



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

**Velocidad de Corte en Rocas y su relación con la
Resistencia a la Compresión Simple**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autor:

DIANA CAMILA IÑIGUEZ TORAL

Director:

ERNESTO PATRICIO FEJOO CALLE

CUENCA - ECUADOR

2020

DEDICATORIA

La tesis dedico principalmente a mi ser supremo y creador de lo más bello; la vida. Con ello podemos interactuar, aprender/razonar y decidir frente a las adversidades que se nos presenta, ya de nosotros depende la auto superación, sin la flagelación física y/o psicológica hacia los demás.

A mis padres Alfredo Iñiguez y Diana Toral, por sus valores inculcados y lecciones de vida que fueron muy importantes para mi formación y resultado de la persona que soy ahora. Por su apoyo incondicional en cada decisión que he tomado a lo largo de mi vida, sin olvidar el gran afecto que me han entregado.

A mi familia por haberme dado siempre mucho amor y cariño, por sus consejos al preocuparse de mi bienestar en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a mi tutor de tesis Patricio Feijoo, por haberme apoyado totalmente en el transcurso del desarrollo de mi trabajo de grado. Por su paciencia y dedicación para el entendimiento de mis falencias y desconocimientos.

A mis profesores Leonardo Núñez, Juan Calderón, Diego Suarez, Gil Álvarez, Jaime Quintuña, Fernando Valencia, Federico Auquilla y Patricio Feijoo, agradecerles que durante mi vida en la universidad fueron aportando conocimiento y aprendizaje no solo académico, sino personal.

A mi padre Alfredo Iñiguez que, gracias a su esfuerzo y dedicación fue un pilar fundamental para cursar y concluir mis estudios de tercer nivel, al brindarme apoyo y las herramientas necesarias para superar las dificultades en el camino hasta alcanzar esta meta.

A mi madre Diana Toral, y hermanos Emilia y Martin, les doy las gracias por alentarme a ser mejor cada día, por exaltar mis éxitos, levantarme en mis caídas, y por darme el valor para vencer mis miedos.

Por ultimo agradecer a mis amigas Doménica Astudillo, Elizabeth Brito y Camila Moscoso, que con su afecto hicieron mis días mejores, por sus elogios y consejos que me han convertido en una persona decidida y vital.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Génesis de las rocas de ensayo	3
1.1.1 Génesis del primer grupo de muestra (Cojitambo)	3
1.2. Génesis del segundo grupo de muestra (Pumayunga).....	10
1.3. Propiedades físicas de los minerales.....	13
1.3.1. Propiedades físicas de las rocas	13
1.3.2. Propiedades físicas del mineral.....	15
1.4. Propiedades mecánicas de las rocas.....	16
1.5. Descripción de la máquina cortadora.....	17
CAPÍTULO II: EXPERIMENTACIÓN	20
2.1 Número de probetas y preparación	20
2.2. Pre medición antes del proceso de corte	20
2.3. Proceso de corte de la roca	22
2.3.1. Primer corte de la probeta.....	25
2.3.2. Segundo corte de la probeta.....	27

2.4.	Prueba y determinación de la resistencia a la compresión simple	29
2.5.	Nueva variable de velocidad de corte	31
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS		34
3.1	Análisis de resultados de la velocidad de corte.....	34
3.2.	Análisis de resultados de resistencia a la compresión simple	35
3.3.	Interpretación y análisis de resultados	37
3.4.	Propuesta de relación.....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		42
BIBLIOGRAFÍA		45
ANEXOS		48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Serie de cristalización de Bowen	5
Figura 1.2 Ambientes de formación y sus respectivas texturas.....	8
Figura 1.3 Andesita en lámina delgada, indica que los minerales dominantes son la plagioclasa y las hornblendas	9
Figura 1.4 Clasificación de las rocas metamórficas	12
Figura 1.5 Dureza de diez minerales	15
Figura 1.6 Intensidad al ser rayado un mineral	16
Figura 1.7 Máquina cortadora eléctrica.....	198
Figura 1.8 Descripción de cada unidad	19
Figura 2.1 Geometría de las probetas	20
Figura 2.2 Máquina cortadora marca COVINGTON.....	22
Figura 2.3 Vista frontal de la maquina cortadora	23
Figura 2.4 Vista lateral de la maquina cortadora.....	23
Figura 2.5 Colocación y ajuste de la probeta en el equipo	24
Figura 2.6 Cierre de la compuerta y encendido del equipo	24
Figura 2.7 Corte del material rocoso	25
Figura 2.8 Probeta.....	26
Figura 2.9 Probeta en pinzas.....	26
Figura 2.10 Inicio del primer corte.....	26
Figura 2.11 Probeta en proceso de cortado.....	27
Figura 2.12 Resultado final del corte.....	27
Figura 2.13 Probeta para el segundo corte	28
Figura 2.14 Colocación de la probeta de tal manera que la línea quede en frente del disco.....	28
Figura 2.15 Proceso del segundo corte de la probeta	29

Figura 2.16 Demostración del resultado obtenido de los dos cortes	29
Figura 2.17 Probeta en el equipo	30
Figura 2.18 Panel de lectura de la fuerza a la que se le aplica a la probeta.....	30
Figura 2.19 Fractura de la probeta.....	31
Figura 2.20 Distribución de puntos para comparar los dos conjuntos de valores y demostrar la relación entre ellos	38
Figura 2.21 Relación entre los datos de la RCS – Velocidad de Corte y su respectiva línea de tendencia (exponencial).....	38
Figura 2.22 Distribución de puntos para comparar los dos conjuntos de valores y demostrar la relación entre ellos	39
Figura 2.23 Relación entre los datos de la RCS – Velocidad de Corte y su respectiva línea de tendencia (exponencial).....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Dimensionamiento de las muestras del Cojitambo	21
Tabla 2.2 Dimensionamiento de las muestras del Pumayunga	21
Tabla 2.3 Datos de las dimensiones de los lados y del tiempo de corte de las probetas del Cojitambo	32
Tabla 2.4 Datos de las dimensiones de los lados y del tiempo de corte de las probetas del Pumayunga	32
Tabla 3.1 Velocidad de corte uno y dos de las probetas del Cojitambo, con sus respectivas velocidades medias	34
Tabla 3.2 Velocidad de corte uno y dos de las probetas del Pumayunga, con sus respectivas velocidades medias	35
Tabla 3.3 Dimensiones del área de contacto, fuerza de ruptura y cálculo de la resistencia; del Cojitambo	36
Tabla 3.4 Dimensiones del área de contacto, fuerza de ruptura y cálculo de la resistencia; del Pumayunga	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Probeta del sector Cojitambo	48
Anexo 2 Probeta del sector Pumayunga	48

VELOCIDAD DE CORTE EN ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

RESUMEN

El presente trabajo evaluó una correlación entre la velocidad de corte sobre rocas y la resistencia a la compresión simple o uniaxial, como alternativa para la valoración de esta última propiedad en el campo. Se prepararon quince probetas elaboradas de una roca tomada del sector Cojitambo y otras quince muestras de roca tomadas del sector Pumayunga. Las dimensiones de las probetas elaboradas fueron de 120 mm de longitud, 100 mm de ancho y 50 mm de espesor, con la diferencia de que las muestras de Pumayunga tuvieron 40 mm de espesor. En una primera fase se realizaron cortes sobre las probetas, estos ensayos se efectuaron con una cortadora eléctrica, en donde se les aplicó dos cortes, uno vertical y otro horizontal. Como resultado se obtuvieron velocidades de corte, con las que se proyectó una correlación, a través de la resistencia a la compresión simple de cada roca. La resistencia a la compresión uniaxial se obtuvo de las mismas probetas, las cuales se enviaron al laboratorio para aplicar una fuerza de compresión. Finalmente se encontró una ecuación por la cual se adquiere la resistencia a la compresión gracias al valor de la velocidad de corte. Esta ecuación es una buena alternativa para obras mineras y civiles, si su coeficiente de determinación se encuentra entre los valores de 0,5 a 1.

Palabras clave: corte, resistencia a la compresión simple, velocidad de corte.

Ernesto Patricio Feijoo Calle

Director del Trabajo de Titulación

Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela

Diana Camila Iñiguez Toral

Autora

ROCK CUTTING SPEED AND THEIR RELATIONSHIP TO UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

ABSTRACT

The present work evaluated the correlation between cutting speed on rocks and the resistance to simple or uniaxial compression, as an alternative to evaluate this last property in the field. Fifteen specimens were prepared and developed a rock taken from Cojitambo and other fifteen rock samples were taken from Pumayunga. The dimensions of the samples were 120 mm in length, 100 mm in wide and 50 mm in thickness, with the difference that the Pumayunga samples had 40 mm thick. In a first phase, cuts were made on the specimens. These tests were carried out with an electric cutter, where two cuts were applied, one vertical and the other horizontal. As a result, cutting speeds were obtained, with which a correlation was projected, through the simple compressive strength of each rock. The uniaxial compressive strength was obtained from the same specimens, which were sent to the laboratory to apply a compression force. Finally, an equation was found by which the compression resistance is acquired through to the value of the cutting speed. This equation is a good alternative for mining and civil works, if its determination coefficient is between the values of 0.5 to 1.

Key words: cutting, cutting speed, simple compression resistance.

Ernesto Patricio Feijoo Calle

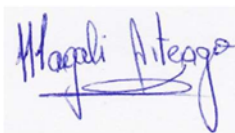
Thesis Director

Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator

Diana Camila Iñiguez Toral

Author



Translated by



Camila Iñiguez

Diana Camila Iñiguez Toral

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Fejoo Calle

Junio, 2020

VELOCIDAD DE CORTE EN ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

INTRODUCCIÓN

En minería, tanto a cielo abierto como en subterráneo, es importante determinar las características del material rocoso presente en la zona, sobre la cual se van a desarrollar las actividades mineras y por consiguiente establecer los parámetros adecuados para la ejecución de taludes o túneles. En lo referente a la estabilidad de los macizos rocosos, un índice o dato fundamental, es la determinación de la resistencia a la compresión del material rocoso. Para ello, lo común es el envío de muestras al laboratorio, ya que generalmente no se cuenta en mina con los equipos necesarios. Sin embargo, en un proyecto minero es factible la adquisición de una cortadora para material rocoso.

La presente investigación, se la desarrolló con la finalidad de disminuir gastos en los proyectos mineros, causados por el alto costo de los ensayos para la determinación de la resistencia a la compresión simple o uniaxial. También para evitar pérdidas de tiempo entre el envío de las muestras de material rocoso hasta recibir los resultados.

Se introduce una nueva variable denominada “Velocidad de Corte”, como alternativa para calcular la resistencia a la compresión simple de las rocas. Esto se pudo ejecutar, mediante el sometimiento de muestras a pruebas de corte, la cual fue ejecutada mediante una cortadora eléctrica de piso, y con el análisis de los tiempos obtenidos, se correlacionó con los respectivos valores de resistencia a la compresión simple de cada probeta preparada para el efecto. Esta propuesta podría ser una alternativa eficaz frente a las necesidades del trabajo minero, utilizando solamente la máquina cortadora.

Como se conoce, las probetas de roca obtenidas para la ejecución de ensayos, no mantienen sus propiedades en las diferentes direcciones, es decir son anisótropas y heterogéneas. Por lo que es necesario realizar varias pruebas o ensayos para establecer una relación que cumpla con el objetivo propuesto.

El trabajo inició con la obtención de muestras de roca de dos sectores designados para el estudio, Cojitambo y Pumayunga, y posteriormente la preparación de las probetas. En otra etapa, dichas probetas se sometieron a los ensayos. Primero el de corte, para el cual se ejecutaron dos cortes en diferentes direcciones. Finalmente se ejecutaron los ensayos de resistencia a la compresión simple, en una máquina apropiada para el ensayo.

Ejecutadas las labores en laboratorio, se procede al análisis de los datos, iniciando con la determinación de las velocidades de corte, para luego encontrar una correlación con la resistencia a la compresión simple, la cual presento resultados interesantes siendo una propuesta que cumple con la finalidad de este trabajo, la cual fue determinar la viabilidad del uso de equipos de corte, para la obtención de velocidades y su relación con la resistencia a la compresión simple en rocas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Génesis de las rocas de ensayo

1.1.1 Génesis del primer grupo de muestra (Cojitambo)

Cojitambo es una de las montañas más pequeñas del Ecuador. Este cerro queda cerca de Azogues y se encuentra formado por un macizo de andesita anfibólica.

Cerca de esta zona se observa la sobreposición de formación volcánica sobre arenisca, como es el ejemplo en el valle del río Paute con las areniscas de Azogues. Este también es el caso del cerro Cojitambo que se compone de una andesita muy peculiar, el cual se levanta aislado de la arenisca cretácea con poca alteración en el rumbo de sus capas (Wolf, 1892).

Lo mismo sucedió en los alrededores del Cojitambo, en donde las pruebas de un antiguo hundimiento secular en todo el lado sureste son indisputables. El cerro mismo es una roca volcánica que se levanta en medio de la arenisca de Azogues. Cuando se hundieron las capas de la formación sedimentaria a su lado, perdió su apoyo y se desgajó una gran parte de su cumbre, de manera que ahora se presenta como una muralla tajada de este lado. Los pedazos de andesita se acumularon en su mayor parte al pie del cerro y algunos rodaron sobre las faldas del terreno adyacente, encontrándose ahora esparcidos por los campos y hasta el pueblo de Chuquipata. (Wolf, 1892, p. 248-249).

La Andesita Anfibólica del Cojitambo presenta una variedad típica y apolínea en su masa microcristalina color gris claro, perfectamente se distingue los cristales de anfíbola, mica negra y fragmentos bastantes grandes de plagioclasa blanca (andesita). Se realizó la prueba con la aguja metálica para comprobar la presencia de la magnetita, la cual resultó afirmativo (Wolf, 1892).

En opinión de Bedoya (1961), la andesita de color grisácea extraída de los cortes ocasionados por los peñascos, es transportada para pavimentar las calles de Azogues y Cuenca, para la construcción de edificios y construcción de la fachada de la Iglesia parroquial. También declara que regiones como Biblián y Azogues son ricas en minerales tales como mármoles, tobas calcáreas, carbón de piedra, mercurio y arenas auríferas.

Actualmente existen empresas mineras que se aprovechan de estas riquezas.

Rocas Ígneas

El origen de este tipo de roca inicia desde el enfriamiento y consolidación del magma, este proceso se puede dar dentro o fuera de la corteza terrestre. El magma es una materia rocosa, móvil, caliente, formada totalmente o una gran parte, de una fase líquida compuesta por una fundición de silicatos. También puede constituirse por una fase gaseosa o completamente contener fases cristalinas sólidas.

El intercambio de iones entre minerales y fases fluidas migrantes causan el cambio de composición química que tenga el mineral y textura de la misma, y se verifica esta modificación en la variación de temperatura y presión (Williams et al., 1983).

La cristalización de las rocas ígneas cambia con respecto a la temperatura de cada tipo de magma; magmas riolíticos 1000°C, andesíticos 1150°C y basálticos 1250°C.

Las rocas ígneas se componen mineralógicamente alrededor del 59% de feldespato, 12% de cuarzo, 17% de piroxenos y anfíboles, 4% de micas y el 8% de otros minerales. Y estas rocas ocupan un volumen del 95% en la corteza terrestre, siendo el 5% restante las rocas sedimentarias que son más visibles por afloramientos (Duque, 2017).

Aspectos fundamentales

Serie de Bowen

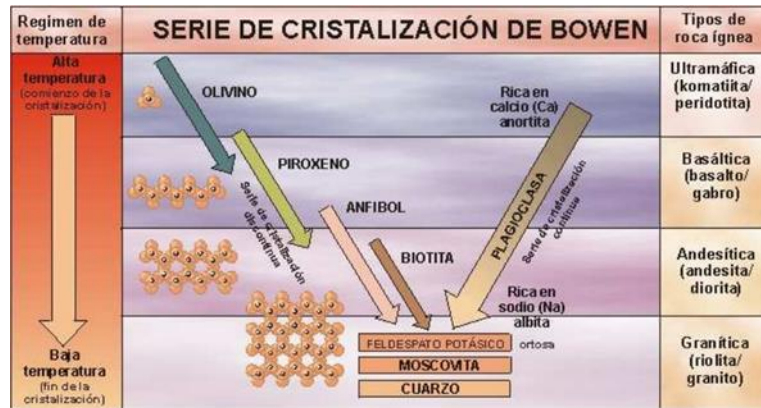


Figura 1.1 Serie de cristalización de Bowen

Fuente: (Magister, 2012)

El magma asciende y se va enfriando, por ello las condiciones de estado de sus componentes y la formación de cristales de sus minerales serán distintos por el cambio de temperatura y presión a la que estos estén influenciados. Con esto se dice que los minerales que están compuesto el magma, no se cristalizan todos a la vez, sino uno tras otro, por la variación de los factores que alteran ante la formación de rocas ígneas. Esta serie de formaciones se denomina Serie de Bowen en estimación al científico estadounidense, quien formuló este concepto (Magister, 2012).

La serie de Bowen detalla la jerarquía de los silicatos en un magma en el momento que este se va enfriando, formando un proceso que se divide en dos líneas independientes, llamadas serie continua y serie discontinua. Bowen declara que los primeros minerales formados en el enfriamiento del magma son los ferromagnesianos y plagioclasas, y el último en consolidarse es el cuarzo. Con la formación de tetraedros individuales emerge el olivino, luego aparece la augita con la formación de cadenas tetraédricas, después por la formación de cadenas simples y dobles, la hornblenda y por la junta de láminas de cadenas dobles se crea la biotita. A continuación, las plagioclasas se transforman en la serie continua por la sustitución de los iones de calcio por iones de sodio, dando como resultados minerales desde la anortita hasta

la albita. Subsiguientemente se formarán el feldespatos potásico, la moscovita, y finalmente el cuarzo y las soluciones acuosas, a menores temperaturas. Bowen asegura que los primeros minerales formados son los que inicialmente se meteorizan y los posteriores en cristalizar son las más resistentes al intemperismo (Duque, 2017).

Serie de reacción continua formada por plagioclasas, llamados minerales leucocratos. El orden en el que van cristalizando los minerales en el magma es Plagioclasas cálcicas – Plagioclasas sódicas – Ortosa – Moscovita – Cuarzo.

Serie de reacción discontinua formado por minerales ferromagnesianos o melanocratos y el orden en el que se forman es el siguiente, Olivino – Piroxeno – Anfíboles – Biotita (Magister, 2012).

Si un magma es rico en sílice (magma hipersilícico), habrá normalmente mucha sílice libre en el fluido magmático, es decir, sílice que aún no ha cristalizado y esta reaccionará con los minerales que se hayan formado en cada intervalo de presión y temperatura y los irá consumiendo, transformándolos en el siguiente mineral de la serie de Bowen, por lo que al enfriarse completamente el magma solo coexistirá minerales de la parte baja de la serie: el cuarzo, la ortosa y las micas. Estos magmas hipersilícicos son viscosos, por lo que ascienden lentamente a través de la corteza y cristalizan dando lugar a los granitos y rocas afines. Si hay poca sílice libre, las series de Bowen evolucionan muy poco y se forman minerales estables a alta temperatura. Son magmas muy fluidos que atraviesan rápidamente la corteza y originan normalmente rocas volcánicas como el basalto, asociados a un enfriamiento rápido, sin posibilidad de completar las series de reacción. Si existe una moderada proporción de sílice en el magma las series de Bowen se desarrollan hasta los pasos intermedios y se forman magmas de composición intermedia entre los extremos basáltico y granítico. Durante las últimas fases magmáticas tiene lugar con frecuencia una concentración de la mezcla fundida rica en sílice, álcalis, constituyentes volátiles y agua principalmente, en estas soluciones fundidas cristaliza una gran variedad de minerales que se depositan en forma de diques o lentejones y que son llamadas pegmatitas, estas son de grano grueso o muy grueso y tienen por lo general color claro.

La formación de los cristales excepcionalmente grandes de las pegmatitas se debe a la fluidez de la mezcla fundida. Los principales constituyentes de las pegmatitas son el cuarzo, ortosa, microclina y albita. (Magister, 2012, p. 8 – 10)

Textura

Según Duque (2017), la textura de la roca ígnea está en función de la profundidad a la cual se cristaliza y su velocidad de enfriamiento. Afirma que las rocas más resistentes son las que contienen minerales de tamaño heterogéneo comparando con minerales de tamaño homogéneo. Asimismo, las rocas de textura granular son más duras que aquellas de textura laminar; contenido de micas, y fibroso alineado; contenido de anfíboles. Se denomina holocristalina a la textura granular por estar constituida por cristales, puede determinarse equigranular si todos los cristales presentan el mismo tamaño; varía de 2 – 10 mm.

Los minerales de la roca plutónica son resistentes y entabados, en cambio en la roca volcánica por la presencia de poros, disminuye su resistencia y rigidez, pero gana plasticidad.

Las ventajas características de las rocas plutónicas son: alta resistencia, rigidez, isotropía, fragilidad, densidad y textura entabada, mientras las desventajas de estas rocas son el diaclasamiento y la alterabilidad de sus minerales.

Algunas rocas filonianas presentan textura holocristalina, esto no quiere decir que son equigranulares puesto a que se forman en dos distintas etapas; una parte de sus minerales ascienden ya formados, con minerales de gran tamaño (fenocristales), mientras que la otra parte del magma cristaliza más tarde y de manera rápida, formando cristales pequeños (textura porfídica).

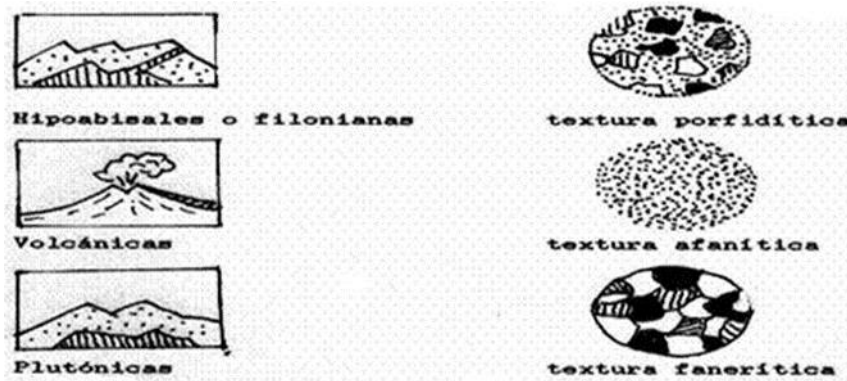


Figura 1.2 Ambientes de formación y sus respectivas texturas

Fuente: (Duque, 2017)

A la izquierda se muestra los ambientes de formación y a la derecha sus respectivas texturas de la roca

Andesita

Es una plagioclasa dominante, ya que es un grupo muy abundante luego del basalto. Está compuesto por constituyentes félsicos y máficos, donde sus cinco octavas partes pertenecen al primer constituyente anteriormente dicho y el sobrante al componente máfico. La sustancia que predomina en la composición de la andesita es el feldespato plagioclasa, también con ocurrencia y en cantidades inferiores aparece el feldespato alcalino, y el cuarzo. Aunque, no es usualmente visible, está presente en las partes criptocristalinas o vítreas de la roca. Se concluye que la andesita es una roca sobresaturada que puede contener hasta un 10% de sílice. Con la presencia de feldespato y minerales ferromagnesianos, las andesitas usualmente son porfídicas (Tyrrell, 1984).

Estas rocas son características de los volcanes que florecen próximo o anexo a las grandes cadenas de montañas plegadas de la tierra. Su nombre indica la ocurrencia en los Andes, pero las andesitas de este lugar son las menos conocidas del grupo. Los volcanes recientes y actuales que componen el Pacífico, producen andesitas por medio de erupciones, las cuales varían en el contenido de hiperstena (Tyrrell, 1984).

La andesita tiene un color característico; grisáceo, marrón o violáceo, y están compuestas de plagioclasa, biotita, hornblenda y piroxeno. Su estructura comprende una composición de cristales microscópicos y de cristales relativamente grandes, teniendo así, una textura porfídica con poco vidrio. En varios casos presentan textura vacuolar y estas vacuolas comúnmente contienen sílice en forma de tridimita o cristobalita.

Esta roca tiene una alta porosidad, pero estos poros no tienen comunicación entre sí, por ello su coeficiente de saturación es bajo. Por otro lado, contiene un alto coeficiente de resistencia a las heladas. Sin embargo, son muy endebles a la cristalización de sales, por esto no es aconsejable usarlas para proteger paredes, ya que la humedad del suelo beneficia el paso de soluciones salinas, dando como resultado el despostillamiento del revestimiento de la pared (Riart, 1991).

Segundo la mineralogía de la andesita, “se compone de anfíboles (alrededor del 20%), plagioclasas (un 30% aproximadamente) y piroxenos (en promedio un 7%). Con respecto a los anfíboles es la hornblenda la que principalmente compone a la roca” (Maldonado, 2018).

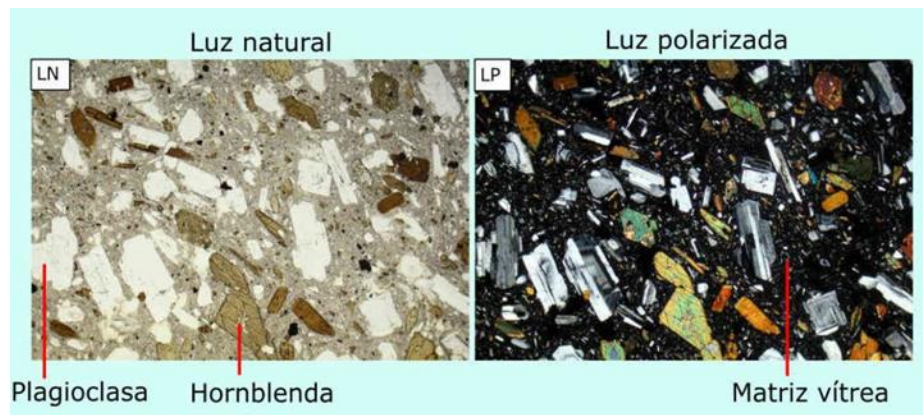


Figura 1.3 Andesita en lámina delgada, indica que los minerales dominantes son la plagioclasa y las hornblendas

Fuente: (Maldonado, 2018)

Anfíboles

Este grupo se compone de silicatos y aluminosilicatos de magnesio, hierro, sodio y calcio. Se caracteriza por tener color oscuro; verde o negro, dureza 5 a 6, brillo vítreo, clivaje bueno. Se encuentra varias mezclas isomórficas (minerales con igual forma cristalina y diferente composición química) entre los minerales de este grupo (Iriando, 2009).

Utilización de las rocas andesíticas

De esta roca andesítica por medio de la trituración y tratamiento del material, resulta productos de ripio y arena que son complementos del concreto, y también sirven para relleno de lastre en carreteras. Si el depósito tiene textura porfídica (cristales mayores a 5mm), este puede ser explotado y utilizado como roca ornamental para la fabricación de baldosas, por otro lado, emplearlos en la elaboración de esculturas y monumentos (Maldonado, 2018).

1.2. Génesis del segundo grupo de muestra (Pumayunga)

Está ubicado al norte del cantón Cuenca en el sector de Sinincay, está constituido por la formación Santa Rosa en la cual sobreyacen dos formaciones; Tarqui y Turi.

La formación Santa Rosa contiene arcillas rojas con lentes de granos gruesos de areniscas grises, estas areniscas presentan un contenido de cuarzo, montmorillonita, y en menor cantidad de caolín y plagioclasas. Las formaciones que están sobre esta son:

- **Turi;** la cual se compone de conglomerados formando pendientes que se encuentran por debajo de capas guijarrosas, arenosas y limosas. Estos conglomerados presentan una diferencia de tamaños en sus cantos, con respecto al buzamiento en la que se encuentra. Por otro lado, son de origen volcánico, donde presentan fenocristales de hornblenda y feldespatos.
- **Tarqui;** formada por capas, una constituida por andesita de grano fino oscuro, otra por dacita y violita que se encuentra por encima de la capa andesítica (Pinos, 1999).

Rocas metamórficas

Se originan de procesos geológicos que ocasionan aumento de temperatura y presión, a rocas ya existentes. Estos fenómenos ocasionan una alteración en sus minerales y composición química de manera que la roca preexistente se transforma en una roca nueva del tipo metamórfica. Estos cambios metamórficos no se realizan en estado de fundición, sino en un estado sólido. El fenómeno de foliación hace que algunas constituyan una laminación en su roca causada por el aplastamiento general de sus minerales, haciendo que estos aparezcan de forma plana.

- Pizarras, originadas por el descenso de temperatura y cambios en la presión por enterramiento, en las arcillas. Contiene una estructura foliada muy recta, paralela y muy fina, denominada pizarrosidad. Comúnmente son de un color oscuro y con frecuencia presentan fósiles en su estructura. Utilizadas en la construcción de viviendas.
- Esquistos, originados por un metamorfismo más intenso. Constituidos por una estructura foliada deformada, denominada esquistosidad. Si la roca preexistente contiene fósiles, después de la alteración, estos desaparecen.
- Gneis, originados por un metamorfismo muy intenso. Este grupo conforma minerales como el cuarzo, feldespatos y micas, que son sus principales.
- Cuarcita, procedente de la arenisca que ha sufrido los procesos metamórficos. Utilizada como árido en la construcción y decoración.
- Mármol, procedente de la caliza y la dolomita que han sido afectadas por el incremento de temperatura y presión. Se caracteriza por su propiedad de resistencia; por ello es utilizado para la construcción, y también es apreciada ya que al pulirla presenta características cromáticas y decorativas (Instituto de Geociencias (CSIC-UCM)).

Con esquistosidad (láminas)			Sin esquistosidad	
PIZARRA	ESQUISTO	GNEIS	MÁRMOL	CUARCITA
<ul style="list-style-type: none"> • Roca oscura • Sin brillo o brillo mate • A veces puede contener fósiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Roca brillante • A veces se pueden reconocer micas 	<ul style="list-style-type: none"> • Esquistosidad menos definidas que las anteriores • Alternancia de bandas claras y oscuras 	<ul style="list-style-type: none"> • Roca masiva sin estructura definida • Color blanco • Produce reacción con ácido clorhídrico • No raya el vidrio 	<ul style="list-style-type: none"> • Roca masiva sin estructura definida • Color blanco • No produce reacción con ácido clorhídrico • Raya el vidrio

Figura 1.4 Clasificación de las rocas metamórficas

Fuente: (Instituto de Geociencias (CSIC-UCM)).

Debido a las diferentes condiciones ambientales y particularidades geológicas, existen características que ayudan a identificar cada tipo de roca metamórfica.

Travertino

Esta roca en formada principalmente por la precipitación de carbonato de calcio. Sus características fundamentales es la baja presencia de poros, el gran tamaño de cristales que regularmente padecen y el escaso contenido de restos fósiles y microorganismos. Al momento de consolidarse, estos depósitos tienen aspectos dentítricos y de plaquetas (Rodríguez, 2018).

El travertino es de origen calcáreo que tiene su formación alrededor de manantiales y géiseres, se produce por la precipitación de carbonato de calcio en aguas sulfurosas templadas siendo originado por un aumento en la temperatura, disminución de presión, evaporación o por la combinación de estos factores. (Flores, 2018, p. 2)

Formada en aguas de manantial ubicadas en áreas volcánicas, estas piedras fueron explotadas en modo de canteras, para su posterior utilización en la construcción de teatros y coliseos; desarrollados por los romanos y griegos. Las temperaturas de las aguas en las que fueron formados algunos ejemplos de travertinos varían entre los 95 ° C a los 23 ° C (Rodríguez, 2018).

El travertino puede formarse de diferentes procesos exógenos de la corteza terrestre, siendo los más comunes las de rocas carbonatadas y volcánicas. Esta roca suele tener un aporte de CO₂ aproximadamente, originado de la profundidad. La composición mineralógica

dominante de estos son: Calcítica y aragónica-calcítica, la primera proviene de lugares alejados del manantial de agua, mientras que la segunda se origina cerca de este sitio (Rodríguez, 2018).

Utilización del travertino

Los depósitos de este tipo de roca tienen un gran potencial en el tema comercial ya que se producen con fines decorativos (por su atractivo estético), para la construcción y revestimiento de infraestructuras (por sus buenas condiciones de resistencia a la compresión). Aparte no solo se los encuentra interesante como roca ornamental, sino que esta tiene la capacidad de preservar fósiles que son de gran importancia para especialistas en paleontología y arqueología.

Por otro lado, contiene óptima información importante sobre la hidrología, tectónica/evolución estructural, erosión, vegetación y microorganismos presentes. Esto produce un gran aporte para la obtención de información paleoambiental, gracias al progreso en su conocimiento, identificación y óptimos parámetros ambientales (Rodríguez, 2018).

1.3. Propiedades físicas de los minerales

1.3.1. Propiedades físicas de las rocas

Las rocas presentan varias propiedades físicas que se interpretan por medio de factores que valoran ciertos aspectos o comportamientos. Estos aspectos y comportamientos son características petrográficas de los minerales que conforman la roca, tales son: el tamaño del grano, su morfología, la cantidad de poros existentes en la roca, la forma de estos poros y el tipo de mineral formado dentro de estos. Estas particularidades varían dependiendo del tipo de roca y de la manera en la que fueron formadas.

La importancia de determinar las propiedades físicas de las rocas, viene dada al desarrollar obras civiles y mineras, las cuales deberán generar un buen sostenimiento ingenieril (los materiales deben ofrecer cierta resistencia mecánica y soportar esfuerzos generados en una obra). Como un ejemplo de importancia, para identificar la geología de cierta zona se hacen

análisis geofísicos, lo cuales permiten conocer propiedades físicas, como la densidad, magnetismo, la velocidad de ondas elásticas y la resistencia eléctrica que presenta el subsuelo. Con estos datos se hace una clasificación de suelos con sus respectivas características y comportamientos, siendo un aporte para las Ciencias Geológicas.

Estas propiedades son determinadas por medio de ensayos, en donde su procesamiento resulta con valores reales y apropiados para su análisis. Existen normas en las cuales plantea el uso adecuado de determinados tipos de rocas, dependientes de sus cualidades y comportamientos. Por ello antes de realizar alguna obra civil o minera se deben hacer pruebas o ensayos (materiales de roca sometidos a condiciones para analizar el impacto que sobre ellas se produce) para obtener datos y poder clasificar la roca (Benavente, 2004).

- **Durabilidad**

Se define como la capacidad de la roca al resistir cambios, conservando sus cualidades estéticas y propiedades mecánicas. Existen circunstancias las cuales influyen la propiedad de durabilidad en la roca, estos factores son: las características del material; su textura, porosidad, estructura mineral, etc., y las condiciones a las que está expuesto el material; temperatura, humedad, presencia de contaminantes, etc. (Benavente, 2004).

- **Anisotropía**

Según en el artículo Corte en rocas y su relación con la resistencia a compresión simple, las rocas o las probetas obtenidas para la ejecución de ensayos no mantienen las propiedades en las diferentes direcciones, en consecuencia, se introduce y argumenta estos conceptos. La isotropía se puede aplicar de forma simplificada como la propiedad de un medio para responder de forma igual independiente de la dirección que se aplique la fuerza. Las rocas no suelen poseer esta característica, ya que la presencia de defectos o su composición condicionan/alteran el comportamiento de la roca matriz y del macizo rocoso. Los materiales anisótropos son aquellos cuyas propiedades varían en función de la dirección utilizada para su medida. Aunque el carácter anisótropo de las rocas que poseen esta característica se manifiesta en todas sus propiedades, las de mayor importancia en mecánica de rocas son la resistencia y deformación. (Feijoo, 2020, p. 2)

1.3.2. Propiedades físicas del mineral

Las propiedades físicas de los minerales son fundamentales para su identificación. Todas las características de los minerales dependen de su composición química y estructura, en la que ejercen una gran influencia las contaminaciones, mezclas y defectos estructurales que posea cada ejemplar en concreto. Las propiedades físicas de los minerales son fundamentales para su identificación. Algunas de las más importantes pueden determinarse mediante simple inspección ocular o mediante ensayos muy sencillos (cide@d, 2011, p.4).

- Dureza del mineral

La dureza es una propiedad física de la roca, la cual está ligada a la resistencia de la superficie de un mineral a ser rayado. La resistencia del mismo depende de las fuerzas con la que esta enlazado, es decir de su estructura mineral. Para representar la medida de la dureza se emplea la escala de Mohs, en la que se ha tomado como referencia 10 minerales con sus respectivas durezas (cide@d, 2011).



Figura 1.5 Dureza de diez minerales

Fuente: (cide@d, 2011).

Es usual que en el campo o en un laboratorio, realizar la prueba del rayado para determinar la dureza de mineral.

DUREZA			
Baja el mineral se raya con la uña (menor de 2,5)	Media se raya con el vidrio (2,5 y 5,5)	Alta no se raya con un vidrio (mayor de 5,5)	Muy alta se raya con un trozo de cuarzo (mayor que 7)

Figura 1.6 Intensidad al ser rayado un mineral

Fuente: (cide@d, 2011).

1.4. Propiedades mecánicas de las rocas

Para determinar la resistencia que tiene una roca se debe hacer un estudio de estabilidad mecánica de la misma. Dependiendo de las propiedades petrológicas y petrográficas de las rocas, varía el comportamiento de las mismas frente a tensiones o esfuerzos que se les aplique, produciendo deformaciones y roturas en sus cuerpos. La resistencia mecánica es muy importante para determinar la capacidad de durabilidad de las rocas ornamentales y la resistencia que esta hace frente a la acción de los agentes deteriorantes (Benavente).

Resistencia a la compresión simple

Según Benavente, este ensayo es uno de los más importantes para caracterizar las rocas ornamentales, donde la ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) registra sus comportamientos para identificar en que trabajos pueden ser utilizados. Este ensayo permite encontrar la resistencia a la compresión simple o también se llama resistencia uniaxial y las constantes elásticas estáticas (Modulo de Young y Módulo de Poisson). Este ensayo se realiza para la clasificación de las rocas dependiendo de su resistencia, para encontrar su deformabilidad. Para que exista una rotura en la roca debido a la compresión, debe existir una mayor densidad de fisuras en su cuerpo. Hay dos fenómenos que ocurren para dar paso a la rotura de la roca, estas son:

- Fragmentación: aparece cuando el centro de las fisuras es homogéneo y cuando no hay interacción entre estas. Sucede en rocas muy porosas, que tienen concentración de tensiones en su cuerpo, y en otras circunstancias donde la roca fue expuesta a una explosión.
- Fractura: circunstancia usual de las rocas por su anisotropía, generada por la

concentración específica de las fisuras microscópicas que se juntan, formando una fisura macroscópica al momento de aplicar la fuerza uniaxial.

Este comportamiento mecánico de la roca es irreversible, siendo considerado para la clasificación del uso de las rocas ornamentales. Las constantes elásticas estáticas se determinan a través de curvas de tensión-deformación, por medio de tres métodos:

- Módulo medio de Young
- Módulo tangente de Young
- Módulo secante de Young

El resultado que se obtenga del ensayo a la resistencia dependerá de factores internos y externos, entre estos están:

- Forma y volumen de la probeta
- Preparación y tallado de la probeta
- Dirección y velocidad de aplicación de las cargas
- Relación altura y diámetro

1.5. Descripción de la máquina cortadora

La máquina que se utilizó para la ejecución de cortes en las probetas del Cojitambo y Pumayunga, es un equipo diseñado justamente para este fin, es un modelo de piso (cuatro patas). Este equipo es de marca Covington, tiene una cubierta la cual sirve de protección al momento que se está cortando alguna muestra, debido a que hay derrames o salpicaduras del lubricante del disco y puede brincar pedazos de material cortado. El disco de la máquina trabaja con carácter de inmersión, esto quiere decir que el fluido (lubricante) que se encuentra en el tanque se levanta alrededor del disco, mientras este realiza la acción de corte.



Figura 1.7 Máquina cortadora eléctrica

Fuente: (COVINGTON, 2019).

Descripción del Equipo de Corte

Según el catálogo de COVINGTON (2019), las características de sierras de losa de servicio pesado

- Hoja de la serie Platinum.
- Recubierto de polvo diamantado, soldado pesado, chasis de acero.
- El marco soldado por separado elimina la deformación.
- Alimentación de seis velocidades con apagado automático.
- El sistema de retorno rápido permite que el transporte se devuelva manualmente a cualquier posición.
- Rodamientos de bolas sellados con neopreno de alta resistencia, engrasados de por vida.
- Completamente montado con tornillo de banco, motor, y la mejor hoja de diamante de Covington.
- El embrague de sobre-funcionamiento se ajusta automáticamente de roca blanda a dura.
- La alimentación cruzada permite ensanchar 8" del material sin necesidad de reabrir.
- Un árbol de una pieza y brida montada en la carcasa.
- Carro de una pieza montado en un sólido stock de llave con guía de canal proporciona rigidez y resistencia para cortes rápidos con cargas pesadas

Las sierras de losa de Covington son modelos de pisos de alta inserción diseñados para cortar vidrios y rocas. Esta es una sierra de estilo de inmersión que significa que el fluido de corte se encuentra dentro del tanque y la hoja giratoria traerá el fluido de corte hacia arriba y alrededor de la pieza. Una barra de fortalecimiento de x-patrón asegura que la unidad del tanque es cuadrada y la capucha se sienta correctamente. La cubierta encaja perfectamente dentro del tanque eliminando las fugas. La cubierta se puede abrir con un robusto brazo de apoyo de acero para facilitar la carga y descarga de piezas.

Sierras de losa de servicio pesado

Las sierras de losa de servicio pesado de Covington varían en tamaño desde una hoja de 18" hasta una hoja de 36". Estas unidades están construidas con materiales pesados. El tanque de acero, la cubierta y el marco están recubiertos para mayor durabilidad y longevidad.

El 717HDS es la unidad más popular. Esta unidad cuenta con una hoja de 24" y una visera de 18".

110V, 60Hz Model	Motor	Weight & Dimensions	220V, 50Hz Model
703HDS - \$5,295.00	1/2 hp - MTR199	375 lbs. & 42" x 39" x 49"	7032HS - \$5,495.00
707HDS - \$5,595.00	1 hp - MTR321	395 lbs. & 46" x 39" x 49"	7072HS - \$5,795.00
712HDS - \$6,595.00	1 hp - MTR321	675 lbs. & 64" x 42" x 58"	7122HS - \$6,795.00
717HDS - \$7,195.00	1 hp - MTR321	675 lbs. & 64" x 42" x 58"	7172HS - \$7,395.00
*198HDS - \$9,295.00	2 hp - MTR198	775 lbs. & 67" x 44" x 60"	1982HS - \$9,495.00
*199HDS - \$13,200.00	2 hp - MTR107	1,300 lbs. & 90" x 48" x 64"	1992HS - \$13,400.00
*The 198HDS and 199HDS are only available in 220V, 60Hz for standard US Models			

Figura 1.8 Descripción de cada unidad

Fuente: (COVINGTON, 2019).

CAPÍTULO II

EXPERIMENTACIÓN

2.1 Número de probetas y preparación

Para comenzar esta investigación, el primer paso fue extraer el material rocoso de las zonas del Cojitambo y Pumayunga, luego fueron enviadas a un taller para la elaboración de probetas. Se obtuvo quince muestras de cada zona, las cuales contenían medidas de alrededor 120 mm x 100mm x 50 mm.



Figura 2.1 Geometría de las probetas

Fuente: (Autoría propia, 2020)

2.2. Pre medición antes del proceso de corte

Al obtener las quince muestras de las zonas A y B, se realiza una primera medición, antes de ejecutar los cortes, ya que es de mucha importancia las dimensiones de cada arista, para saber el área de influencia, la cual va a ser afectada por el corte del disco.

Aproximadamente las dimensiones de las probetas del Cojitambo constan con una altura de 120 mm, longitud de 100 mm y ancho de 50 mm, y las de la zona de Pumayunga; con una altura sea de 120 mm, longitud de 100 mm y ancho de 40 mm.

Se dice aproximadamente, ya que cada probeta varía en sus dimensiones, debido a que, en la elaboración de estas muestras, intervienen máquinas de corte y acción humana, no permitiendo obtener medidas exactas para cada probeta.

Tabla 2.1 Dimensionamiento de las muestras del Cojitambo

Muestra	a	b	c
	(mm)	(mm)	(mm)
1	119.0	49.0	99.0
2	119.0	49.0	99.0
3	120.0	50.0	99.5
4	119.0	50.0	99.0
5	125.0	50.0	110.0
6	119.0	50.0	99.0
7	119.0	49.0	99.0
8	119.0	49.5	99.5
9	119.5	50.0	99.5
10	119.5	49.5	95.5
11	118.5	49.0	99.0
12	120.0	49.5	111.5
13	118.9	49.0	99.2
14	119.3	48.9	99.0
15	120.0	49.0	99.1

Fuente: (Autoría propia. 2020)

Tabla 2.2 Dimensionamiento de las muestras del Pumayunga

Muestra	a	b	C
	(mm)	(mm)	(mm)
1	119.5	39.5	100
2	119.9	40	100
3	120	40.1	100
4	120	40.5	100
5	120	41	100
6	120	42	99.5
7	120	40	99
8	120.5	39	100.9
9	120	40	100
10	119	40.8	99
11	121	39.9	100.1
12	119.5	40	99
13	120.8	39.8	100
14	120.1	39.5	100
15	120.5	39.1	99.1

Fuente: (Autoría propia. 2020)

2.3. Proceso de corte de la roca

Los cortes de las rocas del sector del Cojitambo y Pumayunga se realizó con una máquina cortadora de disco diamantado, la cual, pertenece a la escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay, que con permisos se ha podido dar uso.

En una primera instancia, se da el proceso de corte generado por la acción humana; al momento de colocar con cierta precisión la probeta en las pinzas de madera de la máquina, es decir, en el acto de adecuar el material y ajustarlo (con las tuercas), para descartar movimientos de la probeta y apreciar cortes aproximadamente uniformes. Segundamente, luego de situar el pedazo de roca, se cierra la cubierta de la máquina por seguridad, y se procede a encender, pulsando el botón blanco localizado en la parte frontal inferior del equipo. En la cabecera se tiene una compuerta para visualizar el estado de corte en el que se encuentra. Al observar o escuchar que el disco ya no corta la roca y se haya asegurado que el proceso ha concluido, se pulsa el botón negro para apagar el equipo y poder retirar con seguridad el material rocoso.

En el momento de encender el equipo se producen dos velocidades, la velocidad de avance de la placa; en donde se sitúa la probeta, y la velocidad de la cuchilla; la cual cambia al hacer contacto con el material rocoso.



Figura 2.2 Máquina cortadora marca COVINGTON

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.3 Vista frontal de la maquina cortadora

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.4 Vista lateral de la maquina cortadora

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.5 Colocación y ajuste de la probeta en el equipo

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.6 Cierre de la compuerta y encendido del equipo

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.7 Corte del material rocoso

Fuente: (Autoría propia, 2020)

2.3.1. Primer corte de la probeta

Se realiza el primer corte en las rocas del Cojitambo y Pumayunga, el disco diamantado hace contacto con el área de aproximadamente 120 x 50 mm y 120 x 40 mm, respectivamente.

En esta etapa, de cada material rocoso se obtiene dos probetas residuales, las cuales; una parte, la que se queda en las pinzas de madera (siendo la más grande), es llevada al laboratorio para realizar la prueba a la resistencia a la compresión simple, y la otra parte, siendo la probeta restante, es utilizada para ejecutar una vez más un último corte.

En consecuencia, del primer corte, como objetivo es obtener el tiempo en el que demora cortando el disco diamantado a la roca, para así calcular la nueva variable propuesta como “Velocidad de corte”.

En el momento de colocar y ajustar la probeta se mide el contacto de los dos extremos de las pinzas que tienen con la superficie de la roca, y así visualizar que estas sean iguales, para la obtención de un corte relativamente recto.



Figura 2.8 Probeta

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.9 Probeta en pinzas

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.10 Inicio del primer corte

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.11 Probeta en proceso de cortado

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.12 Resultado final del corte

Fuente: (Autoría propia, 2020)

Al finalizar el primer proceso de corte, se afloja las pinzas para retirar el material y se lleva las dos probetas para lavarlas y quitar el lubricante que las cubrió durante esta acción.

2.3.2. Segundo corte de la probeta

Para continuar con los ensayos, se realiza un segundo corte de roca, en la probeta resultante del primer corte; siendo esta la más pequeña. Como primero se mide los lados de la probeta para saber el dimensionamiento que esta tiene y así saber el área de contacto que mantiene con el disco diamantado. Las medidas obtenidas de las probetas del Cojitambo estuvieron alrededor de 120 mm de altura, 36 mm de longitud y 50 mm de ancho, donde se tiene como

área de contacto 50 x 36 mm aproximadamente. Con las muestras del Pumayunga se consiguió alrededor de 120 mm de altura, 37 mm de longitud y 40 mm de ancho, en el cual el área de contacto fue de casi 40 x 37 mm.

Antes de colocar y ajustar la probeta en la máquina, se traza una línea en el lugar donde se va a realizar el corte para tener más precisión en el valor del área de contacto.



Figura 2.13 Probeta para el segundo corte

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.14 Colocación de la probeta de tal manera que la línea quede en frente del disco

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.15 Proceso del segundo corte de la probeta

Fuente: (Autoría propia, 2020)

Realizadas las mediciones antes y después de los cortes se obtuvo que, al realizar la acción de corte con las características propias de la máquina cortadora, hay una pérdida de material de 3.7 mm.



Figura 2.16 Demostración del resultado obtenido de los dos cortes

Fuente: (Autoría propia, 2020)

2.4. Prueba y determinación de la resistencia a la compresión simple

Para finalizar con los ensayos en los laboratorios, se realiza la última prueba, la cual es la determinación de la resistencia a la compresión simple de las probetas del Cojitambo y del Pumayunga. Se lo realiza con una máquina de prensa Humboldt que tiene la capacidad para realizar pruebas de tensión y compresión. En estos ensayos se aplica la compresión, la cual

produce una fuerza perpendicular al área de la probeta. Aproximadamente, Cojitambo con área de 49 x 60 mm y Pumayunga con un área de 40 x 58 mm. Esta prueba consiste en aplicar una fuerza en una sola dirección para determinar hasta qué punto la roca llega a soportar la carga, y como resultado se obtiene la fracturación de la misma.



Figura 2.17 Probeta en el equipo

Fuente: (Autoría propia, 2020)



Figura 2.18 Panel de lectura de la fuerza a la que se le aplica a la probeta.

Fuente: (Autoría propia, 2020)

Por medio de una palanca se da el paso a que el equipo incremente la magnitud de la fuerza, este se detiene al captar que la probeta tuvo un fallo, en donde se muestra el valor en el panel, detallado en la figura 2.18.

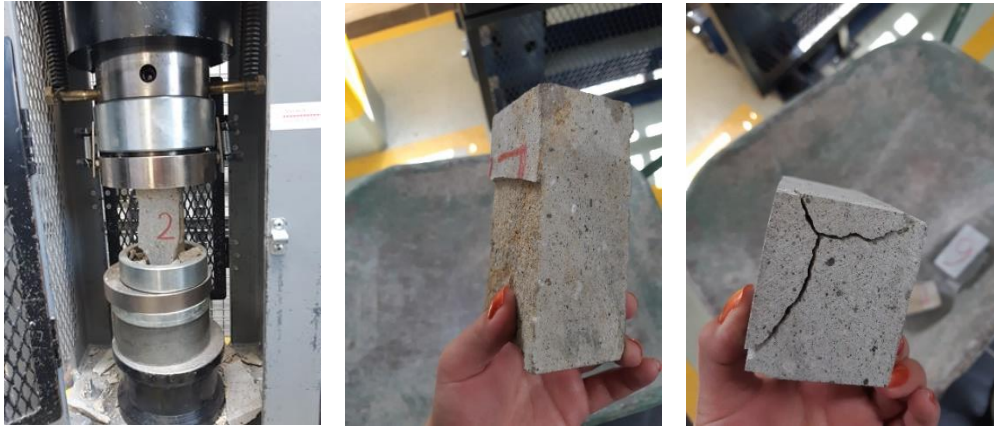


Figura 2.19 Fractura de la probeta

Fuente: (Autoría propia, 2020)

2.5. Nueva variable de velocidad de corte

Se ha propuesto una nueva variable denominada “Velocidad de corte”, la cual su cálculo depende del área de contacto con respecto a los ensayos de cortes realizados, y con el tiempo respectivo que se tomó en duración a estos.

Tabla 2.3 Datos de las dimensiones de los lados y del tiempo de corte de las probetas del Cojitambo

Muestra	Primer Corte			Segundo Corte		
	a (mm)	b (mm)	t corte (min)	b (mm)	c ₁ (mm)	t corte (min)
1	119.0	49.0	48.13	49.0	34.0	15.98
2	119.0	49.0	47.93	50.0	33.0	15.80
3	120.0	50.0	48.85	50.0	36.0	16.80
4	119.0	50.0	48.76	50.0	37.0	17.23
5	125.0	50.0	50.73	50.0	37.0	17.95
6	119.0	50.0	48.76	50.0	38.0	17.90
7	119.0	49.0	47.90	49.0	36.5	17.10
8	119.0	49.5	48.28	48.0	39.0	17.92
9	119.5	50.0	48.13	50.0	37.0	16.67
10	119.5	49.5	48.08	49.5	33.9	15.63
11	118.5	49.0	47.06	49.0	36.0	16.58
12	120.0	49.5	48.53	49.5	39.0	17.83
13	118.9	49.0	47.95	49.0	36.0	16.57
14	119.3	48.9	47.68	49.0	36.0	17.10
15	120.0	49.0	47.88	49.0	37.5	16.82

Fuente: (Autoría propia. 2020)

Tabla 2.4 Datos de las dimensiones de los lados y del tiempo de corte de las probetas del Pumayunga

Muestra	Primer Corte			Segundo Corte		
	a (mm)	b (mm)	t corte (min)	b (mm)	c ₁ (mm)	t corte (min)
1	119.5	39.5	45.78	39.5	36.9	15.00
2	119.9	40.0	45.62	40.0	37.0	16.55
3	120.0	40.1	45.47	40.1	37.0	15.75
4	120.0	40.5	45.27	40.5	38.3	16.73
5	120.0	41.0	50.07	41.0	38.5	16.98
6	120.0	42.0	45.70	42.0	39.0	17.17
7	120.0	40.0	44.45	40.0	36.0	16.02
8	120.5	39.0	50.62	39.0	37.4	15.60
9	120.0	40.0	48.63	40.0	37.1	15.37
10	119.0	40.8	49.93	40.8	37.0	15.75
11	121.0	39.9	48.33	39.9	37.9	16.00
12	119.5	40.0	48.52	40.0	38.0	16.00
13	120.8	39.8	48.72	39.8	38.9	16.87
14	120.1	39.5	48.32	39.5	37.2	15.97
15	120.5	39.1	48.12	39.1	37.9	16.33

Fuente: (Autoría propia. 2020)

Las unidades de esta variable la hemos empleado en mm^2/min , de manera que el tiempo de corte determinado divide el valor del área de contacto de la probeta. Se utilizó el área ya que el disco diamantado hace el corte por toda esta superficie y no se podrá excluir, pues de esta depende la duración del corte.

En el primer corte que se realizó de las muestras Cojitambo y Pumayunga, la velocidad de corte se encuentra alrededor de los $122 \text{ mm}^2/\text{min}$ y $102 \text{ mm}^2/\text{min}$, respectivamente. En cambio, en el segundo corte se obtuvo valores aproximados, con las probetas del Cojitambo de $106 \text{ mm}^2/\text{min}$ y del Pumayunga con $94 \text{ mm}^2/\text{min}$.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados de la velocidad de corte

En teoría se debió tener datos iguales o similares entre el corte uno y dos, pero esto varía al tomar en cuenta otros factores de los ensayos. En el segundo corte, al tener una probeta de menores dimensiones, se agrava el contacto del disco diamantado con el área de la probeta, ya que esta resbala más por el lubricante de la máquina. Debido a que se tiene un mayor tiempo de corte (en relación al área), como resultado la velocidad es menor en comparación con el primer tajo.

Por ello, entre los dos valores de corte de cada muestra se calculó la media de la velocidad de corte, para luego trabajar con este dato.

Tabla 3.1 Velocidad de corte uno y dos de las probetas del Cojitambo, con sus respectivas velocidades medias

V1 corte (mm ² /min)	V2 corte (mm ² /min)	V media (mm ² /min)
121.15	104.26	112.70
121.66	104.43	113.04
122.82	107.14	114.98
122.03	107.37	114.70
123.20	103.06	113.13
122.03	106.15	114.09
121.73	104.59	113.16
122.01	104.46	113.24
124.14	110.98	117.56
123.03	107.36	115.20
123.39	106.39	114.89
122.40	108.27	115.34
121.50	106.46	113.98
122.35	103.16	112.76
122.81	109.24	116.03

Fuente: (Autoría propia. 2020)

Tabla 3.2 Velocidad de corte uno y dos de las probetas del Pumayunga, con sus respectivas velocidades medias

V1 corte	V2 corte	V media
(mm ² /min)	(mm ² /min)	(mm ² /min)
103.11	97.17	100.14
105.13	89.43	97.28
105.83	94.20	100.02
107.36	92.72	100.04
98.26	92.96	95.61
110.28	95.40	102.84
107.99	89.89	98.94
92.84	93.50	93.17
98.70	96.55	97.63
97.24	95.85	96.54
99.89	94.51	97.20
98.52	95.00	96.76
98.68	91.77	95.23
98.18	92.01	95.09
97.91	90.75	94.33

Fuente: (Autoría propia. 2020)

3.2. Análisis de resultados de resistencia a la compresión simple

Al obtener los valores de la resistencia a la compresión simple de cada probeta, se visualiza que del sector del Cojitambo se tiene un rango de 17 a 47 MPa y del Pumayunga un rango de 28 a 52 MPa. Con estos valores se afirma la anisotropía, la cual hace que exista una variación en los datos de los ensayos.

Al momento de realizar los ensayos, en el panel del equipo de prensa se obtuvo la fuerza, a la cual se fractura la probeta. Con este valor se calculó la resistencia, mediante la siguiente fórmula.

$$RCS = \frac{\text{Fuerza (kg)} * \text{gravedad}}{\text{Área de contacto (cm}^2\text{)}} = \frac{N}{mm^2} = MPa$$

Tabla 3.3 Dimensiones del área de contacto, fuerza de ruptura y cálculo de la resistencia; del Cojitambo

Muestra	b	c₂	F	RCS
	(mm)	(mm)	(Kgf)	(MPa)
1	49	61.5	12910	42
2	50	62	12964	41
3	50	60	9486	31
4	50	58	9761	33
5	50	70	13923	39
6	50	59	11735	39
7	49	58.5	9941	34
8	48	57	10047	36
9	50	58	5620	19
10	49.5	57.9	8478	29
11	49	58	9276	32
12	49.5	68	8927	26
13	49	58.3	9907	34
14	49	57.5	13507	47
15	49	57.1	4852	17

Fuente: (Autoría propia. 2020)

Tabla 3.4 Dimensiones del área de contacto, fuerza de ruptura y cálculo de la resistencia; del Pumayunga

Muestra	b	c₂	F	RCS
	(mm)	(mm)	(Kgf)	(MPa)
1	39.5	59.4	6701	28
2	40	59.3	8710	36
3	40.1	59.3	7276	30
4	40.5	58	7667	32
5	41	57.8	8460	35
6	42	56.8	7300	30
7	40	59.3	8687	36
8	39	59.8	12370	52
9	40	59.2	9420	39
10	40.8	58.3	9499	39
11	39.9	58.5	9285	39
12	40	57.3	8650	37
13	39.8	57.5	10971	47
14	39.5	59.1	11191	47
15	39.1	57.5	10778	47

Fuente: (Autoría propia. 2020)

3.3. Interpretación y análisis de resultados

Con los valores de la velocidad media de corte y la resistencia a la compresión uniaxial se distribuyen sus puntos en un plano cartesiano, en el cual, la velocidad se la ubica en el eje de las abscisas y la resistencia en el eje de las ordenadas. Estos puntos X y Y, son pares de datos de la resistencia y de la velocidad de una misma probeta. En los diagramas de dispersión se aprecia la concentración de los puntos y el sentido que tienen estos.

Se realizaron dos gráficos; uno para la zona del Cojitambo y otro para el Pumayunga, debido a que estos lugares contienen distintos tipos de roca que presentan propiedades diversas de la una a la otra. Aseverando con la disimilitud en los valores que se obtuvo con los dos tipos de ensayos. Con esta disposición se procedió a modelar la línea de tendencia que mejor se acopló a la distribución de datos propuesto de los dos planos cartesianos. La curva se presenta decreciente, esto significa que, mientras la resistencia del material rocoso disminuye, la velocidad de corte aumenta, es inversamente proporcional y con esto se dice que existe una correlación entre estos datos.

Luego de adoptar la curva, se proyecta los datos de la misma que se desean visualizar; la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación (R^2). El coeficiente nos sirve para verificar y demostrar que nuestro modelo tiene un alto ajuste a nuestra variable “Velocidad de corte”, ya que este se acerca al valor óptimo de 1. Por último, la ecuación es la expresión a la que se aspiró como resultado y alternativa para calcular la resistencia a la compresión uniaxial de las rocas de los sectores del Cojitambo y Pumayunga.

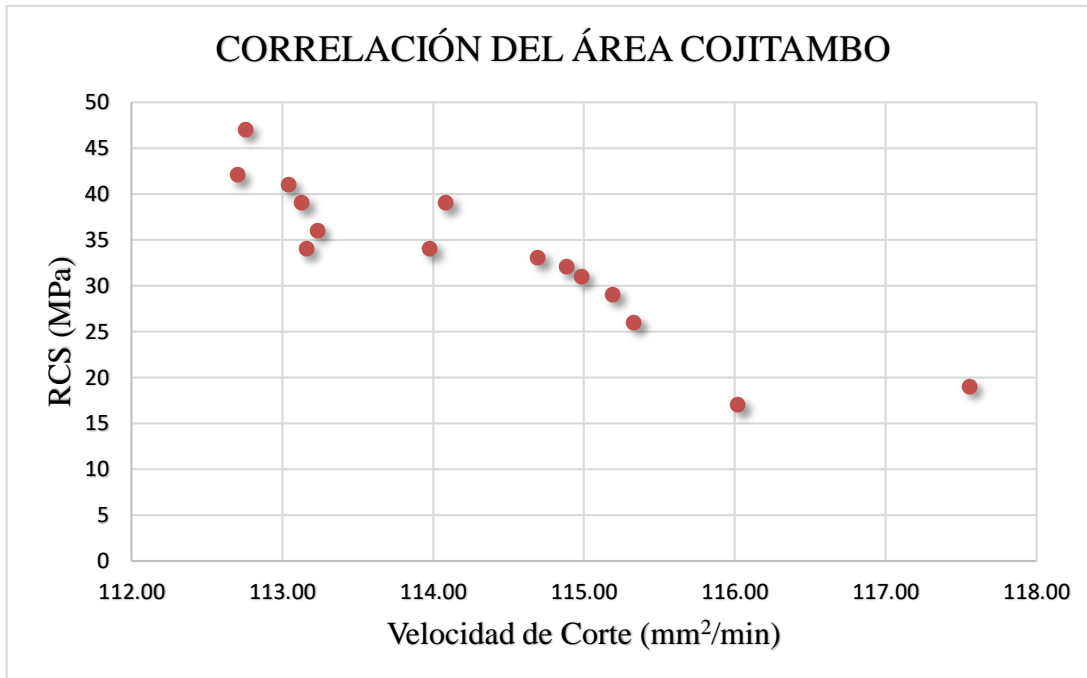


Figura 2.20 Distribución de puntos para comparar los dos conjuntos de valores y demostrar la relación entre ellos

Fuente: (Autoría propia, 2020)

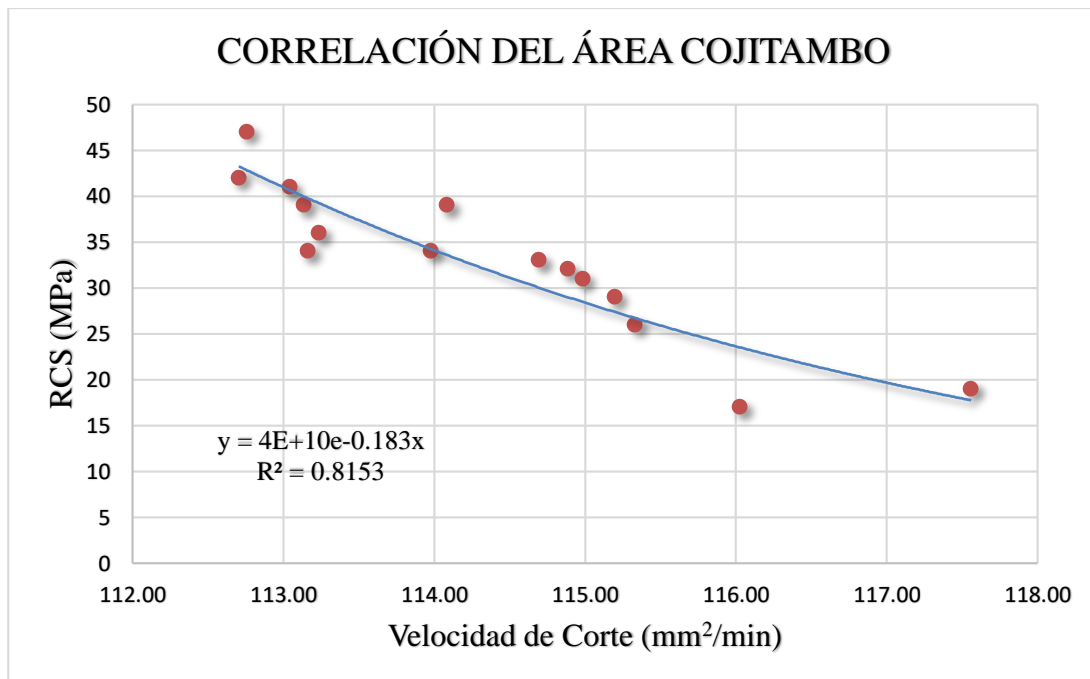


Figura 2.21 Relación entre los datos de la RCS – Velocidad de Corte y su respectiva línea de tendencia (exponencial)

Fuente: (Autoría propia, 2020)

Se cumple con el siguiente término:

$$RCS = 4E + 10e^{-0.183Vc}$$

Siendo:

- **RCS**, la resistencia a la compresión simple en MPa.
- **Vc**, la velocidad de corte en mm²/min.

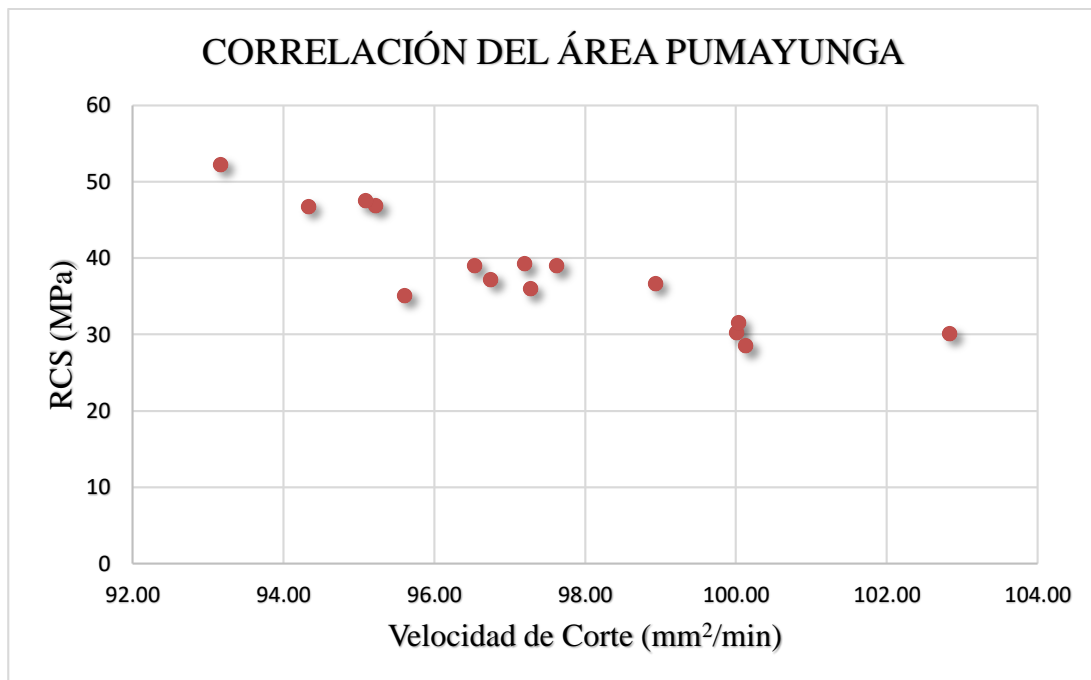


Figura 2.22 Distribución de puntos para comparar los dos conjuntos de valores y demostrar la relación entre ellos

Fuente: (Autoría propia, 2020)

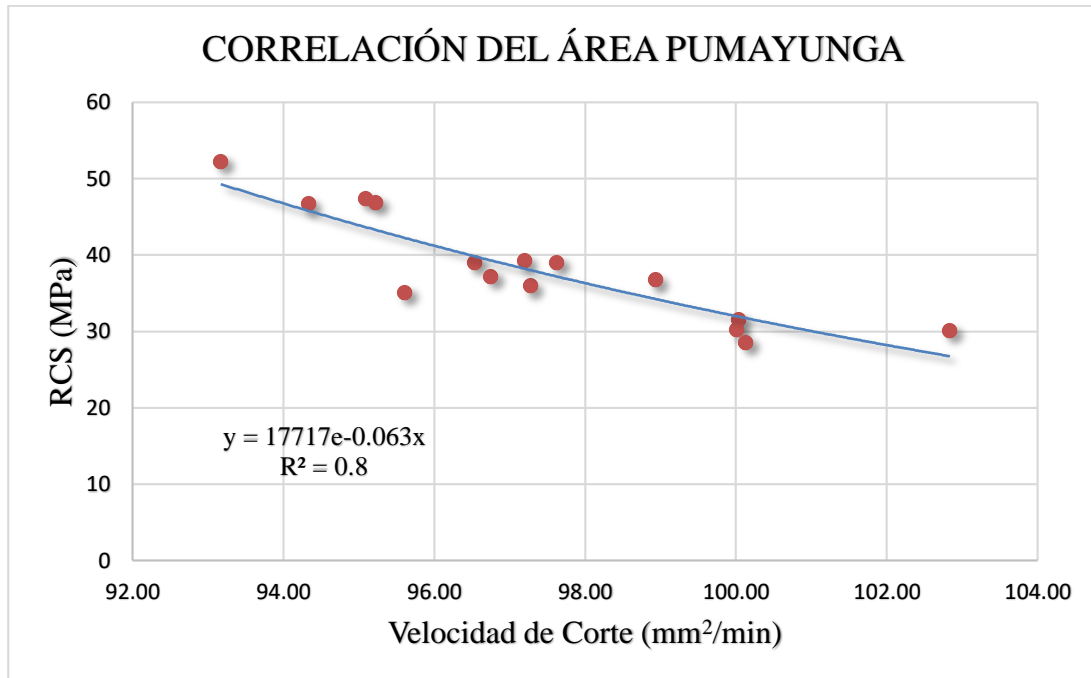


Figura 2.23 Relación entre los datos de la RCS – Velocidad de Corte y su respectiva línea de tendencia (exponencial)

Fuente: (Autoría propia, 2020)

Se cumple con el siguiente término:

$$RCS = 17717e^{-0.063Vc}$$

Siendo:

- **RCS**, la resistencia a la compresión simple en MPa.
- **Vc**, la velocidad de corte en mm²/min.

3.4. Propuesta de relación

Esta propuesta está al alcance de cualquier tipo de roca, se deberá realizar el mismo procedimiento y metodología, para encontrar la ecuación adaptada a las características propias del material en el que se va a trabajar.

Se dio esta alternativa del corte, ya que estos ensayos no son complicados de desarrollar y se pensó en la comodidad y eficiencia para hallar la resistencia de la roca en trabajos mineros y

civiles. También se aplicó esto debido a que el corte en la roca es un esfuerzo el cual se le aplica a la roca para provocar una fisura o rompimiento, teóricamente similar a lo que se realiza en los ensayos de compresión.

Gracias al resultado que se obtuvo de los coeficientes de determinación, se dice que los modelos se ajustan bastante bien, ya que las estimaciones obtenidas se acercan a los valores reales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Finalmente, con esta investigación se presenta una alternativa muy beneficiosa para trabajos mineros y civiles, en la cual aporta con el valor de una de las más importantes propiedades de las rocas “Resistencia a la Compresión Simple”. Mediante la ecuación de la recta conjuntamente con el valor de la velocidad de corte obteniendo la resistencia del material, sin necesidad de enviar probetas al laboratorio y pagar altos costos para recibir los valores de esta propiedad. Por otro lado, se evita las largas esperas para estos resultados.
- Se deberá seguir el procedimiento planteado para obtener un buen resultado, esto se verá en el coeficiente de determinación (R^2) de la línea de tendencia, el cual deberá estar entre 0,5 y 1; mientras más cercano al uno esté, más ajustado estará la ecuación para la aproximación al valor real.
- Esta característica de la roca es fundamental para toda obra de construcción y estabilidad de suelo, ya que por medio de este dato se planifica acciones y medidas que se deben tomar con las restricciones de cada suelo.
- Como resultado de los ensayos de compresión, en las rocas del Cojitambo y del Pumayunga se tiene un promedio de resistencia de 33 MPa y de 38 MPa, respectivamente. Con esto se dice que el tipo de material del segundo sector tiene más durabilidad, ya que en presencia de esfuerzos menores a 6780 Kgf no se deformará o llegara a fracturarse. En cambio, en la primera zona con esfuerzos mayores a 4890 Kgf seguramente se fragmentará.
- La roca andesita anfibólica del Cojitambo es utilizada para adoquines de calzadas y veredas, bordillos y revestimientos decorativos para viviendas, edificios y camineras,

además para construcción de piletas, bancas y demás estructuras decorativas de la ciudad de Cuenca y zonas aledañas. A pesar de que sea menos resistente que el travertino del Pumayunga es considerada como un material muy fuerte para obras civiles.

- El travertino por tener una alta durabilidad y ser un material muy atractivo se lo utiliza para exteriores; en recubrimientos de piscina, suelos, fachadas de casas y edificaciones, ya que resiste a varios factores climáticos erosivos. También es empleado en el interior para revestir cocinas, baños, chimeneas, iglesias; para hacer encimeras, usado en el arte funerario, etc.
- Los equipos utilizados en esta investigación fueron los adecuados y aptos para cada ensayo realizado, por ello se ha obtenido resultados favorables que han confirmado nuestra alternativa como una buena opción para encontrar la resistencia a la compresión simple de la roca.
- Por último, al realizar esta metodología para encontrar la ecuación correspondiente al tipo de material, se deberá ocupar la misma maquina cortadora en los post ensayos, ya que la expresión resultante pertenece a las características del equipo utilizado.

Recomendaciones:

- Antes de realizar cualquier ensayo se hace una revisión de cada probeta, para verificar que estén sanas, no tengan fallas y que estén parcialmente uniformes. Ya que esto podría alterar los valores y presentar anomalías en los resultados.
- Ser muy metódicos al momento de medir las dimensiones de las probetas madres e hijas, antes de cada ensayo. Estos datos son muy importantes para el cálculo de las variables correlacionadas

- Para la precisión del valor de la velocidad de corte es importante saber cómo trabaja cada máquina cortadora, se aconseja hacer pruebas antes de comenzar con las probetas reales. Por otra parte, al momento de hacer los ensayos de corte se recomienda mantener el nivel del lubricante que se encuentra en el tanque del equipo, si no se cumple, esto provocará variación en el tiempo de corte en las muestras.
- Al realizar las pruebas de compresión es fundamental que las superficies de la arista superior e inferior de las probetas, estén totalmente en contacto con las placas del equipo, ya que, al momento de aplicar la fuerza, esta se produce en el área de contacto. Y al no ser así, esta solo se produciría en una parte de la probeta, dando como resultado valores desacertados a los reales.
- En caso de utilizar las formulas planteadas en los gráficos de los sectores del Cojitambo y Pumayunga con diferente tipo de rocas, estas deberán tener la velocidad de corte entre los rangos de 112 a 118 mm²/min para la primera zona y 93 a 110 mm²/min para la segunda, y utilizar la misma máquina cortadora. Si esta no es la ocurrencia, se deberá realizar nuevamente todo el proceso y metodología utilizada, para hallar la ecuación correspondiente.
- Para tener más precisión o acercamiento al valor real, se aconseja trabajar con mayor cantidad de probetas, en donde se compruebe con el coeficiente de determinación de la curva de la resistencia a la compresión uniaxial – velocidad de corte, estar dentro del rango óptimo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bedoya, A. (1961). EL COJITAMBO: Tomado del Boletín de Informaciones Científicas Nacionales No 93. Quito: Casa de la Cultura Ecuatoriana. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17951/1/El%20Cojitambo.pdf>
- Benavente, D., Bernabéu, A., Cañaveras, J. (2004). Estudio de propiedades físicas de las rocas. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, recuperado de https://www.researchgate.net/publication/39404611_Estudio_de_propiedades_fisicas_de_las_rocas
- Benavente, D. Propiedades Físicas y Utilización de Rocas Ornamentales. Universidad de Alicante: Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Recuperado de http://www.ehu.es/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_123.pdf
- cide@d. (2011). Ciencias de la Naturaleza: Minerales y rocas. España: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Recuperado de http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_1eso_07_minerales_y_rocas/contenido/1q7/pdf/quincena7.pdf
- Convington Engineering. (2019). Lapidary & Glass Machinery. Redlands, CA – U.S.A. Recuperado de <file:///C:/Users/usuario/Desktop/9%20Ciclo/Tesis/Covington-Catalog.pdf>
- Duque, G. (2017). Manual de Geología para Ingenieros: Cap. 07 Rocas Ígneas. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/1572/281/rocasigneas.pdf>
- Feijoo, P. y Iñiguez, C. (2020). Corte en rocas y su relación con la resistencia a compresión simple. *RISTI, N.º E30*, 59-67. Recuperado de <http://www.risti.xyz/issues/ristie30.pdf>

Flores, J., Figueras, M. (2018). Clasificación de macizos rocosos de travertino en la ciudad de Puebla. XXIX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, 2. Recuperado de https://www.academia.edu/38152472/Macizos_rocosos_de_travertino.pdf

Geología, ramas y aplicaciones (2018). Andesita. Recuperado de <https://geologiaweb.com/rocas-igneas/andesita/>

Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). Clasificación de las Rocas. CiudadCiencia. Recuperado de http://www.ciudadciencia.es/doc/files/FICHA_CLASIFICACION%20DE%20ROCAS_CC.pdf

Iriondo, M, (2009). Introducción a la Geología. Córdoba: Editorial Brujas.

Magister. (2012). Biología y Geología. MELC S.A. Recuperado de <https://www.magister.es/temas/temamu-bg-2012.pdf>

Pinos, P., Feijoó, P. (1999). Prospección de mármoles y calizas en la zona de Pumayunga. Cuenca: Universidad del Azuay.

Riart, O., García de Miguel, J. (1991). Rocas volcánicas empleadas en la construcción. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Recuperado de http://oa.upm.es/9877/1/roc_maquina_1991.pdf

Rodríguez, A. (2018). Petrología, sedimentología y geoquímica de los travetinos y tobas del Barranco de Azuaje (Gran Canaria): características e implicaciones. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/49296/1/T40238.pdf>

Taramasso, E. (1943). El travertino. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
Recuperado de http://157.92.136.59/download/tesis/1501-0270_TaramassoE.pdf

Williams, H., Turner, F., Gilbert, C. (1983). PETROGRAFÍA: Introducción al Estudio de las Rocas en Secciones Delgadas. México: CIA. EDITORIAL CONTINENTAL, S. A. DE C. V.

Wolf, T. (1892). GEOGRAFÍA Y GEOLOGÍA DEL ECUADOR: Publicada por orden del Supremo Gobierno de la Republica. Recuperado de <http://repositorio.casadelacultura.gob.ec/handle/34000/18070>

ANEXOS

Anexo 1 Probeta del sector Cojitambo



Anexo 2 Probeta del sector Pumayunga

