



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

“Correlación de la distribución de partículas mediante el proceso de fragmentación para la determinación de la Resistencia a la Compresión Simple de Rocas”.

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO DE MINAS**

**Autor:**

CRISTIAN ANDRÉS FLORES VERA

**Director:**

ERNESTO PATRICIO FEJOO CALLE

**CUENCA, ECUADOR**

**2019**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo le dedico a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A mi gemelo Eduardo a quien admiro y respeto mucho, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mis hermanos y cuñada Mauro, María Esthela y María Augusta quienes con su amor y respaldo me ayudan cada día a culminar mis objetivos.

Finalmente, para cerrar con broche de oro, como no dedicarles este triunfo a mis padres Fabián y Miriam por ser los mejores, que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron todos los instrumentos y el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi persona una formación tanto profesional y como ser humano.

## **AGRADECIMIENTO**

Como prioridad en mi vida y con toda la humildad que mi corazón puede emanar quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida, por haberme permitido culminar un peldaño más de mis metas, y porque tengo la certeza y el gozo de que siempre va a estar conmigo.

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecido.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad del Azuay, a toda la Facultad de Ciencia y Tecnología, especialmente a mis profesores al Ing. Fernando Valencia, Ing. Leonardo Núñez, Doctor. Juan Calderón, Ing. Gil Álvarez quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su dedicación, paciencia, apoyo incondicional y amistad.

A mis amigos que gracias a su apoyo moral me permitieron permanecer con empeño, dedicación y cariño, y a todos quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar mis objetivos planteados.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo, así mismo también quiero agradecerle por su sincera amistad y por sus atentas y rápidas respuestas a las diferentes inquietudes surgidas en mi vida universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ivv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vvi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viviii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xxii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
MARCO TEÓRICO .....	3
1.1    La Fragmentación. ....	3
1.2    Trituración Primaria.....	5
1.2.1. Trituradora de Quijadas.....	9
1.3    Clasificación y Curvas Granulométricas. ....	13
1.4    Resistencia a la Compresión Simple o Uniaxial .....	16
CAPITULO II.....	21
EXPERIMENTACIÓN .....	21
2.1    Número de muestras y preparación.....	22
2.2    Proceso de Trituración .....	26
2.3    Ejecución de la Clasificación.....	27
2.4    Elaboración de Curvas Granulométricas .....	30
2.5    Determinación de la Resistencia a la Compresión Simple .....	31
CAPÍTULO III .....	33

ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	33
3.1 Análisis de resultados de Curvas Granulométricas.....	34
3.2 Análisis de resultados de Resistencia a la Compresión Simple.....	36
3.3 Propuesta de Correlación.....	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
BIBLIOGRAFIA .....	43
ANEXOS .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de fuerzas en trituración .....	5
Figura 1.2 Cubo de nueva superficie .....	8
Figura 1.3. Trituradora de Mandíbulas .....	10
Figura 1.4. Trituradora de Mandíbulas tipo Blake .....	11
Figura 1.5. Trituradora de Mandíbulas de pivote elevado .....	12
Figura 1.6. Trituradora de Mandíbulas de excéntrica elevada .....	12
Figura 1.7. Trituradora de Mandíbulas Dodge .....	12
Figura 1.8. Juego de Tamices .....	14
Figura 1.9. Curva Granulométrica .....	15
Figura 1.10 Desarrollo de las fracturas extensionales y de cizalla como resultado de compresión .....	18
Figura 2.1 Mapa de localización de las muestras obtenidas .....	21
Figura 2.2 Selección de rocas .....	22
Figura 2.3 Selección de rocas .....	22
Figura 2.4 Dimensiones de la muestra .....	23
Figura 2.5 Muestra real .....	23
Figura 2.6 Probetas A y B para las pruebas de laboratorio .....	24
Figura 2.7 Probetas de la zona de Cojitambo .....	24
Figura 2.8 Probetas de la zona de El Tahal .....	25
Figura 2.9 Probetas de la zona de Pumayunga .....	25
Figura 2.10 Peso de la muestra cúbica a realizarse el análisis .....	26
Figura 2.11 Colocación de la muestra en la trituradora de mandíbulas .....	26
Figura 2.12 Partículas obtenidas del proceso de trituración .....	27
Figura 2.13 Proceso de clasificación en la tamizadora eléctrica .....	27
Figura 2.14 Pesado del tamiz # 1/2.....	28
Figura 2.15 Pesado del tamiz # 3/8.....	28
Figura 2.16 Pesado del tamiz #8.....	29

Figura 2.17 Pesado del tamiz #10.....	29
Figura 2.18 Colocación de la muestra para ser sometida a la rotura .....	31
Figura 2.19 Rotura de la muestra .....	32
Figura 3.1. Muestras Cojitambo .....	35
Figura 3.2. Muestras El Tاهual .....	35
Figura 3.3. Muestras Pumayunga .....	36
Figura 3.4. Máquina de compresión Humboldt .....	37
Figura 3.5. Conjunto de datos de las muestras del Cojitambo .....	38
Figura 3.6. Conjunto de datos de las muestras El Tاهual .....	38
Figura 3.7. Conjunto de datos de las muestras de Pumayunga .....	39
Figura 3.8. Conjunto de datos de las muestras de los 3 sitios de estudio .....	39

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tablas 1-1 Rangos de la operación de la fragmentación .....	4
Tablas 1-2 y 1-3. Ejemplos de valores de Trituración .....	6
Tabla 1-4 Clasificación de las rocas por estimación con martillo de geólogo .....	16
Tabla 1-5 Clasificación Ingenieril de las rocas .....	17
Tabla 1-6 Clasificación de las rocas según la Resistencia a la Compresión .....	20
Tabla 2.1 Tabla para datos de Granulometría .....	31
Tabla 3-1 Valores del proceso de trituración y clasificación de las muestras de Cojitambo .....	34
Tabla 3-2 Valores del proceso de trituración y clasificación de las muestras de El Tاهual .....	34
Tabla 3-3 Valores del proceso de trituración y clasificación de las muestras de Pumayunga .....	34
Tabla 3-4 Valores de Resistencia a la compresión .....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis granulométrico muestra 1 Cojitambo .....	44
Anexo 2. Análisis granulométrico muestra 2 Cojitambo .....	44
Anexo 3. Análisis granulométrico muestra 3 Cojitambo .....	45
Anexo 4. Análisis granulométrico muestra 4 Cojitambo .....	45
Anexo 5. Análisis granulométrico muestra 5 Cojitambo .....	46
Anexo 6. Análisis granulométrico muestra 6 Cojitambo .....	46
Anexo 7. Análisis granulométrico muestra 7 Cojitambo .....	47
Anexo 8. Análisis granulométrico muestra 8 Cojitambo .....	47
Anexo 9. Análisis granulométrico muestra 9 Cojitambo .....	48
Anexo 10. Análisis granulométrico muestra 10 Cojitambo .....	48
Anexo 11. Análisis granulométrico muestra 1 El Tahual .....	49
Anexo 12. Análisis granulométrico muestra 2 El Tahual .....	49
Anexo 13. Análisis granulométrico muestra 3 El Tahual .....	50
Anexo 14. Análisis granulométrico muestra 4 El Tahual .....	50
Anexo 15. Análisis granulométrico muestra 5 El Tahual .....	51
Anexo 16. Análisis granulométrico muestra 6 El Tahual .....	51
Anexo 17. Análisis granulométrico muestra 7 El Tahual .....	52
Anexo 18. Análisis granulométrico muestra 8 El Tahual .....	52
Anexo 19. Análisis granulométrico muestra 9 El Tahual .....	53
Anexo 20. Análisis granulométrico muestra 10 El Tahual .....	53
Anexo 21. Análisis granulométrico muestra 1 Pumayunga .....	54
Anexo 22. Análisis granulométrico muestra 2 Pumayunga .....	54
Anexo 23. Análisis granulométrico muestra 3 Pumayunga .....	55
Anexo 24. Análisis granulométrico muestra 4 Pumayunga .....	55
Anexo 25. Análisis granulométrico muestra 5 Pumayunga .....	56
Anexo 26. Análisis granulométrico muestra 6 Pumayunga .....	56

Anexo 27. Análisis granulométrico muestra 7 Pumayunga .....	57
Anexo 28. Análisis granulométrico muestra 8 Pumayunga .....	57
Anexo 29. Análisis granulométrico muestra 9 Pumayunga .....	58
Anexo 30. Análisis granulométrico muestra 10 Pumayunga .....	58

**CORRELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS MEDIANTE EL  
PROCESO DE FRAGMENTACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE ROCAS**

**RESUMEN**

La presente investigación pretende determinar la correlación existente entre la distribución del tamaño de partículas, producto de la trituración primaria y la resistencia a la compresión uniaxial de la roca.

Los ensayos a realizarse consisten en la obtención de tres sitios para el muestreo de rocas, los cuales son: Cojitambo (provincia del Cañar), El Tahual (provincia del Azuay) y Pumayunga (provincia del Azuay).

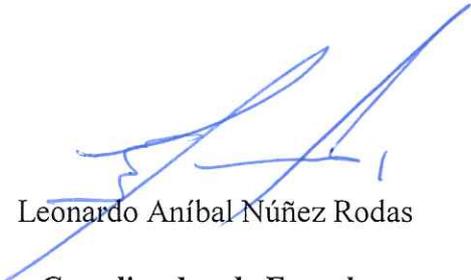
Este proceso comprende el cálculo de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca, para una posterior trituración de la misma en los laboratorios de la Universidad del Azuay, proponiéndose a obtener finalmente una elaboración gráfica para determinar la correlación existente entre las mismas.

**Palabras clave:** Compresión uniaxial, roca, trituración, granulometría.



Ernesto Patricio Feijoo Calle

**Director del Trabajo de Titulación**



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Coordinador de Escuela**



Cristian Andrés Flores Vera

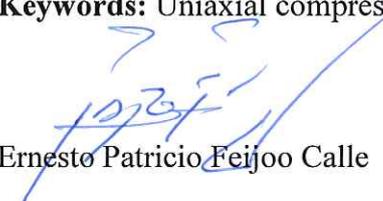
**Autor**

**CORRELATION OF PARTICLE DISTRIBUTION BY THE  
FRAGMENTATION PROCESS FOR THE DETERMINATION OF SIMPLE  
COMPRESSIVE STRENGTH OF ROCKS**

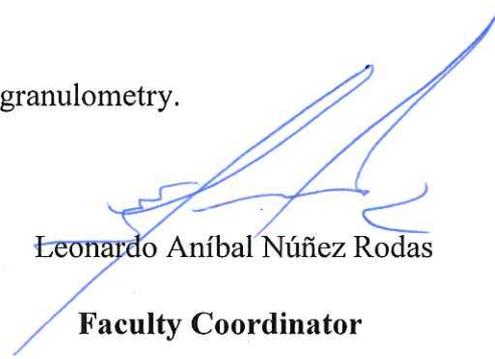
**ABSTRACT**

The present investigation seeks to determine the correlation between the particle size distribution, the product of the primary crushing and the resistance to uniaxial compression of rocks. The tests consisted of obtaining three sites for rock sampling. These sites were Cojitambo (province of Cañar), El Tahuall (province of Azuay) and Pumayunga (province of Azuay). This process includes the calculation of the uniaxial compressive strength of the rock for its subsequent crushing in the laboratories of the Universidad del Azuay in order to obtain a graphic representation to determine the existing correlation between them.

**Keywords:** Uniaxial compression, rock, crushing, granulometry.

  
Ernesto Patricio Feijoo Calle

**Thesis Director**

  
Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Faculty Coordinator**

  
Cristian Andrés Flores Vera

**Author**



  
Translated by  
Ing. Paúl Arpi

Flores Vera Cristian Andrés

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Marzo, 2019

**CORRELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS MEDIANTE EL  
PROCESO DE FRAGMENTACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE ROCAS**

**INTRODUCCIÓN**

En labores mineras, tanto a cielo abierto como en subterráneo, para efectos de la determinación de parámetros, en lo referente a la estabilidad de macizos rocosos, un índice o dato fundamental es la determinación de la resistencia a la compresión del material rocoso presente en la zona.

Para estimar la resistencia a la compresión uniaxial de una roca, se pueden usar métodos y/o ensayos que se realizan en el campo y/o laboratorio; recordando que su obtención va desde una estimación meramente subjetiva hasta una medición indirecta.

Uno de estos métodos es la obtención de la resistencia a la compresión simple o uniaxial de las rocas a través de las propiedades del índice de las mismas, en donde las correlaciones son el resultado de múltiples ensayos y análisis de los núcleos de rocas, mediante la cual se permite caracterizar y correlacionar los parámetros para formaciones específicas de roca.

Por otro lado, la clasificación de las rocas varía de acuerdo a la fuerza de compresión, es así que para la determinación de este parámetro lo común es el envío de muestras al laboratorio ya que no se cuenta en mina con los equipos necesarios, pero en trabajos mineros es probable contar con una trituradora y juego de tamices que permitan realizar una prueba de trituración primaria y su respectiva clasificación granulométrica.

Ejecutada esta prueba se determinará qué relación existe entre las diferentes curvas granulométricas y la resistencia a la compresión de las rocas o materiales tratados mediante análisis que permitan encontrar su correlación, por lo que en el presente trabajo se analizarán 3 tipos de rocas, pertenecientes a los sitios de: Cojitambo (provincia del Cañar), El Tahual (provincia del Azuay) y Pumayunga (provincia del Azuay).

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 La Fragmentación.

La fragmentación de roca en la mina es el comienzo de un largo proceso para la recuperación del mineral. Al fragmentar la roca, esta adquiere un tamaño que hace posible su transporte.

Hoy en día, tanto en las minas a cielo abierto como en las subterráneas se requieren explosivos para arrancar la roca y luego poder subirla al transporte que la llevará hasta la planta.

Generalmente, más del 50 % de la energía consumida en una planta de tratamiento completa es gastada en la reducción de tamaño.

Naturalmente hay otros factores importantes que influyen sobre la elección de un determinado proceso de fragmentación, como las características técnicas de los aparatos disponibles, el costo de los equipos comparado con las posibilidades económicas del utilizador, la disponibilidad en el mercado de los equipos, y la facilidad de mantenimiento de los mismos, sin embargo, refiriéndose especialmente a la minería artesanal en el Ecuador, el aspecto de los consumos energéticos en la fragmentación es muchas veces omitido. (Maistri, 1993)

La fragmentación de materiales comprende varias etapas:

- Trituración primaria
- Trituración Secundaria
- Trituración Terciaria
- Molienda

La trituración primaria sirve para triturar el material grueso tal como llega de la mina (muchas veces producto del uso de explosivos) para llevarlo a un tamaño menor; el tamaño de salida de la trituración primaria depende de las características técnicas de las maquinarias utilizadas, de criterios de gastos energéticos y de las características de las trituradoras secundarias o de las máquinas que siguen en el diagrama de flujo.

La trituración secundaria, partiendo del material pasado por la trituración primaria, opera una ulterior reducción de tamaño, establecida siempre según los mismos criterios, y prepara el material para la trituración terciaria o directamente pasa a la molienda.

La trituración terciaria no siempre es utilizada, eventualmente completa la fase de trituración.

La Molienda efectúa la reducción final de tamaño, hasta el grado requerido por la utilización sucesiva del material molido.

Las varias etapas de una conminución son siempre complementadas por una o más fases de clasificación por tamaño, principalmente para evitar la producción de finos en exceso (Maistri, 1993).

En la tabla 1-1 se puede observar la relación de las etapas de trituración y sus respectivos rangos de operación.

Tabla 1-1 Rangos de operación de la fragmentación.

	Tamaño de Entrada	Tamaño de Salida
Trituración Primaria	Trozos grandes	< 100 mm
Trituración Secundaria	< 100 mm	< 25 mm
Trituración Terciaria	< 25 mm	< 10 mm
Molienda	< 10 mm	Tamaño final

## 1.2 Trituración Primaria.

La trituración de minerales se efectúa normalmente por compresión simple, fracturándose estos en el momento de llegar a su límite elástico. Consecuentemente para llegar a tal punto es necesario transmitir a la superficie de los minerales una fuerza de tal intensidad que permita traspasar el límite mencionado. En estas condiciones, cada vez que un mineral se tritura hay un consumo de energía proporcional a la nueva superficie producida. Con el objeto de ilustrar el principio de trituración, se hace el análisis de las fuerzas que se imparten en una quebradora de quijada y se determina a la vez, por qué las quijadas de una quebradora están colocadas en un ángulo determinado. (Espinosa, López, 1984).

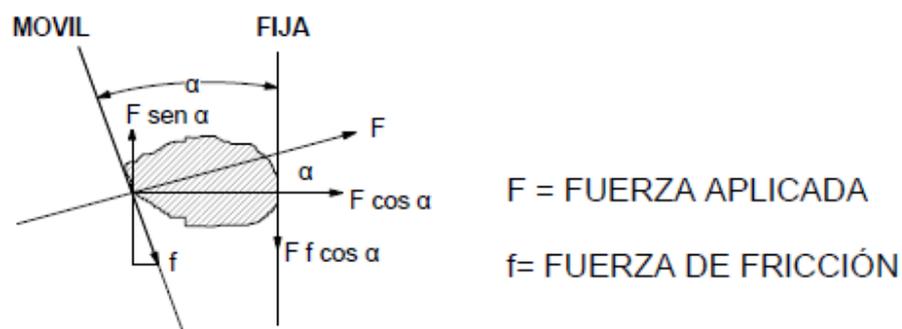


Figura 1.1 Diagrama de Fuerzas en Trituración.

La fuerza (F) que la quijada móvil imparte a la roca en su punto de contacto, se descompone en dos, una normal a la quijada fija ( $F \cos \alpha$ ) y otra vertical ( $F \sin \alpha$ ). La fuerza normal ( $F \cos \alpha$ ), origina la fuerza ( $F \cos \alpha$ ), siendo (f) la fuerza de fricción. El valor de esta fuerza está dada por el coeficiente de fricción, el cual es variable dependiendo de la naturaleza del mineral, siendo igual a la tangente del ángulo de fricción entre la roca y la quijada móvil. Teniéndose teóricamente dos puntos de contacto de la roca con las quijadas, el coeficiente de fricción (0.2 a 0.3). (Espinosa, López, 1984).

### Relación de Trituración (RT)

Esta relación es la existente entre el tamaño de mineral que se alimenta a una quebradora y el de su descarga, tomándose estos valores como (F) alimentación y (P) descarga, valores que deben ser correspondientes al tamaño al cual se halla el 80% de cada producto, quedando esta relación expresada en los siguientes términos:

$$RT = \frac{F}{T}$$

Suponiendo que se alimenta a un quebrador mineral a 10" y se tritura a 2", teniéndose tanto de alimentación como de descarga las granulometrías que se consignan en las tablas 1-2 y 1-3, se puede determinar los valores (F) y (P). (Espinosa, López, 1984).

Tablas 1-2 y 1-3. Ejemplos de valores de Trituración.

ALIMENTACIÓN		
Producto	Tamaño (cm)	Peso (%)
"= -10" + 9"		37.6
"= 9" + 8 "		10.6
"= 8" + 6 "		9.4
"= 6" + 4 "		8.2
"= 4" + 2 "		17.6
"= -2"		16.6
"= -10"	-25.4	100
"= -9"	-22.86	62.4
"= -8"	-20.32	51.8
"= -6"	-15.24	42.4
"= -4"	-10.16	34.2
"= -2"	-5.08	16.6
(F)	244000	MICRAS

DESCARGA		
Producto	Tamaño (cm)	Peso (%)
"= -2" + 1 "		38.6
"=-18" + 3/4 "		14.9
"= -3/4" + 1/2 "		13.9
"= -1/2" + 1/4 "		15.8
"= -1/4"		16.8
"= -2"	-5.08	100
"= -1"	-2.54	61.4
"= -3/4"	-1.91	46.5
"= -1/2"	-1.27	32.6
"= -1/4"	-0.64	16.8
(P)	39000	MICRAS

Quedando con los valores determinados (F) y (P) la relación de trituración siguiente:

$$RT = \frac{F}{T} = \frac{244000}{39000} = 6.25$$

Esta relación que ha sido determinada bajo los conceptos señalados, difiere considerablemente de la que comúnmente se determina mediante el producto de las relaciones escuetas de admisión (10") y descarga (2"), que daría una falsa relación de trituración:

$$RT = 5$$

### Nueva Superficie Producida

Con el objeto de expresar con sencillez el concepto de superficie original y de superficie producida, nos permitiremos suponer que un cubo al ser triturado, se fracturará en partículas iguales. Consecuentemente, el cubo de la figura 1.2, tendrá un área original ( $S$ ).

$$S = 6x^2$$

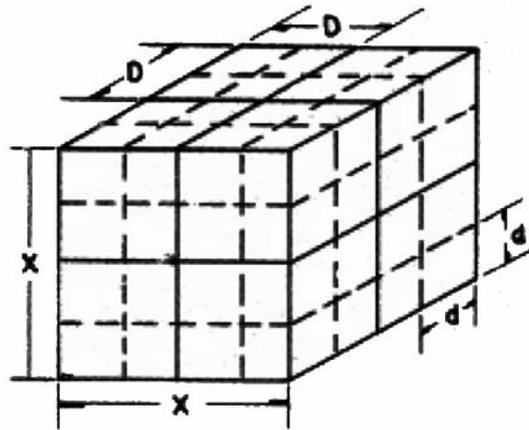


Figura 1.2 Cubo de nueva superficie.

Si la partícula se tritura con la siguiente relación de trituración:

$$RT = \frac{x}{D}$$

La nueva superficie será:

$$NS = 6D^2$$

En la trituración primaria los bloques en la alimentación pueden ser tan grandes como de 1.5 m o más. Las capacidades productivas llegan a las 5000 t/h en las trituradoras giratorias.

A diferencia de las otras secciones de una planta industrial de procesamiento de minerales, normalmente la planta de trituración no trabaja las 24 horas diarias, debido a algunos factores, como son:

- generalmente se lleva a cabo la carga y transporte de la mena solamente en dos turnos, siendo usado el otro turno para las operaciones de arranque del material (con la excepción de los casos de producción y transporte en continuo).
- Interrupciones causadas por la alimentación insuficiente.
- demoras debidas a problemas mecánicos en las trituradoras.

Por lo tanto, la sección de trituración (incluyendo también la secundaria y a veces la terciaria) debe tener una capacidad horaria más grande que el resto de la planta, la cual generalmente trabaja continuamente.

Las tolvas de compensación (tolvas de gruesos) preceden a las trituradoras primarias para recibir las cargas que son vaciadas desde elevadores y camiones y deben tener bastante capacidad de almacenamiento para mantener una alimentación constante a la trituradora durante el funcionamiento.

Hay dos tipos principales de trituradoras primarias en operaciones metalíferas: las trituradoras de quijadas y las giratorias.

Las trituradoras de impacto (molino de martillos), aunque no sean generalmente consideradas como primarias, son utilizadas muy a menudo como etapa inicial de la trituración, especialmente en la minería no metálica. (Maistri, 1993).

### **1.2.1. Trituradora de Quijadas.**

Llamada también trituradora, quebrantadora o chancadora de mandíbulas.

La chancadora de mandíbula se destina principalmente al uso de la maquinaria de chancado de primer nivel o primaria (trituración gruesa y media), clasificada en el modelo de oscilación sencilla, modelo de oscilación compleja y el modelo de oscilación mixta. Se clasifica generalmente en el tipo de oscilación compleja y la sencilla, destinándose principalmente a la trituración gruesa y media. En los últimos años, ha aparecido la chancadora de oscilación mixta, destinada a la trituración fina; así como la chancadora fuerte de ferrocromo a micro carbono, que tiene alta intensidad de trituración y alta

dureza. En el funcionamiento, como se puede ver en la figura 1.3, el motor eléctrico rota por medio de que la polea conduce el eje excéntrico, dejando la mandíbula móvil acercarse y distanciarse periódicamente a la mandíbula fija, realizando las múltiples trituraciones para que las partículas se cambien de lo grande a lo pequeño cayendo gradualmente hasta que se evacuen por la salida. En el momento de alimentar la chancadora de mandíbula, el mineral se echa desde el tope hasta la cavidad de trituración con los dientes de mandíbula que empujan con gran fuerza las partículas hacia la pared para provocar la fractura. (Rodríguez, 2015).



Figura 1.3. Trituradora de Mandíbulas

El funcionamiento básico es el de dos quijadas puestas con la abertura de la boca hacia arriba. Las 2 quijadas están colocadas en un ángulo agudo entre ambas (al máximo de 26 grados), y una de ellas está apoyada de modo que oscile en relación a la otra que es fija. El material, alimentado desde el alto dentro de las mandíbulas, es alternativamente mordido y liberado para descender continuamente dentro de la cámara de trituración.

Las placas trituradoras son sustituibles y son construidas en acero al 12-14 % de Mn, particularmente resistente a la abrasión; pueden ser lisas o corrugadas, cuando se quiera limitar la presencia de partículas aplanadas en el producto y para triturar materiales duros y abrasivos.

Las trituradoras de mandíbulas son clasificadas comercialmente de acuerdo a sus áreas de recibo, es decir, al ancho de las quijadas y a la abertura de la boca de alimentación (o sea la distancia entre las mandíbulas en la entrada de la alimentación). (Maistri, 1993) Los trozos de roca grandes exigen la aplicación de fuerzas muy considerables para

romperlas. Esta fuerza se obtiene, en la quebrantadora de mandíbulas, de la multiplicación progresiva, por un mecanismo de fuerza infinita, del tirón correspondiente de la correa de transmisión.

Las quebrantadoras usadas para rocas de una dureza grande o intermedia, se caracterizan porque las superficies trituradoras no son paralelas, sino convergen hacia abajo y se aproximan y alejan alternativamente con una pequeña amplitud, pero nunca llegan a establecer contacto entre sí. El espacio en V que las separa, está abierto en su parte superior para recibir la alimentación y, por abajo, para descargar el producto fragmentado, por lo que el género entra, circula y sale en virtud únicamente de la fuerza de la gravedad.

La amplitud del movimiento de la mandíbula varía entre 1.25 y 7.5 cm (1/2" a 3"), según el tamaño de la quebrantadora y el carácter de la roca. Las mandíbulas se abren y cierran de 250 a 400 veces por minuto. (Ortiz E., Tirado R., 2005).

Existen cuatro tipos de trituradoras de mandíbulas: tipo Blake, de pivote elevado, de excéntrica elevada y la Dodge. Las mismas se puede observar en las figuras a continuación:



Figura 1.4. Trituradora de Mandíbulas tipo Blake.  
Fuente: Ortiz E., Tirado R., 2005

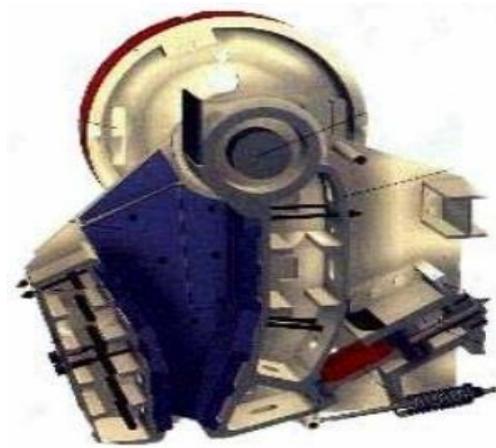


Figura 1.5. Trituradora de Mandíbulas de pivote elevado.  
Fuente: Ortiz E., Tirado R., 2005

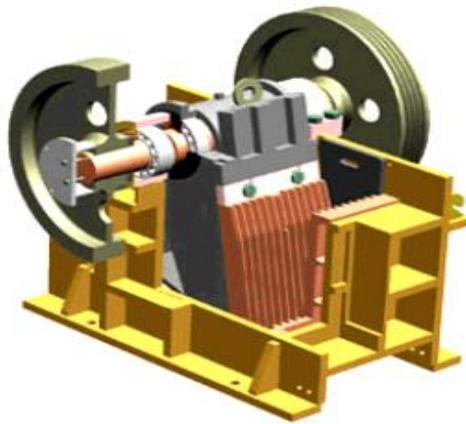


Figura 1.6. Trituradora de Mandíbulas de excéntrica elevada.  
Fuente: Ortiz E., Tirado R., 2005

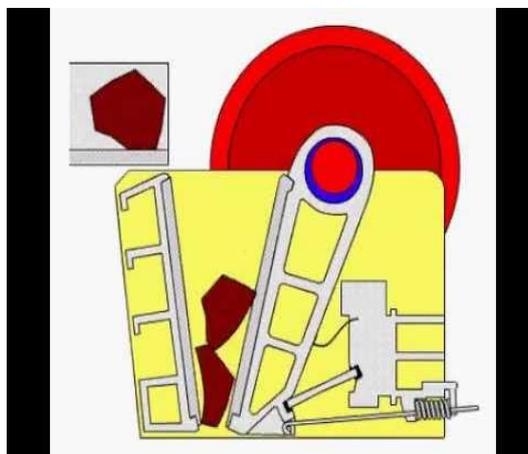


Figura 1.7. Trituradora de Mandíbulas Dodge.  
Fuente: Ortiz E., Tirado R., 2005

### **1.3 Clasificación y Curvas Granulométricas.**

El análisis granulométrico o distribución de partículas del material tratado, es importante en los procesos de investigación para un control de la operación.

El análisis granulométrico (o análisis del tamaño de partículas) del material tratado, cuyo resultado puede ser representado en forma de tabla o por medio de la respectiva curva granulométrica, reviste una gran importancia para cualquier proceso de tratamiento, sea en fase de proyecto y estudio en laboratorio, sea para el control de las operaciones durante el funcionamiento de una planta.

Casi todas las operaciones mineralúrgicas necesitan, para un correcto funcionamiento y para tener un buen rendimiento, una determinada granulometría de entrada de material tratado. Esto vale principalmente para todas las operaciones de concentración, como la concentración gravimétrica con Jig y con mesa vibratoria, la flotación, etc.

El análisis granulométrico es generalmente llevado a cabo con métodos mecánicos (serie de cribas o tamices) o con métodos hidráulicos y neumáticos. En general las cribas se usan para clasificaciones hasta tamaños superiores a 40 micrones indicativamente, mientras que las clasificaciones hidráulica y neumática son utilizadas para clasificar a tamaños menores. Para clasificación a tamaños menores que 40 micrones se está desarrollando también el nuevo campo de las técnicas electrónicas. (Maistri, 1993).

La granulometría, tema que nos ocupa, es la composición, en porcentaje, de los diversos tamaños de agregado en una muestra. Esta proporción se suele indicar de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en peso, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición. (Toirac, 2012).

La separación de un material en diferentes fracciones, según sus tamaños, es necesaria para conocer su competencia desde una visión geotécnica. Esta clasificación comprende dos partes: por tamizado para las partículas gruesas (gravas y arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos y arcillas).

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se

utilizan mallas de diferentes aberturas (figura 1.8), las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).



Figura 1.8. Juego de Tamices

Las curvas pueden ser representadas de varias formas. La forma más utilizada provee el uso de diagramas semilogarítmicos, con las abscisas (tamaños de mallas o de clasificación en general) en escala logarítmica y las ordenadas (porcentaje de pasante o retenido) en escala lineal. La necesidad de usar la escala logarítmica para los tamaños de clasificaciones cesaría en efecto en el caso de muestras muy homogéneas granulométricamente. (Maistri, 1993).

Es importante en una reducción de tamaño lograr mantener las curvas granulométricas empinadas lo mayor posible, un ejemplo se puede observar en la figura 1.9.

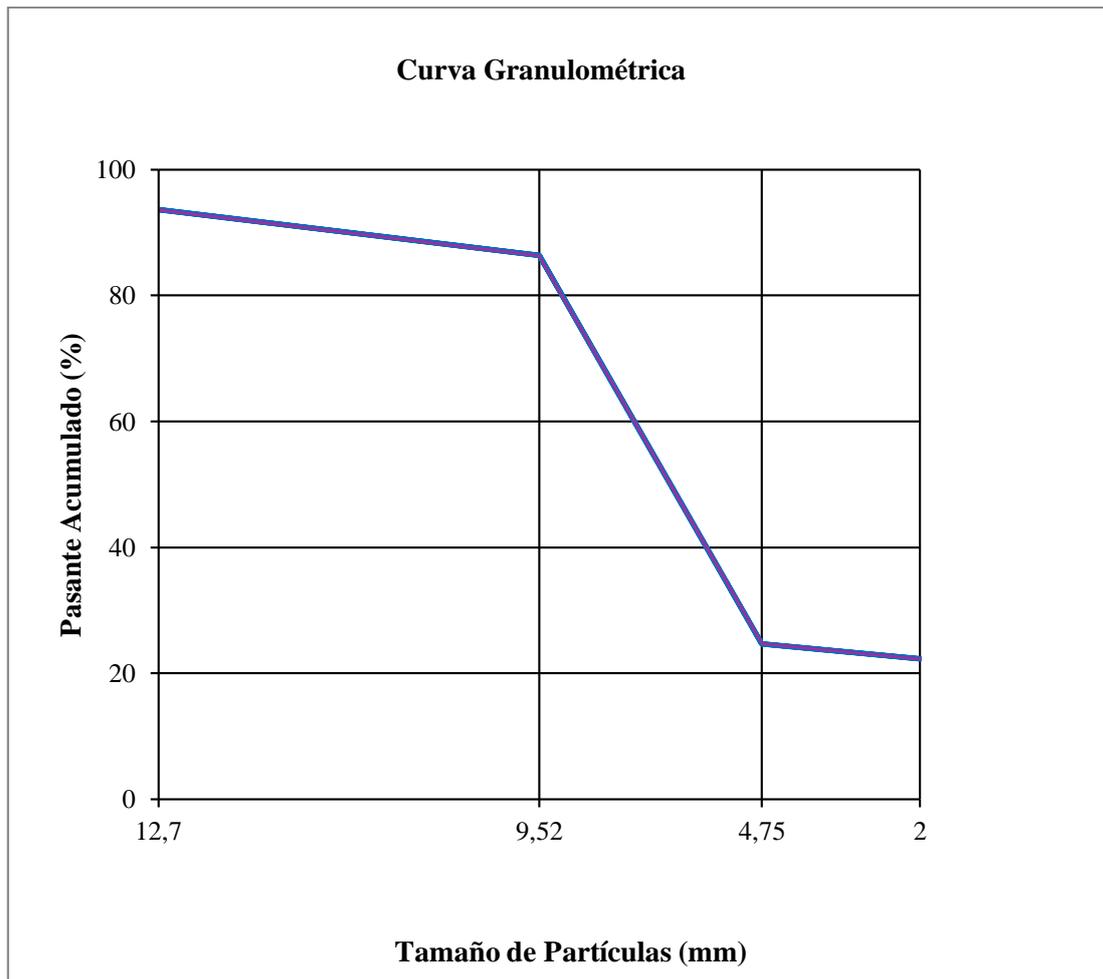


Figura 1.9. Curva Granulométrica.

Las consideraciones cualitativas que se pueden hacer sobre las curvas granulométricas son las mismas para los casos de análisis con cribas y análisis de otro tipo.

En abscisa tendremos el tamaño de malla en el análisis de cribas, y el tamaño de clasificación en la clasificación hidráulica o neumática. En los dos casos en ordenada será reportado el porcentaje de muestra clasificado como mayor (curva de retenido acumulado o del retenido simplemente) o como menor (curva del pasante) respecto al tamaño de clasificación correspondiente.

### 1.4 Resistencia a la Compresión Simple o Uniaxial

Es una medida de resistencia de la matriz rocosa, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra de material antes de fracturarse. Generalmente el ensayo se realiza sobre cubos o probetas cilíndricas de roca intacta con un diámetro recomendable de 50 milímetros. (Almeida, 2018).

$$R.C.U. = \frac{\text{Fuerza a la que falla la roca}}{\text{Area de aplicacion de la fuerza}}$$

De acuerdo a la estimación en el terreno (Hoeck, 1999) la roca es resistente, en función de que un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico, correspondiendo a un valor de 50 a 100 MPa (tabla 1-4). De acuerdo a una clasificación ingenieril del tipo de roca se ha tomado un valor entre 55 a 110 Mpa (tabla 1-5).

Tabla 1-4 Clasificación de las rocas por estimación con martillo de geólogo.

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (Mpa)	Indice de carga puntual (Mpa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	250	10	Golpes de martillo geológico solo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100-250		Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50-100		Un trozo de roca requiere mas de un golpe con martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25-50	1-2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de martillo geológico, pero no es posible desostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5-25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1-5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0.25-1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

(a) Clases según Brown [2].

(b) Para rocas con una resistencia en compresión uniaxial menor que 25 Mpa los resultados del ensayo de carga puntual son pocos confiables.

Tabla 1-5 Clasificación Ingenieril de las rocas.

Clase	Descripción	Resistencia a la compresión uniaxial		Tipo de roca
		(PSI)	(Mpa)	
A	Resistencia muy alta	32.000	220	Cuarcitas, diabasas. Mayoría de rocas ígneas.
B	Resistencia alta	16.000-32.000	110 a 220	Ciertas rocas metamórficas. Areniscas frágilmente cementadas. Lutitas resistentes. Mayoría de las calizas. Ciertas dolomitas.
C	Resistencia media	8.000-16.000	55 a 110	Algunas lutitas. Areniscas y calizas porosas. Esquistos y rocas metamórficas.
D	Resistencia baja	4.000-8.000	28 a 55	Rocas porosas de baja densidad. Areniscas deleznable. Tufas y lutitas arcillosas. Rocas meteorizadas y químicamente alteradas de cualquier litología.
E	Resistencia muy baja	4.000	28	

La resistencia a la compresión simple se mide por sus valores que van desde 10 a 2000 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo esto una ayuda para determinar la resistencia de la roca es decir si esta es muy baja o la resistencia es muy alta.

También se puede representar el tipo de roca que es gracias a su petrografía; sin embargo, es difícil la determinación de resistencia por el cual se ha logrado desarrollar un tipo de prueba menos complicada llamada Is50, siendo esta de bajo costo y pudiendo obtener datos aproximados.

Dentro de las propiedades físicas se incluyen densidad, porosidad, permeabilidad a líquidos y gases, capacidad calorífica, conductividad y expansión térmicas, etc. Entre las propiedades químicas pueden incluirse la resistencia a soluciones ácidas y alcalinas, y a las reacciones inducidas por la presencia de sales. Las propiedades mecánicas incluyen la

resistencia a la compresión, tensión, flexión e impacto y penetración por otro cuerpo y por otras acciones que involucren la generación de fuerzas, como la cristalización de hielo y sales en el interior del sistema poroso de los materiales y los cambios volumétricos de los mismos debidos a cambios de temperatura. (Aguasco, 2007).

La resistencia a la compresión es la carga (o peso) por unidad de área a la que el material falla (se rompe) por fracturación por cizalla o extensional (figura 1.10). Esta propiedad es muy importante en la mecánica de materiales, tanto en situación no confinada (uniaxial) como confinada (triaxial). Dado que los materiales cerca de la superficie terrestre, incluyendo los edificios, suelen estar sometidos a condiciones no confinadas, consideraremos exclusivamente esta situación. En este caso, la resistencia a la compresión uniaxial (longitudinal) se mide en una prensa hidráulica que registra el esfuerzo compresor aplicado sobre una probeta de material en una dirección del espacio, y la deformación lineal inducida en esa misma dirección. (Aguasco, 2007).

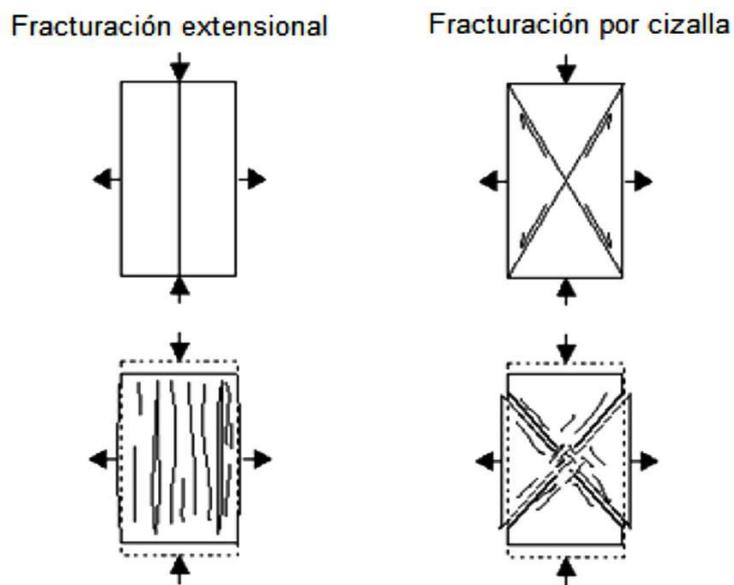


Figura 1.10 Desarrollo de las fracturas extensionales y de cizalla como resultado de compresión.

El esfuerzo es igual a la fuerza aplicada por sección o superficie:

$$\delta = \frac{F}{A}$$

Donde  $f$  es la fuerza y  $A$  es el área de la probeta.

Al aumentar el esfuerzo y superarse el límite elástico, la deformación aumenta rápidamente y es en parte permanente. Al aumentar el esfuerzo se llega finalmente al punto denominado de ruptura, donde el cuerpo experimenta una fracturación catastrófica por cizalla o fisuración extensional. Este punto de ruptura define, en términos del esfuerzo compresivo, la resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión de los materiales de construcción es muy variable, oscilando desde materiales:

- Muy débiles ( $<70 \text{ kg/cm}^2$ )
- Débiles ( $70\text{-}200 \text{ kg/cm}^2$ )
- Moderadamente resistentes ( $200\text{-}700 \text{ kg/cm}^2$ )
- Fuertes ( $700\text{-}1400 \text{ kg/cm}^2$ ) hasta
- Muy fuertes ( $>1400 \text{ kg/cm}^2$ ).

Las rocas naturales son relativamente resistentes a la compresión (no tanto a la tensión y flexión), aunque las rocas sedimentarias son las más débiles debido sobre todo a su mayor porosidad y variable grado de cementación. Aunque no puede generalizarse el efecto del tamaño de grano, puede decirse que, en general, la resistencia a la compresión aumenta a medida que aumenta el tamaño de grano de los materiales, a igualdad de otras variables como composición mineral, estructura, porosidad, cementación, etc. (Agcasco, 2007).

Durante muchos años, la prueba directa de resistencia al esfuerzo cortante fue prácticamente la única usada para la determinación de la resistencia de los suelos. Hoy aun cuando conserva interés práctico debido a su simplicidad, ha sido substituida en buena parte por las pruebas de compresión triaxial.

El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina resistencia a compresión simple, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas, en la tabla 1-6 se incluyen los valores típicos de este parámetro para diferentes tipos de roca. Se obtiene mediante el ensayo de resistencia uniaxial o de compresión simple.

La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material (además de otros valores extrínsecos al material rocoso). La cohesión,  $c$ , es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman la roca. El ángulo de fricción interna,  $\phi$ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, para la mayoría de las rocas este ángulo varía entre 25 y 45 grados.

Tabla 1-6 Clasificación de las rocas según la Resistencia a la Compresión.

Descripción	Resistencia a la Compresión Simple en MPa	Ejemplo de Roca
Resistencia muy baja	1 - 25	Yeso, sal de roca
Resistencia baja	25 - 50	Carbón, limonita, esquisto
Resistencia media	50 – 100	Arenisca, pizarra, lutita
Resistencia alta	100 – 200	Mármol, granito, gneiss
Resistencia muy alta	> 200	Cuarcita, gabro, basalto

## CAPITULO II

### EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se procura dar una explicación a detalle de las operaciones realizadas para la consecución de los objetivos planteados en el presente trabajo. Iniciaremos con una descripción de las muestras, su proceso de trituración, clasificación y determinación de resistencia a la compresión.

Para el estudio se han determinado tres sitios para el muestreo de rocas, los cuales son; Cojitambo (provincia del Cañar), El Tahual (provincia del Azuay) y Pumayunga (provincia del Azuay). (Figura 2.1)

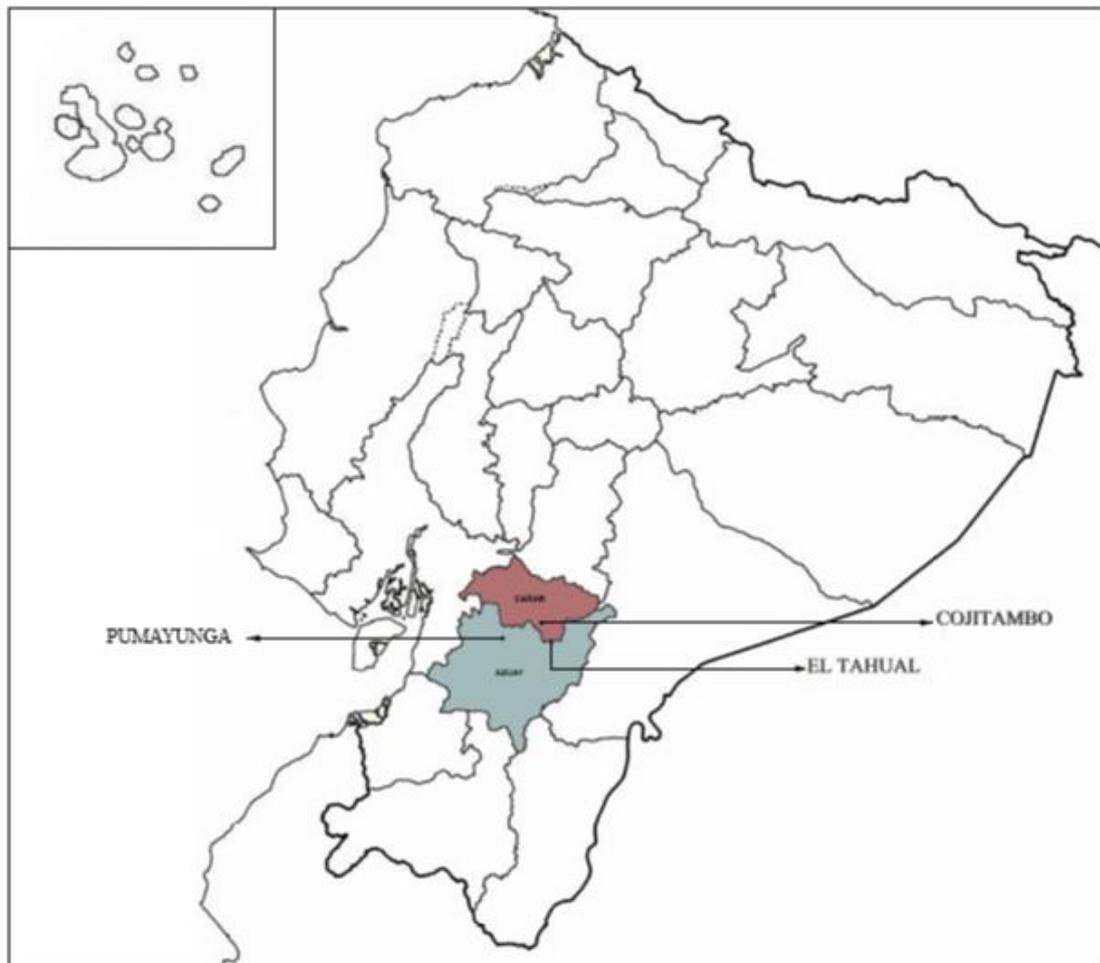


Figura 2.1 Mapa de localización de las muestras obtenidas.

## 2.1 Número de muestras y preparación

Para el presente trabajo, se procedió a la toma de 20 muestras de cada zona de estudio, es decir 20 muestras para la zona del Cojitambo, 20 para El Tاهual y 20 muestras para Pumayunga, lo que nos da un total de 60 muestras.

El criterio que se utilizó para la toma de muestras es que las mismas deben estar sin ningún tipo de alteración, o sea deben ser frescas y sin fracturas.



Figura 2.2 Selección de rocas.



Figura 2.3 Selección de rocas.

Una vez escogidas las muestras a tratarse, se procedió a llevarlas a los talleres para que las mismas sean cortadas y así obtener como resultado un paralelepípedo como lo muestra la figura a continuación:

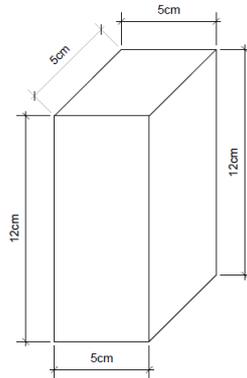


Figura 2.4 Dimensiones de la muestra.



Figura 2.5 Muestra real.

Obtenidas las 60 probetas, procedemos a la ejecución de las pruebas, primero de cada zona de estudio (20 probetas), 10 serán llevadas al proceso de trituración y clasificación y las otras 10 servirán para la determinación de la resistencia a la compresión.



Figura 2.6 Probetas A y B para las pruebas de laboratorio.



Figura 2.7 Probetas de la zona de Cojitambo.



Figura 2.8 Probetas de la zona de El Tahal.



Figura 2.9 Probetas de la zona de Pumayunga

## 2.2 Proceso de Trituración

Antes de iniciar el proceso de trituración se deben pesar todas las probetas para obtener el dato inicial que servirá en lo posterior para la clasificación (figura 2.10).

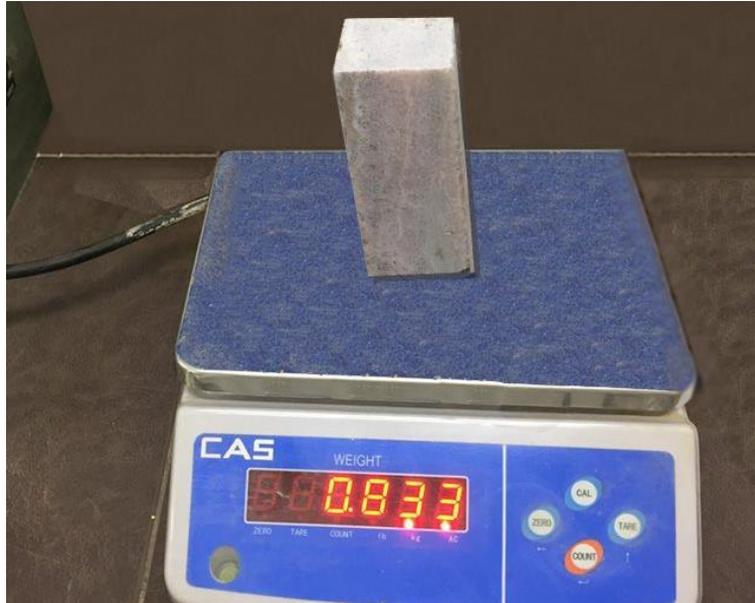


Figura 2.10 Peso de la muestra cúbica a realizarse el análisis.

Las muestras seleccionadas son llevadas al proceso de trituración mediante una trituradora de mandíbulas R22, como se puede observar en las figuras a continuación:



Figura 2.11 Colocación de la muestra en la trituradora de mandíbulas.



Figura 2.12 Partículas obtenidas del proceso de trituración.

### 2.3 Ejecución de la Clasificación.

Una vez que tenemos las partículas procedentes de la muestra triturada, la colocamos en los tamices para que la misma sea llevada a la tamizadora eléctrica; Se ejecutaron las pruebas de clasificación granulométrica con los tamices 1/2, 3/8, 8 y 10. El tiempo de clasificación fue de 1 minuto, para que el proceso sea igual en todos los casos. (Figura 2.13).



Figura 2.13 Proceso de clasificación en la tamizadora eléctrica.

Posteriormente se procede a pesar cada tamiz con las partículas retenidas en cada uno de ellos, los mismos que nos servirán para determinar la distribución granulométrica.



Figura 2.14 Pesado del tamiz # 1/2.

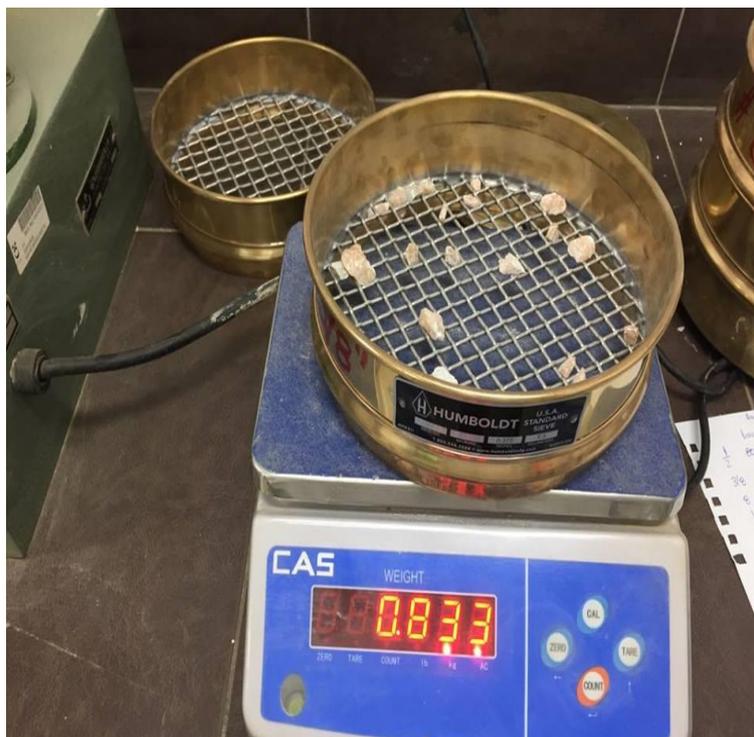


Figura 2.15 Pesado del tamiz # 3/8.



Figura 2.16 Pesado del tamiz #8.



Figura 2.17 Pesado del tamiz #10.

## 2.4 Elaboración de Curvas Granulométricas

Para la elaboración de las curvas granulométricas, utilizamos como herramienta el software (Excel), el mismo que nos servirá para posteriormente interpretar los resultados alcanzados.

En esta tabla, procedemos a transcribir los pesos de los tamices calculados anteriormente, así mismo el peso de cada una de las muestras; recordando que tanto el % retenido, % retenido acumulado y el % del pasante acumulado se calcula de la siguiente manera:

- **% Retenido:** Corresponde al porcentaje en masa del suelo directamente retenido en el tamiz.

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido en el tamiz}}{\text{peso de la muestra total}} * 100$$

- **% Retenido Acumulado:** Corresponde al porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma de todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de abertura de mayor tamaño más el porcentaje parcial de lo retenido en ese tamiz.

$$\% \text{ retenido acumulado} = \frac{\% \text{ retenido en el tamiz } n1}{\% \text{ retenido en el tamiz } n 2} + \text{retenido en el tamiz } n3$$

- **% Pasante Acumulado:** Corresponde al porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula entre 100 y el porcentaje retenido en ese tamiz.

$$\% \text{ acumulado que pasa en el tamiz } 2 = 100 - (\% \text{retenido acumulado en el tamiz } n2)$$

Tabla 2.1 Tabla para datos de Granulometría

PESO MUESTRA #					
N TAMIZ"	APERTURA DE LA MALLA (mm)	PESO DEL TAMIZ	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.5				
3/8	9.5				
8	2.38				
10	2				
FONDO					
TOTAL					

### 2.5 Determinación de la Resistencia a la Compresión Simple

Como se manifestó anteriormente, las otras 10 muestras de cada sector, son llevadas al laboratorio para obtener el valor de su rotura, el mismo que servirá para la determinación de la resistencia a la compresión.



Figura 2.18 Colocación de la muestra para ser sometida a la rotura.



Figura 2.19 Rotura de la muestra.

### CAPÍTULO III

#### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este trabajo de investigación trata de determinar la manera en qué se relacionan la distribución de tamaño de partículas y los valores de la resistencia a la compresión de la roca, para luego utilizar dicho valor de resistencia a la compresión en los sistemas de clasificación de macizos rocosos. Esta operación se la propone con equipos estándar, específicamente una trituradora de mandíbulas y clasificador con tamices, equipos que son adquiridos en una mina o cantera para trabajos de trituración y clasificación.

Las dimensiones de las probetas y la forma en que se realizó su corte, se basa en diversos parámetros técnicos que posteriormente serán detallados.

En total se utilizaron 60 probetas de 3 zonas diferentes, cada una de ellas tiene prácticamente las mismas dimensiones. Para el desarrollo de la propuesta se inició con la obtención de muestras de 3 sitios diferentes ubicados en las provincias del Azuay y Cañar. De cada sitio se han obtenido 20 muestras.

Las áreas escogidas para el estudio fueron:

- Cojitambo, presenta una morfología de tipo multiforme, es una formación volcánica en la provincia del Cañar.
- Pumayunga, constituida por un mármol, en la provincia del Azuay.
- El Tahual, que pertenece al miembro San Francisco, meta volcánico del río Paute, en la provincia del Azuay.

Estas muestras se tomaron de afloramientos, pero trabajando en los mismos para que la matriz rocosa extraída sea sana y no contenga ningún tipo de alteración o descomposición. Es muy importante que las muestras tengan superficies frescas y limpias, que nos permita realizar una valoración correcta del estado de la roca a la cual se procede a realizar los ensayos.

Realizada la toma de muestras se las preparó para la elaboración de dos probetas por muestra, de iguales dimensiones, probeta A y probeta B, tanto para las pruebas de compresión, como para el proceso de trituración, respectivamente. Las probetas preparadas tuvieron las siguientes dimensiones: 5 cm x 5 cm x 12.5 cm.

### 3.1 Análisis de resultados de Curvas Granulométricas.

En primera instancia se realizaron los procesos de trituración, llevando cada muestra (probeta B) y procediendo a triturarla.

Para el presente estudio se utilizó una trituradora de mandíbulas MEM R22, la cual se puede observar en la figura 1.3.

Luego del proceso de trituración se procedió a las pruebas de clasificación granulométrica, con los tamices 1/2, 3/8, 8 y 10. El tiempo de clasificación fue de 1 minuto, para que el proceso sea igual en todos los casos. (Figura 1.8).

Los valores obtenidos en los procesos antes descritos se pueden observar en las tablas a continuación:

Tabla 3-1 Valores del proceso de trituración y clasificación de las muestras de Cojitambo.

TAMICES	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C
12.7	93.63	98.37	94.30	97.28	99.32	98.35	93.84	98.60	94.37	98.61
9.52	86.37	89.49	86.43	89.93	93.62	90.36	84.67	90.85	85.55	90.13
4.75	24.71	26.41	24.97	24.76	28.22	25.51	25.00	25.79	24.17	28.23
2	22.29	23.28	22.52	21.90	25.92	23.60	22.99	23.00	23.27	24.30

Tabla 3-2 Valores del proceso de trituración y clasificación de las muestras de El Tahuai.

TAMICES	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H
12.7	96.93	96.93	97.18	98.74	98.60	98.20	97.69	97.65	98.38	97.65
9.52	90.08	86.67	88.32	91.76	91.99	90.98	90.07	89.50	90.28	89.47
4.75	23.74	22.67	22.95	22.49	21.49	22.05	22.72	19.61	20.51	20.91
2	20.95	20.27	21.34	20.11	19.38	19.28	18.91	18.65	18.89	18.70

Tabla 3-3 Valores del proceso de trituración y clasificación de las muestras de Pumayunga.

TAMICES	1J	2J	3J	4J	5J	6J	7J	8J	9J	10J
12.7	98.24	98.67	99.02	97.78	98.04	98.41	98.67	98.06	98.66	98.66
9.52	93.65	94.22	94.87	93.35	94.01	95.61	95.88	95.99	95.60	95.48
4.75	32.00	32.77	29.71	30.79	31.05	32.07	32.24	31.59	30.65	29.95
2	26.47	28.80	25.92	27.34	26.89	27.93	26.55	26.25	26.50	26.65

En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se puede observar la representación gráfica de la distribución de partículas de cada una de las zonas muestreadas, donde el eje de la abscisa está representado por el tamaño de las partículas en mm y el eje de la ordenada está representado por el pasante acumulado en %, datos generados en las curvas granulométricas.

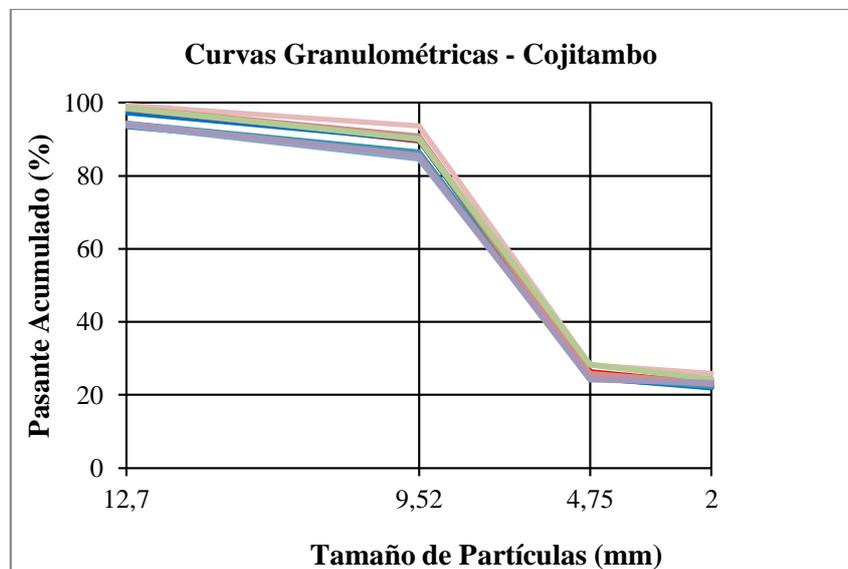


Figura 3.1. Muestras Cojitambo.

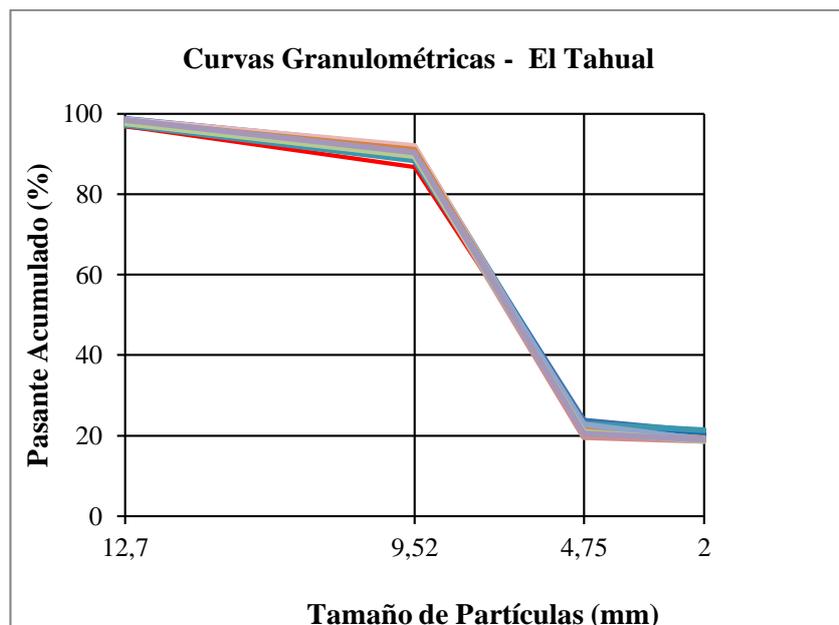


Figura 3.2. Muestras El Tahual

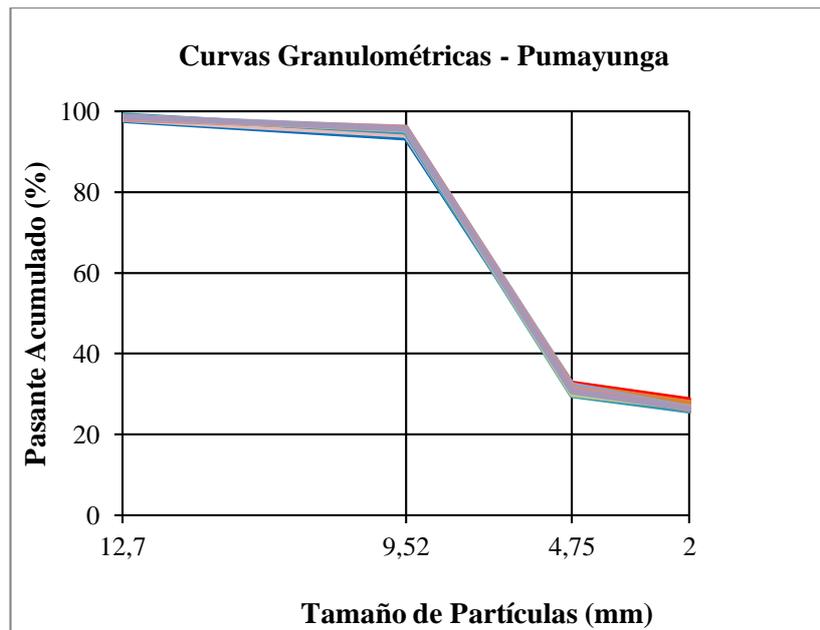


Figura 3.3. Muestras Pumayunga

Analizadas individualmente cada una de las gráficas, con las correspondientes curvas granulométricas, se ha podido determinar que para cada sitio de estudio existe una área en la gráfica formada por las curvas granulométricas, a la cual denominamos “área granulométrica”, la misma que involucra los valores obtenidos en los procesos de trituración y clasificación realizados para cada sitio de muestreo, es decir esta área contiene las 10 curvas granulométricas desarrolladas de cada una de las 3 zonas estudiadas.

### 3.2 Análisis de resultados de Resistencia a la Compresión Simple.

En la una segunda etapa se ejecutaron las pruebas de resistencia a la compresión (probeta A) y con los valores obtenidos se determinó el promedio de las 10 probetas en MPa.

Para la ejecución de los ensayos se utiliza el equipo apropiado. Esta máquina es una prensa Humboldt que tiene facultades para someter materiales a ensayos de tensión y compresión. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico. La máquina de ensayos tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales, para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura. (Figura 3.4).

Las recomendaciones para la aplicación de la máquina de compresión son:

- Adecuado para cilindros, cubos, vigas y núcleos de mezclas.
- Rango de prueba de 2500 a 250000 lb (11 a 1112 KN) con una precisión de  $\pm 0.5\%$  de la carga indicada.
- La configuración estándar incluye platos para probar cilindros de 6 "x 12" (150 mm x 300 mm).



Figura 3.4. Máquina de compresión Humboldt.

Los resultados de los valores de resistencia a la compresión se los puede observar en la tabla 3-4.

Tabla 3-4 Valores de Resistencia a la compresión.

Cojitambo		El Tahual		Pumayunga	
Muestra	RCS (Mpa)	Muestra	RCS (Mpa)	Muestra	RCS (Mpa)
1A	20.8	1A	44.9	1A	9.4
2A	24.1	2A	51.3	2A	11.0
3A	20.4	3A	47.1	3A	9.5
4A	23.6	4A	44.1	4A	11.6
5A	17.7	5A	47.4	5A	13.5
6A	22.0	6A	40.6	6A	10.6
7A	19.2	7A	40.9	7A	10.4
8A	17.9	8A	51.9	8A	12.5
9A	24.0	9A	41.0	9A	12.0
10A	24.6	10A	49.8	10A	10.6
Promedio	21	Promedio	46	Promedio	11

### 3.3 Propuesta de Correlación.

Establecidos los resultados se ha desarrollado gráficas en las cuales se involucra el área granulométrica y la resistencia a la compresión de la roca (valor en MPa), para cada zona, estas se las puede observar en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7.

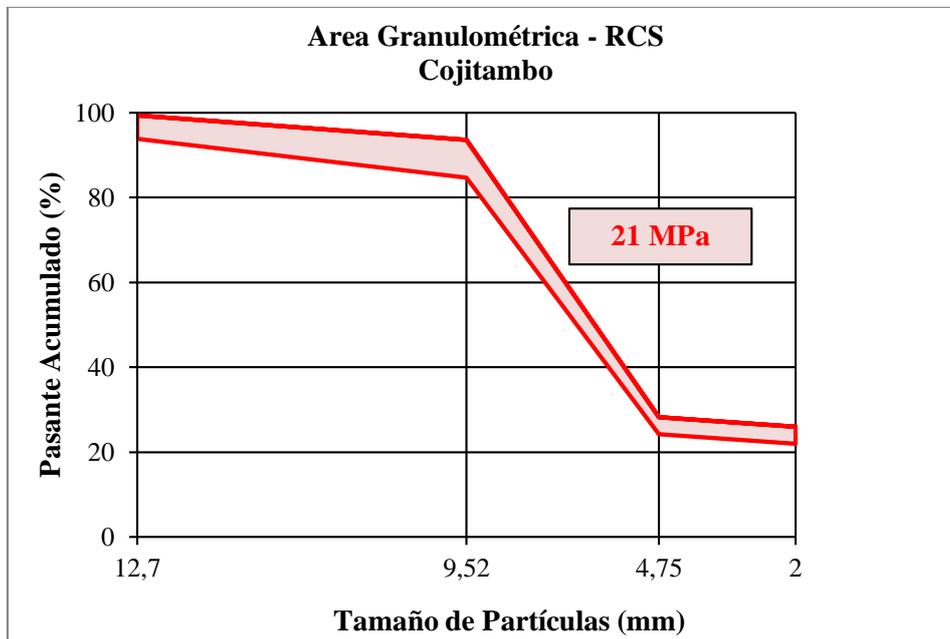


Figura 3.5. Conjunto de datos de las muestras del Cojitambo.

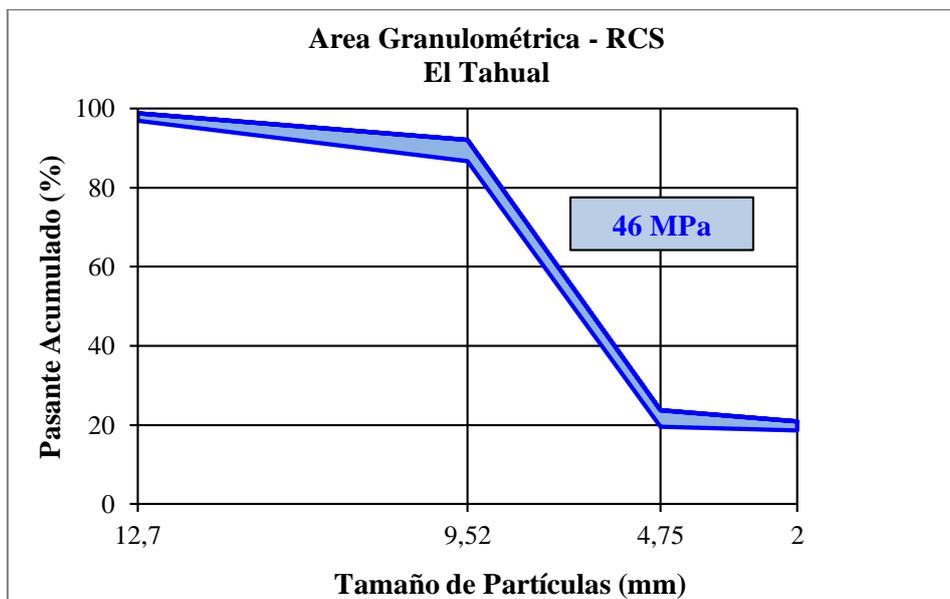


Figura 3.6. Conjunto de datos de las muestras El Tahual.

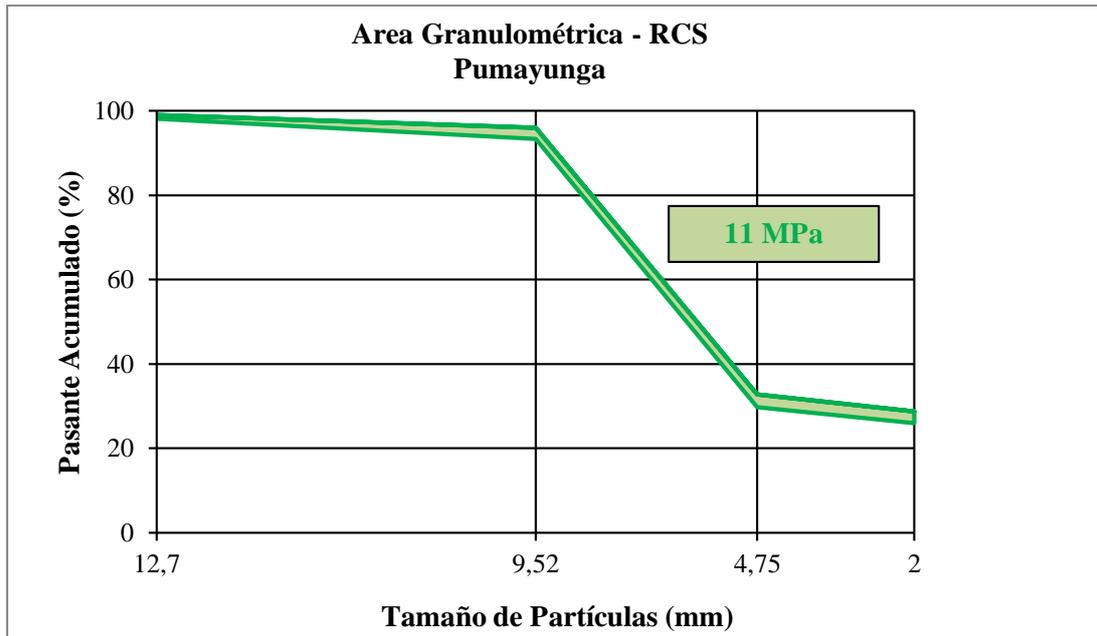


Figura 3.7. Conjunto de datos de las muestras de Pumayunga.

A partir del conjunto de datos se logró formar una gráfica (Figura 3.8), la cual muestra las 3 áreas granulométricas, con sus respectivas resistencias a la compresión y se puede observar que, a mayor resistencia a la compresión de la roca, disminuye el porcentaje de finos (2 a 4.75 mm), mientras que en los gruesos las áreas granulométricas se superponen (4.75 a 12.7 mm).

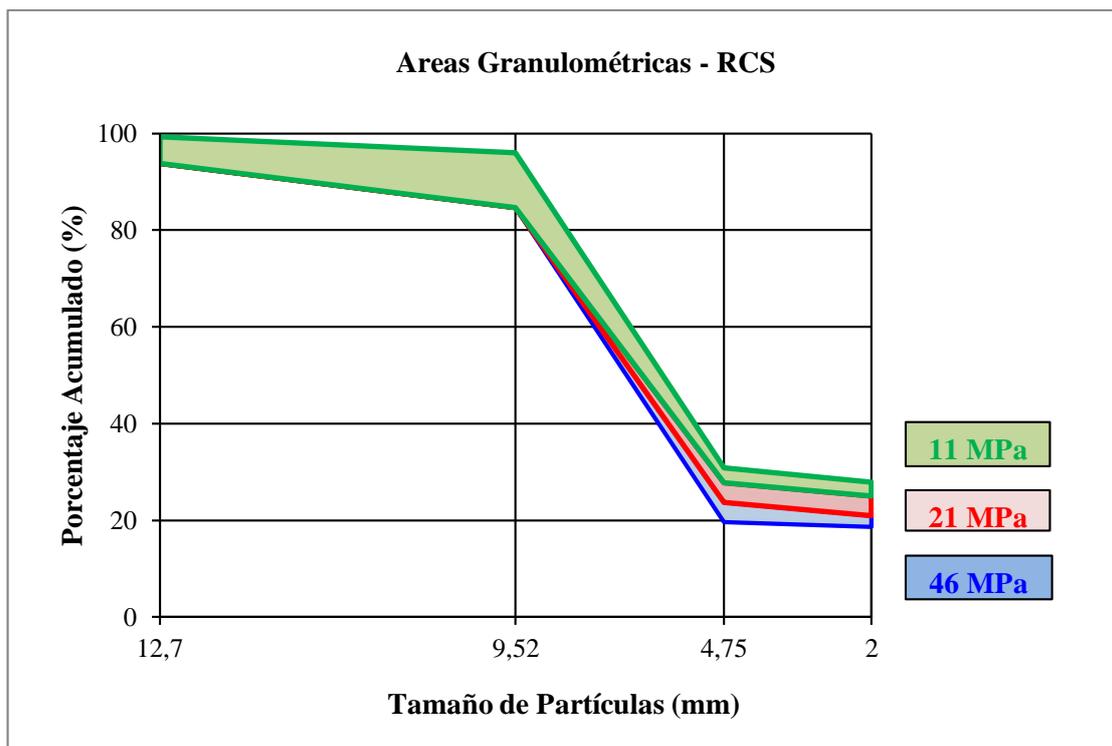


Figura 3.8. Conjunto de datos de las muestras de los 3 sitios de estudio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- El trabajo desarrollado nos permite introducir el concepto de “área granulométrica”, la cual se genera con muestras de similares propiedades y características, ya que podemos observar en las curvas granulométricas que se genera esta área para cada sitio de estudio muestreado.
- Los ensayos con trituración y clasificación planteados en este estudio, permiten conocer la resistencia a la compresión de la roca de una manera económica y en poco tiempo, lo cual brinda cierta ventaja con respecto a los ensayos que se usan generalmente para conocer la resistencia a compresión de las rocas en laboratorio.
- Como se puede observar en las figuras 3.3 ;3.4 y 3.5 las curvas granulométricas, de cada sitio de estudio, presentan una variación máxima, entre la curva superior y la curva inferior, del 10 %, lo que establece un área granulométrica no amplia y marcada para cada zona analizada.
- Podemos registrar, que rocas de similares características en resistencia, presentan una curva granulométrica que estará contenida dentro del área granulométrica, lo que nos permite establecer que solamente cuando la curva granulométrica no esté dentro de la mencionada área, se envíen nuevamente muestras de roca a laboratorio.
- Una vez evaluados los resultados, que se han obtenido en las experiencias llevadas a cabo en diferentes sitios de muestreo, reconocemos el empleo del procedimiento para la determinación en campo de la resistencia a la compresión de las rocas; y en una primera instancia podemos ver que el aumento de la resistencia a la compresión es inverso al porcentaje acumulado en los tamaños de 2 a 4.75 mm.
- Esta investigación en general es especialmente necesaria en el caso de minería para el estudio geotécnico y comportamiento de la roca y macizo rocoso; pues las experiencias han demostrado que existen numerosas variables por resolver. La profundización en el conocimiento de los diferentes materiales rocosos, la evolución en el tiempo en la eficiencia del modelo propuesto, son temas que deben ser abordados para que este proceso se ponga a punto y sea avalado.

- Se determina que la resistencia a la compresión de la roca de la zona de Pumayunga tiene un valor de aproximadamente 11 MPa, la zona de Cojitambo tiene un valor de aproximadamente 21 MPa y la zona de El Tاهual un valor de 46 MPa, y dichos valores se definen específicamente con sus respectivas áreas granulométricas.
- Se puede observar en la figura 3.10 como las áreas granulométricas se ubican de menor a mayor en una forma descendente, lo que nos proporciona la idea de que podríamos generar un modelo para generalizar la determinación de la resistencia a la compresión de materiales distintos por este procedimiento.

**Recomendaciones:**

- Se recomienda realizar pruebas del mismo tipo en materiales o rocas de diferentes sitios para tratar de generalizar el procedimiento y poderlo a punto.
- En proyectos mineros una etapa importante para la determinación de la resistencia a la compresión de la roca es inicialmente enviar muestra a laboratorio para partir de datos reales y correlacionarlos en el desarrollo del proyecto minero.
- Es recomendable ejecutar esta propuesta con un proceso de clasificación granulométrica con mayor número de tamices y de esta forma verificar la existencia del “área granulométrica”.
- Cabe indicar que el proceso de trituración se lo debe ejecutar siempre de la misma forma y con material de entrada que presente iguales características geométricas para que no exista variación en los resultados de la distribución de partículas en la salida del proceso de trituración.
- Se recomienda verificar los valores de la resistencia a la compresión de los materiales estudiados en este trabajo, mediante el envío de muestras a laboratorios certificados, con la finalidad de poseer áreas granulométricas con valores garantizados.
- Es conveniente conseguir materiales que se conozca el valor de resistencia a la compresión para determinar con este proceso si los mismos se ubican de una forma coherente en la gráfica de la figura 3.10 y así correlacionar dicho proceso.

## **BIBLIOGRAFIA**

Delgado, C., 2013. Evaluación de un cambio Tecnológico para el Procesamiento de Minerales de Alta Dureza. Santiago, Chile. Universidad de Chile.

Espinosa, L., López, V., 1984. Teoría y Prácticas de Trituración y Molienda. México, México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Maistri, A., 1993. Guía al Curso de Tratamiento de Minerales y a las Prácticas de Laboratorio, Cuenca. Ecuador. Universidad del Azuay.

Marín, W., 2017. Evaluación de parámetros materiales de fractura en roca intacta. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Ortiz, E., Tirado, R., 2005. Diseño y Construcción de una Trituradora de Mandíbulas de Excéntrica Elevada. Bucaramanga. Colombia. Universidad Industrial de Santander.

Rodríguez, M., 2015. Optimización y Mejora en la Etapa de Chancado/ Aglomerado/ Lixiviación en Minera Anita Ltda. Valparaíso. Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Secretaria de Comunicaciones y Transporte, 2016. Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras. México D.F. México.

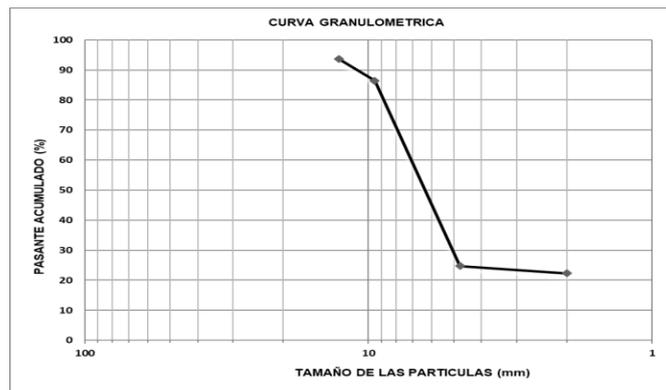
Toirac, J., 2012. Caracterización Granulométrica de las Plantas productoras de arena en la Republica Dominicana. Santo Domingo. República Dominicana. Instituto Tecnológico de Santo Domingo.

**ANEXOS**

Anexo 1. Análisis granulométrico muestra 1 Cojitambo.

MUESTRA	1C
PESO (g)	785

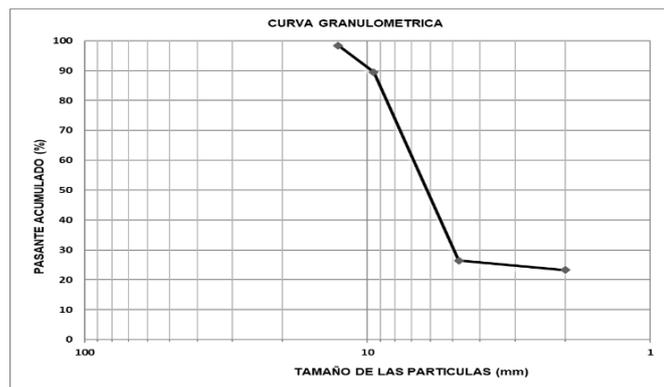
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	853	50	6.37	6.37	93.63
3/8	9.52	796	853	57	7.26	13.63	86.37
8	4.75	728	1212	484	61.66	75.29	24.71
10	2	653	672	19	2.42	77.71	22.29
FONDO				175.00	22.29	100.00	0.00
TOTAL				785.00	100.00		



Anexo 2. Análisis granulométrico muestra 2 Cojitambo.

MUESTRA	2C
PESO (g)	799

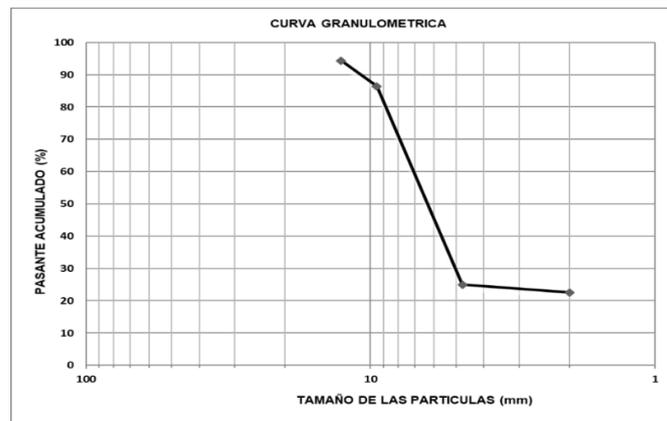
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	817	13	1.63	1.63	98.37
3/8	9.52	797	868	71	8.89	10.51	89.49
8	4.75	728	1232	504	63.08	73.59	26.41
10	2	654	679	25	3.13	76.72	23.28
FONDO				186.00	23.28	100.00	0.00
TOTAL				799.00	100.00		



Anexo 3. Análisis granulométrico muestra 3 Cojitambo.

MUESTRA	3C
PESO (g)	737

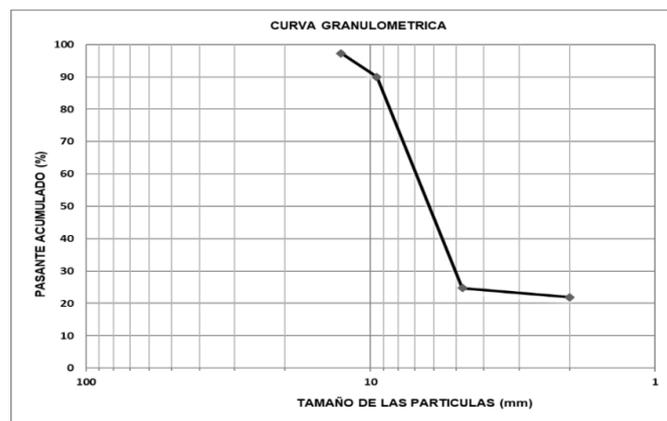
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	845	42	5.70	5.70	94.30
3/8	9.52	796	854	58	7.87	13.57	86.43
8	4.75	727	1180	453	61.47	75.03	24.97
10	2	653	671	18	2.44	77.48	22.52
<b>FONDO</b>				166.00	22.52	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				737.00	100.00		



Anexo 4. Análisis granulométrico muestra 4 Cojitambo.

MUESTRA	4C
PESO (g)	735

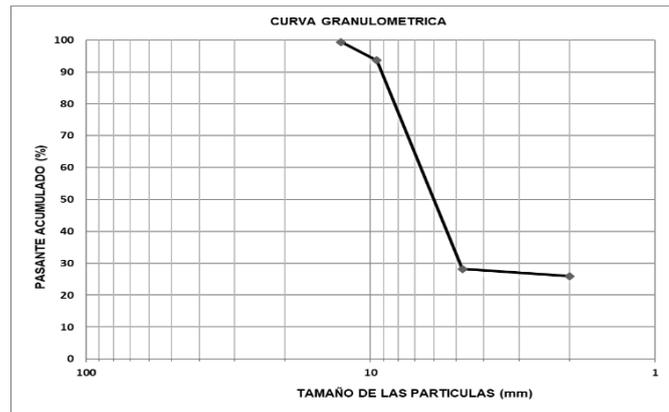
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	823	20	2.72	2.72	97.28
3/8	9.52	796	850	54	7.35	10.07	89.93
8	4.75	728	1207	479	65.17	75.24	24.76
10	2	654	675	21	2.86	78.10	21.90
<b>FONDO</b>				161.00	21.90	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				735.00	100.00		



Anexo 5. Análisis granulométrico muestra 5 Cojitambo.

MUESTRA	5C
PESO (g)	737

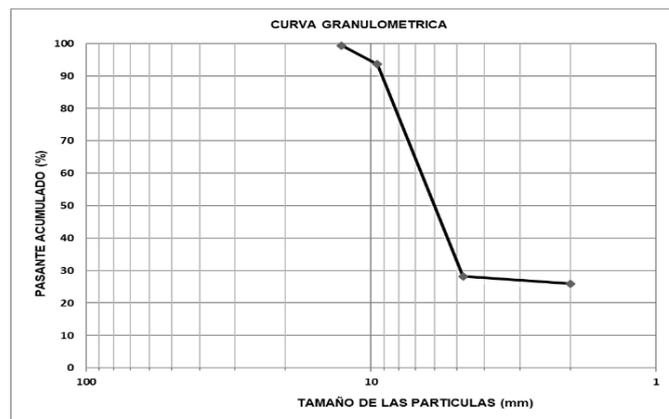
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	808	5	0.68	0.68	99.32
3/8	9.52	796	838	42	5.70	6.38	93.62
8	4.75	728	1210	482	65.40	71.78	28.22
10	2	654	671	17	2.31	74.08	25.92
<b>FONDO</b>				191.00	25.92	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				737.00	100.00		



Anexo 6. Análisis granulométrico muestra 6 Cojitambo.

MUESTRA	6C
PESO (g)	788

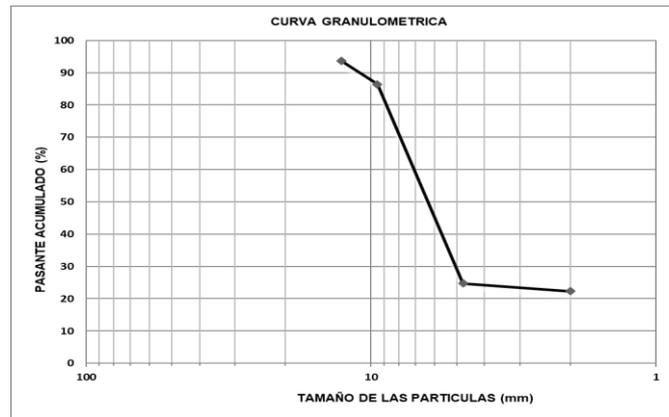
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	817	13	1.65	1.65	98.35
3/8	9.52	798	861	63	7.99	9.64	90.36
8	4.75	728	1239	511	64.85	74.49	25.51
10	2	654	669	15	1.90	76.40	23.60
<b>FONDO</b>				186.00	23.60	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				788.00	100.00		



Anexo 7. Análisis granulométrico muestra 7 Cojitambo

MUESTRA	7C
PESO (g)	796

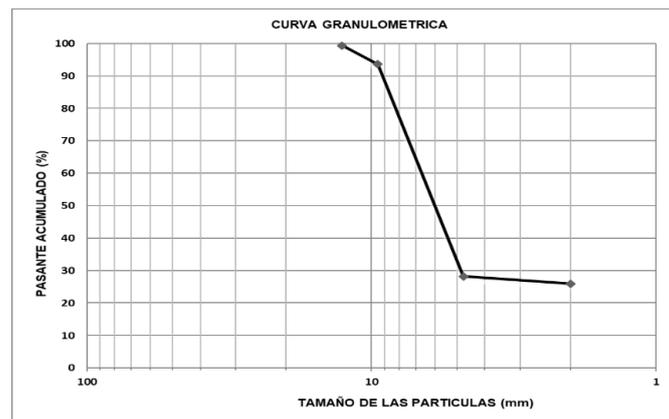
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	852	49	6.16	6.16	93.84
3/8	9.52	796	869	73	9.17	15.33	84.67
8	4.75	729	1204	475	59.67	75.00	25.00
10	2	653	669	16	2.01	77.01	22.99
<b>FONDO</b>				183.00	22.99	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				796.00	100.00		



Anexo 8. Análisis granulométrico muestra 8 Cojitambo.

MUESTRA	8C
PESO (g)	787

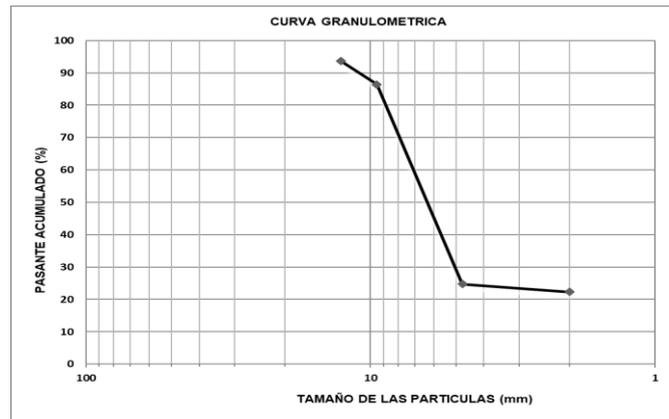
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	815	11	1.40	1.40	98.60
3/8	9.52	798	859	61	7.75	9.15	90.85
8	4.75	729	1241	512	65.06	74.21	25.79
10	2	654	676	22	2.80	77.00	23.00
<b>FONDO</b>				181.00	23.00	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				787.00	100.00		



Anexo 9. Análisis granulométrico muestra 9 Cojitambo.

MUESTRA	9C
PESO (g)	782

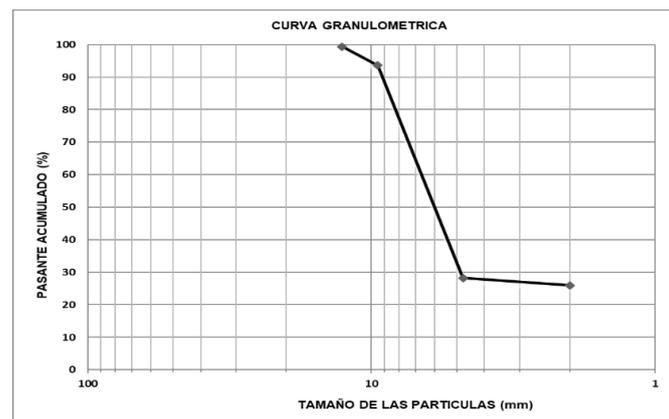
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	847	44	5.63	5.63	94.37
3/8	9.52	796	865	69	8.82	14.45	85.55
8	4.75	729	1209	480	61.38	75.83	24.17
10	2	653	660	7	0.90	76.73	23.27
<b>FONDO</b>				182.00	23.27	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				782.00	100.00		



Anexo 10. Análisis granulométrico muestra 10 Cojitambo.

MUESTRA	10C
PESO (g)	790

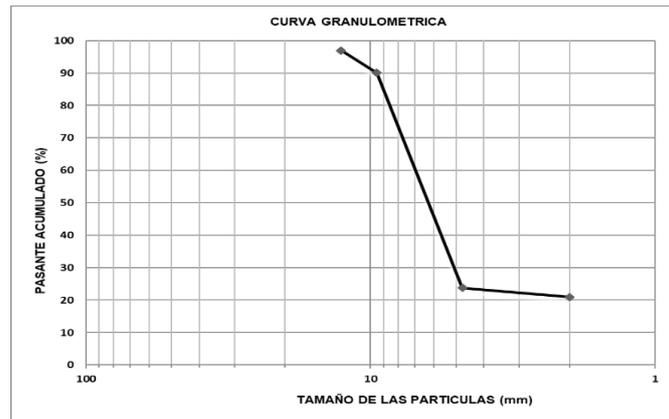
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	815	11	1.39	1.39	98.61
3/8	9.52	798	865	67	8.48	9.87	90.13
8	4.75	729	1218	489	61.90	71.77	28.23
10	2	654	685	31	3.92	75.70	24.30
<b>FONDO</b>				192.00	24.30	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				790.00	100.00		



Anexo 11. Análisis granulométrico muestra 1 El Tausal.

MUESTRA	1H
PESO (g)	716

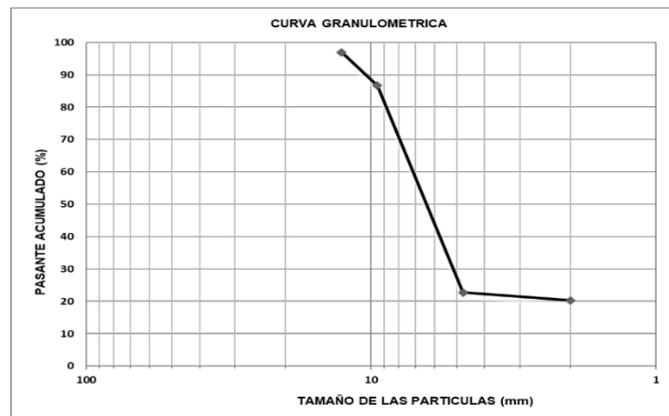
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	826	22	3.07	3.07	96.93
3/8	9.52	797	846	49	6.84	9.92	90.08
8	4.75	728	1203	475	66.34	76.26	23.74
10	2	654	674	20	2.79	79.05	20.95
<b>FONDO</b>				150.00	20.95	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				716.00	100.00		



Anexo 12. Análisis granulométrico muestra 2 El Tausal.

MUESTRA	2H
PESO (g)	750

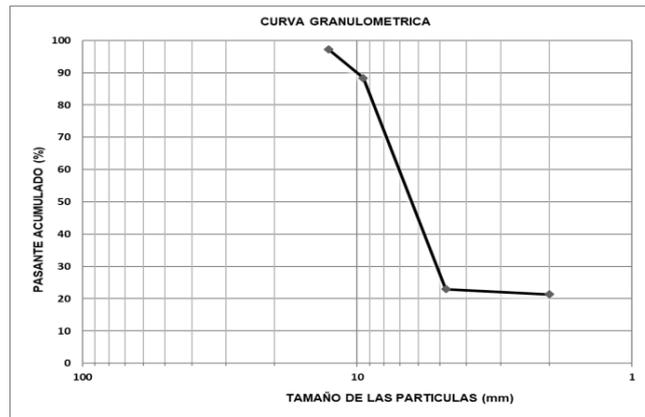
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	826	23	3.07	3.07	96.93
3/8	9.52	796	873	77	10.27	13.33	86.67
8	4.75	728	1208	480	64.00	77.33	22.67
10	2	654	672	18	2.40	79.73	20.27
<b>FONDO</b>				152.00	20.27	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				750.00	100.00		



Anexo 13. Análisis granulométrico muestra 3 El Tausal.

MUESTRA	3H
PESO (g)	745

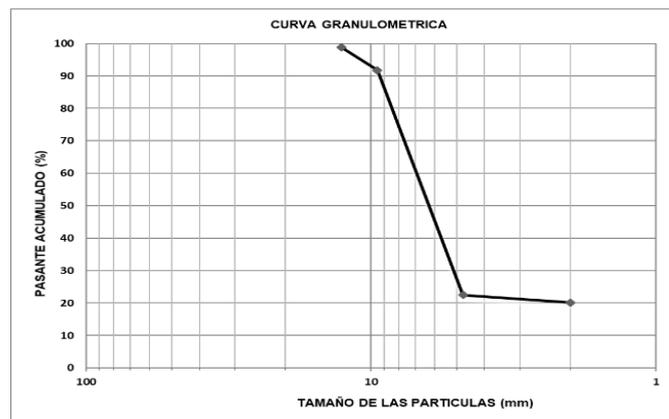
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	824	21	2.82	2.82	97.18
3/8	9.52	796	862	66	8.86	11.68	88.32
8	4.75	728	1215	487	65.37	77.05	22.95
10	2	654	666	12	1.61	78.66	21.34
<b>FONDO</b>				159.00	21.34	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				745.00	100.00		



Anexo 14. Análisis granulométrico muestra 4 El Tausal.

MUESTRA	4H
PESO (g)	716

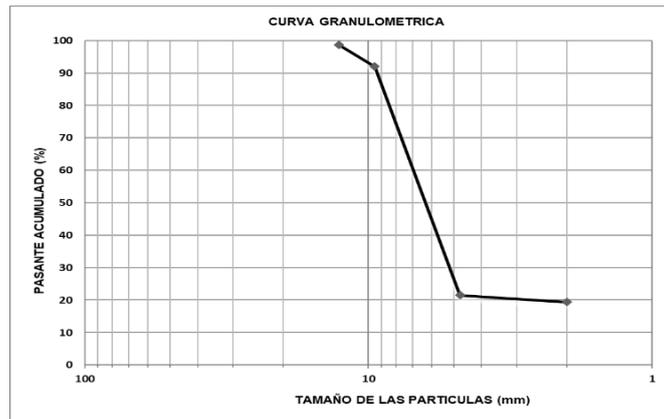
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	812	9	1.26	1.26	98.74
3/8	9.52	796	846	50	6.98	8.24	91.76
8	4.75	728	1224	496	69.27	77.51	22.49
10	2	654	671	17	2.37	79.89	20.11
<b>FONDO</b>				144.00	20.11	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				716.00	100.00		



Anexo 15. Análisis granulométrico muestra 5 El Tahal.

MUESTRA	5H
PESO (g)	712

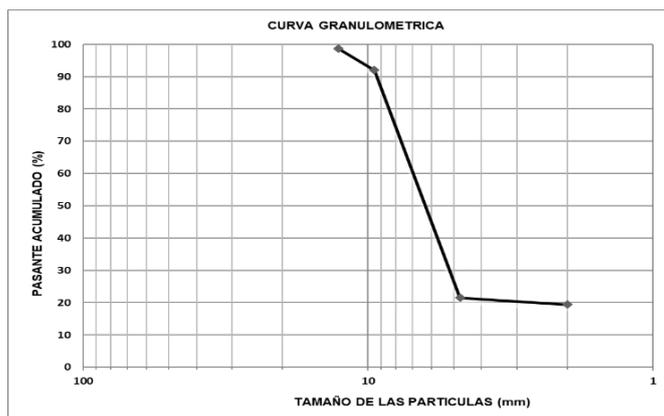
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	814	10	1.40	1.40	98.60
3/8	9.52	797	844	47	6.60	8.01	91.99
8	4.75	728	1230	502	70.51	78.51	21.49
10	2	654	669	15	2.11	80.62	19.38
<b>FONDO</b>				138.00	19.38	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				712.00	100.00		



Anexo 16. Análisis granulométrico muestra 6 El Tahal.

MUESTRA	6H
PESO (g)	721

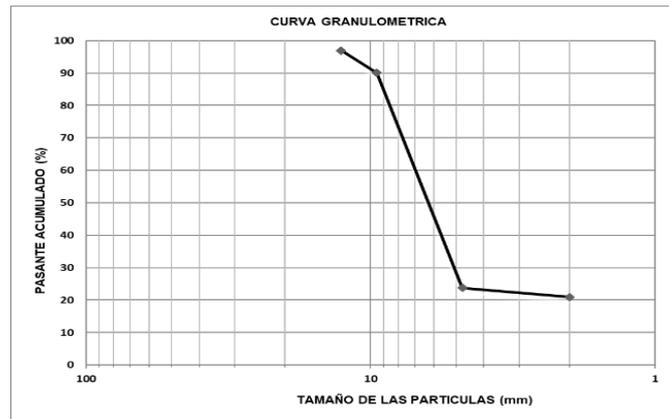
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	817	13	1.80	1.80	98.20
3/8	9.52	798	850	52	7.21	9.02	90.98
8	4.75	728	1225	497	68.93	77.95	22.05
10	2	654	674	20	2.77	80.72	19.28
<b>FONDO</b>				139.00	19.28	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				721.00	100.00		



Anexo 17. Análisis granulométrico muestra 7 El Tausal.

MUESTRA	7H
PESO (g)	735

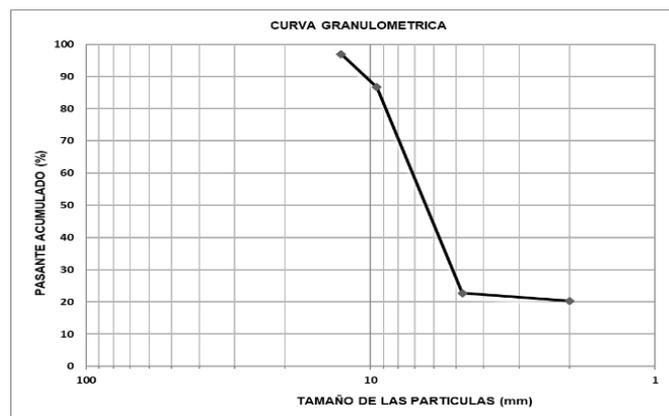
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	820	17	2.31	2.31	97.69
3/8	9.52	796	852	56	7.62	9.93	90.07
8	4.75	728	1223	495	67.35	77.28	22.72
10	2	653	681	28	3.81	81.09	18.91
<b>FONDO</b>				139.00	18.91	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				735.00	100.00		



Anexo 18. Análisis granulométrico muestra 8 El Tausal.

MUESTRA	8H
PESO (g)	724

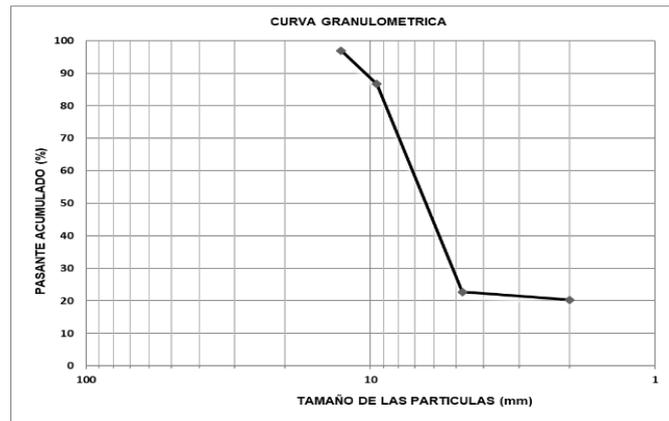
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	821	17	2.35	2.35	97.65
3/8	9.52	797	856	59	8.15	10.50	89.50
8	4.75	729	1235	506	69.89	80.39	19.61
10	2	653	660	7	0.97	81.35	18.65
<b>FONDO</b>				135.00	18.65	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				724.00	100.00		



Anexo 19. Análisis granulométrico muestra 9 El Tahal.

MUESTRA	9H
PESO (g)	741

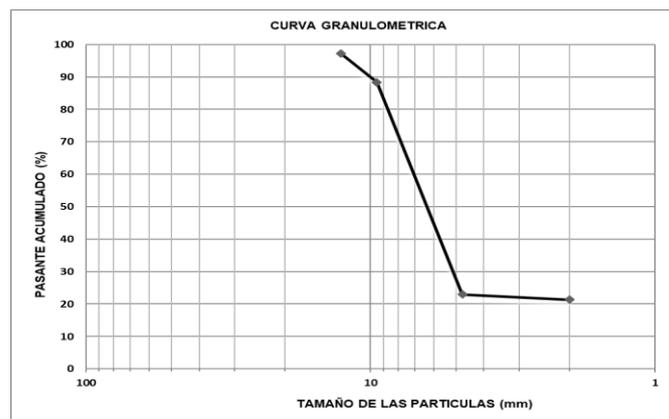
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	816	12	1.62	1.62	98.38
3/8	9.52	796	856	60	8.10	9.72	90.28
8	4.75	728	1245	517	69.77	79.49	20.51
10	2	654	666	12	1.62	81.11	18.89
<b>FONDO</b>				140.00	18.89	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				741.00	100.00		



Anexo 20. Análisis granulométrico muestra 10 El Tahal.

MUESTRA	10H
PESO (g)	722

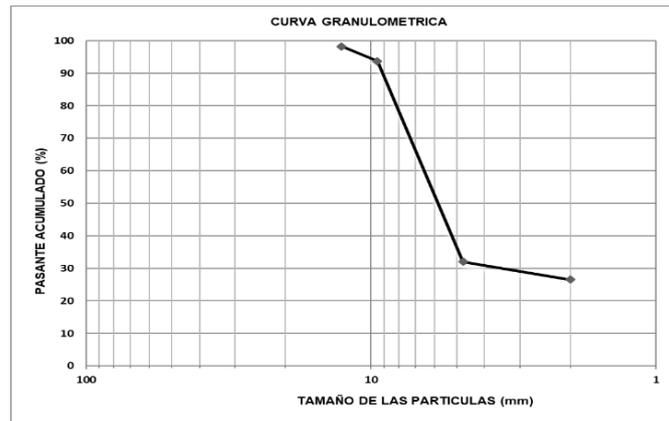
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	820	17	2.35	2.35	97.65
3/8	9.52	796	855	59	8.17	10.53	89.47
8	4.75	727	1222	495	68.56	79.09	20.91
10	2	653	669	16	2.22	81.30	18.70
<b>FONDO</b>				135.00	18.70	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				722.00	100.00		



Anexo 21. Análisis granulométrico muestra 1 Pumayunga.

MUESTRA	1J
PESO (g)	850

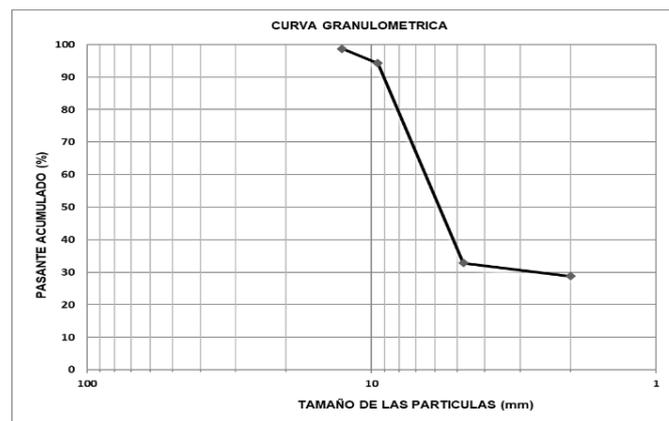
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	818	15	1.76	1.76	98.24
3/8	9.52	796	835	39	4.59	6.35	93.65
8	4.75	730	1254	524	61.65	68.00	32.00
10	2	654	701	47	5.53	73.53	26.47
<b>FONDO</b>				225.00	26.47	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				850.00	100.00		



Anexo 22. Análisis granulométrico muestra 2 Pumayunga.

MUESTRA	2J
PESO (g)	830

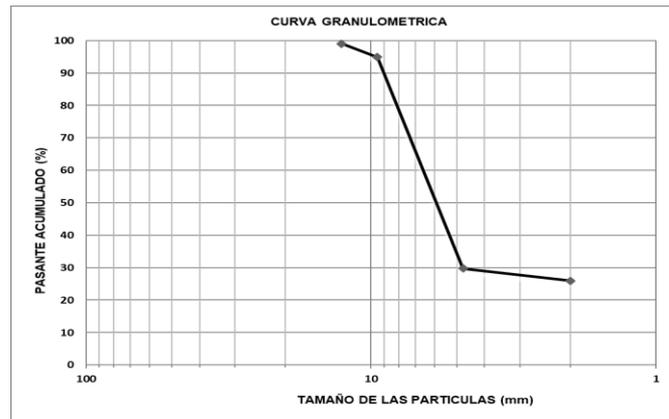
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	814	11	1.33	1.33	98.67
3/8	9.52	796	833	37	4.46	5.78	94.22
8	4.75	728	1238	510	61.45	67.23	32.77
10	2	654	687	33	3.98	71.20	28.80
<b>FONDO</b>				239.00	28.80	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				830.00	100.00		



Anexo 23. Análisis granulométrico muestra 3 Pumayunga.

MUESTRA	3J
PESO (g)	818

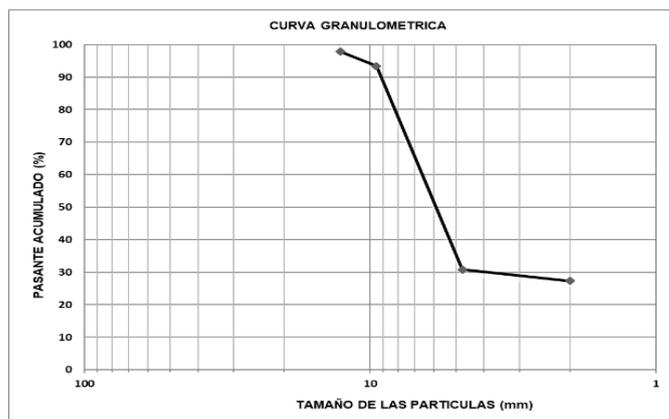
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	811	8	0.98	0.98	99.02
3/8	9.52	796	830	34	4.16	5.13	94.87
8	4.75	729	1262	533	65.16	70.29	29.71
10	2	654	685	31	3.79	74.08	25.92
<b>FONDO</b>				212.00	25.92	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				818.00	100.00		



Anexo 24. Análisis granulométrico muestra 4 Pumayunga.

MUESTRA	4J
PESO (g)	812

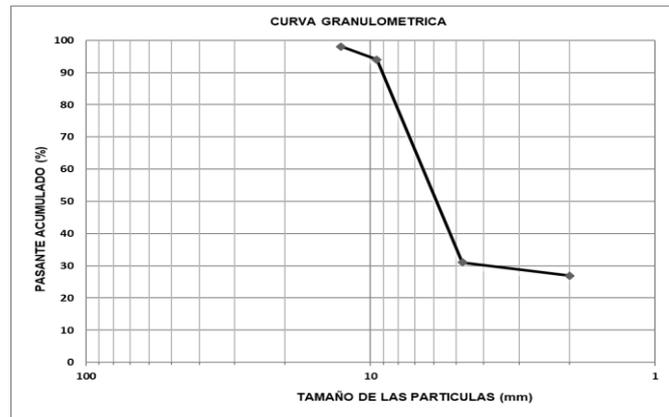
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	821	18	2.22	2.22	97.78
3/8	9.52	797	833	36	4.43	6.65	93.35
8	4.75	730	1238	508	62.56	69.21	30.79
10	2	654	682	28	3.45	72.66	27.34
<b>FONDO</b>				222.00	27.34	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				812.00	100.00		



Anexo 25. Análisis granulométrico muestra 5 Pumayunga.

MUESTRA	5J
PESO (g)	818

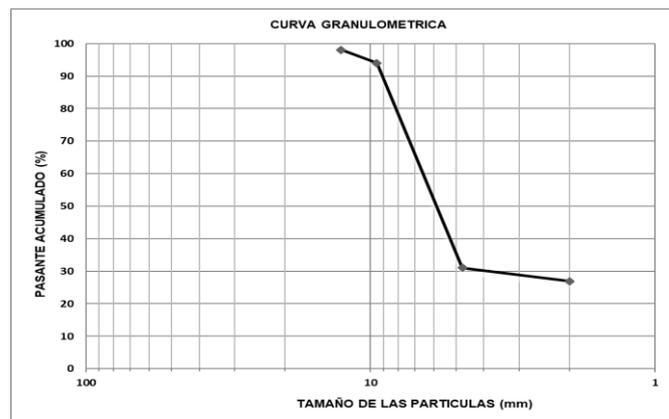
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	803	819	16	1.96	1.96	98.04
3/8	9.52	796	829	33	4.03	5.99	94.01
8	4.75	730	1245	515	62.96	68.95	31.05
10	2	654	688	34	4.16	73.11	26.89
<b>FONDO</b>				220.00	26.89	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				818.00	100.00		



Anexo 26. Análisis granulométrico muestra 6 Pumayunga.

MUESTRA	6J
PESO (g)	820

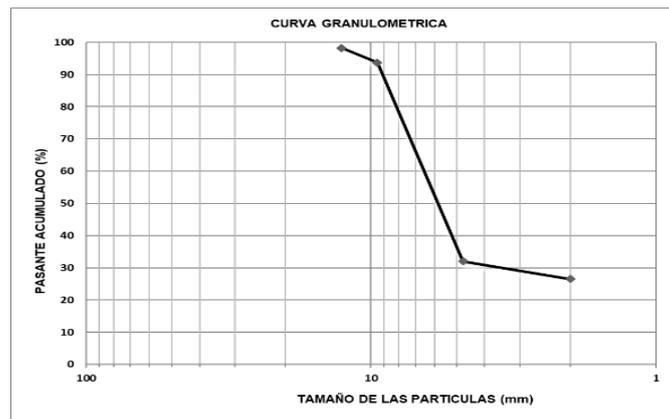
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	817	13	1.59	1.59	98.41
3/8	9.52	796	819	23	2.80	4.39	95.61
8	4.75	729	1250	521	63.54	67.93	32.07
10	2	654	688	34	4.15	72.07	27.93
<b>FONDO</b>				229.00	27.93	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				820.00	100.00		



Anexo 27. Análisis granulométrico muestra 7 Pumayunga.

MUESTRA	7J
PESO (g)	825

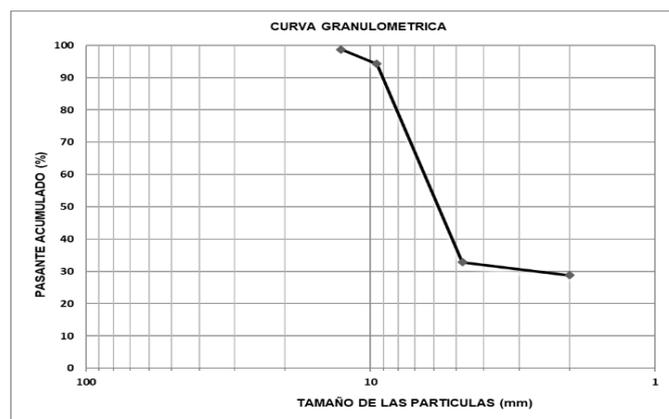
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	815	11	1.33	1.33	98.67
3/8	9.52	797	820	23	2.79	4.12	95.88
8	4.75	729	1254	525	63.64	67.76	32.24
10	2	654	701	47	5.70	73.45	26.55
<b>FONDO</b>				219.00	26.55	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				825.00	100.00		



Anexo 28. Análisis granulométrico muestra 8 Pumayunga.

MUESTRA	8J
PESO (g)	823

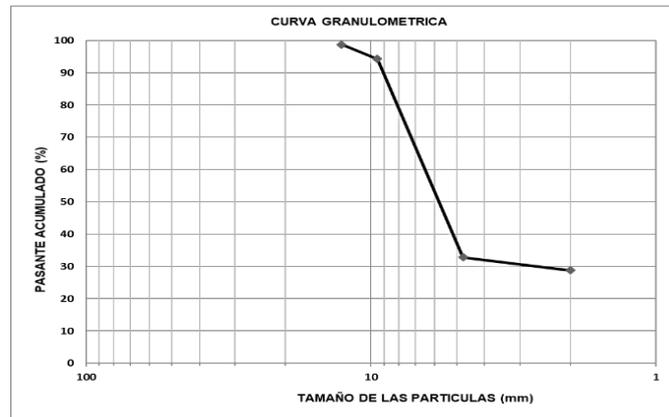
No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	820	16	1.94	1.94	98.06
3/8	9.52	797	814	17	2.07	4.01	95.99
8	4.75	729	1259	530	64.40	68.41	31.59
10	2	653	697	44	5.35	73.75	26.25
<b>FONDO</b>				216.00	26.25	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				823.00	100.00		



Anexo 29. Análisis granulométrico muestra 9 Pumayunga.

MUESTRA	9J
PESO (g)	819

No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	815	11	1.34	1.34	98.66
3/8	9.52	797	822	25	3.05	4.40	95.60
8	4.75	729	1261	532	64.96	69.35	30.65
10	2	654	688	34	4.15	73.50	26.50
<b>FONDO</b>				217.00	26.50	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				819.00	100.00		



Anexo 30. Análisis granulométrico muestra 10 Pumayunga.

MUESTRA	10J
PESO (g)	818

No TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO TAMIZ Y RETENIDO (g)	PESO PARCIAL (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1/2	12.7	804	815	11	1.34	1.34	98.66
3/8	9.52	797	823	26	3.18	4.52	95.48
8	4.75	729	1265	536	65.53	70.05	29.95
10	2	654	681	27	3.30	73.35	26.65
<b>FONDO</b>				218.00	26.65	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>				818.00	100.00		

