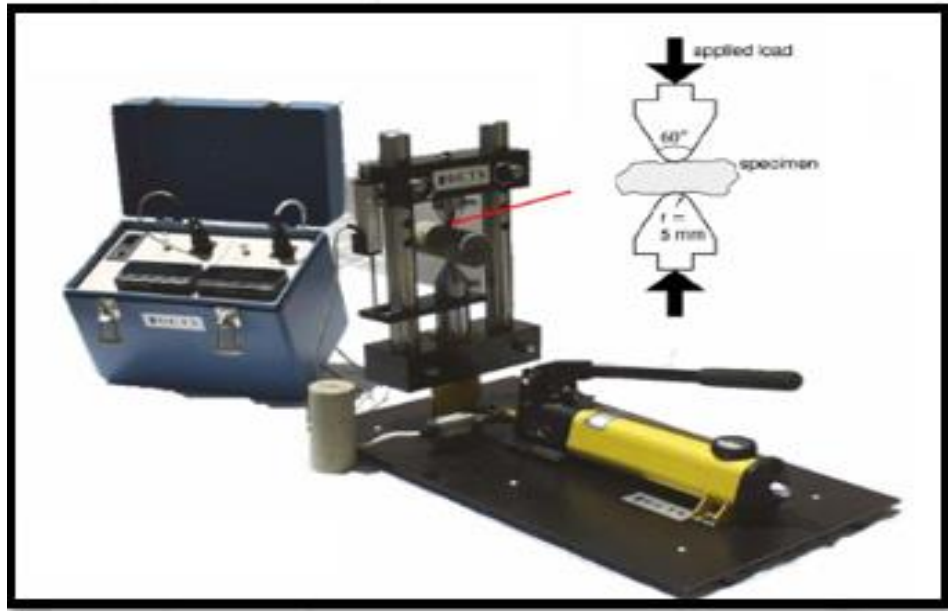


Figura 1.9: Prensa hidráulica manual.

Fuente: Elaboración propia.

También conocido como ensayo Franklin, es aplicado en probetas preparadas de forma cilíndrica o, como en este caso de estudio, de forma casi cúbica, ubicada en medio de dos puntas de forma cónica, que ejercen una fuerza a manera de compresión en dos puntos de la muestra en el mismo eje, hasta que la presión se libere por una rotura de la muestra (Galván, 2015)

Se lleva a cabo utilizando una prensa hidráulica portátil, que cuenta con tres sistemas básicos y elementales:

1.5.1. Sistema de carga

Encargado de generar y aplicar la presión-fuerza al que será sometida la muestra. Se compone de una bomba hidráulica, marco de carga, puntas cónicas y ariete.

Bomba hidráulica: Será la parte del sistema encargada mediante bombeo de acumular aire para generar la fuerza que se aplicará a la probeta, de acuerdo con el material y al tamaño de la muestra se necesitará una bomba con mayor o menor fuerza.



Figura 1.10: Bomba hidráulica manual.

Fuente: (Paredes, C 2006)

Puntas cónicas: El vértice debe de estar en contacto con la muestra en ambas caras superior e inferior. El vértice deberá tener un diámetro de 5mm, tal cómo se muestra en la figura a continuación, donde se especifica también el ángulo del cono.

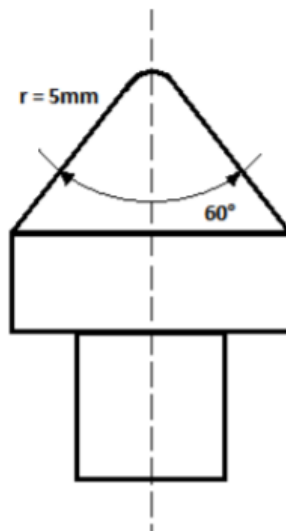


Figura 1.11: Forma de puntas cónicas.

Fuente: (Cordero & Vázquez, 2019)

Marco de carga: Sostiene y permite movilizar las puntas cónicas durante el ensayo.

Ariete: Pieza de metal que recibe la energía de la bomba hidráulica, transmitiendo al marco de carga. (Cordero & Vázquez, 2019).

1.5.2. Sistema de medición de carga

Su función es determinar la carga P, que es la fuerza necesaria en kN para romper la probeta en el ensayo.

1.5.3. Sistema de medición de distancia

Tiene la función de medir la distancia D, distancia variable de las probetas 5, 7 y 9 cm respectivamente, con una precisión de $\pm 2\%$

1.6. Índice de Carga Puntual

El ensayo de carga puntual o de rotura entre puntas PLT (Point Load Test), es un ensayo básico que puede realizarse en el campo, con testigos sin modificación o con fragmentos de roca. Este se fundamenta en aplicar una carga puntual en un trozo de roca hasta su rotura, obteniendo un índice (Is) que se correlaciona con la resistencia a compresión simple de la roca (Ferrer & Vallejo, 2007).

El fragmento de material, en este caso, la probeta de andesita se introduce en la máquina de ensayos, de manera que las puntas cónicas utilizadas para este método se cierran estableciendo contacto con las caras de la muestra, aplicando una fuerza hasta llegar al punto máximo de resistencia a la carga, quedando registrada como carga P.

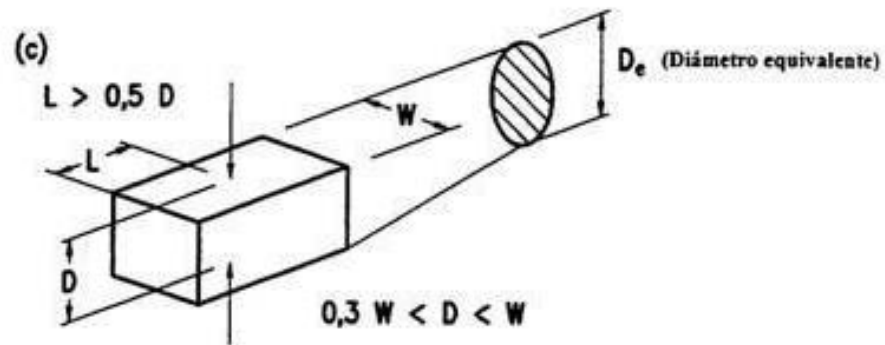


Figura 1.12: Fuerza y dimensiones para el ensayo.

Fuente: (Benavente, D 2016)

1.7. Determinación de la carga puntual

Una vez sometida a presión la probeta, se apreciará el valor de carga puntual P, el mismo que puede ser utilizado para encontrar el índice de carga puntual (Is). El objetivo es determinar la resistencia mecánica a compresión de la roca al someterla a una carga puntual que se aplica mediante un par de piezas cónicas, el valor obtenido de este modo está destinado a ser utilizado para clasificar y caracterizar la roca (Navarrete, et al., 2013).

El índice de carga puntual (Is) sin corregir se calcula usando la siguiente ecuación:

$$I_S = \frac{P \cdot 1000}{D_e^2} \quad (1)$$

Donde:

De: es el diámetro equivalente en probetas cilíndricas.

P: es el valor de la carga puntual.

En nuestro caso, al ser probetas de forma casi cúbica, De, será obtenido de la siguiente ecuación:

$$D_e = 2\sqrt{A/\pi} \quad (2)$$

Donde:

A es el área= $W \cdot D$; siendo W el ancho de la muestra y D la distancia entre los vértices de las puntas cónicas. Y nombrándolas así por sus siglas en inglés Wide y Distance respectivamente.

Según (Navarro, 2013). Para esto, las dimensiones de D y W deben cumplir con parámetros:

$$0.3 < D/W < 1 \quad (3)$$

1.8. Factor de corrección

El ICP o índice de resistencia a la carga puntual $I_s(50)$ se define como el valor de I_s que se obtendría para la misma muestra con un diámetro equivalente de 50 mm.

El valor y geometría de la muestra afecta al valor del índice de carga puntual I_s , por lo cual es común corregir el tamaño considerando un $D = 50$ mm

$$I_s(50) = I_s * F \quad (4)$$

Donde:

F es el factor de corrección de tamaño, y se obtiene de la siguiente manera (Galván, 2015)

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \quad (5)$$

Donde:

D_e : Es el diámetro equivalente.

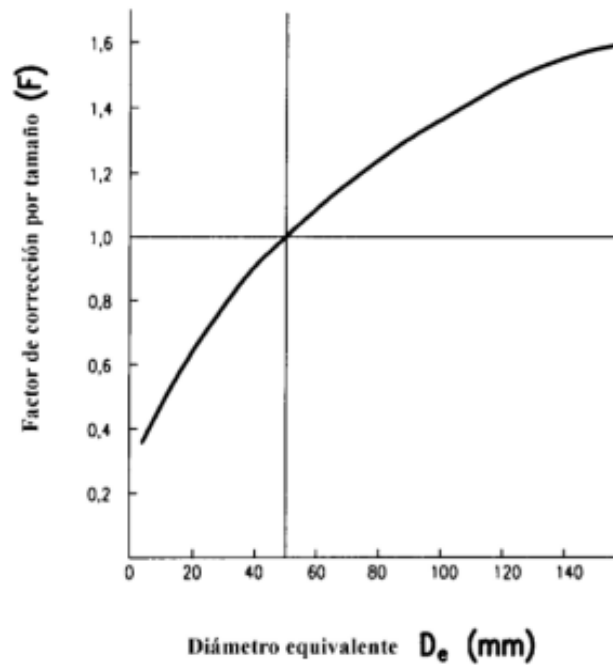


Figura 1.13: Correlación entre D_e y F .

Fuente: (Hernandez-Gutierrez, L 2013)

El valor de resistencia a la carga puntual se puede relacionar con la resistencia a compresión por medio de la ecuación:

$$\sigma = 24 * Is(50) \quad (6)$$

Donde:

σ : Es el símbolo de esfuerzo

Is : Es el índice de carga puntual ya corregido

1.9. Clasificación de las rocas RMR

El sistema Rock Mass Rating, por sus siglas RMR, propuesto inicialmente por Bieniawski en 1973, y sometido a revisión en los años 1974, 1975, 1976, 1979 y finalmente en 1989

que es la valoración de uso en la actualidad. Es un índice que evalúa la competencia de un macizo rocoso basándose en 6 parámetros (J. D. Fernández-Gutiérrez, 2017):

- Resistencia de la roca intacta.
- Rock Quality Designation (RQD).
- Espaciado entre juntas o discontinuidades (Js).
- Estado de las juntas (Jc).
- Agua subterránea.
- Corrección por la orientación de las discontinuidades.

Cada uno de estos parámetros presenta una valoración cuantitativa y el valor de RMR se obtiene como suma de los valores numéricos pertenecientes a cada uno, oscilando el valor linealmente entre 2 y 100, dando el valor de calidad de la roca.

Desde la propuesta original 1973 hasta su última actualización 1989, los valores asignados a los parámetros y los propios parámetros han variado según lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 1.1: Valoración de los parámetros del Sistema RMR en las distintas versiones.

Parámetro	1973	1974	1975	1976	1979	1989
Resistencia de la roca intacta	0 - 10	0 - 10	0 - 15	0 - 15	1 - 15	2 - 15
Rock Quality Designation (RQD)	3 - 16	3 - 20	3 - 20	3 - 20	3 - 20	3 - 20
Espaciado entre juntas (Js)	5 - 30	5 - 30	5 - 30	5 - 30	5 - 20	5 - 20
Separación de juntas	1 - 5					
Continuidad de juntas	0 - 5					
Acciones Climáticas	1 - 9					
Estados de las juntas (Jc)	.	0 - 15	0 - 25	0 - 30	0 - 30	0 - 30
Agua subterránea	2 - 10	2 - 10	0 - 10	0 - 15	0 - 15	0 - 15
Corrección por Orientación de Discontinuidades	3 - 15	3 - 15	0 - (-12)	0 - (-12)	0 - (-12)	0 - (-12)

Fuente: (Fernández-Gutiérrez, 2017)

Un alto valor de RMR nos demostrará un macizo rocoso que se podría determinar que es de buena calidad caso contrario se optaría por el uso de algún tipo de sostenimiento para el mismo. (Feijoo, 1996)

Tabla 1.2: Clasificación geomecánica de CSIR

RMR	100 a 81	80 a 61	60 a 41	40 a 21	< 20
CLASE No	I	II	III	IV	V
Descripción	ROCA MUY BUENA	ROCA BUENA	ROCA DISCRETA	ROCA POBRE	ROCA MUY POBRE

Fuente: (Feijoo, 1997)

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL

2.1. Preparación de las muestras o probetas

Para realizar los ensayos de carga puntual, se obtuvieron muestras del Cerro Cojitambo el cual presenta una morfología multiforme, ubicada sobre una formación sedimentaria, se lo considera un extrusivo plutónico. Estando en la zona antes mencionada, se escogieron las mejores muestras de rocas considerando que sean lo suficientemente grandes como para que puedan ser cortadas mediante el uso de una sierra tipo disco propiedad del laboratorio de la Universidad del Azuay.

Se recogieron aproximadamente 150 muestras de Andesitas, las cuales fueron analizadas físicamente con la finalidad de percibir fisuras o anomalías que puedan intervenir con los ensayos a realizarse. Aquellas que fueron confirmadas como competentes para el ensayo, siendo 120 fueron llevadas al espacio de trabajo para proceder al corte de roca.

Se cortaron un total de 120 para diferentes estudios de titulación con referencia al Cerro Cojitambo, de las cuales para la presente investigación se tomaron 30 muestras para cada uno de los tres grupos de estudio, se consideró un extra de 10 muestras en caso de que se podrían presentar anomalías en las mismas.

Una vez en laboratorio, se procedió a cortar las muestras para proporcionar las características específicas deseadas de cada grupo muestral. Se realizaron seis cortes en cada muestra de andesita para darle una forma casi cúbica. En cuanto a los grupos muestrales fueron tres y estuvieron conformados por 40 probetas cada uno, se dividieron de la siguiente manera: las muestras del primer grupo tienen dimensiones 10x10x5 cm, el segundo 10x10x7 cm y el tercero fue de 10x10x9 cm, adicionalmente los grupos fueron etiquetados o codificados como P5, P7 y P9 respectivamente, haciendo referencia a su arista distintiva.

Para realizar los cortes de las probetas se utilizó una máquina cortadora tipo Covington (Figura 2.1). Esta, tiene una sierra de corte estilo inmersión y una tapa con la finalidad de

que las partículas de polvo sean retenidas dentro de la máquina y no se contamine el ambiente de trabajo.



Figura 2.1: Cortadora Covington.

Fuente: Elaboración propia

El modelo de cortadora Covington, tiene varios diámetros de discos, desde tamaños de 18” hasta de 36”. En este caso, se utilizó un disco de sierra de 30”. Con todas las normas de seguridad y EPPs, se procedió a realizar los cortes, a continuación, en la figura 2.2, tenemos las muestras andesíticas cortadas en probetas.

Una vez que fueron cortadas, fueron codificadas para evitar confusiones en las muestras y evitar tener resultados erróneos por parte de los laboratoristas.



Figura 2.2: Muestras cortadas y codificadas.

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.3: Lote de muestras

Fuente: Elaboración propia

2.2 Determinación de las diferentes dimensiones de probetas

Una vez cortadas las probetas, se tuvo que comprobar que el diámetro a pesar de no ser exacto, sea lo más cercano posible a las dimensiones objetivo que se necesita para realizar la investigación; es decir, se midió todas las aristas comprobando sus tamaños.

Para esto, se utilizó una herramienta muy útil conocida como calibrador o Pie de Rey. Es un instrumento que se utiliza para medir espesores de piezas y dimensiones interiores y exteriores de cuerpos complejos, consta de una escala fija denominada regla y una escala móvil denominada reglilla, estas dos escalas están graduadas.

La forma de ver una medida en el pie de rey es interesante y precisa. Primero se debe considerar la distancia que se observe en la regla, antes del cero de la reglilla, en este caso es 7 mm.

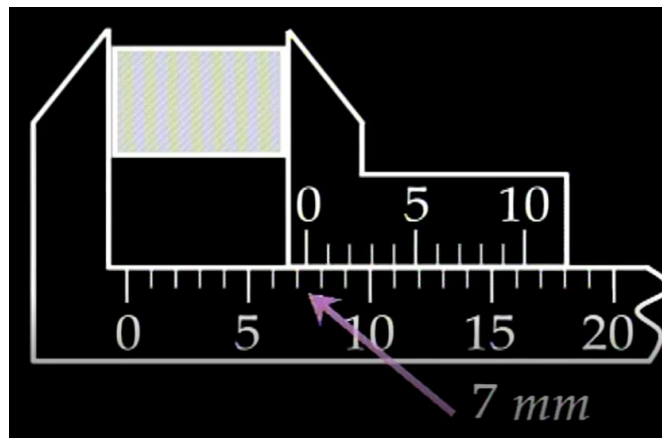


Figura 2.4: Paso 1 para usar pie de rey

Fuente: Suárez Vargas, C. (2015)

Una vez que se obtiene esa medida, se entiende que hay que sumarle un valor decimal para obtener la medida exacta, considerando la sensibilidad del instrumento que es de 0.1 mm, este valor viene marcado en cada pie de rey. En este caso, se debe identificar la línea que coincide desde la reglilla con alguna otra línea de la regla, en este caso es el valor de 0.4 mm.

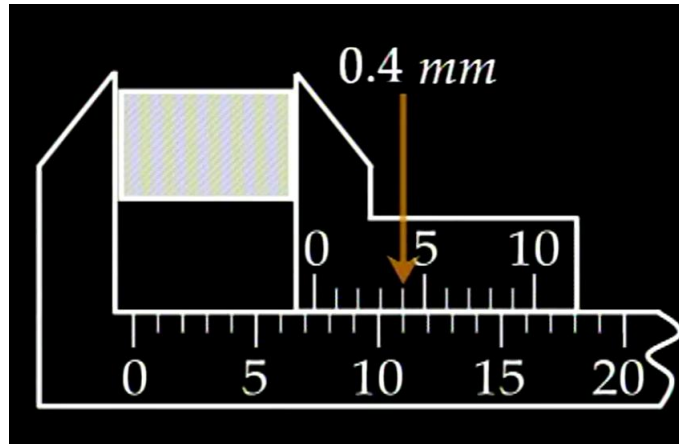


Figura 2.5: Paso 2 para usar pie de rey

Fuente: Suárez Vargas, C. (2015)

El valor final de la pieza es la suma de la primera medida considerada más la segunda, considerando la sensibilidad del instrumento.

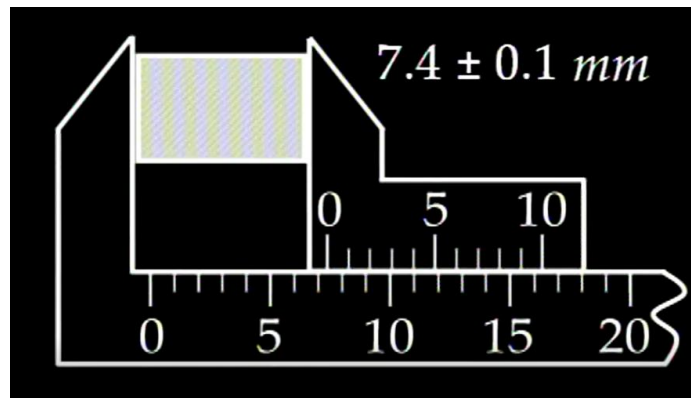


Figura 2.6: Paso 3 para usar pie de rey

Fuente: Suárez Vargas, C. (2015)

Las probetas fueron medidas exitosamente y el siguiente paso fue determinar el valor del D_e (diámetro equivalente) de cada probeta. Cada grupo muestral tuvo un diámetro equivalente diferente, lo cual fue la esencia de esta investigación (demostrar si existe o no una diferencia en la resistencia de las muestras variando el D_e).

Resultados:**Tabla 2.1:** Resultados de medición grupo P5

GRUPO 1 (P5)

	W	L	D
Muestra	x (cm)	y (cm)	z (cm)
1P5	9.9	10.22	5.05
2P5	9.97	9.88	5.11
3P5	9.99	9.88	4.94
4P5	9.99	9.98	4.70
5P5	9.96	9.89	4.94
6P5	9.86	9.89	5.08
7P5	9.86	9.97	4.86
8P5	9.85	9.91	4.84
9P5	9.97	10.05	4.94
10P5	9.94	10.05	5.16
11P5	10.01	9.89	4.73
12P5	9.99	10.09	5.22
13P5	9.93	9.88	4.94
14P5	10.02	10.14	5.21
15P5	10.05	9.84	5.16
16P5	9.99	10.01	5.19
17P5	9.87	9.91	5.22
18P5	9.99	9.88	5.13
19P5	10.15	9.9	5.09
20P5	10.08	10.02	5.15
21P5	9.97	10.08	5.08
22P5	9.99	9.88	4.94
23P5	9.9	10	5.24
24P5	10.24	9.88	4.94
25P5	10.09	10.22	5.19
26P5	9.92	10.14	5.09
27P5	10.02	10.21	5.18
28P5	9.88	9.92	4.94
29P5	9.86	10.22	5.99
30P5	10.05	9.93	5.06
31P5	10.14	9.94	5.95
32P5	9.9	10.19	5.21
33P5	10.14	9.93	4.94
34P5	9.98	9.94	4.84
35P5	9.99	10.09	5.09
36P5	9.89	9.75	4.9

37P5	10.08	10.12	5.17
38P5	9.96	10.19	5.16
39P5	9.83	10.01	5.21
40P5	10.08	9.78	5.27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.2: Resultados de medición grupo P7

GRUPO 2 (P7)

	W	L	D
Muestra	x (cm)	y (cm)	z (cm)
1P7	10.19	9.95	6.83
2P7	9.97	9.99	6.89
3P7	10.03	9.92	6.88
4P7	10.06	10.13	6.83
5P7	9.82	10.27	7.06
6P7	9.93	9.79	6.96
7P7	9.9	9.87	7.05
8P7	10.15	10.16	6.83
9P7	9.92	10.27	6.82
10P7	10.17	10.11	6.82
11P7	10.18	10.22	6.83
12P7	9.93	10.04	6.83
13P7	9.93	10.07	6.79
14P7	9.95	10.16	6.83
15P7	9.94	10.22	6.81
16P7	9.86	9.86	6.88
17P7	9.99	9.89	6.79
18P7	9.94	10.04	6.83
19P7	10.02	9.99	6.79
20P7	10.03	9.93	6.83
21P7	10.13	9.92	6.98
22P7	9.93	10.09	6.79
23P7	10.05	10.12	6.83
24P7	10.18	10.17	6.82
25P7	10.28	10.21	6.77
26P7	10.06	10.01	6.81
27P7	10.18	9.65	7.11
28P7	10.22	10.11	6.86
29P7	9.88	10.14	6.88
30P7	10.14	9.9	6.92

31P7	9.96	10.13	7.14
32P7	10.08	10.09	6.87
33P7	9.88	10.01	6.78
34P7	9.94	9.91	6.75
35P7	9.98	10.14	6.84
36P7	10.04	9.87	6.79
37P7	10.07	9.89	6.75
38P7	9.96	9.93	6.99
39P7	9.98	9.86	7.03
40P7	10.1	10.05	6.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3: Resultados de medición grupo P9

GRUPO 3 (P9)

	W	L	D
Muestra	x (cm)	y (cm)	z (cm)
1P9	9.96	10.08	8.83
2P9	10.11	9.9	8.82
3P9	9.89	9.87	8.83
4P9	9.97	9.98	8.86
5P9	9.92	9.94	8.78
6P9	9.74	10.14	8.94
7P9	9.86	9.93	8.88
8P9	9.88	9.91	8.94
9P9	9.91	9.91	8.99
10P9	9.91	9.91	8.87
11P9	9.91	10	9
12P9	9.91	9.91	8.97
13P9	9.86	9.94	8.79
14P9	9.87	10.14	8.83
15P9	10.14	9.61	9.18
16P9	9.88	9.95	8.85
17P9	9.9	9.94	8.71
18P9	10.07	10.09	9.04
19P9	10.08	9.81	8.9
20P9	9.94	9.91	9.16
21P9	9.85	9.94	8.74
22P9	10.08	9.89	9.01
23P9	10.11	10.08	8.78
24P9	9.98	9.92	8.81

25P9	10.08	9.09	8.91
26P9	10.08	9.94	8.89
27P9	10.04	10.17	8.97
28P9	9.78	9.63	9.41
29P9	10.01	9.89	8.88
30P9	9.73	10.18	9.06
31P9	10.22	9.94	8.81
32P9	9.86	9.95	8.83
33P9	9.99	9.83	8.74
34P9	9.88	9.91	8.86
35P9	10.25	9.99	8.84
36P9	9.89	9.92	8.83
37P9	9.84	9.93	8.89
38P9	9.97	10.22	8.88
39P9	9.93	9.89	8.82
40P9	9.97	10.03	8.79

Fuente: Elaboración propia

2.3. Resultados del ensayo de carga puntual

La valoración del índice de carga puntual se realizó experimentalmente, utilizando dos puntas tipo cónicas y la prensa hidráulica modelo Humboldt en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay.



Figura 2.7: Prensa Humboldt

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.8: Probeta de andesita lista para el ensayo

Fuente: Elaboración propia

Para garantizar un ensayo correcto, se realizó una cruz en la muestra de manera que la intersección de ambas líneas marque el punto central correcto, esta cruz fue marcada en ambas caras sujetas a la compresión. Ambas puntas cónicas fueron situadas en el centro de las muestras, luego se procedió a utilizar la prensa hidráulica, la cual brinda la fuerza máxima aplicada sobre la muestra hasta su ruptura.



Figura 2.9: Cruz centrada en las probetas.

Fuente: Elaboración propia

Una vez preparadas las muestras, se procedió a someter a cada una de ellas una carga uniaxial. Fueron un total de 120 ensayos realizados para todos los grupos muestrales.

Resultados:

Tabla 2.4: Resultados de carga P grupo P5

Grupo P5			
Muestra	P (kN)	Muestra	P (kN)
1P5	17.45	21P5	5.58
2P5	19.43	22P5	22.41
3P5	21.91	23P5	18.09
4P5	25.76	24P5	21.28
5P5	22.23	25P5	18.42
6P5	18.21	26P5	11.5
7P5	15.97	27P5	22.15
8P5	16.89	28P5	12.52
9P5	6.45	29P5	19.67
10P5	9.67	30P5	17.59
11P5	16.81	31P5	22.65
12P5	7.78	32P5	11.09
13P5	21.69	33P5	27.02
14P5	17.84	34P5	13.85
15P5	17	35P5	4.66
16P5	18.38	36P5	20.76
17P5	16.82	37P5	19.46
18P5	15.58	38P5	20.05
19P5	11.51	39P5	17.63
20P5	19.38	40P5	19.09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.5: Resultados de carga P grupo P7

Grupo P7

Muestra	P (kN)	Muestra	P (kN)
1P7	28.865	21P7	33.216
2P7	24.849	22P7	30.729
3P7	28.071	23P7	27.148
4P7	25.3	24P7	26.528
5P7	18.373	25P7	19.974
6P7	25.351	26P7	29.339
7P7	19.978	27P7	7.691
8P7	28.015	28P7	27.497
9P7	17.311	29P7	26.288
10P7	27.594	30P7	22.062
11P7	18.503	31P7	25.9
12P7	16.78	32P7	28.362
13P7	10.05	33P7	26.388
14P7	23.868	34P7	20.442
15P7	31.427	35P7	27.642
16P7	13.472	36P7	10.144
17P7	23.098	37P7	16.827
18P7	11.414	38P7	35.584
19P7	9.102	39P7	18.58
20P7	9.369	40P7	8.59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.6: Resultados de carga P grupo P9

Grupo P9

Muestra	P (kN)	Muestra	P (kN)
1P9	28.547	21P9	40.498
2P9	28.157	22P9	35.136
3P9	39.873	23P9	16.38
4P9	26.655	24P9	36.161
5P9	31.192	25P9	32.322
6P9	33.304	26P9	34.958
7P9	31.357	27P9	32.525
8P9	38.749	28P9	21.016
9P9	41.435	29P9	32.48
10P9	30.875	30P9	19.385
11P9	26.014	31P9	25.963
12P9	40.223	32P9	37.744
13P9	39.684	33P9	24.137
14P9	33.227	34P9	39.748
15P9	28.52	35P9	28.278
16P9	37.655	36P9	20.061
17P9	34.464	37P9	39.44
18P9	32.634	38P9	32.983
19P9	30.146	39P9	31.179
20P9	28.85	40P9	13.507

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

DIMENSIÓN DE PROBETAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Valoración de los diferentes diámetros equivalentes

Con los valores numéricos de las dimensiones de las diferentes caras en los grupos muestrales se procedió a calcular la relación D/W o diámetro equivalente de cada una de las muestras; verificando que, el diámetro equivalente de cada muestra esté cercano o no a las variaciones considerables con respecto a la relación D/W para cada grupo, es decir, grupo P5, P7 y P9 debe estar en un rango de 0.5, 0.7 y 0.9, respectivamente.

Tabla 3.1: Relación D/W Grupo P5

Grupo P5

Muestra	x (cm)	y (cm)	z (cm)	D/W
1P5	9.9	10.22	5.05	0.49
2P5	9.97	9.88	5.11	0.52
3P5	9.99	9.88	4.94	0.50
4P5	9.99	9.98	4.70	0.47
5P5	9.96	9.89	4.94	0.50
6P5	9.86	9.89	5.08	0.51
7P5	9.86	9.97	4.86	0.49
8P5	9.85	9.91	4.84	0.49
9P5	9.97	10.05	4.94	0.49
10P5	9.94	10.05	5.16	0.51
11P5	10.01	9.89	4.73	0.48
12P5	9.99	10.09	5.22	0.52
13P5	9.93	9.88	4.94	0.50
14P5	10.02	10.14	5.21	0.51
15P5	10.05	9.84	5.16	0.52
16P5	9.99	10.01	5.19	0.52
17P5	9.87	9.91	5.22	0.53
18P5	9.99	9.88	5.13	0.52
19P5	10.15	9.9	5.09	0.51
20P5	10.08	10.02	5.15	0.51
21P5	9.97	10.08	5.08	0.50
22P5	9.99	9.88	4.94	0.50

23P5	9.9	10	5.24	0.52
24P5	10.24	9.88	4.94	0.50
25P5	10.09	10.22	5.19	0.51
26P5	9.92	10.14	5.09	0.50
27P5	10.02	10.21	5.18	0.51
28P5	9.88	9.92	4.94	0.50
29P5	9.86	10.22	5.99	0.59
30P5	10.05	9.93	5.06	0.51
31P5	10.14	9.94	5.95	0.60
32P5	9.9	10.19	5.21	0.51
33P5	10.14	9.93	4.94	0.50
34P5	9.98	9.94	4.84	0.49
35P5	9.99	10.09	5.09	0.50
36P5	9.89	9.75	4.9	0.50
37P5	10.08	10.12	5.17	0.51
38P5	9.96	10.19	5.16	0.51
39P5	9.83	10.01	5.21	0.52
40P5	10.08	9.78	5.27	0.54

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Relación D/W Grupo P7

Grupo P7

Muestra	x (cm)	y (cm)	z (cm)	D/W
1P7	10.19	9.95	6.83	0.69
2P7	9.97	9.99	6.89	0.69
3P7	10.03	9.92	6.88	0.69
4P7	10.06	10.13	6.83	0.67
5P7	9.82	10.27	7.06	0.69
6P7	9.93	9.79	6.96	0.71
7P7	9.9	9.87	7.05	0.71
8P7	10.15	10.16	6.83	0.67
9P7	9.92	10.27	6.82	0.66
10P7	10.17	10.11	6.82	0.67
11P7	10.18	10.22	6.83	0.67
12P7	9.93	10.04	6.83	0.68
13P7	9.93	10.07	6.79	0.67
14P7	9.95	10.16	6.83	0.67
15P7	9.94	10.22	6.81	0.67
16P7	9.86	9.86	6.88	0.70
17P7	9.99	9.89	6.79	0.69
18P7	9.94	10.04	6.83	0.68
19P7	10.02	9.99	6.79	0.68
20P7	10.03	9.93	6.83	0.69
21P7	10.13	9.92	6.98	0.70
22P7	9.93	10.09	6.79	0.67
23P7	10.05	10.12	6.83	0.67
24P7	10.18	10.17	6.82	0.67
25P7	10.28	10.21	6.77	0.66
26P7	10.06	10.01	6.81	0.68
27P7	10.18	9.65	7.11	0.74
28P7	10.22	10.11	6.86	0.68
29P7	9.88	10.14	6.88	0.68
30P7	10.14	9.9	6.92	0.70
31P7	9.96	10.13	7.14	0.70
32P7	10.08	10.09	6.87	0.68
33P7	9.88	10.01	6.78	0.68
34P7	9.94	9.91	6.75	0.68
35P7	9.98	10.14	6.84	0.67

36P7	10.04	9.87	6.79	0.69
37P7	10.07	9.89	6.75	0.68
38P7	9.96	9.93	6.99	0.70
39P7	9.98	9.86	7.03	0.71
40P7	10.1	10.05	6.8	0.68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3: Relación D/W Grupo P9

Grupo P9

Muestra	x (cm)	y (cm)	z (cm)	D/W
1P9	9.96	10.08	8.83	0.88
2P9	10.11	9.9	8.82	0.89
3P9	9.89	9.87	8.83	0.89
4P9	9.97	9.98	8.86	0.89
5P9	9.92	9.94	8.78	0.88
6P9	9.74	10.14	8.94	0.88
7P9	9.86	9.93	8.88	0.89
8P9	9.88	9.91	8.94	0.90
9P9	9.91	9.91	8.99	0.91
10P9	9.91	9.91	8.87	0.90
11P9	9.91	10	9	0.90
12P9	9.91	9.91	8.97	0.91
13P9	9.86	9.94	8.79	0.88
14P9	9.87	10.14	8.83	0.87
15P9	10.14	9.61	9.18	0.96
16P9	9.88	9.95	8.85	0.89
17P9	9.9	9.94	8.71	0.88
18P9	10.07	10.09	9.04	0.90
19P9	10.08	9.81	8.9	0.91
20P9	9.94	9.91	9.16	0.92
21P9	9.85	9.94	8.74	0.88
22P9	10.08	9.89	9.01	0.91
23P9	10.11	10.08	8.78	0.87
24P9	9.98	9.92	8.81	0.89
25P9	10.08	9.09	8.91	0.98

26P9	10.08	9.94	8.89	0.89
27P9	10.04	10.17	8.97	0.88
28P9	9.78	9.63	9.41	0.98
29P9	10.01	9.89	8.88	0.90
30P9	9.73	10.18	9.06	0.89
31P9	10.22	9.94	8.81	0.89
32P9	9.86	9.95	8.83	0.89
33P9	9.99	9.83	8.74	0.89
34P9	9.88	9.91	8.86	0.89
35P9	10.25	9.99	8.84	0.88
36P9	9.89	9.92	8.83	0.89
37P9	9.84	9.93	8.89	0.90
38P9	9.97	10.22	8.88	0.87
39P9	9.93	9.89	8.82	0.89
40P9	9.97	10.03	8.79	0.88

Fuente: Elaboración propia

3.2. Resultados del Índice de Carga Puntual Is 50

Con los datos obtenidos en el ensayo de carga puntual, realizamos el tratamiento de la información de la Fuerza P con relación a D/W y la geometría de las muestras para determinar: el diámetro equivalente, área WD, carga puntual Is, factor de corrección y finalmente el Índice de carga puntual mediante los procesos descritos en el capítulo 1 de la presente investigación.

Tabla 3.4: Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P5

GRUPO P5

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza P	W*D	De ²	Is	F	Is50
	x (cm)	y (cm)	z (cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P5	9.9	10.22	5.05	0.51	17.45	4999.50	6365.56	2.74	1.23	3.38
2P5	9.97	9.88	5.11	0.51	19.43	5094.67	6486.74	3.00	1.24	3.71
3P5	9.99	9.88	4.94	0.49	21.91	4935.06	6283.51	3.49	1.23	4.29
4P5	9.99	9.98	4.70	0.47	25.76	4695.30	5978.24	4.31	1.22	5.24
5P5	9.96	9.89	4.94	0.50	22.23	4920.24	6264.64	3.55	1.23	4.36
6P5	9.86	9.89	5.08	0.52	18.21	5008.88	6377.50	2.86	1.23	3.53
7P5	9.86	9.97	4.86	0.49	15.97	4791.96	6101.31	2.62	1.22	3.20
8P5	9.85	9.91	4.84	0.49	16.89	4767.40	6070.04	2.78	1.22	3.40
9P5	9.97	10.05	4.94	0.50	6.45	4925.18	6270.93	1.03	1.23	1.27
10P5	9.94	10.05	5.16	0.52	9.67	5129.04	6530.50	1.48	1.24	1.84
11P5	10.01	9.89	4.73	0.47	16.81	4734.73	6028.45	2.79	1.22	3.40
12P5	9.99	10.09	5.22	0.52	7.78	5214.78	6639.66	1.17	1.25	1.46
13P5	9.93	9.88	4.94	0.50	21.69	4905.42	6245.77	3.47	1.23	4.27
14P5	10.02	10.14	5.21	0.52	17.84	5220.42	6646.85	2.68	1.25	3.35

15P5	10.05	9.84	5.16	0.51	17.00	5185.80	6602.77	2.58	1.24	3.20
16P5	9.99	10.01	5.19	0.52	18.38	5184.81	6601.51	2.78	1.24	3.46
17P5	9.87	9.91	5.22	0.53	16.82	5152.14	6559.91	2.56	1.24	3.19
18P5	9.99	9.88	5.13	0.51	15.58	5124.87	6525.19	2.39	1.24	2.96
19P5	10.15	9.9	5.09	0.50	11.51	5166.35	6578.00	1.75	1.24	2.17
20P5	10.08	10.02	5.15	0.51	19.38	5191.20	6609.64	2.93	1.24	3.65
21P5	9.97	10.08	5.08	0.51	5.58	5064.76	6448.65	0.86	1.24	1.07
22P5	9.99	9.88	4.94	0.49	22.41	4935.06	6283.51	3.57	1.23	4.39
23P5	9.9	10	5.24	0.53	18.09	5187.60	6605.06	2.74	1.24	3.41
24P5	10.24	9.88	4.94	0.48	21.28	5058.56	6440.76	3.30	1.24	4.09
25P5	10.09	10.22	5.19	0.51	18.42	5236.71	6667.59	2.76	1.25	3.44
26P5	9.92	10.14	5.09	0.51	11.50	5049.28	6428.94	1.79	1.24	2.21
27P5	10.02	10.21	5.18	0.52	22.15	5190.36	6608.57	3.35	1.24	4.17
28P5	9.88	9.92	4.94	0.50	12.52	4880.72	6214.33	2.01	1.23	2.47
29P5	9.86	10.22	5.99	0.61	19.67	5906.14	7519.93	2.62	1.28	3.35
30P5	10.05	9.93	5.06	0.50	17.59	5085.30	6474.81	2.72	1.24	3.37
31P5	10.14	9.94	5.95	0.59	22.65	6033.30	7681.84	2.95	1.29	3.80
32P5	9.9	10.19	5.21	0.53	11.09	5157.90	6567.24	1.69	1.24	2.10
33P5	10.14	9.93	4.94	0.49	27.02	5009.16	6377.86	4.24	1.23	5.23

34P5	9.98	9.94	4.84	0.48	13.85	4830.32	6150.15	2.25	1.22	2.76
35P5	9.99	10.09	5.09	0.51	4.66	5084.91	6474.31	0.72	1.24	0.89
36P5	9.89	9.75	4.9	0.50	20.76	4846.10	6170.25	3.37	1.23	4.12
37P5	10.08	10.12	5.17	0.51	19.46	5211.36	6635.31	2.93	1.25	3.65
38P5	9.96	10.19	5.16	0.52	20.05	5139.36	6543.64	3.06	1.24	3.80
39P5	9.83	10.01	5.21	0.53	17.63	5121.43	6520.81	2.70	1.24	3.35
40P5	10.08	9.78	5.27	0.52	19.09	5312.16	6763.65	2.82	1.25	3.53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5: Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P7

GRUPO P7

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza P	W*D	De ²	Is	F	Is50
	x (cm)	y (cm)	z (cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P7	10.19	9.95	6.83	0.67	28.865	6959.77	8861.45	3.26	1.33	4.33
2P7	9.97	9.99	6.89	0.69	24.849	6869.33	8746.30	2.84	1.33	3.77
3P7	10.03	9.92	6.88	0.69	28.071	6900.64	8786.17	3.19	1.33	4.24
4P7	10.06	10.13	6.83	0.68	25.3	6870.98	8748.40	2.89	1.33	3.83
5P7	9.82	10.27	7.06	0.72	18.373	6932.92	8827.27	2.08	1.33	2.76
6P7	9.93	9.79	6.96	0.70	25.351	6911.28	8799.72	2.88	1.33	3.82

7P7	9.9	9.87	7.05	0.71	19.978	6979.50	8886.58	2.25	1.33	2.99
8P7	10.15	10.16	6.83	0.67	28.015	6932.45	8826.67	3.17	1.33	4.22
9P7	9.92	10.27	6.82	0.69	17.311	6765.44	8614.03	2.01	1.32	2.65
10P7	10.17	10.11	6.82	0.67	27.594	6935.94	8831.11	3.12	1.33	4.15
11P7	10.18	10.22	6.83	0.67	18.503	6952.94	8852.76	2.09	1.33	2.78
12P7	9.93	10.04	6.83	0.69	16.78	6782.19	8635.35	1.94	1.32	2.57
13P7	9.93	10.07	6.79	0.68	10.05	6742.47	8584.78	1.17	1.32	1.55
14P7	9.95	10.16	6.83	0.69	23.868	6795.85	8652.74	2.76	1.32	3.65
15P7	9.94	10.22	6.81	0.69	31.427	6769.14	8618.74	3.65	1.32	4.82
16P7	9.86	9.86	6.88	0.70	13.472	6783.68	8637.25	1.56	1.32	2.06
17P7	9.99	9.89	6.79	0.68	23.098	6783.21	8636.65	2.67	1.32	3.53
18P7	9.94	10.04	6.83	0.69	11.414	6789.02	8644.05	1.32	1.32	1.75
19P7	10.02	9.99	6.79	0.68	9.102	6803.58	8662.59	1.05	1.32	1.39
20P7	10.03	9.93	6.83	0.68	9.369	6850.49	8722.31	1.07	1.32	1.42
21P7	10.13	9.92	6.98	0.69	33.216	7070.74	9002.75	3.69	1.33	4.92
22P7	9.93	10.09	6.79	0.68	30.729	6742.47	8584.78	3.58	1.32	4.72
23P7	10.05	10.12	6.83	0.68	27.148	6864.15	8739.71	3.11	1.33	4.12
24P7	10.18	10.17	6.82	0.67	26.528	6942.76	8839.80	3.00	1.33	3.99
25P7	10.28	10.21	6.77	0.66	19.974	6959.56	8861.19	2.25	1.33	3.00

26P7	10.06	10.01	6.81	0.68	29.339	6850.86	8722.79	3.36	1.32	4.46
27P7	10.18	9.65	7.11	0.70	7.691	7237.98	9215.68	0.83	1.34	1.12
28P7	10.22	10.11	6.86	0.67	27.497	7010.92	8926.58	3.08	1.33	4.10
29P7	9.88	10.14	6.88	0.70	26.288	6797.44	8654.77	3.04	1.32	4.02
30P7	10.14	9.9	6.92	0.68	22.062	7016.88	8934.17	2.47	1.33	3.29
31P7	9.96	10.13	7.14	0.72	25.9	7111.44	9054.57	2.86	1.34	3.82
32P7	10.08	10.09	6.87	0.68	28.362	6924.96	8817.13	3.22	1.33	4.27
33P7	9.88	10.01	6.78	0.69	26.388	6698.64	8528.97	3.09	1.32	4.08
34P7	9.94	9.91	6.75	0.68	20.442	6709.50	8542.80	2.39	1.32	3.15
35P7	9.98	10.14	6.84	0.69	27.642	6826.32	8691.54	3.18	1.32	4.21
36P7	10.04	9.87	6.79	0.68	10.144	6817.16	8679.88	1.17	1.32	1.55
37P7	10.07	9.89	6.75	0.67	16.827	6797.25	8654.53	1.94	1.32	2.57
38P7	9.96	9.93	6.99	0.70	35.584	6962.04	8864.34	4.01	1.33	5.34
39P7	9.98	9.86	7.03	0.70	18.58	7015.94	8932.97	2.08	1.33	2.77
40P7	10.1	10.05	6.8	0.67	8.59	6868.00	8744.61	0.98	1.33	1.30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6: Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P9

GRUPO P9

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza P	W*D	De ²	Is	F	Is50
	x (cm)	y (cm)	z (cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P9	9.96	10.08	8.83	0.89	28.547	8794.68	11197.73	2.55	1.40	3.57
2P9	10.11	9.9	8.82	0.87	28.157	8917.02	11353.50	2.48	1.41	3.49
3P9	9.89	9.87	8.83	0.89	39.873	8732.87	11119.04	3.59	1.40	5.02
4P9	9.97	9.98	8.86	0.89	26.655	8833.42	11247.06	2.37	1.40	3.32
5P9	9.92	9.94	8.78	0.89	31.192	8709.76	11089.61	2.81	1.40	3.93
6P9	9.74	10.14	8.94	0.92	33.304	8707.56	11086.81	3.00	1.40	4.20
7P9	9.86	9.93	8.88	0.90	31.357	8755.68	11148.08	2.81	1.40	3.94
8P9	9.88	9.91	8.94	0.90	38.749	8832.72	11246.17	3.45	1.40	4.83
9P9	9.91	9.91	8.99	0.91	41.435	8909.09	11343.41	3.65	1.41	5.13
10P9	9.91	9.91	8.87	0.90	30.875	8790.17	11191.99	2.76	1.40	3.87
11P9	9.91	10	9	0.91	26.014	8919.00	11356.02	2.29	1.41	3.22
12P9	9.91	9.91	8.97	0.91	40.223	8889.27	11318.17	3.55	1.40	4.99
13P9	9.86	9.94	8.79	0.89	39.684	8666.94	11035.09	3.60	1.40	5.02
14P9	9.87	10.14	8.83	0.89	33.227	8715.21	11096.55	2.99	1.40	4.19
15P9	10.14	9.61	9.18	0.91	28.52	9308.52	11851.98	2.41	1.42	3.42

16P9	9.88	9.95	8.85	0.90	37.655	8743.80	11132.95	3.38	1.40	4.73
17P9	9.9	9.94	8.71	0.88	34.464	8622.90	10979.02	3.14	1.40	4.38
18P9	10.07	10.09	9.04	0.90	32.634	9103.28	11590.66	2.82	1.41	3.98
19P9	10.08	9.81	8.9	0.88	30.146	8971.20	11422.49	2.64	1.41	3.71
20P9	9.94	9.91	9.16	0.92	28.85	9105.04	11592.90	2.49	1.41	3.51
21P9	9.85	9.94	8.74	0.89	40.498	8608.90	10961.19	3.69	1.39	5.15
22P9	10.08	9.89	9.01	0.89	35.136	9082.08	11563.66	3.04	1.41	4.29
23P9	10.11	10.08	8.78	0.87	16.38	8876.58	11302.01	1.45	1.40	2.04
24P9	9.98	9.92	8.81	0.88	36.161	8792.38	11194.81	3.23	1.40	4.53
25P9	10.08	9.09	8.91	0.88	32.322	8981.28	11435.32	2.83	1.41	3.98
26P9	10.08	9.94	8.89	0.88	34.958	8961.12	11409.65	3.06	1.41	4.31
27P9	10.04	10.17	8.97	0.89	32.525	9005.88	11466.64	2.84	1.41	4.00
28P9	9.78	9.63	9.41	0.96	21.016	9202.98	11717.60	1.79	1.42	2.54
29P9	10.01	9.89	8.88	0.89	32.48	8888.88	11317.67	2.87	1.40	4.03
30P9	9.73	10.18	9.06	0.93	19.385	8815.38	11224.09	1.73	1.40	2.42
31P9	10.22	9.94	8.81	0.86	25.963	9003.82	11464.02	2.26	1.41	3.19
32P9	9.86	9.95	8.83	0.90	37.744	8706.38	11085.31	3.40	1.40	4.76
33P9	9.99	9.83	8.74	0.87	24.137	8731.26	11116.99	2.17	1.40	3.04
34P9	9.88	9.91	8.86	0.90	39.748	8753.68	11145.53	3.57	1.40	4.99

35P9	10.25	9.99	8.84	0.86	28.278	9061.00	11536.82	2.45	1.41	3.46
36P9	9.89	9.92	8.83	0.89	20.061	8732.87	11119.04	1.80	1.40	2.52
37P9	9.84	9.93	8.89	0.90	39.44	8747.76	11137.99	3.54	1.40	4.96
38P9	9.97	10.22	8.88	0.89	32.983	8853.36	11272.45	2.93	1.40	4.11
39P9	9.93	9.89	8.82	0.89	31.179	8758.26	11151.36	2.80	1.40	3.91
40P9	9.97	10.03	8.79	0.88	13.507	8763.63	11158.20	1.21	1.40	1.69

Fuente: Elaboración propia

3.3. Análisis para la propuesta de correlaciones

Para efectos de normalización de la dispersión de datos, se procedió a descartar 10 probetas de cada grupo ya sea por anomalías en el ensayo Franklin o por relaciones D/W lejanas al valor objetivo de cada grupo, permitiendo así graficar la relación D sobre W e Is (50) con la finalidad de observar la posible existencia de tendencias y obtener valores estadísticos como medias y medianas de los resultados; esto se lo puede observar en los gráficos 3.1, 3.2 y 3.3.

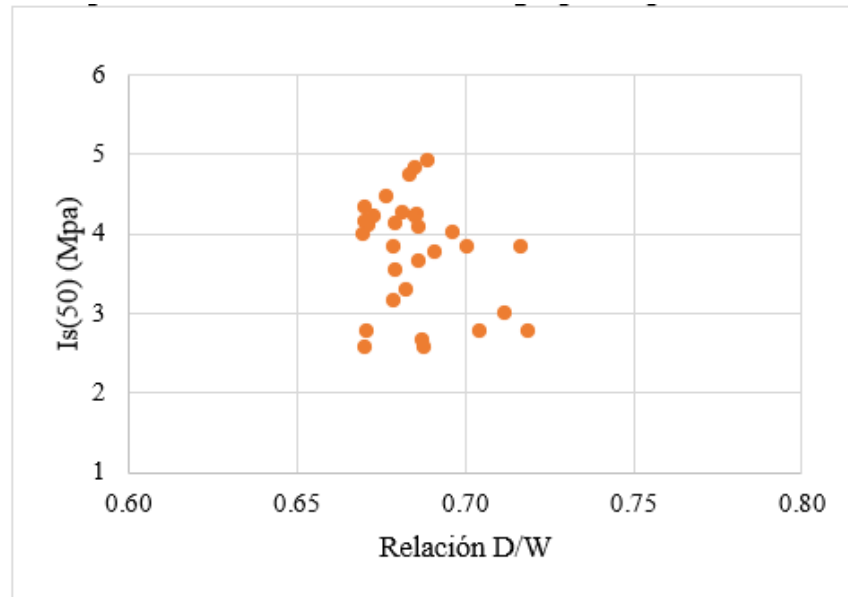


Gráfico 3.2: Dispersión de los resultados del grupo de probetas P7

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.2 observamos los resultados de segundo grupo de muestras, mismo que tiene por lado D un valor de 7 cm. Podemos apreciar que los resultados muestran una dispersión notablemente más baja en comparación a las del grupo P5.

El valor más alto registrado del grupo P7 experimentalmente es de 5.34 perteneciente a la muestra 38P7, el cual fue considerado como un resultado anómalo y de igual manera se decidió excluirlo del gráfico 3.2, y de la misma manera al valor anómalo más bajo que fue de 1.12 MPa correspondiente a la muestra 27P7.

Comparando la muestra 21P7 con un valor de 4.92 MPa, cuyo resultado si se consideró para el gráfico y la muestra 37P7 con un valor de 2.57 MPa, se observa una diferencia de 2.35 MPa. Además, tienen una relación D/W de 0.69 y 0.67 respectivamente, diferenciándose en 0.02 unidades.

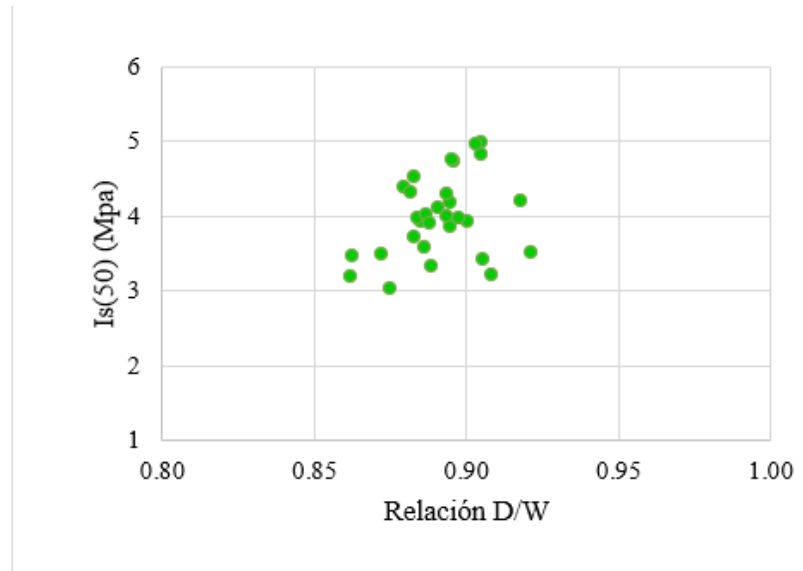


Gráfico 3.3: Dispersión de los resultados del grupo de probetas P9

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.3 observamos los resultados del último grupo de muestras, mismo que tiene por lado D un valor de 9 cm. Podemos apreciar que los resultados muestran una dispersión más baja en los resultados grupales en comparación a las de los grupos P5 y P7.

El valor más alto registrado del grupo P9, experimentalmente, es de 5.15 perteneciente a la muestra 21P9, el cual fue considerado un resultado anómalo y al igual que en los grupos P5 y P7 se decidió excluirlo del gráfico 3.3, y adicionalmente el valor anómalo más bajo que fue de 1.69 MPa de la muestra 40P9 también fue excluido.

En este grupo contamos con dos muestras que han demostrado el valor más alto graficado, ambas muestras, 3P9 y 13P9 tienen un valor de 5.02 MPa y la misma relación D/W de 0.89. Por otra parte, la muestra 33P9 fue la de menor Is50 con un valor de 3.04 MPa, observando una diferencia de 1.98 MPa. La última muestra descrita cuenta con una relación D/W de 0.87, diferenciando en 0.02 unidades al igual que el resto de los grupos.

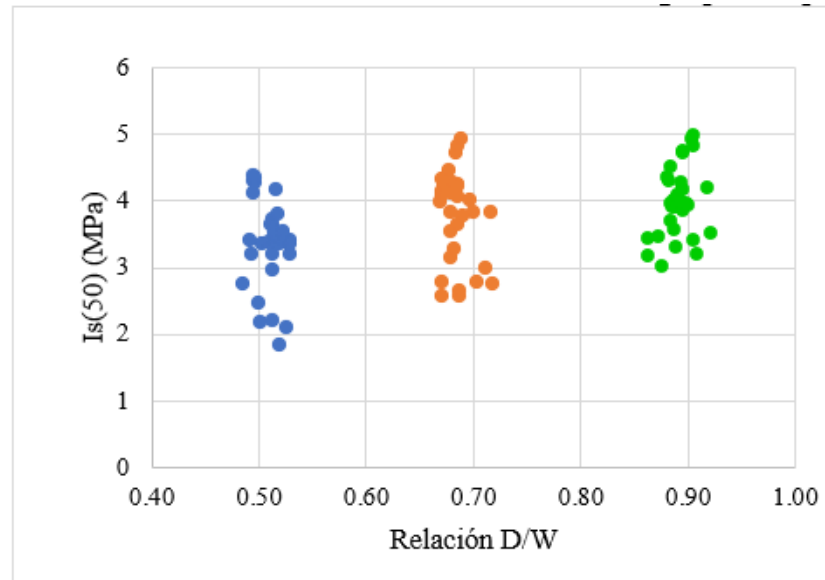


Gráfico 3.4: Comparación de los resultados de los 3 grupos muestrales.

Fuente: Elaboración propia

Al observar las figuras se puede establecer que mientras más cercana a 1 es la relación D sobre W, el rango de dispersión de los valores es menor, además se establecen las medias y medianas de los resultados de Is (50) y se puede ver que su comparación es casi invariable con las muestras del grupo P9 (Tabla 3.7).

Además de lo descrito anteriormente, notamos un comportamiento por parte de las muestras, en el cual, a medida que se incrementa el valor en la relación D/W, la resistencia que presenta es mayor. Si bien, es cierto que los grupos P7 y P9 son muy similares en sus resultados existe cierta cantidad de muestras en el grupo P7 que sobrepasan el valor de 3.00 MPa de forma descendente, mientras que en el grupo P9, los valores del Is50 se mantienen en el rango de 3.00 y 5.00 MPa.

Tabla 3.7: Medias, medianas y desviación estándar de los valores de I_s (50) de los tres grupos de probetas.

	I_s (50) (MPa)		
	Media	Mediana	Desviación Estándar
Grupo P5	3.36	3.40	0.6842
Grupo P7	3.75	3.91	0.6940
Grupo P9	3.99	3.98	0.5406

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se resume los resultados obtenidos de cada grupo muestral. Se realizaron cálculos estadísticos para obtener valores de media aritmética, mediana y desviación estándar de cada grupo de probetas.

De acuerdo con los resultados, los valores de la media aritmética y mediana varían en función al valor de la relación D/W , lo cual caracteriza el comportamiento de cada grupo y su relación con la resistencia que el material presenta.

Se aprecia que el grupo P5 tiene un valor inferior que el grupo P7 y que el P9 también, esto fue porque este grupo fue el que menor valor de relación D/W tuvo. Adicionalmente, se observó en los resultados que fue el grupo con mayor desviación estándar, lo cual explica porque existió una dispersión mayor de los resultados en comparación con los otros dos grupos en estudio.

En cuanto a una comparación entre el grupo P7 y P9, se observó un comportamiento parcialmente similar según los resultados obtenidos, debido a que la media aritmética y mediana, tienen resultados cercanos. Sin embargo, al comparar la desviación estándar, los resultados si difieren en una mayor proporción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Las dimensiones de las probetas de un mismo tipo de material o roca descritas en este trabajo son óptimas para determinar el $I_s (50)$, así como también el proceso el cual se puede generalizar para cualquier tipo de roca de origen plutónico.
- La resistencia a la Compresión Simple o Uniaxial (RCS) del material puede ser determinada de manera rápida, económica y efectiva gracias a la correlación encontrada en este trabajo entre el $I_s (50)$ y la relación D/W .
- Los grupos P7 y P9 demuestran menor dispersión en los gráficos 3.2 y 3.3, respectivamente, comparando con los resultados del primer grupo de muestras P5, esto puede ser sustentado con el valor de desviación estándar que se evidencia en el gráfico 3.4.
- Se concluyó también que tener un extra de 10 muestras por grupo fue una buena decisión para eliminar resultados anómalos que pudieron haber influenciado en los resultados finales.
- El índice de resistencia a la carga puntual $I_s (50)$ que resultó de este trabajo, oscila entre 3.36 MPa hasta 3.99 MPa, lo que nos proporciona valores de RCS aproximadamente entre 50 MPa y 60 MPa.
- Las relaciones analizadas indican que mientras la relación D/W sea cercana a 1, los resultados grupales de $I_s (50)$ se mantienen en un rango más corto, es decir los resultados son más precisos, por lo cual las anomalías son menos frecuentes.
- Se concluye también que el trabajo ejecutado verifica que la relación D/W proporciona valores de $I_s (50)$ que no varían con una gran diferencia que generarían dudas en los valores experimentales.
- A medida que el valor de la relación D/W incrementa, también lo hace la resistencia que presenta la muestra ante la fuerza aplicada, es decir la carga puntual.
- La andesita es una roca competente en cuanto a la resistencia, por lo cual se concluye que es apta para el uso en rellenos en la construcción de vías; también puede utilizarse de manera ornamental dependiendo del tamaño de los fenocristales de hornblenda que usualmente posee.

Recomendaciones

- Se debe aumentar el número de probetas para cada grupo de muestras y de esta forma garantizar el rango de resultados obtenidos para cada grupo.
- Esta propuesta debe ser complementada con la ejecución de probetas que presenten relaciones de D/W de 0.4, 0.6, 0.8 y si es posible relaciones de valores con dos dígitos decimales.
- Se debería variar el tipo de roca, es decir elaborar grupos de probetas con las mismas relaciones D/W que las de este trabajo, pero elaboradas con otro tipo de roca, para de esta forma poder generalizar el ensayo.
- Confirmar los resultados con ensayos de carga uniaxial, para determinar el comportamiento mecánico de las muestras con diferentes dimensiones.
- Sería importante tener mínimo unas 10 muestras extras por grupo al momento de realizar un ensayo igual al de este trabajo, con el objetivo de tener un control en los resultados y evitar anomalías.
- Realizar un estudio similar implementando ensayos de compresión biaxial y triaxial.
- Experimentar estudios con muestras que han estado sumergidas en agua al menos 24 horas y analizar si existe una diferencia en los resultados.
- Complementar el estudio realizando también carga puntual en rocas metamórficas, para verificar qué tanto puede existir variación en dependencia de la génesis de formación de las rocas.
- Utilizar siempre un pie de rey para medir con mayor precisión las dimensiones de los lados de las probetas y que de esta manera exista la posibilidad de realizar cálculos a escala milimétrica.

BIBLIOGRAFÍA

- Feijoo P, I. C. (2020). Corte en rocas y su relación con la resistencia a compresión simple. *Risti*, 59 - 61.
- Feijoo P, R. M. (2019). *Correlación entre la deformación y la resistencia a la compresión en rocas: un diagnóstico de campo*. Revista Universidad, Ciencia y Tecnología, 14.
- Fernández, G. (02 de 07 de 2019). *Mineralogía*. Obtenido de Open Course Ware: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/3084/course/section/2841/tema_13.pdf
- Ferrer M, V. L. (2007). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. Madrid, España.
- Gonzales de Vallejo L, F. M. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Education.
- Gonzales, R. (22 de 03 de 2017). *Geología de México*. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Introduccion-rocas.html>
- Hernández-Gutiérrez, L.E., Santamarta, J.C., Tomás, R., Cano, M., García-Barba, J., Cantero-Mesa, I.E. (2013). *Prácticas de Ingeniería del Terreno. Universidades de Alicante y de La Laguna*. <http://web.ua.es/es/ginter/> o <http://ocw.ull.es/>. License: Creative Commons BY-NC-SA.
- J. D. Fernández-Gutiérrez, H. P.-A.-A. (2017). *Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino*. Bilbao: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Galvan. M (2015). *Mecánica de rocas, correlación entre la carga puntual y la resistencia a la compresión simple*. Madrid: Programa editorial Universidad del Valle.
- Navarrete M, A. E. (2013). *Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura*. ALCONPAT, 133-143. Valencia, España.
- Navas, M. (2013). *Análisis de riesgos y vulnerabilidad de la infraestructura vial del sector guzho en la autopista Cuenca-Azogues desde el Km 0 hasta el 1,4*. Cuenca: Universidad Estatal de Cuenca.
- Orozco, W., Branch, J., & Jiménez, J. (04 de 11 de 2014). *Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través de programación estructurada*. Obtenido de SciELO: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302014000200001

Paredes, C (1 de 06 de 2006) *Construcción de una prensa hidráulica manual para el montaje y desmontaje de rodamientos rígidos de bolas con diámetro interior desde 20mm hasta 30mm*. Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador.

Portillo, G. (14 de 05 de 2016). *Rocas Sedimentarias*. Obtenido de Meteorología en Red: https://www.meteorologiaenred.com/rocassedimentarias.html?utm_source=dlvr.it&utm_medium=facebook

Raith M, R. P. (2012). *Guía para la microscopía de minerales en lámina delgada*. Bonn: M.M. Raith.

Santos, A. (2014). *Resistencia Anisotrópica de las Rocas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Salinas. E (2018). *Análisis de propiedades geotécnicas de algunas rocas comunes en Chile*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Suárez Vargas, C. (2015). *Cómo Usar el Pie de Rey*. VIDEO: <https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/1267>

Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra una introducción a la Geología*. 736. Madrid: Pearson Educación S.A. Obtenido de <http://www.xeologosdelmundu.org/wpcontent/uploads/2016/03/TARBUCKyLUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>

Uniaxial compressive strength and physical properties in sedimentary rocks. (2006). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 223-237.

Verdezoto, P. (2021). *Levantamiento Geológico del Sector Comprendido entre las Latitudes 2° 37' S y 2°50' S, Provincias de Cañar y Azuay, con Especial Enfoque Sobre las Secuencias Miocénicas*. Guayaquil: Escuela Politécnica Nacional.