

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

“Efecto de los controles de las válvulas para aire
en la alimentación al clasificador, compuerta
de gruesos y alimentación al aerociclón,
en la molienda a nivel planta piloto de
un mineral de basalto”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

PRESENTA

VILLAVERDE TORRES LUIS MANUEL.



MÉXICO, D. F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Prof. José Alejandro García Hinojosa.
VOCAL: Prof. Antonio Huerta Cerdán.
SECRETARIO: Prof. Faustino Juárez Sánchez.
1^{ER} SUPLENTE: Prof. Ciro Eliseo Márquez Herrera.
2^{DO} SUPLENTE: Prof. Juan Manuel de la Rosa Canales.

Sitio donde se desarrollo el tema:

Edificio "D" de la Facultad de Química de la UNAM, Laboratorio de Procesamiento de Minerales.

ASESOR DEL TEMA: M. en C. Antonio Huerta Cerdán.

Firma.

SUPERVISOR TÉCNICO: IQM. Juan Manuel de la Rosa Canales.

Firma.

SUSTENTANTE: Luis Manuel Villaverde Torres.

Firma

A MI PADRE:

Por el apoyo económico que me dio durante el estudio de mi carrera.

A MI MADRE Y A MI HERMANA:

Por su apoyo incondicional, ya que con ellas conté en las buenas y en las malas, solo ustedes saben cuánto me costó sacar adelante mis estudios, porque ustedes siempre estuvieron a mi lado echándome porras.

A MI FAMILIA:

Que siempre ha creído en mí, en especial a mis tías que ya no se encuentran conmigo pero siempre me alentaron a seguir adelante: **María Teresa López Rodríguez, Rebeca López Rodríguez** y por supuesto a **mi mamá grande** que siempre luchó para que fuera un hombre de bien muchas gracias.

A MIS PROFESORES:

Por compartirme sus conocimientos, por brindarme su amistad y su confianza, por darme sus consejos y orientarme durante el estudio de la carrera:
Ing. Cándido Atlatenco T., Ing. Arturo Sánchez S., Ing. Ignacio Beltrán P., M. en C. Carlos Rodríguez, M. en I. Adrian Amaro V., M. en I. Agustín Ruiz T., M. en C. Sergio García G., Dr. Carlos González R., Dr. Marco Aurelio Ramírez

A MI ASESOR DE TESIS M. EN C. ANTONIO HUERTA CERDÁN:

Por darme la oportunidad de tener mi primer empleo y porque sin los consejos de usted no fuera la persona que ahora soy, ya que me enseñó a comprender las cosas desde otro punto de vista y así llegar a ser un mejor ingeniero en mi trabajo.

A MI ASESOR TÉCNICO ING. JUAN MANUEL DE LA ROSA CANALES:

Tú sabes que te considero mi mejor amigo, por lo cual no tengo palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mí, como en mi vida de estudiante, así como en mi vida personal.

A DON GABY:

Qué le puedo decir, sin usted simplemente no se habría podido realizar esta tesis ya que su ayuda fue fundamental, también le agradezco su amistad.

A MIS COMPAÑEROS, AMIGOS, COMPAS:

Que me brindaron su apoyo y amistad durante la carrera, saben que tienen a un amigo y en lo que pueda los apoyare, **Sandra, Julio, Fany, Axel, Tulio (Gordo), José Luis (Zucoso), Gerardo (Llerry), Gerardo (Sanjuán), Ulises (Cuyo), Benjamín, Iván Muñoz, Octavio, Paola (Güera), Abril, Gaby, Rubí, Andrés, Jorge Luis (Koko), Blanca (Rosa), Arnold, etc.**

A LA FAMILIA SILIS SEGURA:

Por su apoyo en todo momento, en especial a mi niña hermosa de la cual he aprendido mucho y me ha hecho mejorar en algunos aspectos de mi forma de ser, muchas gracias **Azucena**, no sabes como me has apoyado en todo esto.

ÍNDICE	Pág.
Índice	1
Resumen	4
Introducción	6
Objetivos e Hipótesis	8
Capítulo 1 Fundamentación Teórica	9
1.1 Tipos de Molinos	9
1.2 Molienda Convencional	9
1.3 Molino de Barras	10
1.4 Molino de Bolas	13
1.5 Molino Semi-Autógeno SAG	16
1.6 Circuitos de Molienda	17
1.7 Circuito de un Molino Unitario	18
1.8 Circuito de Molienda SAG	19
1.9 Circuito de Molino SAG con Trituradora	20
1.10 Circuito de Molino SAG con Molino de Bolas y una Trituradora	21
1.11 Índice de Bond	22
1.12 Ciclones	23
1.13 Principios Fundamentales	24
1.14 Familia de Ciclones	25
1.15 Propiedades y usos del mineral de Basalto	27
Capítulo 2 Experimentación	28
2.1 Difracción de Rayos X	30
2.2 Determinación del W_i (Método Directo)	31
2.3 Determinación del W_i (Método de Bond)	32
2.4 Trituración	34
2.5 Muestreo (Cuarteo) y análisis granulométrico del mineral triturado	34

2.6 Mediciones de velocidades de aire en ductos del circuito de molienda-clasificación	36
2.7 Molienda-Clasificación	37
2.8 Muestreo del mineral	40
2.9 Muestreo de puntos críticos	40
Capítulo 3 Resultados	41
3.1 Difracción de Rayos X	41
3.2 Determinación del W_i (Método Directo)	42
3.3 Determinación del W_i (Método de Bond)	43
3.4 Trituración	46
3.5 Mediciones de velocidades de aire en ductos del circuito de molienda-clasificación	47
3.6 Molienda-Clasificación	50
3.7 Influencia de las velocidades de aire en ductos en la recuperación y granulometría presente para cada una de las pruebas	56
Capítulo 4 Análisis de Resultados	60
4.1 Difracción de Rayos X	60
4.2 Determinación del W_i (Método Directo)	60
4.3 Determinación del W_i (Método de Bond)	60
4.4 Trituración	61
4.5 Mediciones de velocidades de aire en ductos del circuito de molienda-clasificación	61
4.6 Molienda-Clasificación	62
4.7 Influencia de las velocidades de aire en ductos en la recuperación y granulometría presente para cada una de las pruebas	63
Capítulo 5 Conclusiones	64
Capítulo 6 Apéndice de Resultados	65

6.1 Determinación del W_i (Método de Bond)	65
6.2 Molienda-Clasificación	69
6.3 Influencia de las velocidades de aire en ductos en la recuperación y granulometría presente para cada una de las pruebas	129
Capítulo 7 Bibliografía	132

RESUMEN:

México es uno de los países mas importantes en cuanto a procesamiento de minerales se refiere, el cual se ubica en el quinto lugar en la producción mundial de metálicos y no metálicos. En la actualidad se cuenta con yacimientos de menas diseminadas y masivas las cuales son procesadas física o químicamente. El beneficio de minerales es un conjunto de operaciones físicas las cuales constituyen los procesos de conminución y concentración, que tienen como objetivo liberar los valores de los materiales estériles y obtener un concentrado con alta ley y alta recuperación en forma rentable.

La molienda es la última etapa de conminución de las partículas minerales que se realiza en molinos. El proceso consume casi el 60 % del total de la energía, por lo que se requiere tener un estrecho control del mismo. Las partículas en la molienda son reducidas de tamaño desde 63 mm (0.063 m) hasta tamaños de 10 μ m (0.00001 m). Una vez que el mineral es descargado del molino, se efectúa el proceso de clasificación de la partícula en función de su tamaño. Esto se lleva a cabo en clasificadores del tipo ciclón, que permiten separar al material en dos corrientes; finos y gruesos. Las partículas gruesas usualmente son recirculadas al molino para lograr la completa liberación u obtención de un producto molido a un cierto tamaño (circuito cerrado de molienda y clasificación).

Existen parámetros importantes que son indispensables en el control y operación de la molienda y clasificación, tales como: velocidad crítica, velocidad de trabajo, carga de bolas, potencia del motor y flujos de aire en diferentes zonas de alimentación-descarga de clasificadores.

Este trabajo está encaminado a controlar en forma adecuada un circuito de molienda-clasificación en la recientemente adquirida planta piloto del Departamento de Ingeniería Metalúrgica, a través del estudio de la variación de posiciones de las válvulas de alimentación de aire al clasificador, así como en la compuerta de gruesos (recirculado a molino), analizando sus efectos de molienda en basalto. Los estudios están centrados en el análisis granulométrico del mineral molido y muestreado en la descarga del aerociclón, en el recirculado al molino que proviene de un clasificador primario, así como el material que se encuentra dentro

del molino. Los parámetros constantes del sistema son la carga del mineral, carga de bolas y el tiempo de molienda. El tamaño de alimentación del mineral de basalto fue de $\pm \frac{1}{2}$ " (0.0127 m) y el tamaño meta de 100 mallas (149.86 μm ó 0.000149 m) a la salida del aerociclón. El mineral de basalto con este tamaño meta es utilizado como material de aporte para el concreto en construcciones bajo el agua ya que le confiere una mayor resistencia a la corrosión, así como para la construcción de carreteras.

Los resultados obtenidos mostraron que fundamentalmente las válvulas que influyen en la clasificación son la VCAC (Válvula Compuerta Alimentación Clasificador) y VTDC (Válvula Tornillo Descarga Clasificador), las cuales alimentan al primer clasificador, en las posiciones A y C con la mayor cantidad de material obtenida con una granulometría abierta y en posición B la granulometría es cerrada.

INTRODUCCIÓN:

México es uno de los países de Latinoamérica mejor desarrollados en la industria minero-metalúrgica en el procesamiento de metales y no metales a partir de las diferentes menas. Los comienzos se remontan desde la época de la conquista en donde se contaba con grandes haciendas de beneficio ubicadas en los estados de Guerrero, Hidalgo, Zacatecas, etc. En dichos sitios se fueron desarrollando técnicas de obtención de metales, así como implementando nueva tecnología para una mayor recuperación de los valores del mineral. A lo largo del tiempo este tipo de industria ha contribuido a la economía del país, representando en la actualidad el 1.6 % del PIB. ⁽¹⁾

Nuestro país cuenta con una gran diversidad de minerales explotables, siendo económicamente sustentables el beneficio de ellos; en la carrera de Ingeniería Química Metalúrgica que es impartida en la Facultad de Química de la UNAM se adquieren estos conocimientos en la asignatura de Beneficio de Minerales. Dichos conocimientos son del tipo teórico-práctico en donde el alumno conoce los principios de los procesos y procedimientos de conminución y concentración de minerales; con equipos de trituración, molino de bolas y celdas de flotación basados en las teorías del beneficio de minerales.

En el beneficio de minerales las etapas de conminución y en específico las de molienda, involucran los mayores consumos de energía, por lo cual es primordial analizar a estas a nivel laboratorio y planta piloto, con el objeto de incorporar mejoras en la operación y control de los procesos para disminuir los altos consumos energéticos en los molinos.

El Departamento de Ingeniería Metalúrgica cuenta actualmente en su laboratorio de Procesamiento de Minerales con una planta piloto constituida por un sistema de molienda-clasificación (un molino de bolas con dos clasificadores de tamaño de partículas), donada del laboratorio de Ingeniería Química a los Laboratorios Pesados de Metalurgia. Cabe mencionar que al momento de la entrega del equipo no se contaba con información alguna de la operación de esta, por lo cual es importante desarrollar experimentalmente un conjunto de pruebas que permitan conocer las condiciones óptimas de control para el sistema de molienda-

clasificación en seco y así poder hacer uso de este equipo en las prácticas del laboratorio de Beneficio de Minerales que se imparten en la carrera.

Al contar con las condiciones de operación y control, se podrá posteriormente construir un manual de uso para los alumnos de la carrera, con el objeto de diferenciar las pruebas realizadas en los molinos de bolas (nivel laboratorio) y las pruebas realizadas en el sistema molienda-clasificación (nivel planta piloto), ya que en esta última se tiene un sistema similar al que se maneja a nivel industrial.

OBJETIVOS:

- ❖ Conocer y controlar un molino de bolas con clasificación a nivel planta piloto.
- ❖ Determinar el efecto de las posiciones de las válvulas de alimentación de aire para el sistema de clasificación (Aerociclón), a través del conocimiento del análisis granulométrico para las diferentes partes del molino (Sistema Multi-clasificador).

HIPÓTESIS:

- ❖ A partir del comportamiento del basalto analizado en las distribuciones granulométricas de las diferentes áreas de estudio (Recirculado de molino, Descarga de aerociclón y Molino), así como pesos acumulados en dichas partes, será posible comprender el funcionamiento del equipo para las zonas críticas.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

1.1 TIPOS DE MOLINOS.

Las unidades básicas de separación en el beneficio de minerales contemplan las etapas de reducción del tamaño de las partículas y su clasificación de tamaño, por lo cual la molienda tiene como objetivos:

- Liberar los valores minerales.
- Producir un material.-
 - Con tamaños adecuados para procesos posteriores
 - Conveniente para su transportación.
 - Adecuado para los procesos de clasificación (Cribado ó uso de Ciclones).
 - Generación de una superficie dada.

Mediante la molienda, etapa posterior de conminución a la trituración, se continua reduciendo el tamaño de partículas que contienen la mena, para obtener una granulometría menores de 180 micrones (0.18mm), la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales en forma de partículas individuales recuperables por algún método de concentración.

Este proceso utiliza grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica que se disponen en tres esquemas diferentes de molienda: ⁽²⁾

- Molienda Convencional.
- Molienda Unitaria.
- Molienda SAG.

1.2 MOLIENDA CONVENCIONAL.

La liberación de las especies minerales es el proceso unitario de mayor relevancia práctica en todo circuito de procesamiento de minerales, la cual demanda la principal inversión de capital, índices elevados en el costo unitario del proceso metalúrgico, así como la capacidad máxima de tratamiento que influye en la rentabilidad de operación.

A pesar de su reconocida ineficiencia energética frente a lo que hoy se conoce, los molinos de bolas, que operan en circuito cerrado con clasificadores hidráulicos, han sido la alternativa tecnológica tradicionalmente seleccionada para la molienda fina de minerales, sea en etapas únicas o múltiples, integrados con molinos de barras o molinos SAG.

La principal ventaja para el uso de los sistemas convencionales de trituración-molienda (trituradoras primarias, secundarias, terciarias, molinos de barras, molinos de bolas) reside en el menor consumo de energía respecto a los procedimientos no convencionales (molienda autógena, molienda semiautógena). Esto debido a que las operaciones de trituración presentan mayor eficiencia en la aplicación de energía en relación a molienda, la cual posee mecanismos que generan una significativa pérdida de energía por acción entre medios molurantes y los revestimientos o enlainados.

Los procesos de reducción de tamaño se cuantifican en términos de la energía consumida durante la operación misma del equipo de conminución. Este enfoque resulta ser bastante lógico, ya que dichas operaciones son responsables en gran medida del elevado costo, por consumo de energía de las operaciones involucradas en el procesamiento de minerales.⁽²⁾

De esta manera, la información es interpretada casi exclusivamente en términos de relaciones empíricas de energía versus reducción de tamaño o más conocidas como las leyes de la conminución.

La molienda convencional se realiza en dos etapas, utilizando habitualmente molino de barras y molino de bolas, respectivamente aunque en las plantas modernas solo se utiliza el segundo. En ambos molinos el mineral se mezcla con agua para lograr una molienda homogénea y eficiente. La pulpa obtenida en la molienda es llevada a la siguiente etapa que es la concentración.⁽²⁾

1.3 MOLINOS DE BARRAS:

Los molinos de barras son reactores cilíndricos metálicos que tienen en su interior barras de acero habitualmente de 3.5 in (0.0889 m) de diámetro, que son los implementos de molienda. El molino se mueve a través de un piñón engranado

con una corona cilíndrica unida a un extremo de la máquina, la flecha del piñón es impulsada desde el motor principal a través de bandas en V. Al molino se alimenta material proveniente de la trituradora secundaria que llega por una banda transportadora, y cae dentro del mismo produciendo el efecto de reducción de tamaño. Los molinos de barras realizan la molienda primaria de la molienda convencional en la que el material que se entrega pasa por un tamiz de malla de 1 mm² de sección. El mineral molido continúa el proceso, pasando a la línea de molinos de bolas.

Los molinos de barras son muy similares a los molinos de bolas, excepto que usan barras largas como medio molurante. Las barras muelen el mineral que entra al molino en forma similar a como las bolas muelen el mineral en un molino de bolas. Para evitar que las barras se enreden con la carga, la razón de la longitud/diámetro se mantiene entre 1.4 y 1.6.

Los molinos de barras aceptan la alimentación de mineral con un tamaño hasta cerca de 50 mm (0.05 m) ó 2 in (0.0508 m) y entregan un producto en el rango de tamaño de 3300 µm a 300 µm (-6M a -48M). La acción de molienda se produce por el contacto longitudinal barra con barra al girar y golpear entre sí con la rotación del molino. Esto da lugar a una molienda preferencial del mineral grueso y reduce al mínimo la producción de finos lamas.

De los tres tipos principales de molinos de barras que han existido en operación, solamente el molino con descarga por el overflow es el de uso común hoy en día. Los molinos de barra con molienda húmeda son los que se utilizan normalmente en las plantas de procesamiento de mineral.⁽³⁾

La molienda de barras en seco solo se utiliza en algunas áreas muy específicas; sin embargo, se enfrenta con problemas y debe ser evitado excepto donde sea absolutamente necesario. Los molinos de barras funcionan a una velocidad más baja comparada con los molinos de bolas ya que las barras sólo ruedan y no son levantadas para luego caer en cascadas, como ocurre en los molinos de bolas. Para una molienda equivalente, un molino de barras consume menos acero que un molino de bola, debido a la baja velocidad y mejor contacto entre los implementos de molienda y el mineral. La carga de medio molurante (barras) que

se encuentra dentro del molino debe de mantenerse en buenas condiciones de trabajo ya que provocaría algunos problemas como el enredamiento de estas y por consiguiente su ruptura, por lo cual las barras rotas ó usadas deben de ser sacadas y eliminadas. ⁽³⁾

Diámetro del Molino		Longitud de Barra			
		L=1.25 D		L=1.4 D	
Metros	Pies	Metros	Pies	Metros	Pies
3.81	12.5	4.76	15.6	5.33	17.5
3.96	13	4.95	16.2	5.54	18.2
4.11	13.5	5.14	16.9	5.75	18.9
4.27	14	5.34	17.5	5.98	19.6
4.42	14.5	5.53	18.1	6.19	20.3
4.57	15	5.71	18.8	6.40	21.0
4.72	15.5	5.90	19.4	6.61	21.7
4.88	16	6.10	20.0	6.83	22.4
5.03	16.5	6.29	20.6	7.04	23.1

Tabla 1.1.-Dimensiones de barras con respecto al diámetro del molino. ⁽³⁾

Los molinos de barras requieren generalmente mayor atención del operador. Es importante que las barras se mantengan esencialmente paralelas unas a otras. Si la barras se alinean mal, se pierde la acción de molienda y, más importante que ello, se favorece el enredo de las barras. La longitud máxima de la barra se limita a cerca de 6.1 m.

Las barras más pesadas actúan sobre los elevadores o lifters y las corazas, produciendo un mayor desgaste en los lifters del molino.

La velocidad de operación de un molino de barras está determinada por la velocidad periférica de la carga dentro del molino. Generalmente los molinos de barras operan a velocidades periféricas entre 280 y 480 ft/min (85.34 y 146.304 m/min).

Para evaluar la velocidad periférica tenemos:

$$PS = \pi * D * RPM \dots (Ec 1)$$

$$PS = \text{Velocidad Periférica} \left(\frac{\text{Ft}}{\text{min}} \right)$$

$$\pi = 3.1416$$

$$D = \text{Diámetro Interno Molino (Ft)}$$

$$RPM = \text{Velocidad de Operación del Molino}$$

Los molinos de barra trabajan normalmente con un volumen de carga entre 35 y 65% en volumen. Los límites en el nivel de la carga son fijados por el nivel de la abertura de la parrilla de descarga del molino y por el nivel de carga máxima que evite el enredamiento de las barras dentro del molino. ⁽³⁾



(a)

(b)

Figura 1.1.- Molinos de Barras. a) Descarga de molino de Barras. b) Molino de Barras con clasificador helicoidal.

1.4 MOLINO DE BOLAS.

Los molinos de bolas son reactores cilíndricos cuyas paredes están revestidas con corazas fabricadas en aleaciones de acero cromo-manganeso, con dimensiones interiores hasta de 16 ft X 24 ft (4.9 m X 7.3 m). El volumen interior está ocupado en un 36 % de su capacidad por una distribución de bolas de acero con tamaños

que van desde 3.5 ó 4 pulgadas (0.02454 m - 0.1016m) hasta 1 pulgada de diámetro, las cuales conforman el medio molurante. Para las dimensiones de este molino, el tiempo de residencia es de 20 minutos, alcanzando tamaños de 180 micrómetros con 80 % Ac (-).

La velocidad de rotación de los molinos de bolas está usualmente entre 18 a 33 RPM dependiendo del diámetro del molino. A mayor diámetro del molino menor es la velocidad de rotación. Si esta velocidad es muy alta la fuerza centrífuga hace que las bolas se adhieran al cilindro del molino. La velocidad a la cual el molino comienza a operar con la fuerza centrífuga se denomina velocidad crítica. Los molinos de bolas normalmente operan en un intervalo de velocidad crítica entre 65% y 75%.⁽²⁾

La velocidad crítica se utiliza para la determinación de la velocidad de funcionamiento ideal del molino de bolas.

Esta se calcula a través de la siguiente expresión:

$$VC = \frac{76.6}{\sqrt{D}} \dots (Ec 2)$$

VC = Velocidad Crítica del Molino (RPM)

D = Diámetro Interno del Molino (ft)

En esta expresión el valor de 76.6 se obtiene a partir de:

$$V_1 = m g \cos\theta \dots (Ec 2.1)$$

$$V_2 = m \frac{V^2}{r} \dots (Ec 2.2)$$

Igualando las ecuaciones 2.1 y 2.2 tenemos:

$$m g \cos\theta = m \frac{V^2}{r}$$

Y considerando el equilibrio donde $\theta = 0^\circ$

$$m g = m \frac{V^2}{r}$$

$$V^2 = \frac{m g}{m} r$$

Velocidad Tangencial: $2\pi r N = V$

$$4\pi^2 r^2 N^2 = g r$$

$$N^2 = \frac{g r}{4\pi^2 r^2}$$

$$N = \sqrt{\frac{g}{4\pi^2 r}} = \sqrt{\frac{g}{4\pi^2}} \frac{1}{\sqrt{r}} = \sqrt{\frac{32.2}{4\pi^2}} \frac{1}{\sqrt{r}} = 0.9031 * 60 * \frac{1}{\sqrt{r}} = 54.18 * \frac{1}{\sqrt{r}}$$

$$2r = d \quad r = \frac{d}{2}$$

$$N = 54.18 \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{d}} = \frac{76.6}{\sqrt{d}}$$

Los molinos de bolas están diseñados para recibir el mineral con tamaños promedio de ¼ in (0.00635 m) y llevarlo a un tamaño de partícula entre 20 a 75 µm. Para obtener una eficiencia razonable los molinos de bolas deben de operar en circuito cerrado con recirculación de sobretamaño obtenido. Habitualmente para clasificar el producto de los molinos de bolas en molienda de minerales se usan hidrociclones, pero también se conocen aplicaciones de cribas, clasificadores de espiral, de rastrillos y de aire.

Los revestimientos de los molinos, compuestos de corazas y elevadores (lifters) dan a la superficie interior del molino un determinado perfil que hace levantar las bolas al mismo tiempo provocando el avance del mineral hacia la descarga del molino. Estos van sujetos a la coraza del molino, siendo sustituidos por desgaste y/o cuando se pierde el efecto levantador de bolas. ⁽²⁾



(a)

(b)

(c)

Figura 1.2.- Molinos de bolas. a) Carga de bolas dentro del molino. b) Medición de dimensiones del molino. c) Vista del molino de Minera Sabinas, Zacatecas, México.

1.5 MOLINOS SEMIAUTOGENOS O SAG.

Este es un molino de gran capacidad que recibe el material directamente de la trituradora primaria y que tiene en su interior bolas de acero, cuando el molino gira, el material cae y se va moliendo por el impacto de las bolas y el propio mineral.

La mayor parte del material que sale de este molino pasa a la etapa de concentración para obtener el concentrado por ejemplo metálico, y una menor porción vuelve a la molienda en el molino de bolas para seguir moliéndose hasta conseguir el tamaño requerido para la etapa siguiente.

Se han venido diseñando molinos autógenos y semiautógenos para la molienda de minerales en plantas de alta capacidad. La molienda autógena se produce cuando no se utiliza ningún medio molurante externo y es el propio mineral que actúa como tal. ⁽²⁾

El molino semiautógeno es una variante del mismo molino autógeno, pero se utiliza una carga mínima de bolas en un porcentaje entre 6 % y 15 %. Los molinos SAG se han utilizado principalmente en las plantas de procesamiento de oro, cobre y platino con usos también en el plomo, zinc, plata y níquel.

Los tamaños de los molinos SAG puestos en operación en las diferentes plantas a través del mundo tienen tamaños de 18 ft (5.4864 m) de largo con 38 ft (11.5825 m) en diámetro y potencias de hasta 27000 Hp.

El desarrollo de la molienda autógena ha sido menos impetuoso, debido quizás a que estos molinos requieren características específicas del mineral a moler, que limitan su aplicación. Mientras que los molinos SAG pueden operar prácticamente con cualquier tipo de mineral al contar con una cierta carga de bolas y trabajan en circuito con un molino secundario de bolas.

Los molinos SAG producen en su descarga una fracción “crítica” que debe ser triturada en una trituradora de cono para evitar la sobrecarga del molino, que de otro modo provocaría la recirculación de este tamaño crítico. En cualquier caso la descarga de los molinos SAG debe ser clasificada en dos o tres fracciones, mediante cribas vibratorias que suelen ser dotadas de vibración lineal y de disposición casi horizontal. El molino descarga directamente sobre la criba y la

fracción fina con el agua de molienda debe ser recogida en el cajón de alimentación a clasificadores y enviado a través del sistema de bombeo instalado debajo de la criba, lo cual obliga costosas obras civiles. ⁽²⁾

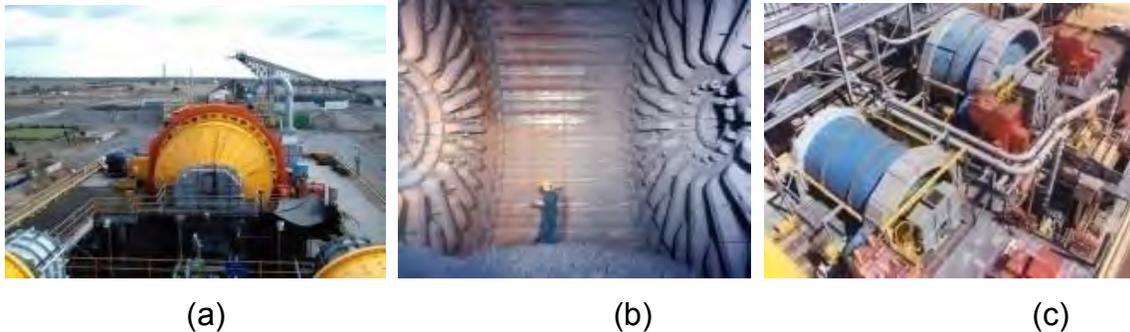


Figura 1.3.- Molinos SAG. a) Molino SAG Minera Francisco I. Madero, Zacatecas. b) Interior del molino SAG. c) Diferencia de dimensionamiento entre el molino SAG y molino de Bolas.

1.6 CIRCUITOS DE MOLIENDA.

CIRCUITO TÍPICO MOLINO DE BARRAS-MOLINO DE BOLAS.

Considerando la alimentación del mineral producido en la etapa de trituración, la molienda de barras recibe mineral con un tamaño de F_{80} entre 25 y 30 mm (0.025 m y 0.030 m) o entre 1 in (0.0254 m) y 1 ¼ in (0.03175 m) y se debe de reducir hasta tamaños productos con un P_{80} entre 0.3 mm (0.0003 m) a 2 mm (0.002 m) equivalente entre malla 8 y malla 48. En un circuito cerrado barras-bolas en el cajón de alimentación a ciclones, se juntan la descarga del molino de barras y la descarga del molino de bolas. La descarga de gruesos de la batería de ciclones se alimenta al molino de bolas para obtener un producto final de la sección barras-bolas con un tamaño del orden de 60 a 65 % -200 mallas. ⁽²⁾

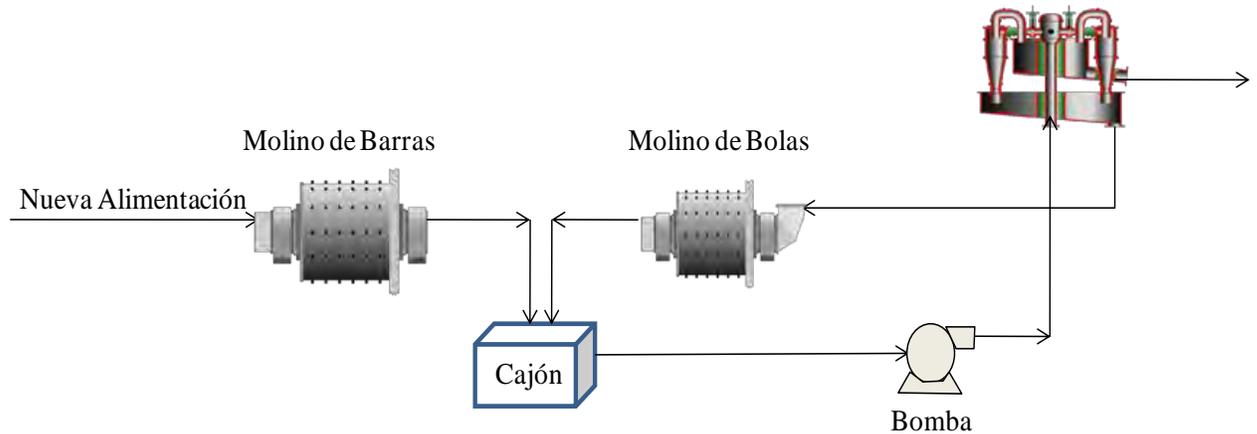


Figura 1.4.- Circuito Típico de molienda barras-bolas.

1.7 CIRCUITO DE UN MOLINO UNITARIO.

Es el circuito más fácil de implementar y hoy en día más comúnmente usado para operaciones medianas y pequeñas aunque no es el más eficiente para la molienda de minerales. Se alimenta con mineral similar al circuito barras-bolas convencional con tamaños de mineral con F_{80} de 15 mm (0.015 m) y más fino. Es un molino que en algunos casos recibe más de un tipo de alimentación para aprovechar de mejor forma el tamaño del producto final deseado en torno a 55 a 65% - 200 mallas. Este circuito de molino unitario tiende a producir mayor cantidad de finos, pero tiene la desventaja de la menor capacidad de tratamiento como sistema unitario, el que habitualmente es superado por otros circuitos más eficientes desde el punto de vista del tratamiento y consumo de energía. ⁽³⁾

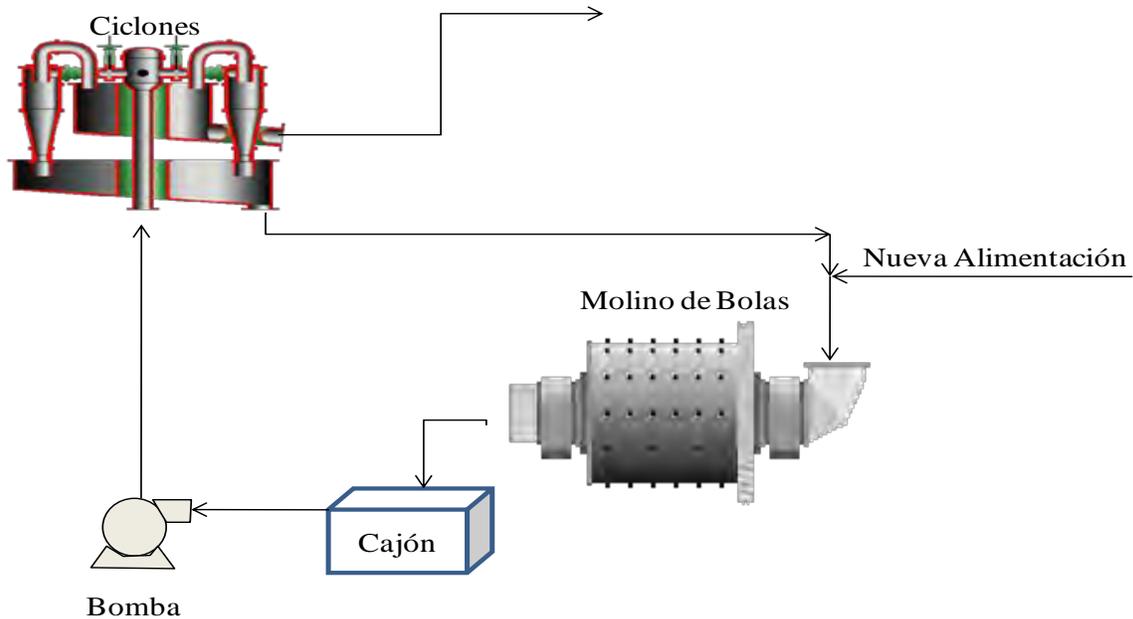


Figura 1.5.- Circuito Típico de Molino Unitario.

1.8 CIRCUITO DE MOLIENDA SAG.

Este circuito fue con el que se inició el desarrollo de los molinos AG y SAG hacia los años 80, pero las experiencias conseguidas en las primeras operaciones industriales implementadas surgieron algunas modificaciones tendientes a agregar etapas complementarias para conseguir una mejor molienda de minerales.

La gran ventaja de este diseño de equipos de molienda es su alta capacidad de tratamiento y la eliminación de al menos dos etapas de trituración, toda vez que este molino es alimentado directamente con el producto de una sola trituradora primaria giratoria ubicada directamente en mina. Con este desarrollo de molienda se aumentó tanto la capacidad de tratamiento como la gama de aplicaciones, al mismo tiempo ha tenido que soportar un mayor costo por más desgaste de bolas y revestimientos. El diseño para operaciones mineras seguirá dependiendo de las características de moliendabilidad del mineral de alimentación y del tamaño del producto deseado. Este tipo de circuito es el más común en operaciones de EUA, Canadá y una parte de Latinoamérica. ⁽²⁾

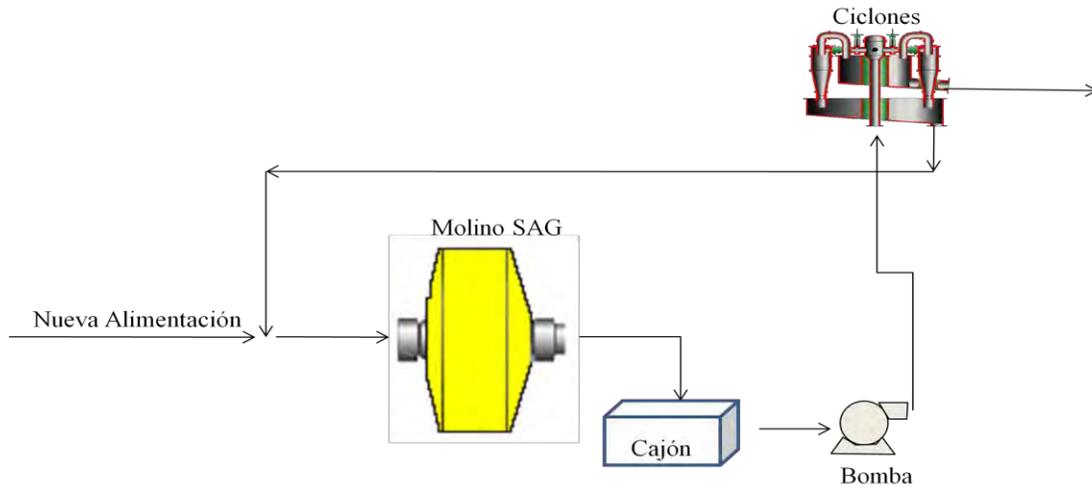


Figura 1.6.- Circuito de molino SAG.

1.9 CIRCUITO DE MOLINO SAG CON TRITURADORA.

Estos circuitos son los más comunes que se han ido implementados desde que apareció la tecnología de molienda AG y SAG. En estos se tiene como condición la alimentación directa desde una trituradora primaria del tipo giratorio, en la cual se crea un tamaño crítico de gujarros (pebbles) resistentes al impacto que no son molidos. Esto se ha solucionado colocando parrillas en la descarga del molino con orificios adecuados para eliminar estos elementos y triturarlos por separado en una trituradora de cono exclusivos para estos gujarros. De esta forma el circuito original de un molino SAG sólo se adapta para entregar los niveles de producto que se requieren de una sección de molienda. ⁽²⁾

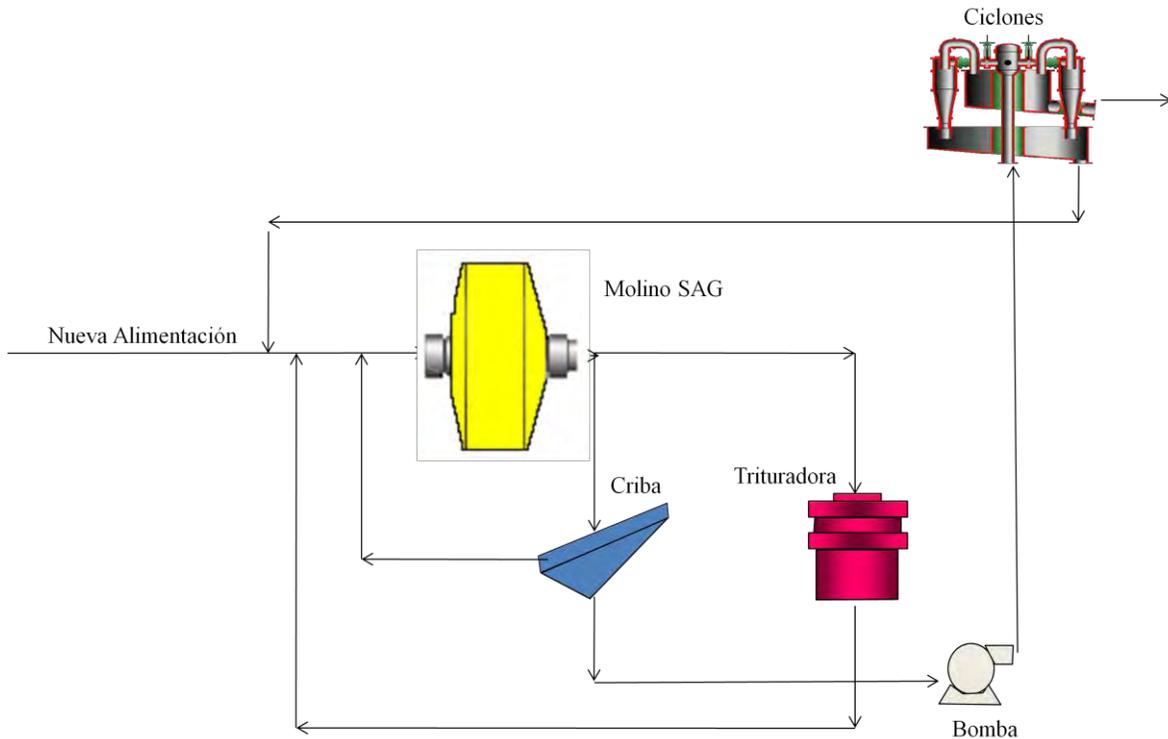


Figura 1.7.- Circuito de Molino SAG con Trituradora de Cono.

1.10 CIRCUITO DE MOLINO SAG CON MOLINO DE BOLAS Y UNA TRITURADORA.

Este circuito es muy similar al anterior al cual se le ha agregado un molino de bolas como etapa de molienda secundaria, manteniendo la trituradora de guijarros. Es sin lugar a dudas el circuito que más éxito ha tenido en operaciones con minerales de mayor dureza. El molino de bolas de este circuito permite adecuar el tamaño del producto muy grueso que genera el molino SAG. ⁽²⁾

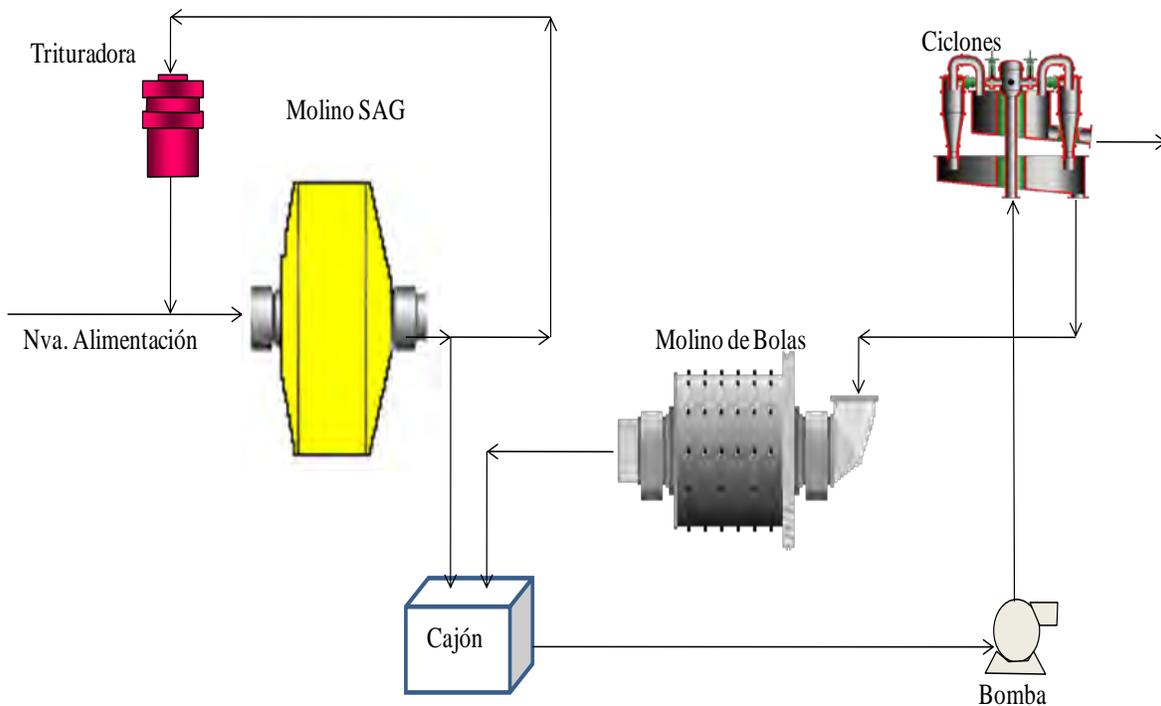


Figura 1.8.- Circuito molino SAG, Bolas y Trituradora de Cono.

1.11 INDICE DE BOND.

El índice de trabajo es un parámetro de conminución, y expresa la resistencia de un material a ser triturado y molido. Numéricamente son los kilowatts-hora por tonelada corta requeridos para reducir un material desde un tamaño teóricamente infinito a un producto con el 80 % menor de 100 μm , lo que equivale a un 67 % de material pasante a la malla 200.

El trabajo pionero de Fred C. Bond contribuyó de manera sobresaliente en la caracterización de circuitos convencionales de molienda-clasificación. La ley de Bond se transformó en la base más aceptada para el dimensionamiento de nuevas unidades de molienda:

$$E = 10 * W_i * \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \dots \dots (Ec 3)$$

$E =$ Consumo Especifico de Energía $\frac{\text{Kwh}}{\text{Ston molida}}$

$F_{80} =$ Tamaño de partícula (μm)alimentado al proceso de reducción al 80 % Ac (-).

P_{80} = Tamaño de partícula (μm) que sale del proceso de reducción al 80 % Ac (—).

W_i = Índice de Trabajo de Bond, Indicador de la Tenacidad del Mineral $\frac{\text{Kwh}}{\text{Ston}}$.

Mediante la ecuación anterior, el índice de Bond permite estimar la energía (Kw-h) requerida para moler cada unidad (Tonelada corta) de mineral. Dicho consumo específico de energía determina a su vez la capacidad de la sección de molienda por la relación: (2, 4, 5, 6, 7, 8)

$$M = \frac{P}{E} \dots \dots (\text{Ec } 4)$$

M = Tasa de Tratamiento o Capacidad del Molino $\left(\frac{\text{Ston}}{\text{h}}\right)$.

P = Potencia Neta Demandada por el Molino (Kw).

1.12 CICLONES.

El equipo de clasificación y recolección de polvo que se usa con mayor frecuencia en la industria de polvos es el ciclón. Los ciclones remueven el material particulado del fluido aire (corriente gaseosa), basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga. La figura 1.9 muestra el movimiento de las partículas mayores hacia las paredes del ciclón debido a la fuerza centrífuga.

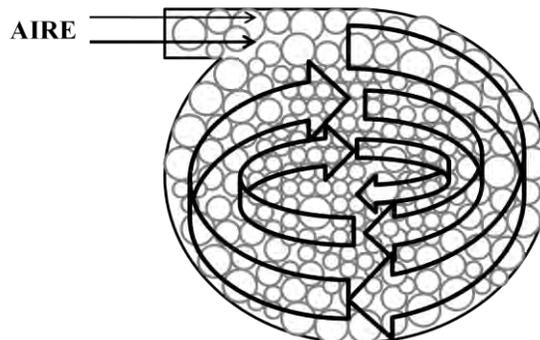


Figura 1.9. Mecanismos de colección de partículas en un ciclón.

El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga. Los ciclones constituyen

uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión. ⁽⁹⁾

Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento; pueden ser hechos de una amplia gama de materiales y diseñados para altas temperaturas (que ascienden incluso a 1,000 °C) y presiones de operación.

1.13 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

En un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vórtice, en donde el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno. Las figuras 1.10 y 1.11 ilustran dichos vórtices. En un ciclón el gas entra en la cámara superior tangencialmente y desciende en espirales hasta el ápice de la sección cónica; luego asciende en un segundo espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un ducto vertical centrado, denominado buscador de vórtice. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, deslizándose en trayectoria vertical descendente, siendo recogidos en la parte inferior.

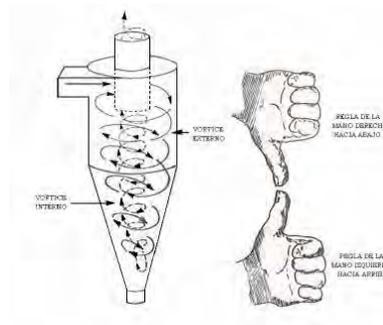


Figura 1.10.- Vórtices en el ciclón.

El diseño apropiado de la sección cónica del ciclón obliga al cambio de dirección del vórtice descendente, el vórtice ascendente tiene un radio menor, lo que aumenta las velocidades tangenciales; en el cono se presenta la mayor colección de partículas, especialmente de las partículas pequeñas al reducirse el radio de giro.

1.14 FAMILIAS DE CICLONES.

Los ciclones son un dispositivo de control de material particulado bastante estudiado, el diseño de un ciclón se basa normalmente en familias de ciclones que tienen proporciones definidas.

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son los que se muestran en la siguiente tabla:

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencional.	70-90	30-90	0-40
Alta Eficiencia.	80-99	60-95	20-70
Alta Capacidad.	80-99	10-40	0-10

Tabla 1.2.- Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. ⁽⁹⁾

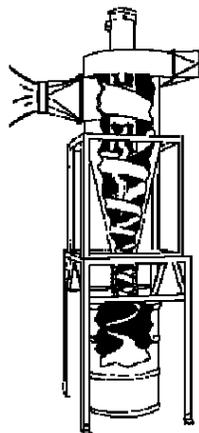


Figura 1.11.- Vórtices en el ciclón.

Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones, están con frecuencia basados en las tres familias de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad. La tabla 1.2 presenta el intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 μm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón.

Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación específica de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20 μm , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Se ha reportado que los multiciclones han alcanzado eficiencias de recolección de 80 a 95 % para partículas de 5 μm . La tabla 1.3 presenta un resumen de las características de las principales familias de ciclones de entrada tangencial. ⁽⁹⁾

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swifs	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada.	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada.	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida.	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida.	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica.	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica.	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón.	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida de partículas.	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración.	G	551.22	698.65	585.71
Número de cabezas de velocidad.	NH	6.4	9.24	6.4
Numero de vórtices.	N	5.5	6.0	5.5

Tabla 1.3.- Características de los ciclones de alta eficiencia. ⁽⁹⁾

1.1 PROPIEDADES Y USOS DEL MINERAL DE BASALTO.

Basalto, es la variedad más común de roca volcánica. Se compone casi en su totalidad de silicatos oscuros de grano fino, sobre todo feldespato, piroxeno, plagioclasas y magnetita. Se forma por la salida de magma a lo largo de las cordilleras oceánicas y erupciones volcánicas continentales, donde añade corteza nueva para contrarrestar las pérdidas por subducción. Suele ser de color gris oscuro, y tiene una textura vesicular que conserva los vestigios de burbujas producidas por vapor de agua en expansión, durante el enfriamiento y la solidificación de la lava. También son características las masas con forma de almohadillada, causadas por el enfriamiento rápido de lava emitida tras una erupción en el fondo marino, se pueden encontrar en forma de torrentes de lava y diques. El Basalto molido a tamaños menores o iguales a la 100M (149.86 μm) es utilizado como material de aporte para el concreto en construcciones bajo el agua ya que le confiere una mayor resistencia a la corrosión, así como para la construcción de carreteras. ⁽¹⁰⁾

Nombre de la roca:	Basalto
Tipo básico:	Ígneas, volcánicas, extrusiva
Grupo :	Silicatos, feldespato, piroxeno, plagioclasas; mezcla de minerales
Sistema Cristalino / Estructura:	Estructura prismática. Forman una serie de columnas hexagonales.
Composición Química:	Contiene de 45 a 54 % de sílice y generalmente es rico en hierro y magnesio.
Formación u origen :	Esta roca es de origen volcánico, que proviene de un fenómeno geológico, existiendo importantes coladas basálticas en la superficie de la Tierra. Existe tanta diversidad, que nunca se encuentran dos basaltos idénticos.
Dureza Mohs:	6, muy dura
Textura:	Alfanítica, vesicular; áspera
Densidad:	3
Color :	Gris oscuro o negro verdoso
Brillo :	Opaco

Tabla 1.4.- Propiedades físicas del basalto. ⁽¹⁰⁾

CAPÍTULO 2 EXPERIMENTACIÓN

Diagrama de bloques experimental de esta tesis.

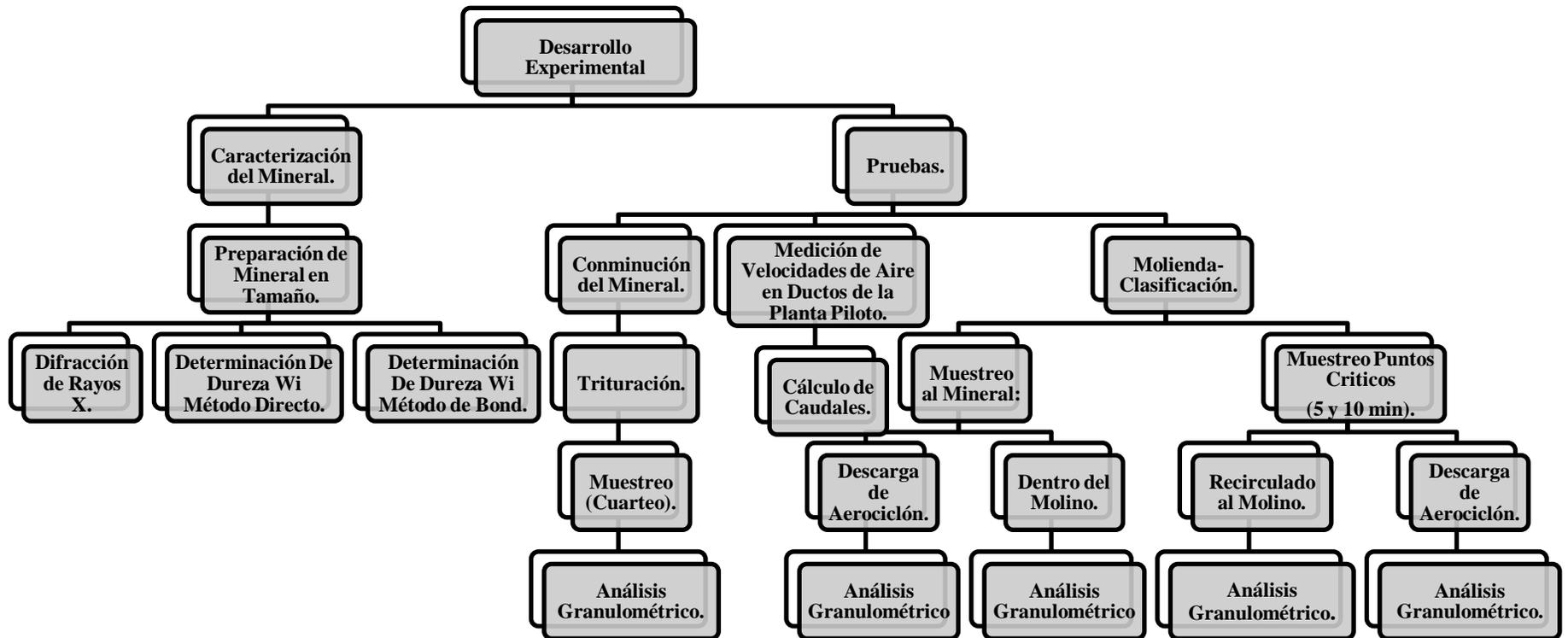


Diagrama 2.1.- Desarrollo experimental en donde se muestra los procesos utilizados en esta tesis.

EXPERIMENTACIÓN:

El diagrama 2.1 condensa las pruebas realizadas durante el desarrollo experimental de esta tesis, las cuales se centran en la caracterización del mineral de Basalto a través de la obtención de su dureza (Wi), la técnica de Difracción de Rayos X para determinar las especies cristalinas presentes.

Así mismo se determinaron los tamaños de partícula y distribuciones granulométricas por el método de cribado en la alimentación al molino, así como en diferentes zonas de la planta piloto (Recirculado, Descarga de Aerociclón y Dentro del Molino), para poder observar y determinar el comportamiento e influencia del fluido alimentado.

Los materiales y equipos utilizados son los siguientes:

Nombre de equipo	Trituradora de Quijadas	Planta Piloto			Ro-Tap.
Marca	Denver	Hardinger			Tylor
No. de Motores	1	3			1
Voltaje	230/460 V	Molino 220/440 V	Banda 220/440 V	Ventilador 220/440 V	115 V
Hp	2	2	1/8	1/8	-----
RPM	1730	1450	1425-1725	1425	-----

Tabla 2.1.- Características del equipo mayor utilizado.

Cribas
Presicion Scientific Co.
No. Mallas Utilizadas
1/2, 5/16, 1/4, 30, 70, 100, 140, 200, 325

Tabla 2.2.- Características del equipo utilizado.

Anemómetro
Bruker AXS.
40 KV
Rango: 0-2000 Ft/s.
Tolerancia: 0.1Ft/s.

Tabla 2.3.- Características del equipo utilizado.

CARACTERIZACION DEL MINERAL.

Muestra:

El mineral de basalto utilizado en las pruebas experimentales fue obtenido en Ciudad Universitaria, zona sureste, a una profundidad de 0.2m. La cantidad extraída fue de 500 kg.

2.1 DIFRACCION DE RAYOS X.

A partir del mineral extraído, se obtuvieron 10 kg de material de basalto por la técnica de cuarteo, mismo que fue reducida de tamaño de muestra hasta 1 kg y que posteriormente fue molido durante 7 minutos en un molino de bolas hasta obtener un tamaño de malla 100 a 80% Ac(-). Una segunda muestra para caracterización fue preparada con tamaño de 3 cm de diámetro, con superficies de preparación menagráfica (muestra de mano). Los correspondientes análisis se efectuaron en el equipo de Difracción de Rayos X, figura 2.1, del laboratorio 39 del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.



Figura 2.1.- Equipo de Difracción de Rayos X

2.2 DETERMINACIÓN DEL W_i (Método Directo).

Con el objeto de determinar la dureza del mineral en términos de energía para la etapa de trituración, se obtuvieron (2 Kg) de la muestra descrita anteriormente, con una granulometría 100 % Ac(-) con $\frac{3}{4}$ ". Posteriormente se llevó a cabo el registro de los valores del voltaje de línea y del amperaje en vacío de la trituradora de quijadas Denver, figura 2.2, todos estos valores fueron medidos a través de un multímetro de gancho. Como siguiente punto se procedió a procesar el mineral en la trituradora, registrando el tiempo de residencia y amperaje con carga.

La siguiente expresión fue empleada para determinar la cantidad de kw consumidos durante el proceso:

$$Kw = \frac{(I_c - I_v)V\sqrt{NF}}{1000} \dots (Ec 5)$$

Donde:

I_c = Amperaje desarrollado cuando la trituradora está con carga (Amp).

I_v = Amperaje desarrollado por la trituradora en vacío (Amp).

V = Voltaje en línea (Volt).

NF = Número de fases del motor.

Kw = Kilowatts desarrollados en la trituradora.

Para determinar el consumo de energía en términos de kw y capacidad (CAP) se tiene que:

$$CAP = \frac{a(Kg)}{t(s)} \rightarrow \frac{Ston}{h} \dots (Ec 6)$$

$$W = \frac{Kw}{\frac{Ston}{h}} \rightarrow \frac{Kw \cdot h}{Ston} \dots (Ec 7)$$

Donde:

CAP = Capacidad (Ston/h).

a = Masa de mineral alimentado (Kg).

t = Tiempo de residencia del mineral dentro de la trituradora (s).

W = Consumo de energía (Kw-h/ Ston).

Finalmente, para determinar el W_i se procedió a sustituir los valores obtenidos vía cribado y analizado de P_{80} y F_{80} , así como W , en la expresión siguiente:

$$W = \frac{10 W_i}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10 W_i}{\sqrt{F_{80}}} \dots\dots (Ec 3)$$

Donde:

W_i = Índice de trabajo (Kw-h/Ston).

P_{80} = Tamaño de partícula (μm) al 80% Ac (-) en la descarga del proceso.

F_{80} = Tamaño de partícula (μm) al 80% Ac (-) en la alimentación al proceso.



Figura 2.2.- Trituradora de Quijadas.

2.3 DETERMINACIÓN DE DUREZA W_i (Método de Bond).

Esta parte de la caracterización se realizó basándose en la metodología descrita por John Deister ⁽⁴⁾. El tamaño meta o de liberación, para el presente estudio fue de 100 Mallas (149.86 μm). A través de esta metodología y ecuaciones mencionadas es posible determinar el valor del W_i en la etapa de molienda y conjuntamente el tiempo óptimo de molienda. Las siguientes expresiones fueron empleadas para determinar tales valores:

$$W = \frac{10 W_i}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10 W_i}{\sqrt{F_{80}}} \dots\dots (Ec 3)$$

$$W_i = \frac{44.5}{(P_i)^{0.23} * (Gpb)^{0.82} * \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)} \dots (Ec 8)$$

$$\frac{\text{Peso Nva Alim} - \text{Peso producto en menor tamaño}}{\text{Peso producto en menor tamaño}} * 100 = \% \text{ Recirculado} (Ec 9)$$

$$\frac{l - X}{X} = 2.5 \cong X = \frac{l}{3.5}$$

l = Gramos que ocupan 750 cc.

X = Gramos en menor tamaño cuando se encuentra en estado estable.

$$Gpm = \frac{H_{12} + H_{13} + H_{14}}{3} \dots (Ec 10)$$

A = Número de Ciclos.

B = Nueva Alimentación (g).

$$C = \frac{\text{Nueva Alimentación} * \% \text{ Ret } 100M}{100} \dots (Ec 11)$$

D = Peso Eq 250cc – C (Ec 12)

E = Velocidad del molino en RPM

F = Peso en gramos al tamaño – 200M (Ec 13)

$$G = F - C \dots (Ec 14)$$

$$H = \frac{G}{E} \dots (Ec 15)$$

$$I = \frac{B - F}{F} \dots (Ec 16)$$

Los datos obtenidos pueden ser observados en las tablas 3.1 a 3.7 de la sección de resultados, así como las tablas en donde se mencionan los pesos requeridos en cada paso de molienda con su respectiva granulometría y tiempo de operación.

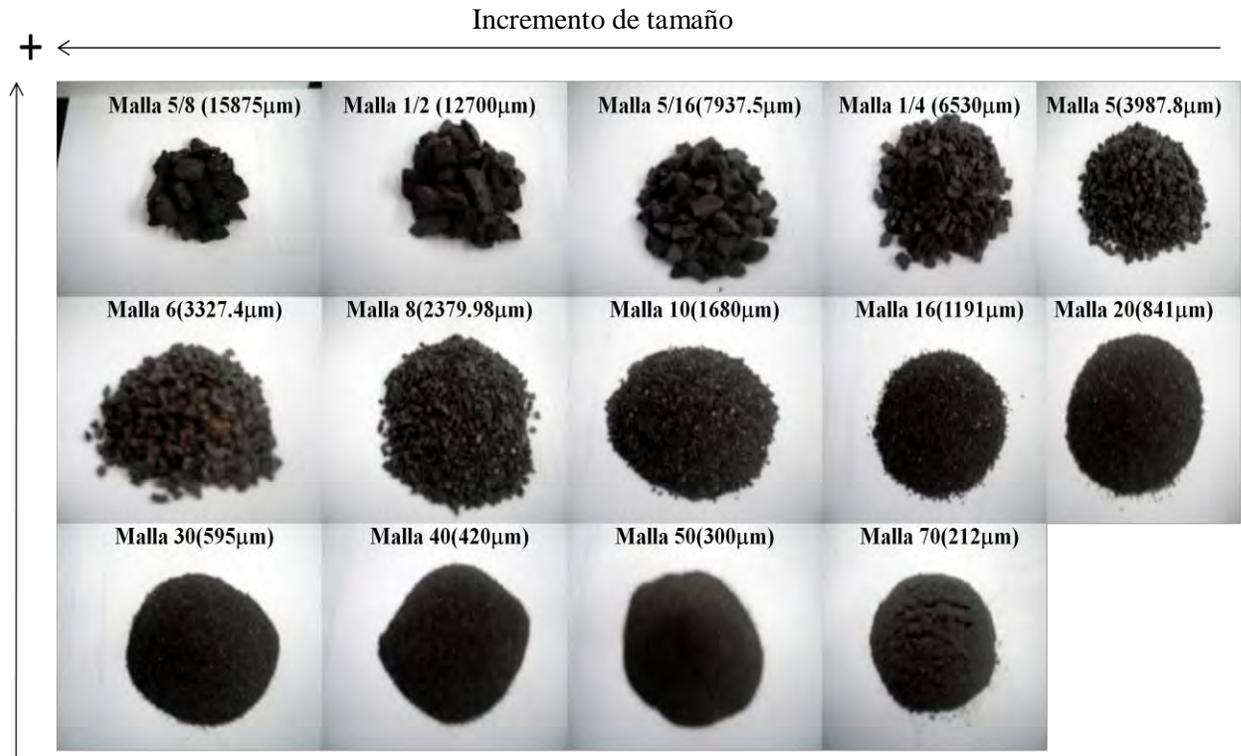


Figura 2.3.-Basalto de nueva alimentación con su correspondiente granulometría, empleado en la determinación del W_i .

CONMINUCIÓN DEL MINERAL.

2.4 TRITURACIÓN.

Con el objeto de tener material con tamaño adecuado y suficiente para las pruebas de molienda, el mineral de basalto de tamaño 76200 μm al 80% Ac (-) fue alimentado a una trituradora de quijadas Denver hasta reducirlo a un tamaño de 12700 μm al 80% Ac (-). Este material (500 kg) fue el empleado para todas las pruebas de la planta piloto.

2.5 MUESTREO (CUARTEO) Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MINERAL TRITURADO.

Para obtener una muestra representativa del mineral y conocer la distribución granulométrica, éste se vertió en el suelo y se mezcló con la pala en forma envolvente en dos ocasiones, después de haber mezclado se distribuyó uniformemente formando un círculo el cual se dividió en cuatro (cuarteo). Se

tomaron dos de estas divisiones (encontradas) y las otras dos fueron desechadas, figura 2.4.



Figura 2.4.- Cuarteo del mineral.

A esta muestra se le aplicó un análisis granulométrico en el equipo Ro tap, figura 2.5, con el objeto de conocer la distribución de tamaños de partícula de alimentación a la planta piloto.

Para la selección de cribas se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- ❖ La primera criba no debía retener más del 10% de la carga de la muestra.
- ❖ Las cribas con tamaños inferiores fueron seleccionadas considerando una progresión de $\sqrt{2}$.

$$\text{Tamaño de Criba} = \frac{\text{Tamaño de Criba Actual (in)}}{\sqrt{2}} \dots \text{(Ec 17)}$$

A través de la aplicación de la Ec 17 se obtuvieron las cribas empleadas y mencionadas en la siguiente tabla:

Tamaño de Criba (in)	Tamaño de Cribas (μm)	Número de Malla
0.6250	15875	5/8
0.5000	12700	1/2
0.3125	7937.5	5/16
0.2500	6350	1/4
0.1570	3987.8	5
0.1310	3327.4	6
0.0937	2379.98	8

Tabla 2.4.-Progresión de cribas utilizadas para el análisis granulométrico.



Figura 2.5.- Equipo de Ro-tap y cribas empleadas.

2.6 MEDICIÓN DE VELOCIDADES DE AIRE EN DUCTOS DEL CIRCUITO DE MOLIENDA-CLASIFICACIÓN.

Para conocer el comportamiento del fluido (aire) dentro del equipo y predecir la cantidad de mineral que se obtendría en la descarga del aerociclón, figura 2.6, se efectuaron mediciones de velocidad de fluido viscoso a través de un anemómetro digital en los diferentes ductos de la planta piloto, con cada una de las combinaciones de válvulas que se comentan en la tabla 2.5.

La metodología empleada fue la siguiente:

- Determinar las combinaciones de las válvulas de aire para la medición de sus velocidades de cada ducto: Descarga molino, Alimentación a Aerociclón y Recirculación de aire (Derrame de Aerociclón).
- Medir las velocidades correspondientes para cada una de las combinaciones en cada uno de los ductos.
- Calcular los caudales para cada una de las combinaciones.
- A través del análisis de los resultados obtener las mejores condiciones para la operación y control de los equipos.
- Obtener cada uno de los gráficos representativos para las combinaciones de Velocidad vs. Posición y Caudal vs. Posición.

VTDC		VCAC			IMAGEN VCAC	IMAGEN VTDC
		A	B	C		
1	X	X			 <p>A</p>	
2	X	X				
3	X	X				
4	X	X				
5	X	X				
1	X		X		 <p>B</p>	
2	X		X			
3	X		X			
4	X		X			
5	X		X			
1	X			X	 <p>C</p>	
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		

Tabla 2.5.- Esquema de las pruebas a realizar en la planta piloto siendo VDV (Válvulas de aire Descarga Ventilador), VAF (Válvulas de aire Alimentación Filtro), VAC (Válvulas de aire Alimentación Clasificador), VCAC (Válvula Compuerta Alimentación Clasificador) y VTDC (Válvula Tornillo Descarga Clasificador).

2. 7 MOLIENDA-CLASIFICACIÓN.

Para efectuar la molienda con su clasificación del mineral de basalto se determinaron y mantuvieron constantes los siguientes parámetros de operación:

- ❖ Carga de bolas.
- ❖ Tiempo óptimo de molienda obtenido en pruebas de W_i .
- ❖ Carga de mineral.
- ❖ Tiempos de muestreo en la descarga de ciclón y recirculado al molino.

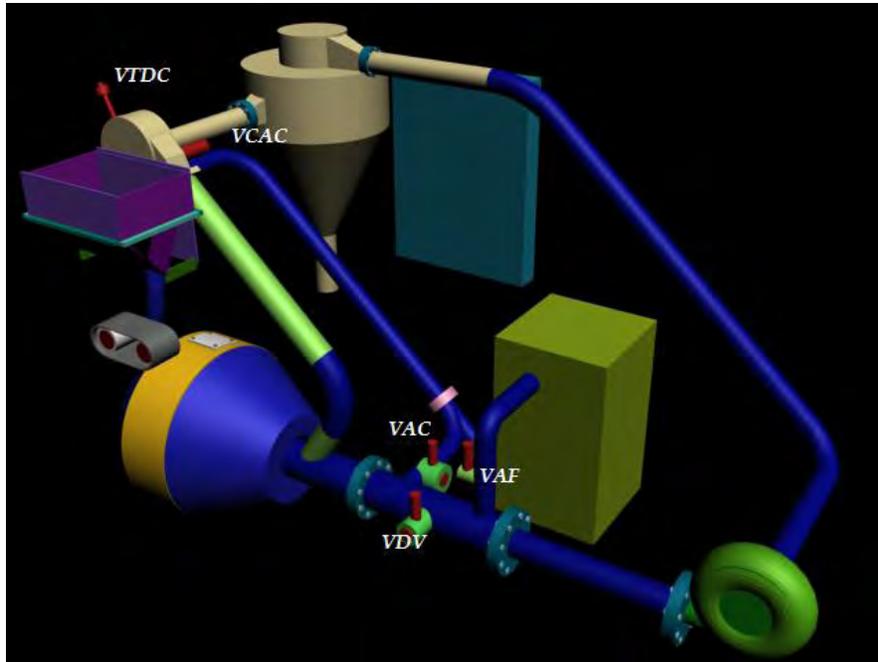


Figura 2.6.-Representación en 3D de la Planta Piloto.

Para la determinación de la carga de bolas se efectuó el cálculo del volumen de molino a partir de las siguientes expresiones:

Cálculo del volumen del molino:

Zona Central.-

$$V = \pi r^2 h = \pi (30 \text{ cm})^2 (20 \text{ cm}) = 56548.66 \text{ cm}^3$$

$$= 5.65 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \dots (\text{Ec } 18)$$

Zona Cónica Derecha.-

$$V = \frac{1}{3} \pi h (r^2 + r'^2 + r r')$$

$$= \frac{1}{3} \pi (30 \text{ cm}) [(30 \text{ cm})^2 + (14 \text{ cm})^2 + ((30 \text{ cm})(14 \text{ cm}))]$$

$$= 47626.54 \text{ cm}^3 = 4.76 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \dots (\text{Ec } 19)$$

Zona Cónica Izquierda.-

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{3} \pi h (r^2 + r'^2 + r r') \\
 &= \frac{1}{3} \pi (13 \text{ cm}) [(30 \text{ cm})^2 + (7.5 \text{ cm})^2 + ((30 \text{ cm})(7.5 \text{ cm}))] \\
 &= 16081.02 \text{ cm}^3 = 1.60 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \dots\dots (\text{Ec } 20) \\
 V^T &= 5.65 \times 10^{-2} \text{ m}^3 + 4.76 \times 10^{-2} \text{ m}^3 + 1.60 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \\
 &= 0.1201 \text{ m}^3 \dots\dots (\text{Ec } 21)
 \end{aligned}$$

Al integrar la constante de huecos en volumen del molino, densidad del medio molurante y volumen de molino se obtiene:

$$\begin{aligned}
 C^B &= 0.2044 V^T \rho^M = 0.2044 (0.1201 \text{ m}^3) \left(7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) = 0.171 \text{ Ton} \\
 &= 171 \text{ Kg} \dots\dots (\text{Ec } 22)
 \end{aligned}$$

Donde:

V^T = Volumen Total del molino (m^3)

r = Radio de la circunferencia. (m)

r' = Radio Inferior del cono. (m)

h = Altura de la figura geometria. (m)

En el caso de los molinos de bolas existe un máximo del 40% en volumen total ocupado por el medio molurante si este trabaja continuamente, para este estudio fue calculado considerando un volumen ocupado de 21%, por lo cual se obtuvo una cantidad inferior de carga de bolas de 36.66 Kg.

El tiempo óptimo de molienda se obtuvo en el cálculo del W_i con un tamaño meta de 100 Mallas. En cada prueba se utilizó una carga de 12 Kg de mineral con una granulometría ya establecida anteriormente, la mitad de este material (6 Kg) se adicionó directamente al molino y la otra mitad se cargó en la tolva de alimentación que descarga en la banda de alimentación al molino, con un flujo másico de 1.115 Kg/hr de mineral.

El tiempo medio de alimentación fue de 6.5 minutos para todas las pruebas, con un tiempo de residencia de 5.5 minutos.

2.8 MUESTREO DEL MINERAL.

El mineral derivado de cada prueba de molienda-clasificación fue muestreado en a) la descarga del aerociclón (**Descarga Final**) y b) dentro del molino (**Carga en el Interior del Molino**), esto se hizo con el objeto de tener una muestra representativa de mineral de cada una de las pruebas.

Este muestreo fue realizado con un cuarteador John's apropiado para efectuar las reducciones de cantidad de muestra en partículas pequeñas. En este caso se encontraban en el intervalo de 100 a 250 g. Posteriormente a éstas se les aplicó un análisis granulométrico para conocer el comportamiento del mineral en las condiciones de operación.

2.9 MUESTREO EN PUNTOS CRITICOS (5 y 10 min).

Con objeto de conocer el comportamiento granulométrico presentes en **la descarga del aerociclón y el recirculado al molino**, definidos como puntos críticos, se recolectaron muestras en estos ductos durante el proceso de molienda-clasificación a los tiempos definidos de 5 y 10 minutos. Esta información se comparó con el producto final para observar si durante el tiempo de la prueba existe una variación en la granulometría en estos puntos.

El muestreo se hizo con un corte de material de 35 segundos en cada punto crítico con ayuda de una bolsa con sello hermético para evitar pérdidas de material. A cada muestra se le determinó el peso y su correspondiente análisis granulométrico, lo cual está reportado en el apéndice de resultados.

RESULTADOS:

CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL.

3.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

Se realizó este análisis con el objeto de conocer la composición del Basalto utilizado, ya que se podría pensar que se tiene la misma composición presente en las dos muestras ensayadas. A continuación se presentan los difractogramas de las muestras de mano, mineral molido y la comparación entre ellas.

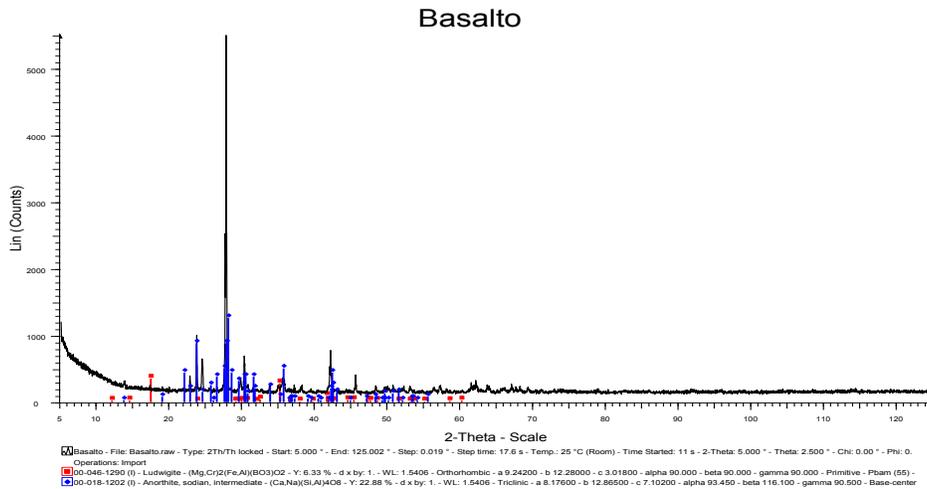


Gráfico 3.1.- Difractograma para la muestra de mano de mineral de basalto.

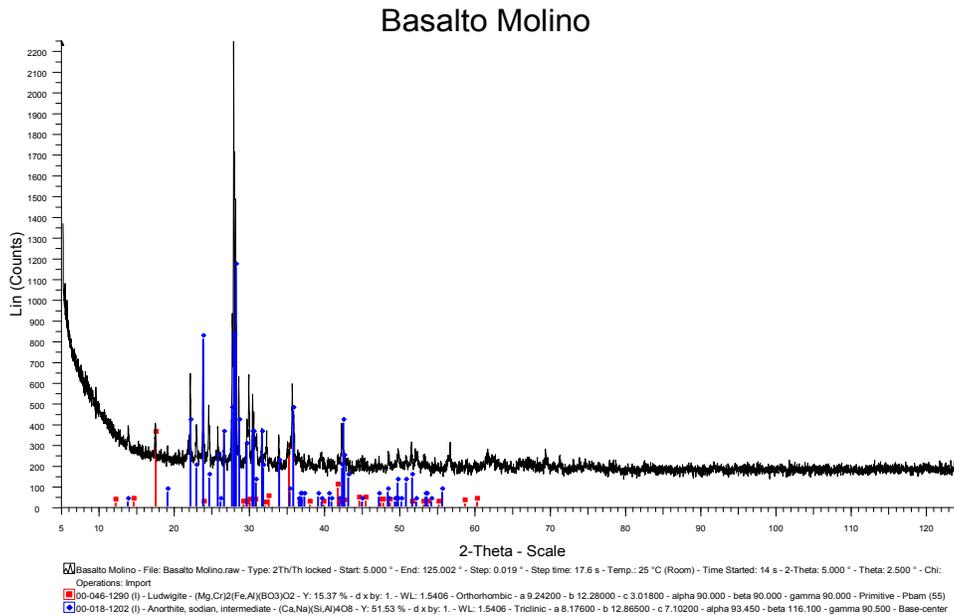


Gráfico 3.2.- Difractograma para la muestra molida del mineral de basalto.

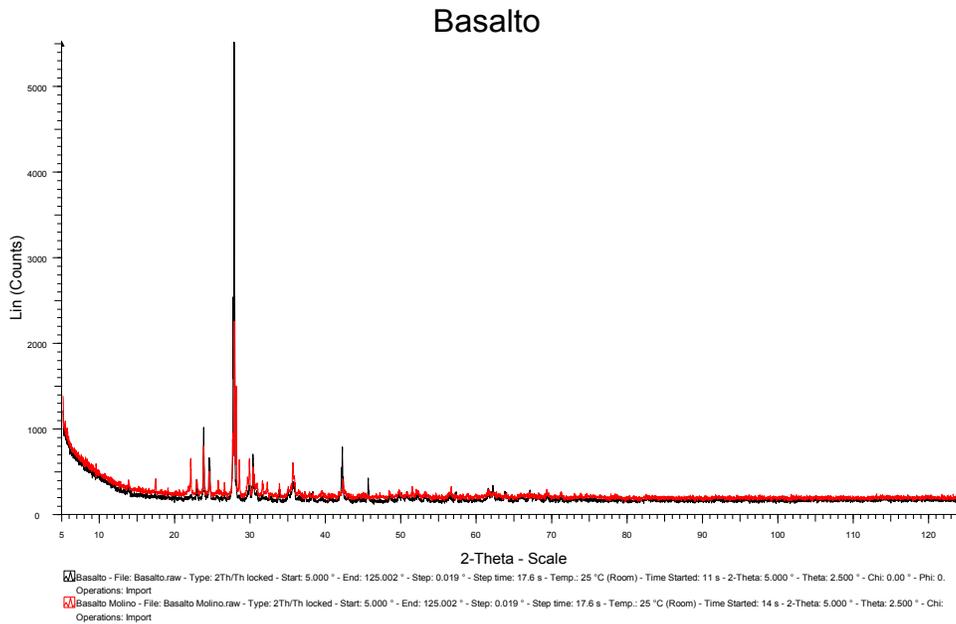


Gráfico 3.3.- Comparación de los difractogramas de las muestras del mineral de basalto.

3.2 DETERMINACIÓN DEL W_i (MÉTODO DIRECTO).

Como ha sido mencionado este tipo de pruebas tuvo como objetivo determinar la dureza del mineral en términos de energía para la etapa de trituración, y de esta manera caracterizar al mineral de Basalto. Los resultados obtenidos en el método directo son:

$I_c = 3 \text{ Amp.}$ $a = 2 \text{ Kg.}$
 $I_v = 1.2 \text{ Amp.}$ $t = 14.2 \text{ s.}$
 $V = 220 \text{ Volt.}$ $F_{80} = 76200 \mu\text{m,}$
 $NF = 3.$ $P_{80} = 12700 \mu\text{m.}$

$$K_w = \frac{(3 \text{ A} - 1.2 \text{ A})220 \text{ V}\sqrt{3}}{1000} = 0.6859 \text{ Kw}$$

$$CAP = \frac{2 \text{ Kg}}{14.2 \text{ s}} = 0.1408 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \left(\frac{1 \text{ Ston}}{1000 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 0.5069 \frac{\text{Ston}}{\text{h}}$$

$$W = \frac{0.6859 \text{ Kw}}{0.5069 \frac{\text{Ston}}{\text{h}}} = 1.3531 \frac{\text{Kw}}{\frac{\text{Ston}}{\text{h}}}$$

$$1.3531 = \frac{10 W_i}{\sqrt{12700}} - \frac{10 W_i}{\sqrt{76200}}$$

$$W_i = 25.76 \frac{Kw}{\frac{Ston}{h}}$$

El valor de W_i en términos de energía es $25.76 \text{ kw} - h / \text{Ston}$

3.3 DETERMINACIÓN DE DUREZA W_i (MÉTODO DE BOND).

La determinación de la dureza del mineral por el método de Bond para la etapa de molienda presentó los siguientes resultados:

Muestra	Basalto
Molino	
Altura cm	15.80
Radio cm	10.30
Diámetro cm	20.60
Volumen cc.	5266.02
Carga de bolas ton.	0.00829
Carga de bolas en kg.	8.29

Tabla 3.1.- Características del molino de laboratorio.

Distribución de bolas	% Peso	Peso kg.
1.22 in	23.5	1.95
1 in	76.5	6.34

Tabla 3.2.- Granulometría utilizada en el molino de laboratorio para el cálculo del W_i .

Peso Probeta +Material	1467.10	1269.70
Peso Probeta	197.40	
Peso Retirado	-100.00	308.20

Tabla 3.3.- Peso de los 700 cc. del mineral.

Tamaño (µm)	Tamaño (in)	Tamaño en No. Malla	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ac (+)	% Ac (-)
149.86	0.0059	100	0	0.00	0.00	100.00
104.14	0.0041	140	12.2	15.14	15.14	84.86
73.66	0.0029	200	12.2	15.14	30.27	69.73
63.5	0.0025	250	6.8	8.44	38.71	61.29
43.18	0.0017	325	10.1	12.53	51.24	48.76
38.1	0.0015	400	7	8.68	59.93	40.07
-38.1	-0.0015	-400	32.3	40.07	100.00	0.00
	Total		80.6			

Tabla 3.4.- Granulometría en estado estable al 250% de Carga circulante.

Las cargas del mineral de nueva alimentación de esta prueba se reportan en las tablas presentadas en el apéndice de resultados.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	269.7	147.28	215.48	360	308.2	160.91	0.4469	311.97
2	308.2	35.75	327.02	360	282.7	246.94	0.6859	349.13
3	282.7	32.79	329.97	432	323.1	290.30	0.6720	292.97
4	323.1	37.47	325.29	504	372	334.52	0.6637	241.31
5	372	43.15	319.61	576	382	338.84	0.5882	232.38
6	382	44.31	318.45	648	409.3	364.98	0.5632	210.21
7	409.3	47.47	315.29	720	456.3	408.82	0.5678	178.25
8	456.5	52.93	309.84	792	408.2	355.26	0.4485	211.04
9	408.2	47.35	315.42	792	407.6	360.24	0.4548	211.50
10	407.6	47.28	315.48	828	412.9	365.61	0.4415	207.50
11	412.6	47.89	314.87	864	408.5	360.60	0.4173	210.82
12	408.5	47.38	315.38	900	424.5	377.11	0.4190	199.10
13	424.5	49.24	313.52	936	422.5	373.25	0.3987	200.52
14	422.5	49.01	313.76	936	362.77	313.76	0.3352	250.00

Tabla 3.5.- Valores calculados de cargas de mineral y % de cargas circulante durante la determinación del Wi.

En donde:

A = Número de Ciclos.

B = Nueva Alimentación (g).

$$C = \frac{\text{Nueva Alimentación} * \% \text{ Ret } 100M}{100} \dots\dots (Ec 11)$$

$$D = \text{Peso Eq } 250cc - C \dots\dots (Ec 12)$$

E = Velocidad del molino en RPM

$$F = \text{Peso en gramos al tamaño } - 200M \dots\dots (Ec 13)$$

$$G = F - C \dots\dots (Ec 14)$$

$$H = \frac{G}{E} \dots\dots (Ec 15)$$

$$I = \frac{B - F}{F} \dots\dots (Ec 16)$$

Condiciones iniciales de pesos y granulometría del mineral a la entrada del proceso de molienda.

CONDICIONES INICIALES	Muestra Basalto
PESO EN 700CC (g.)	1269.7
CONST. A 250	3.5
PESO eq.250cc (g.)	362.77
%RET+100MALLAS	10.17
P1 (TL) (µm)	0.94
P2(80%Ac(-)) (µm)	93
F2(80%Ac(-)alimentación inicial (µm)	12400

Tabla 3.6.- Condiciones iniciales de la prueba.

Dureza del mineral en términos de energía por el método de Bond

Wi =	13.95	Kw-h/Ston
Pi =	149	µm
Gbp =	0.3843	
P2 =	93	µm
F2 =	12400	µm

Tabla 3.7.- Resultados Obtenidos de la Prueba del Wi

CONMINUCIÓN DEL MINERAL.

3.4 TRITURACIÓN.

Esta prueba se realizó con el fin de conocer la granulometría del mineral de Basalto que fue alimentado a la Planta Piloto, así como para la determinación del W_i por el Método de Bond. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, así como la representación gráfica del producto de trituración.

Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g.)	% Retenido	%Acumulado(+)	%Acumulado(-)
5/8	0.6250	15875	81.50	8.08	8.08	91.92
1/2	0.5000	12700	104.50	10.36	18.45	81.55
5/16	0.3125	7937.5	313.70	31.11	49.55	50.45
1/4	0.2500	6350	142.50	14.13	63.69	36.31
5	0.1570	3987.8	123.50	12.25	75.93	24.07
6	0.1310	3327.4	30.90	3.06	79.00	21.00
8	0.0937	2379.98	39.40	3.91	82.90	17.10
10	0.0661	1680	20.86	2.07	84.97	15.03
16	0.0467	1191	30.17	2.99	87.96	12.04
20	0.0331	841	17.58	1.74	89.71	10.29
30	0.0234	595	19.48	1.93	91.64	8.36
40	0.0165	420	12.93	1.28	92.92	7.08
50	0.0118	300	9.14	0.91	93.83	6.17
70	0.0083	212	10.17	1.01	94.84	5.16
100	0.0058	149	9.48	0.94	95.78	4.22
-100	Pan	-149	42.58	4.22	100.00	0.00
		Total	1008.4			

Tabla 3.8.- Análisis granulométrico del producto de trituración representativo de la alimentación al circuito de molienda-clasificación.

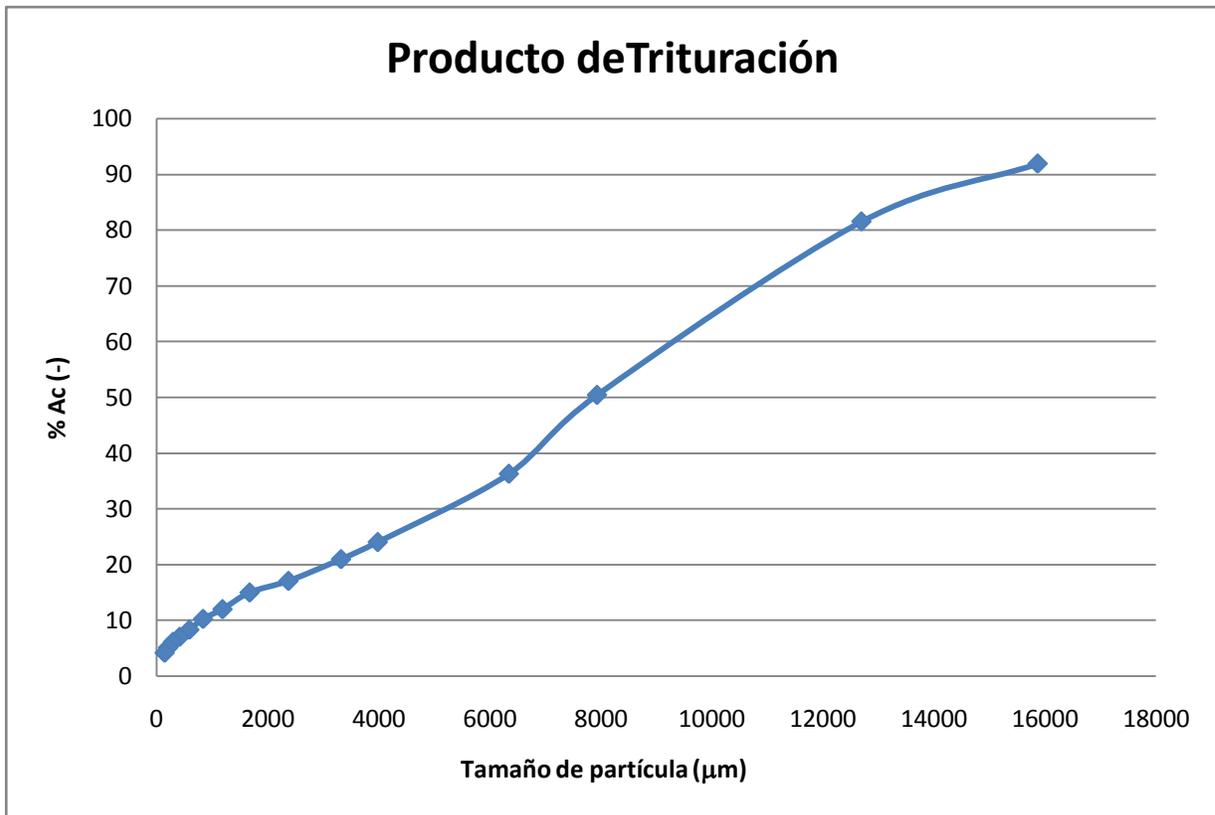


Gráfico 3.4.- Tamaño de partícula (μm) vs. % Acumulado (-) para el mineral obtenido en la trituración $\frac{1}{2}$ ", representativo de la alimentación al circuito de molienda-clasificación.

3.5 MEDICIÓN DE VELOCIDADES DE AIRE EN DUCTOS DEL CIRCUITO MOLIENDA CLASIFICACIÓN.

A continuación se presentan las tablas de medición de la velocidad del fluido (aire) en el ducto de alimentación al ciclón, teniendo como variables las posiciones de las válvulas VCAC (Válvula Compuerta Alimentación Clasificador) y VTDC (Válvula Tornillo Descarga Clasificador), los resultados obtenidos se presentan en el Apéndice de Resultados capítulo 6.

Debido a que existen posiciones de válvula en las que no hay flujo de aire (válvula completamente cerrada), se reduce el número de pruebas experimentales a las mostradas en las tablas 3.9, 3.10, y 3.11, así como sus correspondientes gráficos de velocidad y caudal vs posición de válvula.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS

	VDV	VAF	VAC	VCAC	AREA (m ³)	0.0044	RADIO(m)	0.0375
	VDV	VAF	VAC	VCAC	VTDC	Vel. (ft/min)	Vel (m/s)	Caudal (m ³ /s)
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	A	1	2190	11.13	0.049
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	A	2	2137	10.86	0.048
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	A	3	2154	10.94	0.048
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	A	4	2141	10.88	0.048
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	A	5	2100	10.67	0.047

Tabla 3.9.- Posiciones de válvulas con sus respectivas velocidades y caudales.

	VDV	VAF	VAC	VCAC	VTDC	Vel. (ft/min)	Vel (m/s)	Caudal (m ³ /s)
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	B	1	1220	6.20	0.027
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	B	2	1147	5.83	0.026
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	B	3	998	5.07	0.022
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	B	4	1045	5.31	0.023
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	B	5	912	4.63	0.020

Tabla 3.10.- Posiciones de válvulas con sus respectivas velocidades y caudales.

	VDV	VAF	VAC	VCAC	VTDC	Vel. (ft/min)	Vel (m/s)	Caudal (m ³ /s)
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	C	1	1484	7.54	0.033
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	C	2	1380	7.01	0.031
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	C	3	1080	5.49	0.024
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	C	4	1345	6.83	0.030
Posición	Abierto	Abierto	Abierto	C	5	958	4.87	0.022

Tabla 3.11.- Posiciones de válvulas con sus respectivas velocidades y caudales.

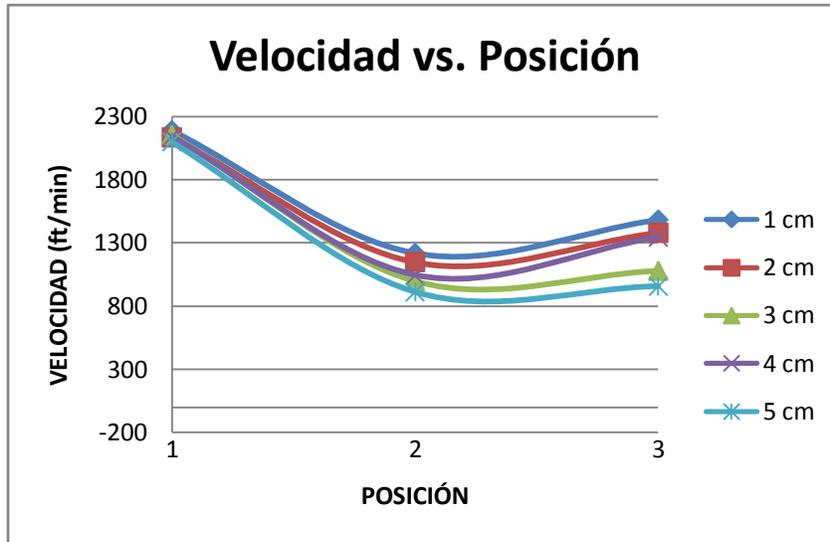


Gráfico 3.5.- Posición de válvula del clasificador vs. Velocidad (ft/min).

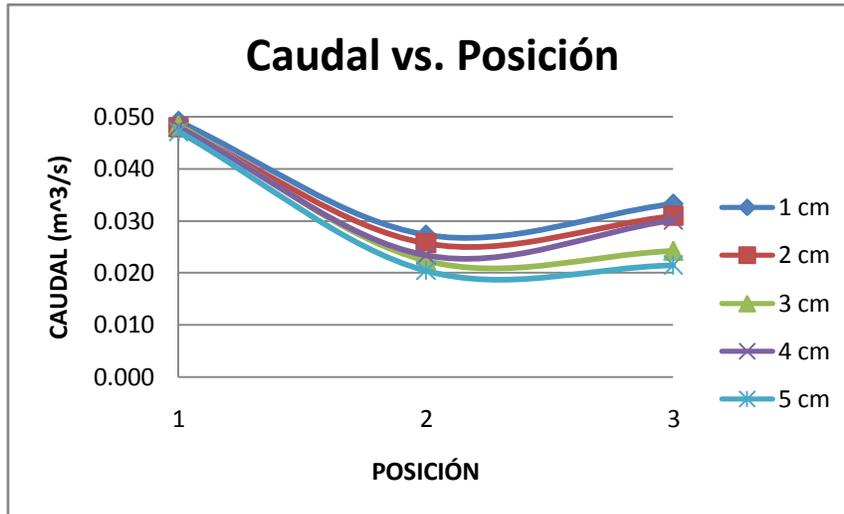


Gráfico 3.6.- Posición de válvula del clasificador vs. Caudal (m³/s).



Figura 3.1.- Posiciones de la válvula VCAC en A, B y C respectivamente.

3.6 MOLIENDA-CLASIFICACIÓN.

A continuación se presentan los resultados correspondientes a las pruebas de molienda con clasificación, (Tabla 3.12), tipo de válvula, posición experimentada, condiciones de operación del mineral alimentado (Tabla 3.13), pesos obtenidos en cada uno de los puntos muestreados (Tabla 3.14), análisis granulométrico en cada uno de los puntos de interés (Tablas 3.15-3.18), así como los gráficos correspondientes a cada prueba realizada, con sus respectivas posiciones de muestreo en la planta piloto (Descarga, Recirculado, Descarga Final y Carga Interna del Molino).

Prueba 1:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	A	5 cm

Tabla 3.12.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 3.13.- Condiciones de trabajo.

Peso Descarga de Aerociclón.	3,700 g.
Peso Dentro del Molino	11147.1 g.
Peso Muestras de Puntos Críticos	72.9 g.
Peso en Filtros	80 g.

Tabla 3.14.- Pesos de basalto durante la prueba.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0.1	0.19	0.19	99.81
100	0.0059	149.86	0.3	0.58	0.77	99.23
140	0.0041	104.14	1.1	2.12	2.90	97.10
200	0.0029	73.66	3	5.79	8.69	91.31
325	0.0017	43.18	17.4	33.59	42.28	57.72
PAN	-0.0017	-43.18	29.9	57.72	100.00	0.00
Total			51.8			

Tabla 3.15.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 1.

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.7	7.45	7.45	92.55
140	0.0041	104.14	4.6	48.94	56.38	43.62
200	0.0029	73.66	2.5	26.60	82.98	17.02
325	0.0017	43.18	1.3	13.83	96.81	3.19
PAN	-0.0017	-43.18	0.3	3.19	100.00	0.00
Total			9.4			

Tabla 3.16.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 1.

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0.1	0.08	0.08	99.92
100	0.0059	149.86	0.3	0.25	0.34	99.66
140	0.0041	104.14	5.5	4.66	5.00	95.00
200	0.0029	73.66	9.9	8.39	13.39	86.61
325	0.0017	43.18	48.1	40.76	54.15	45.85
PAN	-0.0017	-43.18	54.1	45.85	100.00	0.00
Total			118			

Tabla 3.17.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 1.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	15.2	12.88	12.88	87.12
5/16	0.3125	7937.5	10.3	8.73	21.61	78.39
¼	0.25	6350	5.4	4.58	26.19	73.81
30	0.0234	595	26.1	22.12	48.31	51.69
70	0.0083	210.82	24.3	20.59	68.90	31.10
100	0.0059	149.86	11.2	9.49	78.39	21.61
140	0.0041	104.14	10.1	8.56	86.95	13.05
200	0.0029	73.66	5.5	4.66	91.61	8.39
325	0.0017	43.18	6.5	5.51	97.12	2.88
PAN	-0.0017	-43.18	3.2	2.71	99.83	0.17
Total			117.8			

Tabla 3.18.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 1.

A continuación se presentan gráficos con la notación siguiente

Posición de la válvula del tornillo descarga del clasificador en centímetros (1, 2, 3,4 y 5); las letras A, B y C indican las posiciones de la válvula aire alimentación clasificador. Por ejemplo 5A significa: 5 cm de abertura en la válvula de tornillo descarga del clasificador con posición A.

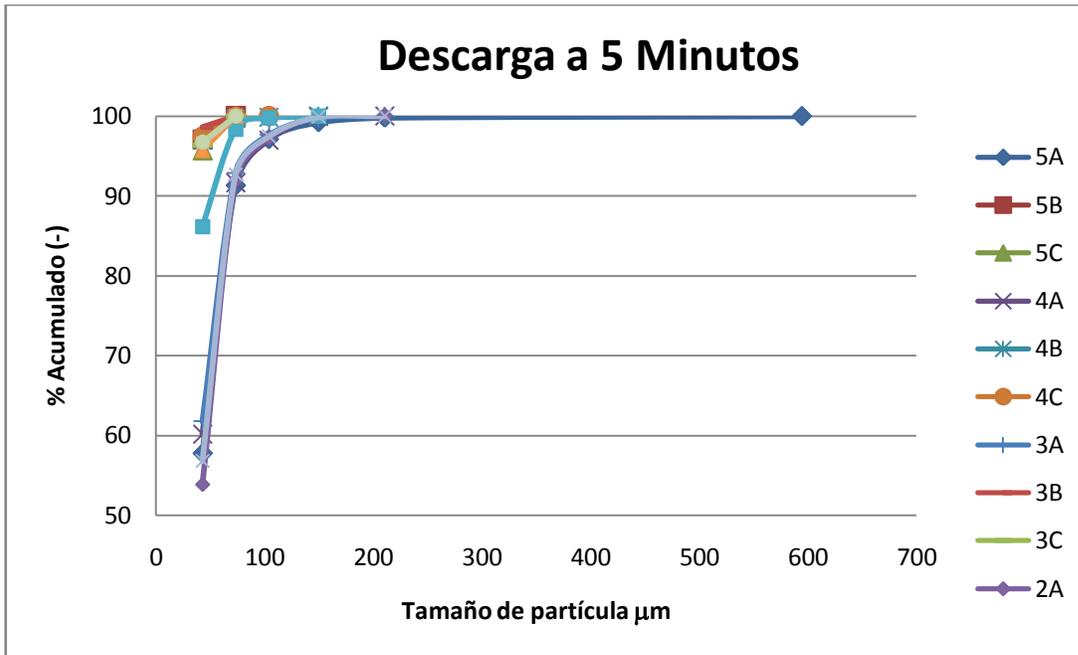


Gráfico 3.7.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para cada una de las pruebas en la muestra tomada en la descarga del aerociclón a 5 minutos de prueba.

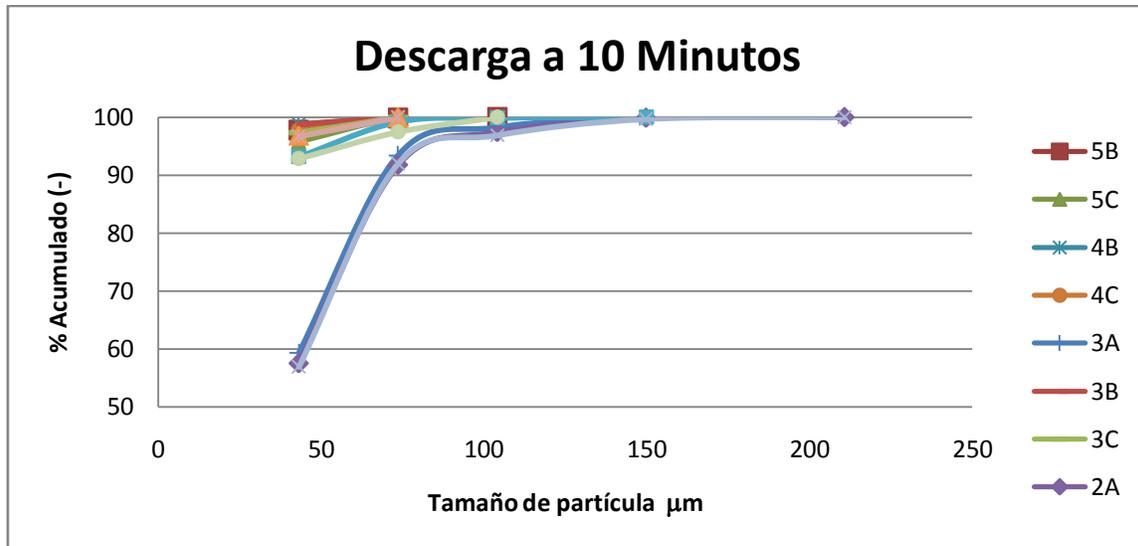


Gráfico 3.8.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para cada una de las pruebas en la muestra tomada en la descarga del aerociclón a 10 minutos de prueba.

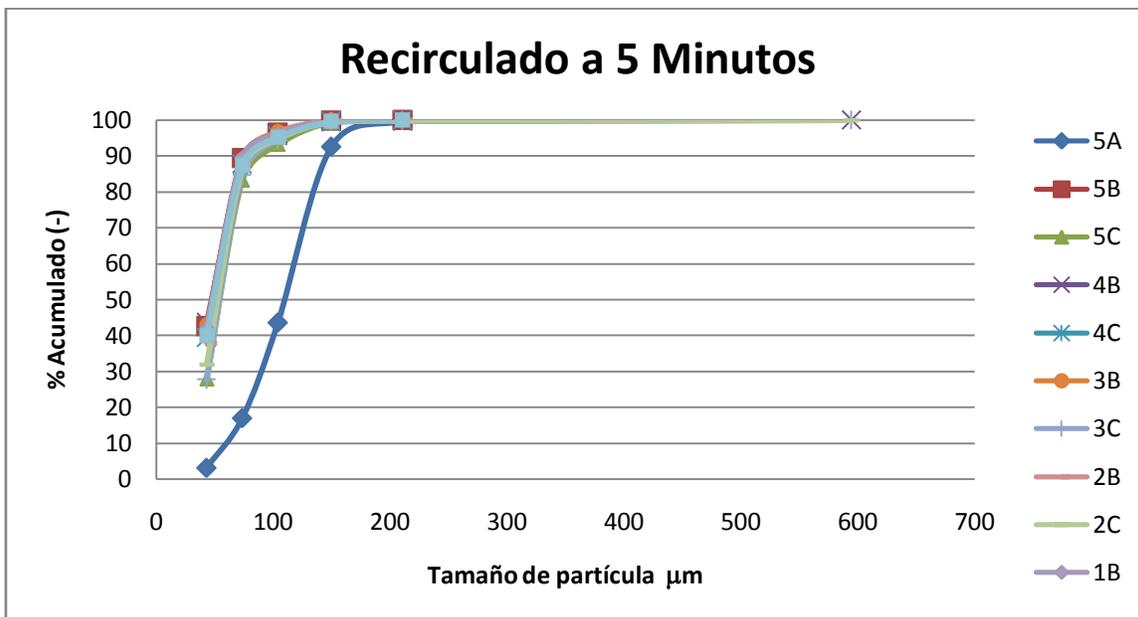


Gráfico 3.9.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para cada una de las pruebas en la muestra tomada en el recirculado al molino a los 5 minutos de

prueba.

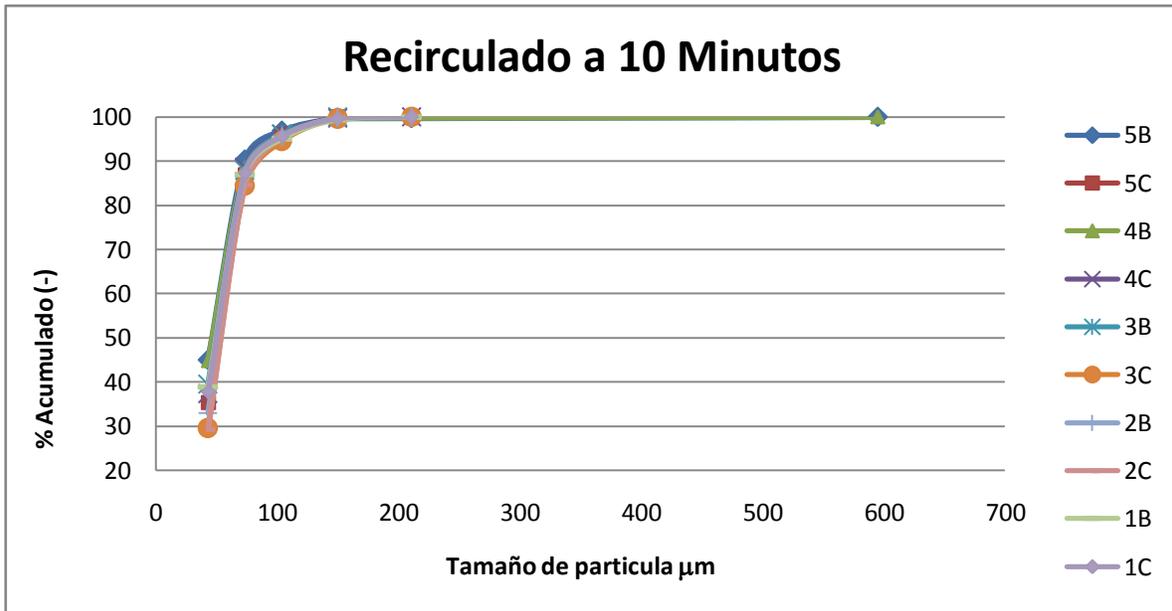


Gráfico 3.10.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para cada una de las pruebas en la muestra tomada en el recirculado al molino a los 10 minutos de prueba.

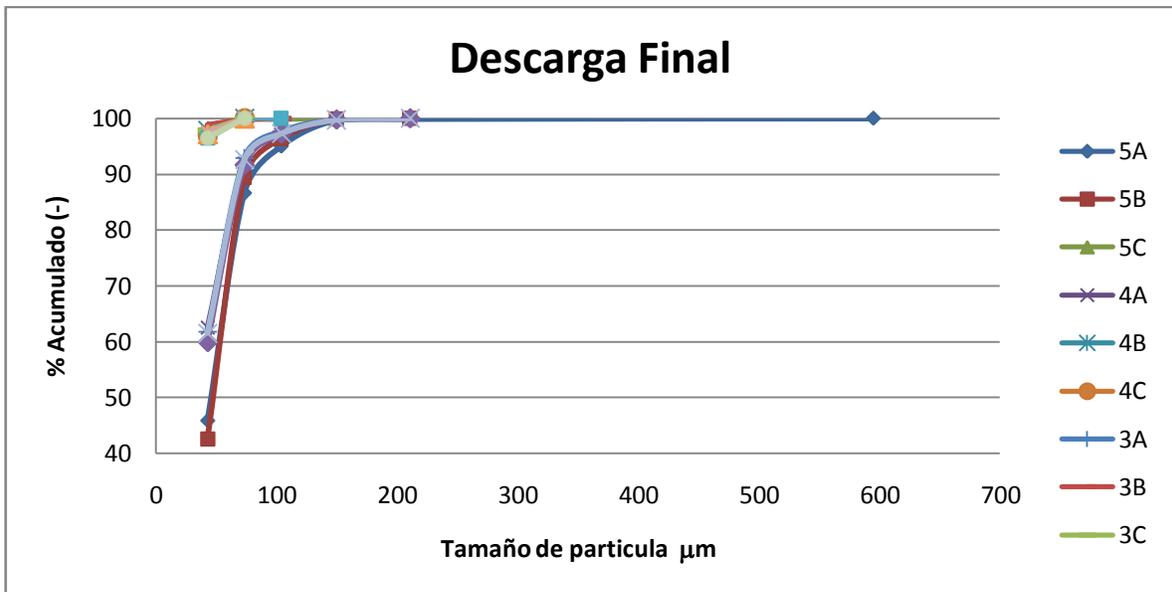


Gráfico 3.11.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para cada una de las pruebas en la muestra tomada en la descarga del aerociclón al final de la prueba.

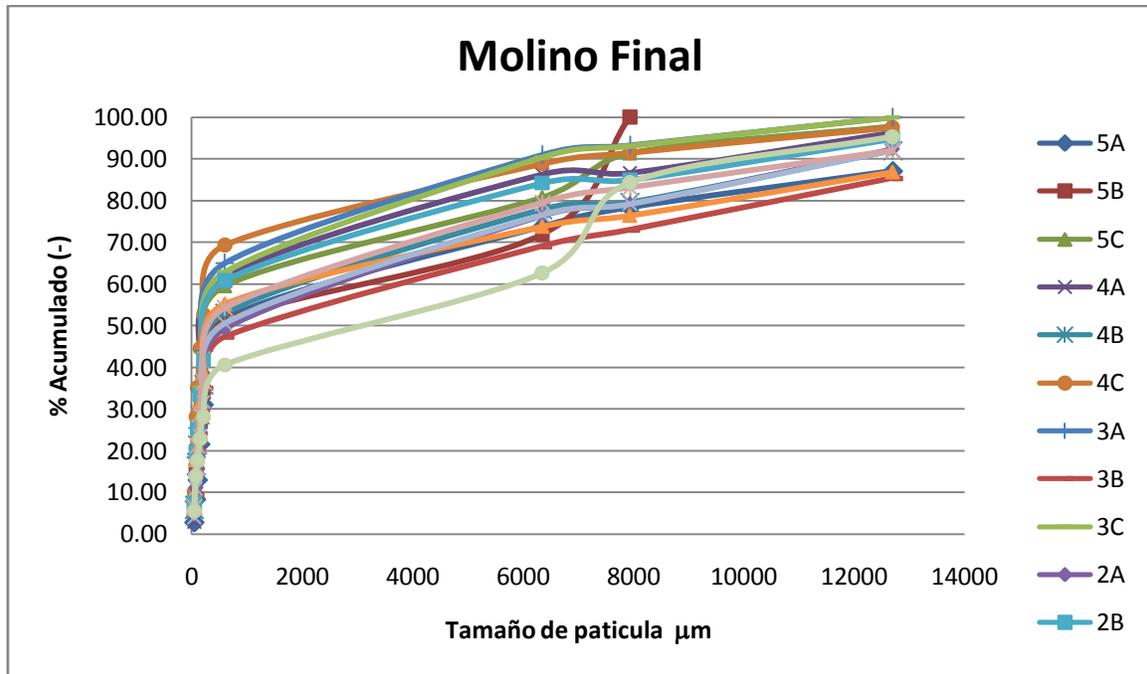


Gráfico 3.12.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (μm) para cada una de las pruebas en la muestra tomada en la carga contenida dentro del molino al final de la prueba.

Las tablas anteriores pertenecen únicamente a la prueba No. 1 y los gráficos corresponden a la comparación de todas las pruebas realizadas. El manejo de las pruebas restantes están ubicadas en el apéndice de resultados, Es importante señalar que el tipo de gráfico % Ac (-) vs. Tamaño de partícula para todas las pruebas ayudó a determinar el comportamiento del basalto en las diferentes condiciones de la experimentación.

3.7 INFLUENCIA DE LAS VELOCIDADES DE AIRE EN DUCTOS EN LA RECUPERACIÓN Y GRANULOMETRÍA PRESENTE EN CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

Para una mejor visualización de los resultados, se ha colocado una tabla comparativa (Tabla 3.19) de los gramos recuperados en la descarga del aerociclón a diferentes condiciones de operación, así como; la velocidad del aire (m/s), el caudal de aire (m^3/s) y los gramos por minuto en la descarga del aerociclón (gpm aero).

Prueba	g.t.d.aero	Vel(m/s)	Caudal(m ³ /s)	gpm aero	Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
1	3700	10.6680	0.0471	308.33	Posición	AB	AB	AB	A	5 cm
4	3240	10.8763	0.0481	270.00	Posición	AB	AB	AB	A	4 cm
10	2370	10.8560	0.0480	197.50	Posición	AB	AB	AB	A	2 cm
6	1800	6.8326	0.0302	150.00	Posición	AB	AB	AB	C	4 cm
7	1550	10.9423	0.0483	129.17	Posición	AB	AB	AB	A	3 cm
3	1360	4.8666	0.0215	113.33	Posición	AB	AB	AB	C	5 cm
12	1300	7.0104	0.0310	108.33	Posición	AB	AB	AB	C	2 cm
5	1250	5.3086	0.0235	104.17	Posición	AB	AB	AB	B	4 cm
9	1050	5.4864	0.0242	87.50	Posición	AB	AB	AB	C	3 cm
15	1000	7.5387	0.0333	83.33	Posición	AB	AB	AB	C	1 cm
2	1000	4.6330	0.0205	83.33	Posición	AB	AB	AB	B	5 cm
11	920	5.8268	0.0257	76.67	Posición	AB	AB	AB	B	2 cm
14	800	6.1976	0.0274	66.67	Posición	AB	AB	AB	B	1 cm
8	700	5.0698	0.0224	58.33	Posición	AB	AB	AB	B	3 cm
13	230	11.1252	0.0491	19.17	Posición	AB	AB	AB	A	1 cm

Tabla 3.19.-Listado ordenado con respecto a la mayor cantidad de gramos totales en la descarga del aerociclón con sus respectivas velocidades de aire y posiciones de válvulas.

En donde:

g.t.d.aero = Gramos totales en la descarga del aerociclón.

gpm aero = Gramos por minuto en la descarga del aerociclón.

VDV = Válvula de aire Descarga Ventilador, VCAC= Válvula Compuerta Alimentación Clasificador, VAC =Válvula de aire Alimentación Clasificador, VAF = Válvula de aire Alimentación Filtros, VTDC =Válvula Tornillo Descarga Clasificador. AB = Abierta.

Para una mejor comprensión de los resultados de las velocidades de aire de la tabla anterior, se construyó el siguiente gráfico en donde se muestra los gramos por minuto (gpm) de Basalto obtenidos en la descarga del aerociclón, así como las velocidades correspondientes para cada una de las pruebas.

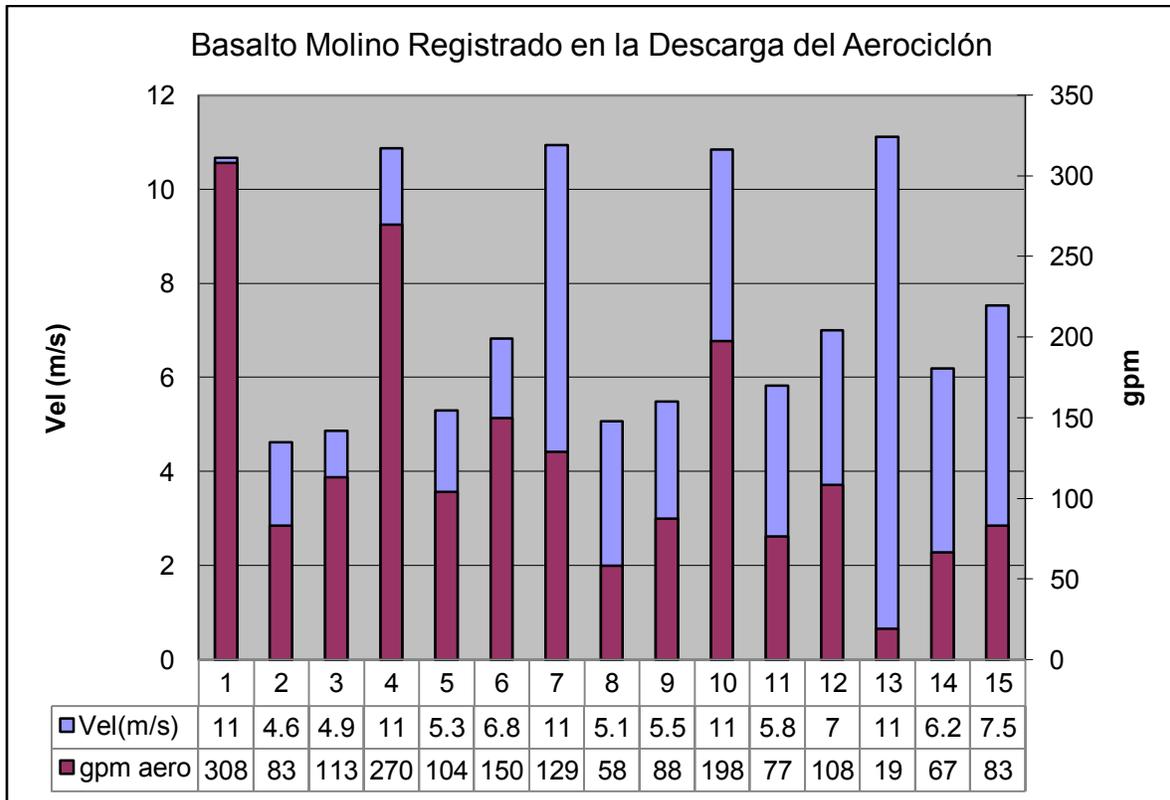


Gráfico 3.13.- Representación gráfica de la cantidad de basalto molido, (g.) totales registrados en la descarga del aerociclón, con sus respectivas velocidades de aire.

Finalmente se muestran agrupados los análisis granulométricos de las 15 pruebas realizadas.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS

Malla	µm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		% Acumulado (-)														
1/2	12700	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5/16	7937.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/4	6350	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
30	595	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
70	210.82	99.92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	149.86	99.66	99.88	100	99.77	100	100	99.76	100	100	99.78	100	100	99.73	100	100
140	104.14	95.00	96.39	99.89	97.08	100	100	97.62	100	100	97.26	100	100	97.26	100	100
200	73.66	86.61	89.41	99.78	91.94	100	100	92.87	99.83	100	91.66	99.87	100	92.57	100	100
325	43.18	45.85	42.59	96.76	62.5	97.85	97.11	61.71	98.84	97.89	59.93	96.49	97.23	61.54	97.47	96.51
PAN	-43.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 30.- Valores de % Ac (-) en la descarga del aerociclón para todas las pruebas.

Malla	µm	Pulgadas	Válvula VCAC / Válvula VTDC																	
			A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1/2	12700	0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5/16	7937.5	0.3125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/4	6350	0.25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
30	595	0.0234	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
70	210.82	0.0083	99.92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	149.86	0.0059	99.66	99.77	99.78	100	99.76	100	100	100	100	100	99.88	100	100	100	100	100	99.73	100
140	104.14	0.0041	95.00	97.08	97.26	100	97.62	99.89	100	100	100	100	96.39	100	100	100	100	100	97.26	100
200	73.66	0.0029	86.61	91.94	91.66	100	92.87	99.78	100	100	100	100	89.41	99.87	100	99.83	100	92.57	100	100
325	43.18	0.0017	45.85	42.59	59.93	97.11	61.71	96.76	97.23	97.85	97.89	96.51	42.59	96.49	97.47	98.84	61.54	97.47	96.51	100
PAN	-43.18	-0.0017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Válvulas	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición	Posición
		VDV	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto
		VAC	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto
		VAF	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto
		VCAC	A	A	A	C	A	C	C	B	C	C	B	B	B	B	B	B	A	A
		VTDC	5	4	2	4	3	5	2	4	3	1	5	2	1	3	1	3	1	1

Tabla 31.- Valores de % Ac (-) en la descarga del aerociclón ordenados con respecto al material recuperado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL.

1.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

Con base a la información presentada en los gráficos 1 y 2 del capítulo de resultados, se puede observar que el basalto está conformado por los siguientes componentes:

Muestra	Minerales Mayoritarios
Mano	Ludwigita $(Mg,Cr)_2(Fe,Al)(BO_3)O_2$ Ortorrómbica. Anortita $(Ca,Na)(Si,Al)_4O_8$, Triclínico.
Molida	Ludwigita $(Mg,Cr)_2(Fe,Al)(BO_3)O_2$ Ortorrómbica. Anortita $(Ca,Na)(Si,Al)_4O_8$, Triclínico.

Tabla 4.1.- Resultados arrojados por Difracción de rayos X.

Así mismo, en el gráfico 3.3 se muestra la comparación de los Difractogramas de las dos muestras, el cual presenta un barrido de intensidades menores y paralelas, ocurrido probablemente por el tratamiento de preparación que se le proporcionó a la probeta de mano. Sin embargo, los picos de intensidad coinciden exactamente al incrementar las intensidades, manifestándose la presencia de basalto con ciertas impurezas.

4.2 y 4.3 DETERMINACIÓN DEL W_i (MÉTODO DIRECTO Y MÉTODO DE BOND).

La evaluación de la dureza del mineral en términos de energía en las diferentes etapas de conminución tuvieron como resultados para la etapa de trituración el valor de 25.76 Kw-h/Ston, que comparado con el valor reportado en la literatura de 22.45 Kw-h/Ston. ⁽⁴⁾ para un basalto puro, muestra valores relativamente cercanos entre sí, con esto apreciándose un material con bajas impurezas. Para la muestra molida se obtuvo un valor considerablemente menor con 8.5 unidades de diferencia. Este resultado es atípico en la molienda de minerales y puede deberse a dos posibles causas, la primera puede atribuirse a la presencia de un

mecanismo que promueve la reducción de las partículas con mayor facilidad, esto se puede observar en las tablas (6.1 y 6.2) dado que las cantidades de material a adicionar al molino presentan las variaciones elevadas en el intervalo de tamaño +5/16" – 5M, con lo cual se comprueba que en esa fracción existe un material con dureza menor que a tamaños elevados.

La segunda causa de esta variación de dureza que es más factible es debida a la geología del mineral de basalto la cual pudo presentar una paragénesis involucrando diferentes velocidades de enfriamiento generando una variación en la dureza del material.

4.4 PRUEBAS CONMINUCIÓN MINERAL (TRITURACIÓN).

En la tabla 3.8 y en el gráfico 3.4 se presentan los resultados del análisis granulométrico del Basalto obtenido en la salida de la trituradora de quijadas Denver, el cual es el material de alimentación para las pruebas de Molienda-Clasificación de la planta piloto. En ella se observa una granulometría centrada y abierta por debajo de la malla 5/16" (7937.5 μm) hasta tamaños tan pequeños de la malla 100 (140 μm).

4.5 MEDICIÓN DE VELOCIDADES DE AIRE EN DUCTOS.

En las tablas 3.9 a 3.11 y los gráficos 3.5 y 3.6 se muestran los resultados de esta prueba, en los que podemos observar que las velocidades de aire más elevadas se presentan cuando la válvula compuerta alimentación clasificador (VCAC) se encuentra en la posición A (con bajo tiempo de residencia), cuando esta se encuentra en posición C se tienen velocidades medias y en posición B presenta las menores velocidades (altos tiempos de residencia).

En cuanto a la Válvula Tornillo Descarga Clasificador (VTDC) entre más cerrada sea su posición, mayor será la velocidad del aire que alimenta al segundo clasificador (Aerociclón), por lo anterior podemos decir que a mayores velocidades obtendremos mayores cantidades de mineral en la descarga del ciclón.

4.6 MOLIENDA-CLASIFICACIÓN.

En las tablas 3.12-3.18 y en los gráficos 3.7-3.12 presentados en el capítulo anterior, así como las tablas 6.3-6.119 y los gráficos 6.7-6.26 del capítulo, se presentan los resultados de las pruebas de molienda-clasificación que se analizan a continuación:

Descarga.

En estas muestras se puede observar que para las combinaciones de las válvulas VCAC en las posiciones A y C así como en VTDC para las posiciones 1 a 4, se tiene la mayor cantidad de Basalto molido con una granulometría abierta ya que encontramos partículas de tamaños entre la malla 70 ($210.82\mu\text{m}$) y la malla 325 ($43.18\mu\text{m}$).

Recirculado.

Se presenta un comportamiento similar para la mayoría de las pruebas al observar sus análisis granulométricos en el intervalo de tamaños de la malla 70 ($210.82\mu\text{m}$) a la malla 325 ($43.18\mu\text{m}$). Cabe mencionar que no en todas las pruebas se obtuvo un material recirculado como en el caso en la válvula VCAC, en la posición A. Esto es debido a que en esta posición, el fluido de aire tiene un efecto de corto circuito lo cual provoca que casi todo el material sea enviado al aerociclón. Esto puede comprobarse al observar la tabla de pesos de basalto durante todas las pruebas, por ejemplo, la tabla 3.14 prueba 1, el peso de descarga de aerociclón fue de 3700 g, comparado con el recirculado de 9 gramos, contenidos en 72.9 g de peso de muestras en Puntos Críticos.

Molino.

En éste se encontró una granulometría abierta ya que presenta tamaños que oscilan entre la malla $\frac{1}{4}$ ($12700\mu\text{m}$) y la malla 325 ($43.18\mu\text{m}$). También se puede observar que al cerrar la válvula Tornillo del clasificador el porcentaje acumulado negativo, gráfico (carga interior del molino) y la cantidad de material dentro del molino disminuye, esto debido al incremento de la velocidad en el clasificador.

Esto lo podemos comprobar seleccionando valores tabulados en las tablas de pesos de basalto para cada una de las pruebas.

4.7 INFLUENCIA DE LAS VELOCIDADES DE AIRE EN DUCTOS EN LA RECUPERACIÓN Y GRANULOMETRÍA PRESENTE EN CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

A partir de los resultados obtenidos en las mediciones de velocidades de aire en los ductos, análisis granulométricos y pesos obtenidos en la descarga del aerociclón, podemos observar que en las posiciones con mayor flujo de aire (Válvula VCAC en A y C) se presentó la mayor cantidad de material en la descarga del aerociclón con una granulometría abierta, debido que al tener un mayor flujo de aire el material no es clasificado adecuadamente por la presencia del cortocircuito del fluido con el material antes mencionado, ya que el basalto es transportado directamente del clasificador de partículas al aerociclón en donde ocurre la separación partícula-aire.

En cuanto al material obtenido por las pruebas con la válvula VCAC en B, existió un gran flujo de material recirculado al molino, por lo que se obtuvo una menor cantidad de material en la descarga del aerociclón con una granulometría cerrada, ya que ocurre una buena clasificación.

Se puede observar claramente que a velocidades elevadas se obtiene una mayor cantidad de material en la descarga del aerociclón con una granulometría abierta, y a velocidades bajas se tienen los efectos contrarios.

CONCLUSIONES:

- ❖ El tipo de clasificación depende directamente de la posición de la válvula VCAC la cual varía las velocidades del aire en la alimentación hacia los clasificadores, por lo tanto al tener una mayor velocidad de aire obtenemos una mayor cantidad de mineral en la descarga del aerociclón, con una granulometría abierta.
- ❖ Las válvulas VDV, VAF y VAC en operación siempre estarán abiertas y por lo tanto no influyen en la clasificación.
- ❖ La influencia de la Válvula Tornillo Descarga Clasificador (VTDC) en función de su posición dio como resultado que al estar más cerrada, mayor será la velocidad del aire que alimenta al segundo clasificador (Aerociclón), por lo anterior podemos decir que a mayores velocidades obtendremos mayores cantidades de mineral en la descarga del ciclón.
- ❖ Las mejores condiciones de operación en cuanto a la cantidad de material obtenido se tienen en las combinaciones de las válvulas VCAC y VTDC, en A y C para 5-2 cm respectivamente.
- ❖ Si se desea obtener un Basalto con una granulometría definida y controlada se recomienda utilizar la válvula VCAC en posición B con cualquier posición de la válvula VTDC.
- ❖ El aerociclón presente en la planta piloto es de alta eficiencia, ya que se recuperaron pequeñas cantidades de mineral en los filtros.

APÉNDICE DE RESULTADOS:

DETERMINACIÓN DE DUREZA W_i (MÉTODO DE BOND).

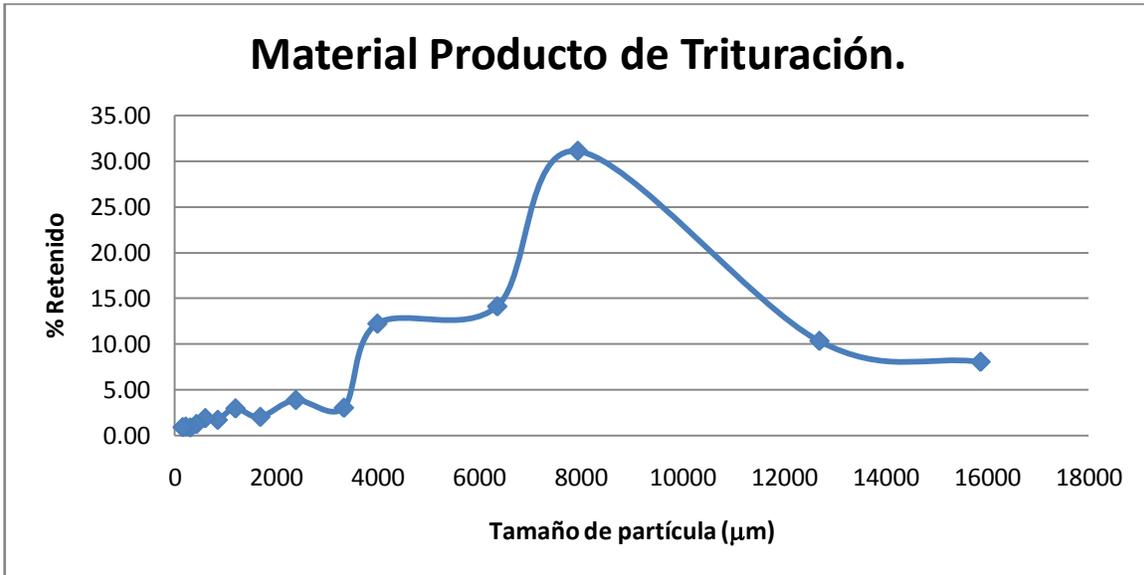


Gráfico 6.1.- % Retenido vs. Tamaño de partícula (Micrómetros) para Material Producto de Trituración.

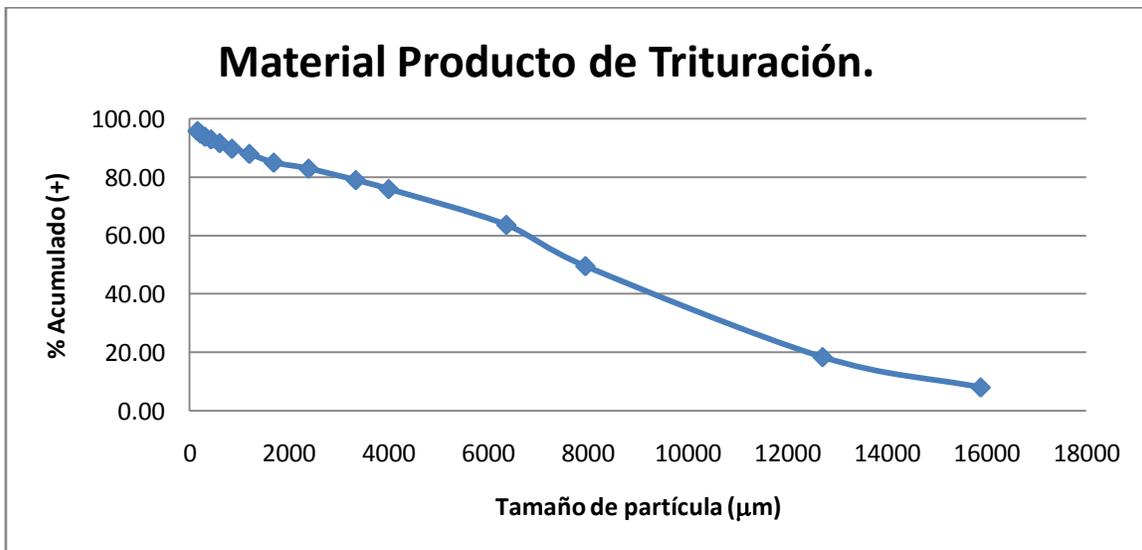


Gráfico 6.2.- % Acumulado (+) vs. Tamaño de partícula (Micrómetros) para Material Producto de Trituración.

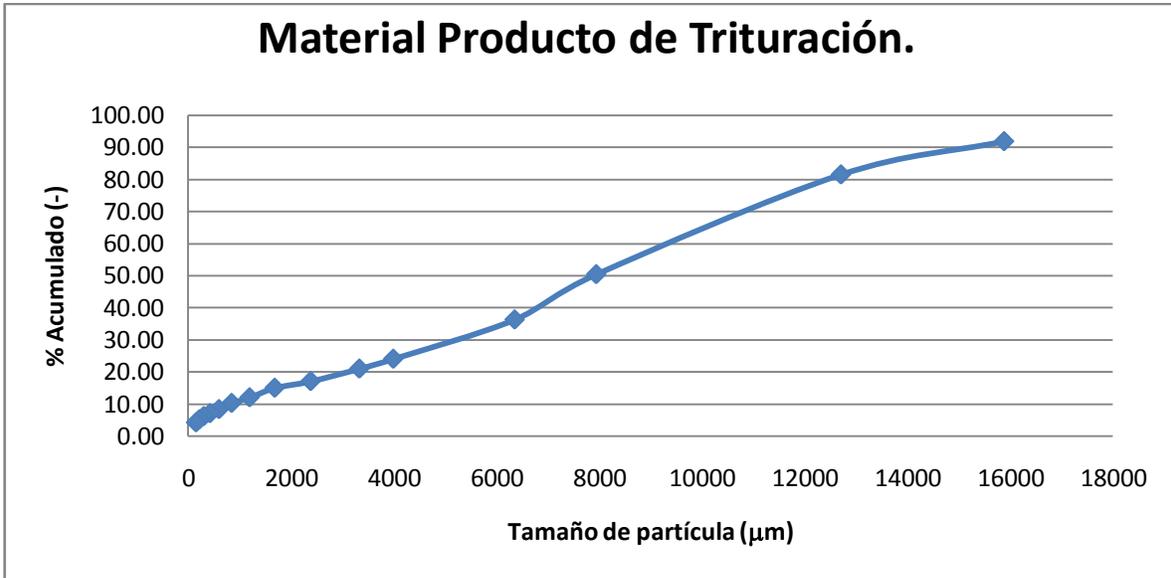


Gráfico 6.3.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (Micrómetros) para Material Producto de Trituración.

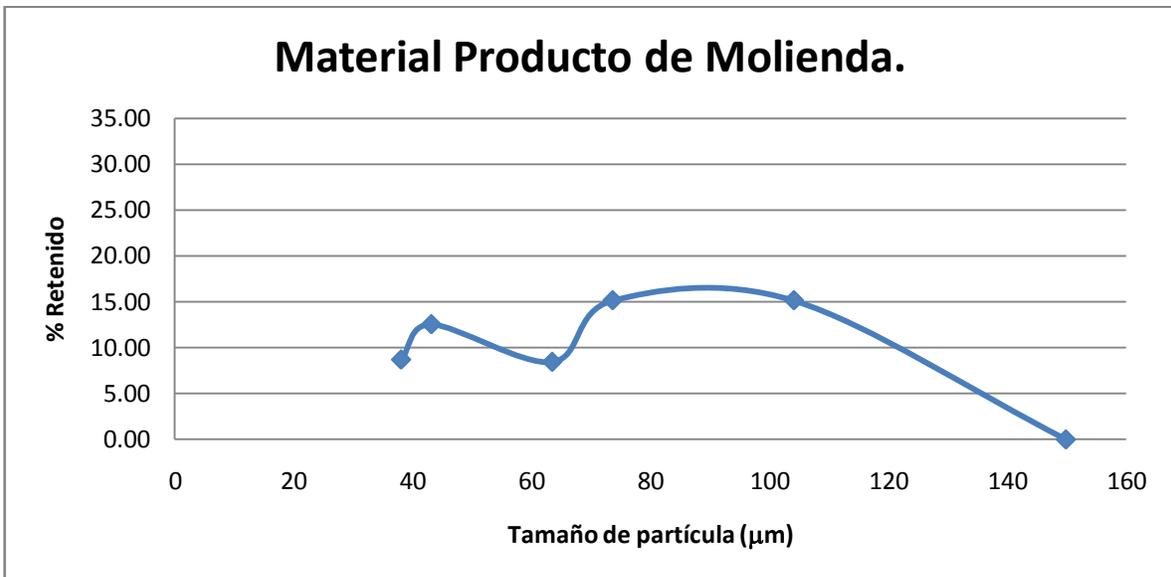


Gráfico 6.4.- % Retenido vs. Tamaño de partícula (Micrómetros) para Material Producto de Molienda.

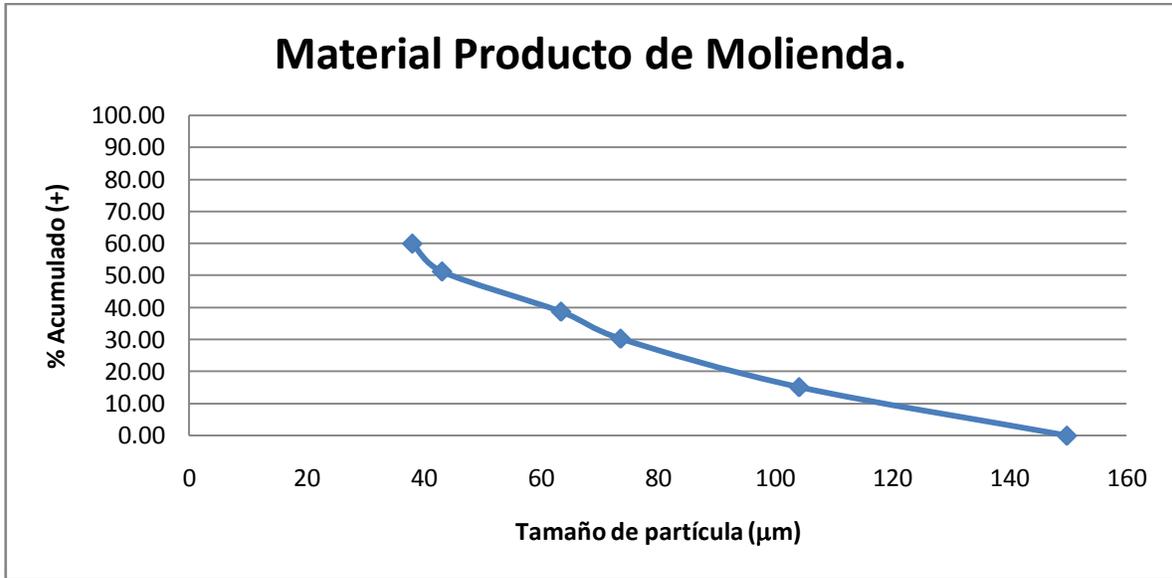


Gráfico 6.5.- % Acumulado (+) vs. Tamaño de partícula (Micrómetros) para Material Producto de Molienda.

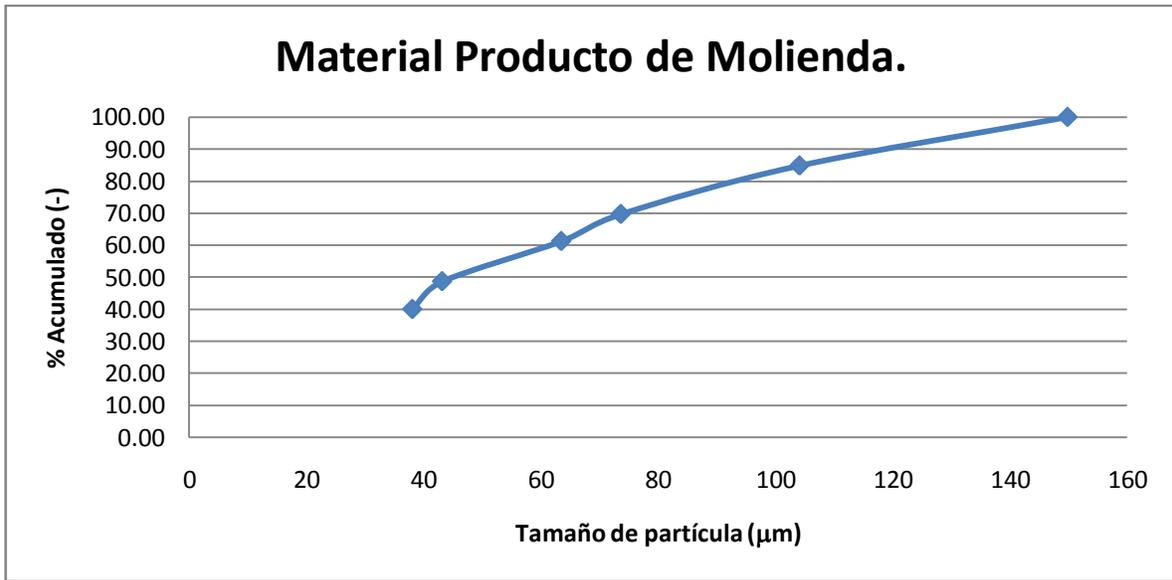


Gráfico 6.6.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (Micrómetros) para Material Producto de Molienda.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

	308.2	282.7	323.1	372	382	409.3
Tamaño (µm)	Peso Agregar					
15875	24.91	22.85	26.11	30.07	30.87	33.08
12700	31.94	29.30	33.48	38.55	39.59	42.42
7937.5	95.88	87.94	100.51	115.72	118.84	127.33
6350	43.55	39.95	45.66	52.57	53.98	57.84
3987.8	37.75	34.62	39.57	45.56	46.78	50.13
3327.4	9.44	8.66	9.90	11.40	11.71	12.54
2379	12.04	11.05	12.62	14.53	14.93	15.99
1680	6.38	5.85	6.68	7.70	7.90	8.47
1191	9.22	8.46	9.67	11.13	11.43	12.25
841	5.37	4.93	5.63	6.49	6.66	7.14
595	5.95	5.46	6.24	7.19	7.38	7.91
420	3.95	3.62	4.14	4.77	4.90	5.25
300	2.79	2.56	2.93	3.37	3.46	3.71
212	3.11	2.85	3.26	3.75	3.85	4.13
149	2.90	2.66	3.04	3.50	3.59	3.85
-149	13.01	11.94	13.64	15.71	16.13	17.28
	308.2	282.70	323.10	372.00	382.00	409.30
	5 Minutos	6 Minutos	7 Minutos	8 Minutos	9 Minutos	10 Minutos

Tablas 6.1 y 6.2.- Granulometría de la Nueva Alimentación al Molino en la Prueba del Wi.

456.3	408.2	407.6	412.9	408.5	424.2	422.5
Peso Agregar						
36.88	32.99	32.94	33.37	33.02	34.28	34.15
47.29	42.30	42.24	42.79	42.33	43.96	43.78
141.95	126.99	126.80	128.45	127.08	131.96	131.43
64.48	57.68	57.60	58.35	57.73	59.94	59.70
55.88	49.99	49.92	50.57	50.03	51.95	51.74
13.98	12.51	12.49	12.65	12.52	13.00	12.95
17.83	15.95	15.93	16.13	15.96	16.57	16.51
9.44	8.44	8.43	8.54	8.45	8.78	8.74
13.65	12.21	12.19	12.35	12.22	12.69	12.64
7.96	7.12	7.11	7.20	7.12	7.40	7.37
8.82	7.89	7.87	7.98	7.89	8.20	8.16
5.85	5.23	5.23	5.29	5.24	5.44	5.42

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

4.13	3.70	3.69	3.74	3.70	3.84	3.83
4.60	4.12	4.11	4.16	4.12	4.28	4.26
4.29	3.84	3.83	3.88	3.84	3.99	3.97
19.27	17.24	17.21	17.44	17.25	17.91	17.84
456.30	408.20	407.60	412.90	408.50	424.20	422.50
11 minutos	11 Minutos	11.5 Minutos	12 Minutos	12.5 Minutos	13 Minutos	13 Minutos

6.2 MOLIENDA-CLASIFICACIÓN.

Prueba 2:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	B	5 cm

Tabla 6.3.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.4.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	1000 g.
Peso Molino	13,614 g.
Peso Muestras	305.3 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.5.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
1/4	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1.1	2.93	2.93	97.07
PAN	-0.0017	-43.18	36.5	97.07	100.00	0.00
Total			37.6			

Tabla 6.6.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 2.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0.1	0.11	0.11	99.89
325	0.0017	43.18	1.9	2.11	2.22	97.78
PAN	-0.0017	-43.18	88.1	97.78	100.00	0.00
Total			90.1			

Tabla 6.7.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 2.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.12	0.12	99.88
140	0.0041	104.14	2.8	3.49	3.61	96.39
200	0.0029	73.66	5.6	6.97	10.59	89.41
325	0.0017	43.18	37.6	46.82	57.41	42.59
PAN	-0.0017	-43.18	34.2	42.59	100.00	0.00
Total			80.3			

Tabla 6.8.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 2.

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0.2	0.27	0.27	99.73
100	0.0059	149.86	0.1	0.14	0.41	99.59
140	0.0041	104.14	2	2.72	3.13	96.87
200	0.0029	73.66	4.8	6.53	9.66	90.34
325	0.0017	43.18	33.3	45.31	54.97	45.03
PAN	-0.0017	-43.18	33.1	45.03	100.00	0.00
Total			73.5			

Tabla 6.9.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 2.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.12	0.12	99.88
140	0.0041	104.14	2.8	3.49	3.61	96.39
200	0.0029	73.66	5.6	6.97	10.59	89.41
325	0.0017	43.18	37.6	46.82	57.41	42.59
PAN	-0.0017	-43.18	34.2	42.59	100.00	0.00
Total			80.3			

Tabla 6.10.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 2

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	0	0	0	100
5/16	0.3125	7937.5	0	0	0	100
¼	0.25	6350	29.8	28.06	28.06	71.94
30	0.0234	595	22.1	20.81	48.87	51.13
70	0.0083	210.82	18.2	17.14	66.01	33.99
100	0.0059	149.86	7.5	7.06	73.07	26.93
140	0.0041	104.14	7.4	6.97	80.04	19.96
200	0.0029	73.66	5	4.71	84.75	15.25
325	0.0017	43.18	10.2	9.60	94.35	5.65
PAN	-0.0017	-43.18	6	5.65	100.00	0.00
Total			106.2			

Tabla 6.11.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 2.

Prueba 3:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	C	5 cm

Tabla 6.12.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.13.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	1,360 g.
Peso Molino	13217 g.
Peso Muestras	342.3 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.14.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	6.6	4.25	4.25	95.75
PAN	-0.0017	-43.18	148.7	95.75	100.00	0.00
Total			155.3			

Tabla 6.15.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 3.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0.1	0.19	0.19	99.81
325	0.0017	43.18	2.1	4.02	4.21	95.79
PAN	-0.0017	-43.18	50.1	95.79	100.00	0.00
Total			52.3			

Tabla 6.16.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 3.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.4	0.61	0.61	99.39
140	0.0041	104.14	4.1	6.20	6.81	93.19
200	0.0029	73.66	6.6	9.98	16.79	83.21
325	0.0017	43.18	36.5	55.22	72.01	27.99
PAN	-0.0017	-43.18	18.5	27.99	100.00	0.00
Total			66.1			

Tabla 6.17.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 3.

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	1.8	4.02	4.02	95.98
200	0.0029	73.66	4.1	9.15	13.17	86.83
325	0.0017	43.18	23.1	51.56	64.73	35.27
PAN	-0.0017	-43.18	15.8	35.27	100.00	0.00
Total			44.8			

Tabla 6.18.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 3.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0.1	0.11	0.11	99.89
200	0.0029	73.66	0.1	0.11	0.22	99.78
325	0.0017	43.18	2.8	3.02	3.24	96.76
PAN	-0.0017	-43.18	89.7	96.76	100.00	0.00
Total			92.7			

Tabla 6.19.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 3.

Molino Total						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	3.2	2.14	2.14	97.86
5/16	0.3125	7937.5	9.7	6.48	8.61	91.39
¼	0.25	6350	15.9	10.61	19.23	80.77
30	0.0234	595	31.8	21.23	40.45	59.55
70	0.0083	210.82	29.7	19.83	60.28	39.72
100	0.0059	149.86	11.9	7.94	68.22	31.78
140	0.0041	104.14	12	8.01	76.23	23.77
200	0.0029	73.66	8.2	5.47	81.71	18.29
325	0.0017	43.18	18.9	12.62	94.33	5.67
PAN	-0.0017	-43.18	8.5	5.67	100.00	0.00
Total			149.8			

Tabla 6.20.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 3.

Prueba 4:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	A	4 cm

Tabla 6.21.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.22.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	3,240 g.
Peso Molino	11576.7 g.
Peso Muestras	103.3 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.23.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.10	0.10	99.90
140	0.0041	104.14	2.8	2.90	3.00	97.00
200	0.0029	73.66	5.2	5.38	8.39	91.61
325	0.0017	43.18	30.4	31.47	39.86	60.14
PAN	-0.0017	-43.18	58.1	60.14	100.00	0.00
Total			96.6			

Tabla 6.24.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 4.

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.23	0.23	99.77
140	0.0041	104.14	2.3	2.69	2.92	97.08
200	0.0029	73.66	4.4	5.14	8.06	91.94
325	0.0017	43.18	25.2	29.44	37.50	62.50
PAN	-0.0017	-43.18	53.5	62.50	100.00	0.00
Total			85.6			

Tabla 6.25.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 4.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μ m)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
1/2	0.5	12700	3.1	3.66	3.66	96.34
5/16	0.3125	7937.5	8.2	9.69	13.36	86.64
1/4	0.25	6350	0.3	0.35	13.71	86.29
30	0.0234	595	20.9	24.70	38.42	61.58
70	0.0083	210.82	20.7	24.47	62.88	37.12
100	0.0059	149.86	8.5	10.05	72.93	27.07
140	0.0041	104.14	8.1	9.57	82.51	17.49
200	0.0029	73.66	5	5.91	88.42	11.58
325	0.0017	43.18	7.3	8.63	97.04	2.96
PAN	-0.0017	-43.18	2.5	2.96	100.00	0.00
Total			84.6			

Tabla 6.26.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 4.

Prueba 5:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	B	4 cm

Tabla 6.27.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.28.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	1,550 g.
Peso Molino	13,168.5 g.
Peso Muestras	201.5 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.29.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0.1	0.17	0.17	99.83
200	0.0029	73.66	0.1	0.17	0.33	99.67
325	0.0017	43.18	1.6	2.66	3.00	97.00
PAN	-0.0017	-43.18	58.3	97.00	100.00	0.00
		Total	60.1			

Tabla 6.30.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 5.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	0.2	1.21	1.21	98.79
PAN	-0.0017	-43.18	16.3	98.79	100.00	0.00
		Total	16.5			

Tabla 6.31.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 5.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0.1	0.26	0.26	99.74
100	0.0059	149.86	0.1	0.26	0.53	99.47
140	0.0041	104.14	1.3	3.44	3.97	96.03
200	0.0029	73.66	3.1	8.20	12.17	87.83
325	0.0017	43.18	16.7	44.18	56.35	43.65
PAN	-0.0017	-43.18	16.5	43.65	100.00	0.00
Total			37.8			

Tabla 6.32.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 5.

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0.1	0.16	0.16	99.84
100	0.0059	149.86	0.1	0.16	0.31	99.69
140	0.0041	104.14	2.5	3.91	4.23	95.77
200	0.0029	73.66	4.5	7.04	11.27	88.73
325	0.0017	43.18	28	43.82	55.09	44.91
PAN	-0.0017	-43.18	28.7	44.91	100.00	0.00
Total			63.9			

Tabla 6.33.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 5.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1.4	2.15	2.15	97.85
PAN	-0.0017	-43.18	63.8	97.85	100.00	0.00
		Total	65.2			

Tabla 6.34.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 5.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	9.1	8.02	8.02	91.98
5/16	0.3125	7937.5	14.1	12.43	20.46	79.54
¼	0.25	6350	1.9	1.68	22.13	77.87
30	0.0234	595	28.1	24.78	46.91	53.09
70	0.0083	210.82	19.5	17.20	64.11	35.89
100	0.0059	149.86	8.2	7.23	71.34	28.66
140	0.0041	104.14	8.2	7.23	78.57	21.43
200	0.0029	73.66	5.7	5.03	83.60	16.40
325	0.0017	43.18	11.9	10.49	94.09	5.91
PAN	-0.0017	-43.18	6.7	5.91	100.00	0.00
		Total	113.4			

Tabla 6.35.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 5.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Prueba 6:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	C	4 cm

Tabla 6.36.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.37.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	1,800 g.
Peso Molino	12645.8 g.
Peso Muestras	474.2 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.38.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0.1	0.10	0.10	99.90
325	0.0017	43.18	2.5	2.42	2.52	97.48
PAN	-0.0017	-43.18	100.6	97.48	100.00	0.00
Total			103.2			

Tabla 6.39.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 6.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	4.3	2.18	2.18	97.82
PAN	-0.0017	-43.18	192.6	97.82	100.00	0.00
		Total	196.9			

Tabla 6.40.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 6.

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.28	0.28	99.72
140	0.0041	104.14	2.9	4.06	4.34	95.66
200	0.0029	73.66	5.6	7.84	12.18	87.82
325	0.0017	43.18	34.5	48.32	60.50	39.50
PAN	-0.0017	-43.18	28.2	39.50	100.00	0.00
		Total	71.4			

Tabla 6.41.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 6.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.25	0.25	99.75
140	0.0041	104.14	2.9	3.68	3.93	96.07
200	0.0029	73.66	5.9	7.49	11.42	88.58
325	0.0017	43.18	40.3	51.14	62.56	37.44
PAN	-0.0017	-43.18	29.5	37.44	100.00	0.00
Total			78.8			

Tabla 6.42.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 6.

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1.1	2.89	2.89	97.11
PAN	-0.0017	-43.18	37	97.11	100.00	0.00
Total			38.1			

Tabla 6.43.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 6.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	2.2	2.43	2.43	97.57
5/16	0.3125	7937.5	5.5	6.07	8.50	91.50
¼	0.25	6350	2.4	2.65	11.15	88.85
30	0.0234	595	17.7	19.54	30.68	69.32
70	0.0083	210.82	15.1	16.67	47.35	52.65
100	0.0059	149.86	7.4	8.17	55.52	44.48
140	0.0041	104.14	8.5	9.38	64.90	35.10
200	0.0029	73.66	6.4	7.06	71.96	28.04
325	0.0017	43.18	16.3	17.99	89.96	10.04
PAN	-0.0017	-43.18	9.1	10.04	100.00	0.00
Total			90.6			

Tabla 6.44.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 6.

Prueba 7:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	A	3 cm

Tabla 6.45.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.46.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	1,550 g.
Peso Molino	13171.7 g.
Peso Muestras	198.3 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.47.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.24	0.24	99.76
140	0.0041	104.14	1.8	2.14	2.38	97.62
200	0.0029	73.66	4	4.76	7.13	92.87
325	0.0017	43.18	26.2	31.15	38.29	61.71
PAN	-0.0017	-43.18	51.9	61.71	100.00	0.00
Total			84.1			

Tabla 6.48.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 7.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.14	0.14	99.86
140	0.0041	104.14	1.2	1.64	1.78	98.22
200	0.0029	73.66	3.5	4.79	6.58	93.42
325	0.0017	43.18	24.9	34.11	40.68	59.32
PAN	-0.0017	-43.18	43.3	59.32	100.00	0.00
Total			73			

Tabla 6.49.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 7.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.24	0.24	99.76
140	0.0041	104.14	1.8	2.14	2.38	97.62
200	0.0029	73.66	4	4.76	7.13	92.87
325	0.0017	43.18	26.2	31.15	38.29	61.71
PAN	-0.0017	-43.18	51.9	61.71	100.00	0.00
		Total	84.1			

Tabla 6.50.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 7.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	0	0	0	100
5/16	0.3125	7937.5	5.9	6.72	6.72	93.28
¼	0.25	6350	2	2.28	9.00	91.00
30	0.0234	595	22.8	25.97	34.97	65.03
70	0.0083	210.82	18.5	21.07	56.04	43.96
100	0.0059	149.86	8.2	9.34	65.38	34.62
140	0.0041	104.14	8.1	9.23	74.60	25.40
200	0.0029	73.66	5.4	6.15	80.75	19.25
325	0.0017	43.18	9.1	10.36	91.12	8.88
PAN	-0.0017	-43.18	7.8	8.88	100.00	0.00
		Total	87.8			

Tabla 6.51.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 7.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Prueba 8:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	B	3 cm

Tabla 6.52.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.53.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	700 g.
Peso Molino	13977.5 g.
Peso Muestras	242.5 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.54.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	0.9	1.36	1.36	98.64
PAN	-0.0017	-43.18	65.2	98.64	100.00	0.00
		Total	66.1			

Tabla 6.55.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 8.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1	1.25	1.25	98.75
PAN	-0.0017	-43.18	78.7	98.75	100.00	0.00
		Total	79.7			

Tabla 6.56.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 8.

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	1	3.21	3.21	96.79
200	0.0029	73.66	2.4	7.69	10.90	89.10
325	0.0017	43.18	14.4	46.15	57.05	42.95
PAN	-0.0017	-43.18	13.4	42.95	100.00	0.00
		Total	31.2			

Tabla 6.57.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 8.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	1.6	3.93	3.93	96.07
200	0.0029	73.66	3.3	8.11	12.04	87.96
325	0.0017	43.18	19.7	48.40	60.44	39.56
PAN	-0.0017	-43.18	16.1	39.56	100.00	0.00
		Total	40.7			

Tabla 6.58.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 8.

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0.1	0.17	0.17	99.83
325	0.0017	43.18	0.6	0.99	1.16	98.84
PAN	-0.0017	-43.18	59.7	98.84	100.00	0.00
		Total	60.4			

Tabla 6.59.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 8.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	17.5	14.60	14.60	85.40
5/16	0.3125	7937.5	14.9	12.43	27.02	72.98
¼	0.25	6350	4.7	3.92	30.94	69.06
30	0.0234	595	26.1	21.77	52.71	47.29
70	0.0083	210.82	14.7	12.26	64.97	35.03
100	0.0059	149.86	6.4	5.34	70.31	29.69
140	0.0041	104.14	6.6	5.50	75.81	24.19
200	0.0029	73.66	5.1	4.25	80.07	19.93
325	0.0017	43.18	12.6	10.51	90.58	9.42
PAN	-0.0017	-43.18	11.3	9.42	100.00	0.00
Total			119.9			

Tabla 6.60.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 8.

Prueba 9:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	C	3 cm

Tabla 6.61.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.62.- Condiciones de trabajo.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Peso Recuperado	1,050 g.
Peso Molino	12539.6 g.
Peso Muestras	330.4 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.63.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	3.5	3.63	3.63	96.37
PAN	-0.0017	-43.18	92.9	96.37	100.00	0.00
Total			96.4			

Tabla 6.64.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 9.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	2.3	2.70	2.70	97.30
PAN	-0.0017	-43.18	82.9	97.30	100.00	0.00
Total			85.2			

Tabla 6.65.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 9.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0.1	0.15	0.15	99.85
100	0.0059	149.86	0.3	0.44	0.58	99.42
140	0.0041	104.14	3.4	4.94	5.52	94.48
200	0.0029	73.66	6.7	9.74	15.26	84.74
325	0.0017	43.18	39.2	56.98	72.24	27.76
PAN	-0.0017	-43.18	19.1	27.76	100.00	0.00
Total			68.8			

Tabla 6.66.- Análisis Granulométrico par el recirculado # 1 de la prueba # 9.

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.35	0.35	99.65
140	0.0041	104.14	2.9	5.11	5.47	94.53
200	0.0029	73.66	5.7	10.05	15.52	84.48
325	0.0017	43.18	31.1	54.85	70.37	29.63
PAN	-0.0017	-43.18	16.8	29.63	100.00	0.00
Total			56.7			

Tabla 6.67.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 9.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1.3	2.11	2.11	97.89
PAN	-0.0017	-43.18	60.2	97.89	100.00	0.00
Total			61.5			

Tabla 6.68.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 9.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	0	0.00	0.00	100.00
5/16	0.3125	7937.5	6.1	6.87	6.87	93.13
¼	0.25	6350	2.4	2.70	9.57	90.43
30	0.0234	595	24.5	27.59	37.16	62.84
70	0.0083	210.82	17.3	19.48	56.64	43.36
100	0.0059	149.86	7.3	8.22	64.86	35.14
140	0.0041	104.14	7.4	8.33	73.20	26.80
200	0.0029	73.66	5.4	6.08	79.28	20.72
325	0.0017	43.18	11.6	13.06	92.34	7.66
PAN	-0.0017	-43.18	6.8	7.66	100.00	0.00
Total			88.8			

Tabla 6.69.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 9.

Prueba 10:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	A	2 cm

Tabla 6.70.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.71.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	2,370 g.
Peso Molino	12312.9 g.
Peso Muestras	237.1 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.72.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.08	0.08	99.92
140	0.0041	104.14	3.4	2.67	2.75	97.25
200	0.0029	73.66	6.8	5.33	8.08	91.92
325	0.0017	43.18	48.6	38.12	46.20	53.80
PAN	-0.0017	-43.18	68.6	53.80	100.00	0.00
		Total	127.5			

Tabla 6.73.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 10.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.10	0.10	99.90
140	0.0041	104.14	2.4	2.47	2.57	97.43
200	0.0029	73.66	5.5	5.66	8.23	91.77
325	0.0017	43.18	33.3	34.26	42.49	57.51
PAN	-0.0017	-43.18	55.9	57.51	100.00	0.00
		Total	97.2			

Tabla 6.74.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 10.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.22	0.22	99.78
140	0.0041	104.14	2.3	2.52	2.74	97.26
200	0.0029	73.66	5.1	5.60	8.34	91.66
325	0.0017	43.18	28.9	31.72	40.07	59.93
PAN	-0.0017	-43.18	54.6	59.93	100.00	0.00
		Total	91.1			

Tabla 6.75.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 10.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	8.9	7.60	7.60	92.40
5/16	0.3125	7937.5	15.5	13.24	20.84	79.16
¼	0.25	6350	3.2	2.73	23.57	76.43
30	0.0234	595	31.8	27.16	50.73	49.27
70	0.0083	210.82	22.2	18.96	69.68	30.32
100	0.0059	149.86	8.9	7.60	77.28	22.72
140	0.0041	104.14	8.4	7.17	84.46	15.54
200	0.0029	73.66	5.2	4.44	88.90	11.10
325	0.0017	43.18	7.5	6.40	95.30	4.70
PAN	-0.0017	-43.18	5.5	4.70	100.00	0.00
		Total	117.1			

Tabla 6.76.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 10.

Prueba 11:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	B	2 cm

Tabla 6.77.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.78.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	920 g.
Peso Molino	13674.2 g.
Peso Muestras	325.8 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.79.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0.1	0.23	0.23	99.77
200	0.0029	73.66	0.6	1.41	1.64	98.36
325	0.0017	43.18	5.2	12.21	13.85	86.15
PAN	-0.0017	-43.18	36.7	86.15	100.00	0.00
Total			42.6			

Tabla 6.80.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 11.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0.2	0.15	0.15	99.85
200	0.0029	73.66	0.9	0.68	0.83	99.17
325	0.0017	43.18	7.9	5.99	6.83	93.17
PAN	-0.0017	-43.18	122.8	93.17	100.00	0.00
Total			131.8			

Tabla 6.81.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 11.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.17	0.17	99.83
140	0.0041	104.14	2	3.44	3.61	96.39
200	0.0029	73.66	4.8	8.26	11.88	88.12
325	0.0017	43.18	29.2	50.26	62.13	37.87
PAN	-0.0017	-43.18	22	37.87	100.00	0.00
Total			58.1			

Tabla 6.82.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 11.

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.29	0.29	99.71
140	0.0041	104.14	2.8	4.12	4.41	95.59
200	0.0029	73.66	6.1	8.97	13.38	86.62
325	0.0017	43.18	36.5	53.68	67.06	32.94
PAN	-0.0017	-43.18	22.4	32.94	100.00	0.00
Total			68			

Tabla 6.83.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 11.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0.1	0.13	0.13	99.87
325	0.0017	43.18	2.5	3.37	3.51	96.49
PAN	-0.0017	-43.18	71.5	96.49	100.00	0.00
		Total	74.1			

Tabla 6.84.- Análisis Granulométrico para la descarga final de la prueba # 11.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	6.7	5.16	5.16	94.84
5/16	0.3125	7937.5	12.8	9.85	15.01	84.99
¼	0.25	6350	1	0.77	15.78	84.22
30	0.0234	595	30.4	23.40	39.18	60.82
70	0.0083	210.82	24.9	19.17	58.35	41.65
100	0.0059	149.86	10.7	8.24	66.59	33.41
140	0.0041	104.14	10.3	7.93	74.52	25.48
200	0.0029	73.66	7.4	5.70	80.22	19.78
325	0.0017	43.18	15.9	12.24	92.46	7.54
PAN	-0.0017	-43.18	9.8	7.54	100.00	0.00
		Total	129.9			

Tabla 6.85.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 11.

Prueba 12:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	C	2 cm

Tabla 6.86.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.87.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	1,300 g.
Peso Molino	13304.5 g.
Peso Muestras	315.8 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.88.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	5.2	4.27	4.27	95.73
PAN	-0.0017	-43.18	116.6	95.73	100.00	0.00
		Total	121.8			

Tabla 6.89.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 12.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	2.6	3.17	3.17	96.83
PAN	-0.0017	-43.18	79.4	96.83	100.00	0.00
		Total	82			

Tabla 6.90.- Análisis Granulométrico para la descarga # 2 de la prueba # 12.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0.11	0.18	0.18	99.82
100	0.0059	149.86	0.2	0.33	0.50	99.50
140	0.0041	104.14	2.9	4.71	5.22	94.78
200	0.0029	73.66	5.1	8.29	13.51	86.49
325	0.0017	43.18	33.6	54.63	68.14	31.86
PAN	-0.0017	-43.18	19.6	31.86	100.00	0.00
Total			61.51			

Tabla 6.91.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 1 de la prueba # 12.

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	1.1	4.58	4.58	95.42
200	0.0029	73.66	2.6	10.83	15.42	84.58
325	0.0017	43.18	13.3	55.42	70.83	29.17
PAN	-0.0017	-43.18	7	29.17	100.00	0.00
Total			24			

Tabla 6.92.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 12.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	2.9	2.77	2.77	97.23
PAN	-0.0017	-43.18	101.8	97.23	100.00	0.00
Total			104.7			

Tabla 6.93.- Análisis Granulométrico para descarga final de la prueba # 12.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	10	13.09	13.09	86.91
5/16	0.3125	7937.5	8	10.47	23.56	76.44
¼	0.25	6350	2	2.62	26.18	73.82
30	0.0234	595	14.2	18.59	44.76	55.24
70	0.0083	210.82	12.7	16.62	61.39	38.61
100	0.0059	149.86	5.7	7.46	68.85	31.15
140	0.0041	104.14	5.9	7.72	76.57	23.43
200	0.0029	73.66	4.3	5.63	82.20	17.80
325	0.0017	43.18	8.6	11.26	93.46	6.54
PAN	-0.0017	-43.18	5	6.54	100.00	0.00
Total			76.4			

Tabla 6.94.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 12.

Prueba 13:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	A	1 cm

Tabla 6.95.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.96.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	2,300 g.
Peso Molino	12367.2 g.
Peso Muestras	252.8 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.97.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.1	0.11	0.11	99.89
140	0.0041	104.14	2.2	2.45	2.56	97.44
200	0.0029	73.66	4.3	4.79	7.35	92.65
325	0.0017	43.18	32.2	35.86	43.21	56.79
PAN	-0.0017	-43.18	51	56.79	100.00	0.00
Total			89.8			

Tabla 6.98.- Análisis Granulométrico para de la descarga # 1 de la prueba # 13.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.5	0.33	0.33	99.67
140	0.0041	104.14	4.2	2.80	3.14	96.86
200	0.0029	73.66	7.3	4.87	8.01	91.99
325	0.0017	43.18	52.6	35.09	43.10	56.90
PAN	-0.0017	-43.18	85.3	56.90	100.00	0.00
Total			149.9			

Tabla 6.99.- Análisis Granulométrico para de la descarga # 2 de la prueba # 13.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.3	0.27	0.27	99.73
140	0.0041	104.14	2.8	2.48	2.74	97.26
200	0.0029	73.66	5.3	4.69	7.43	92.57
325	0.0017	43.18	35.1	31.03	38.46	61.54
PAN	-0.0017	-43.18	69.6	61.54	100.00	0.00
		Total	113.1			

Tabla 6.100.- Análisis Granulométrico para descarga final de la prueba # 13.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	8.5	7.93	7.93	92.07
5/16	0.3125	7937.5	13.8	12.87	20.80	79.20
¼	0.25	6350	2.8	2.61	23.41	76.59
30	0.0234	595	27.9	26.03	49.44	50.56
70	0.0083	210.82	20.2	18.84	68.28	31.72
100	0.0059	149.86	8.7	8.12	76.40	23.60
140	0.0041	104.14	8.4	7.84	84.24	15.76
200	0.0029	73.66	5.2	4.85	89.09	10.91
325	0.0017	43.18	7.4	6.90	95.99	4.01
PAN	-0.0017	-43.18	4.3	4.01	100.00	0.00
		Total	107.2			

Tabla 6.101.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 13.

Prueba 14:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	B	1 cm

Tabla 6.102.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.103.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	800 g.
Peso Molino	13805.9 g.
Peso Muestras	314.1 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.104.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1.2	3.43	3.43	96.57
PAN	-0.0017	-43.18	33.8	96.57	100.00	0.00
Total			35			

Tabla 6.105.- Análisis Granulométrico para de la descarga #1 de la prueba # 14.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	3.4	3.28	3.28	96.72
PAN	-0.0017	-43.18	100.2	96.72	100.00	0.00
Total			103.6			

Tabla 6.106.- Análisis Granulométrico para de la descarga # 2 de la prueba # 14.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.3	0.36	0.36	99.64
140	0.0041	104.14	3	3.59	3.95	96.05
200	0.0029	73.66	5.5	6.59	10.54	89.46
325	0.0017	43.18	39.6	47.43	57.96	42.04
PAN	-0.0017	-43.18	35.1	42.04	100.00	0.00
Total			83.5			

Tabla 6.107.- Análisis Granulométrico para el recirculado #1 de la prueba # 14.

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.4	0.60	0.60	99.40
140	0.0041	104.14	2.9	4.33	4.93	95.07
200	0.0029	73.66	5.4	8.07	13.00	87.00
325	0.0017	43.18	32.2	48.13	61.14	38.86
PAN	-0.0017	-43.18	26	38.86	100.00	0.00
Total			66.9			

Tabla 6.108.- Análisis Granulométrico para el recirculado # 2 de la prueba # 14.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1.6	2.53	2.53	97.47
PAN	-0.0017	-43.18	61.7	97.47	100.00	0.00
Total			63.3			

Tabla 6.109.- Análisis Granulométrico para descarga final de la prueba # 14.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	9.3	7.99	7.99	92.01
5/16	0.3125	7937.5	10.3	8.85	16.84	83.16
¼	0.25	6350	4.2	3.61	20.45	79.55
30	0.0234	595	29.4	25.26	45.70	54.30
70	0.0083	210.82	20.7	17.78	63.49	36.51
100	0.0059	149.86	9	7.73	71.22	28.78
140	0.0041	104.14	8.7	7.47	78.69	21.31
200	0.0029	73.66	5.9	5.07	83.76	16.24
325	0.0017	43.18	11.4	9.79	93.56	6.44
PAN	-0.0017	-43.18	7.5	6.44	100.00	0.00
Total			116.4			

Tabla 6.110.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 14.

Prueba 15:

Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
Posición	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	C	1 cm

Tabla 6.111.- Posiciones de las válvulas.

Peso Alimentado	15,000 g.	
Alimentación de bolas	36,660 g.	
Tiempo efectivo	12 min.	
Tiempo de alimentación	5.5 min.	
Tiempo de muestreo	5 min.	10 min.

Tabla 6.112.- Condiciones de trabajo.

Peso Recuperado	1,000 g.
Peso Molino	13689.4 g.
Peso Muestras	230.6 g.
Peso Filtros	80 g.

Tabla 6.113.- Pesos de basalto obtenidos durante la prueba.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	1	3.28	3.28	96.72
PAN	-0.0017	-43.18	29.5	96.72	100.00	0.00
Total			30.5			

Tabla 6.114.- Análisis Granulométrico para la descarga # 1 de la prueba # 15.

Descarga #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	2.1	2.55	2.55	97.45
325	0.0017	43.18	3.8	4.61	7.15	92.85
PAN	-0.0017	-43.18	76.6	92.85	100.00	0.00
Total			82.5			

Tabla 6.115.- Análisis Granulométrico para la descarga #2 de la prueba # 15.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recirculado #1						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.43	0.43	99.57
140	0.0041	104.14	2	4.35	4.78	95.22
200	0.0029	73.66	3.6	7.83	12.61	87.39
325	0.0017	43.18	21.8	47.39	60.00	40.00
PAN	-0.0017	-43.18	18.4	40.00	100.00	0.00
Total			46			

Tabla 6.116.- Análisis Granulométrico para recirculado #1 de la prueba # 15

Recirculado #2						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (μm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0.2	0.40	0.40	99.60
140	0.0041	104.14	2	4.02	4.43	95.57
200	0.0029	73.66	4.1	8.25	12.68	87.32
325	0.0017	43.18	24.6	49.50	62.17	37.83
PAN	-0.0017	-43.18	18.8	37.83	100.00	0.00
Total			49.7			

Tabla 6.117.- Análisis Granulométrico para recirculado # 2 de la prueba # 1

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Descarga Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
¼	0.25	6350	0	0	0	100
30	0.0234	595	0	0	0	100
70	0.0083	210.82	0	0	0	100
100	0.0059	149.86	0	0	0	100
140	0.0041	104.14	0	0	0	100
200	0.0029	73.66	0	0	0	100
325	0.0017	43.18	2.4	3.49	3.49	96.51
PAN	-0.0017	-43.18	66.3	96.51	100.00	0.00
Total			68.7			

Tabla 6.118.- Análisis Granulométrico para descarga final de la prueba # 15.

Molino Final						
Tamaño No. Malla	Tamaño (in)	Tamaño (µm)	Peso Retenido (g).	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
½	0.5	12700	6.5	4.61	4.61	95.39
5/16	0.3125	7937.5	15.6	11.06	15.67	84.33
¼	0.25	6350	30.6	21.70	37.38	62.62
30	0.0234	595	31.1	22.06	59.43	40.57
70	0.0083	210.82	17.5	12.41	71.84	28.16
100	0.0059	149.86	7.5	5.32	77.16	22.84
140	0.0041	104.14	7.5	5.32	82.48	17.52
200	0.0029	73.66	5.3	3.76	86.24	13.76
325	0.0017	43.18	11.7	8.30	94.54	5.46
PAN	-0.0017	-43.18	7.7	5.46	100.00	0.00
Total			141			

Tabla 6.119.- Análisis Granulométrico para molino final de la prueba # 15.

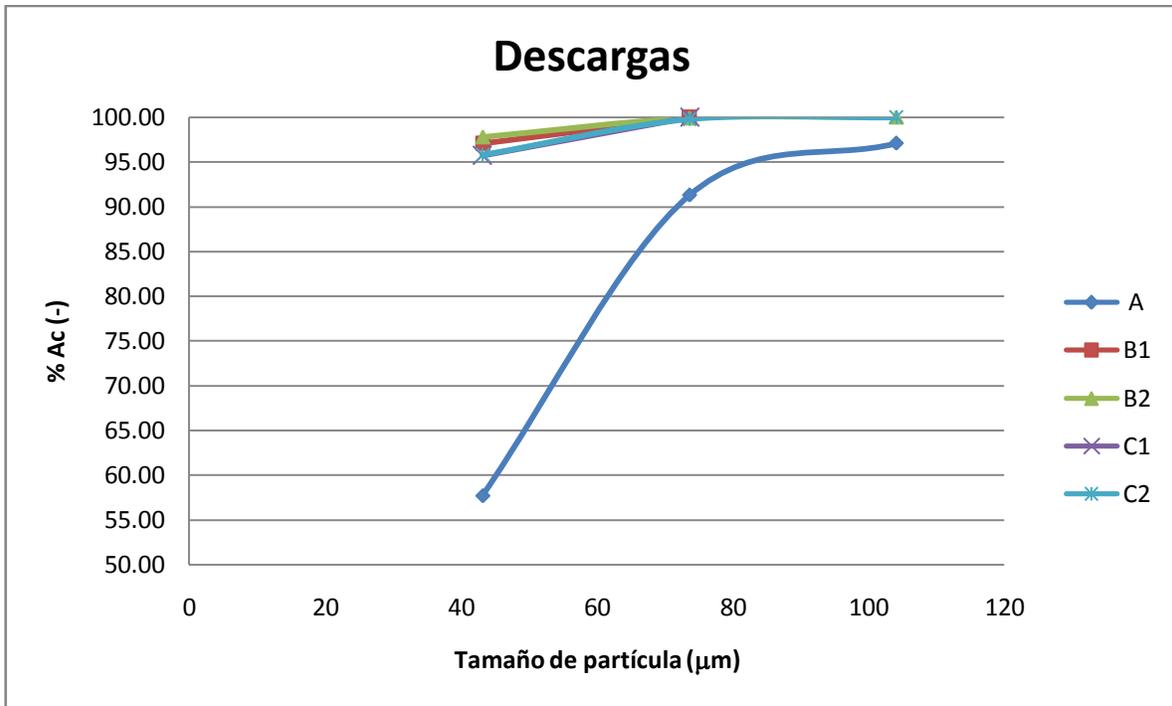


Gráfico 6.7.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 1,2 y 3 en la descarga del aerociclón para las muestras de puntos críticos.

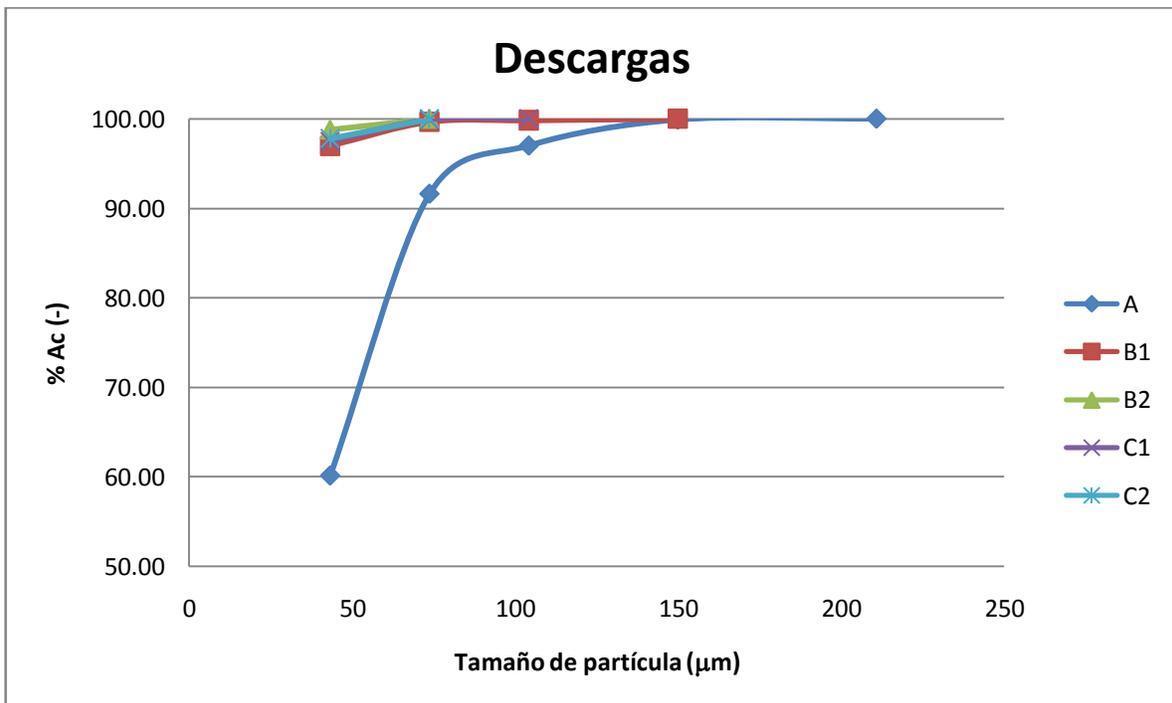


Gráfico 6.8.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 4,5 y 6 en la descarga del aerociclón para las muestras de puntos críticos,

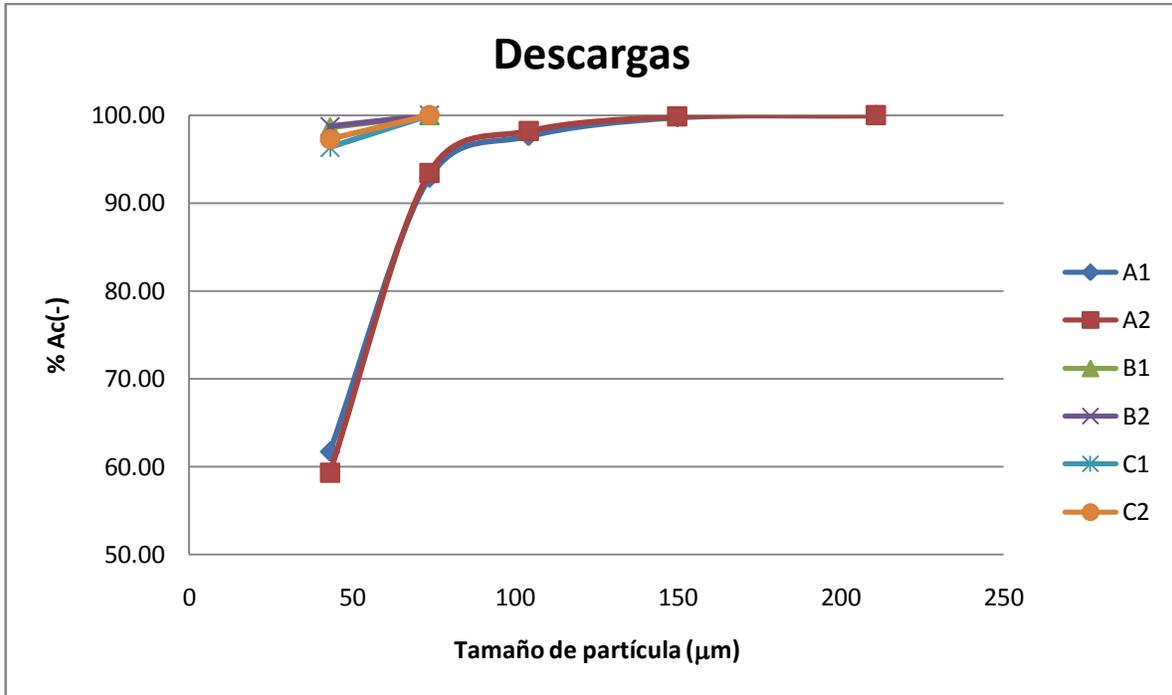


Gráfico 6.9.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (μm) para las pruebas 7, 8 y 9 en la descarga del aerociclón para las muestras de puntos críticos.

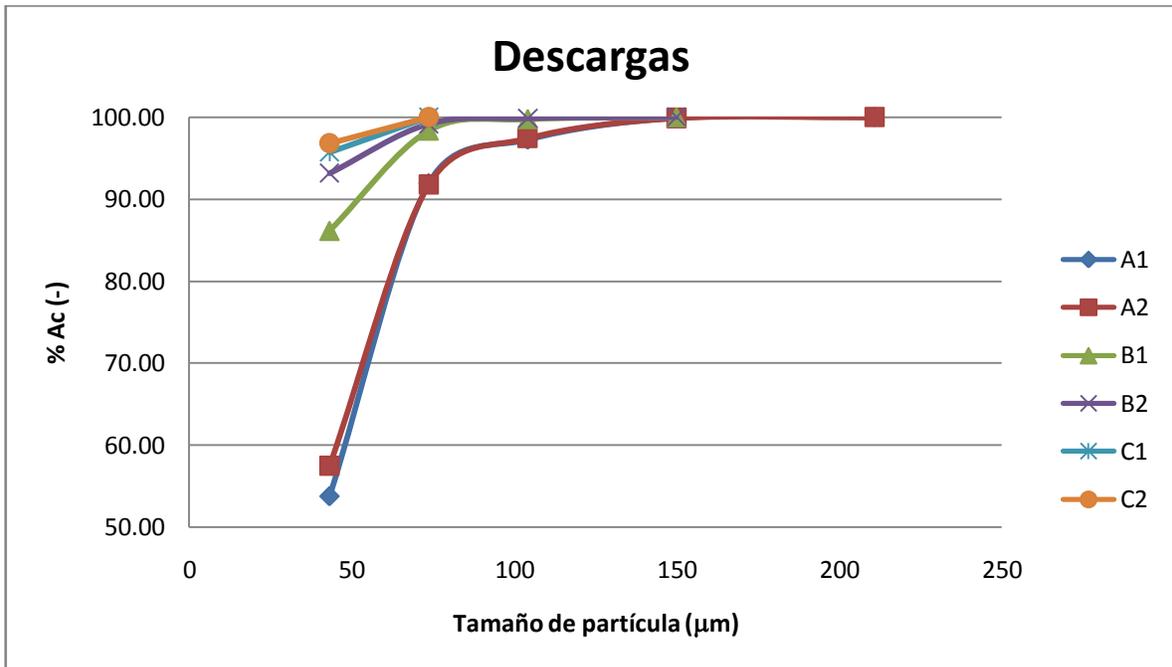


Gráfico 6.10.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (μm) para las pruebas 10, 11 y 12 en la descarga del aerociclón para las muestras de puntos críticos.

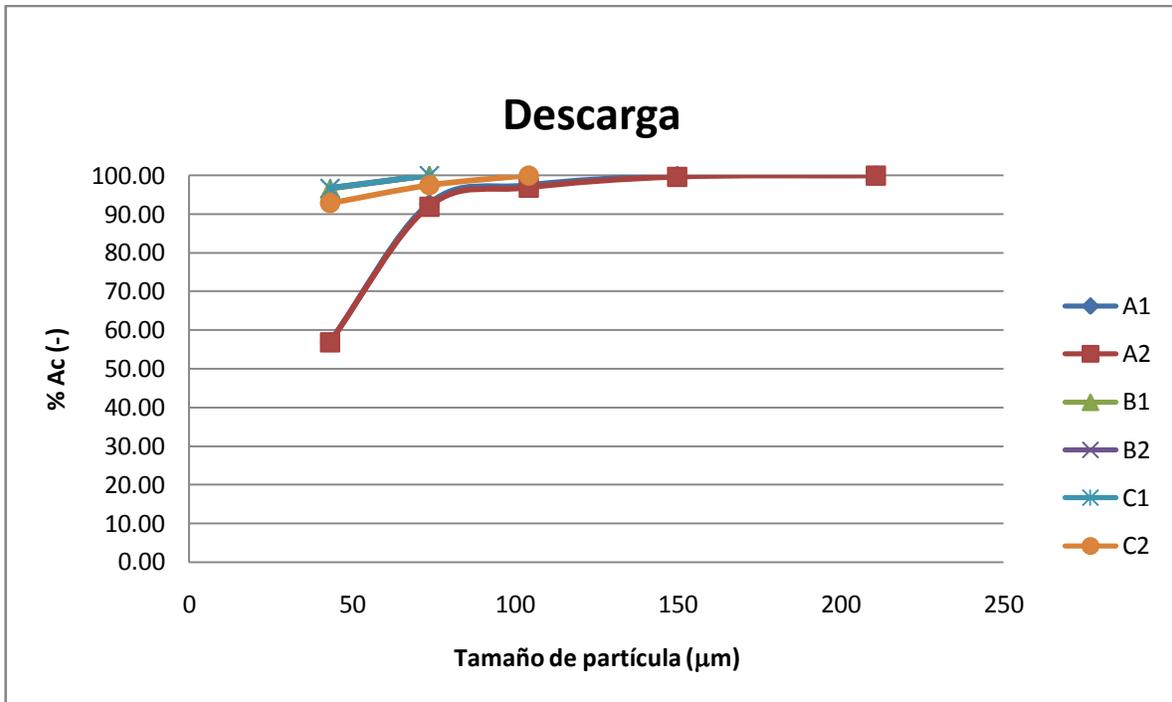


Gráfico 6.11.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 13, 14 y 15 en la descarga del aerociclón para las muestras de puntos críticos.

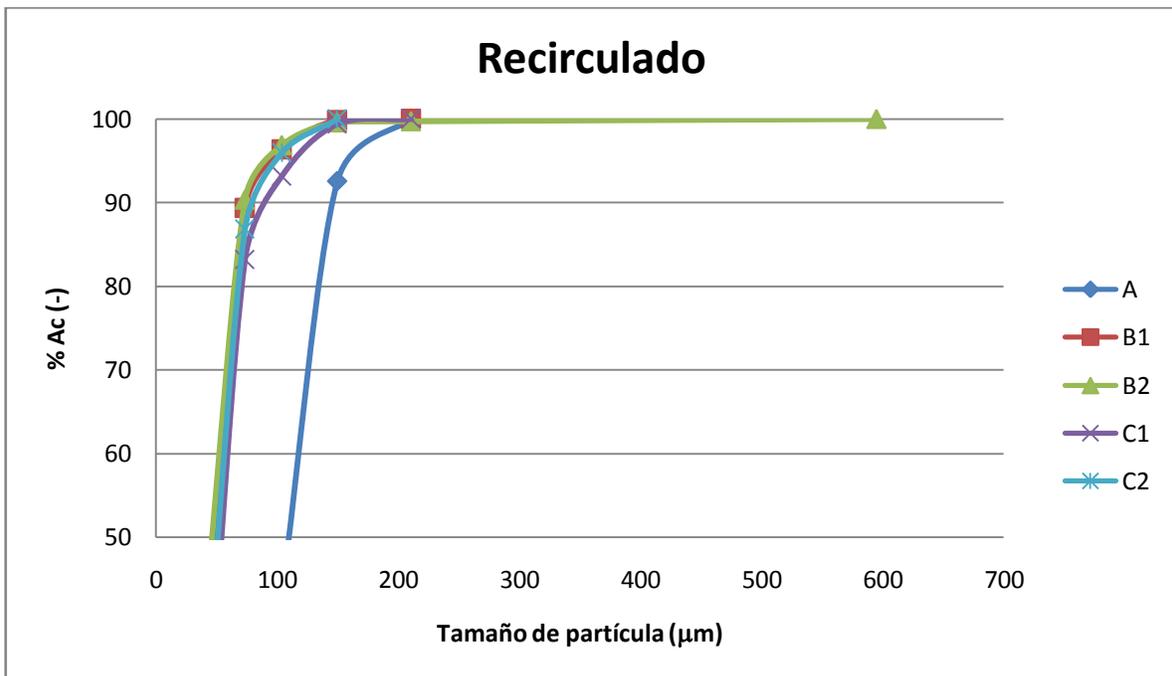


Gráfico 6.12.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 1, 2 y 3 en el recirculado al molino para las muestras de puntos críticos.

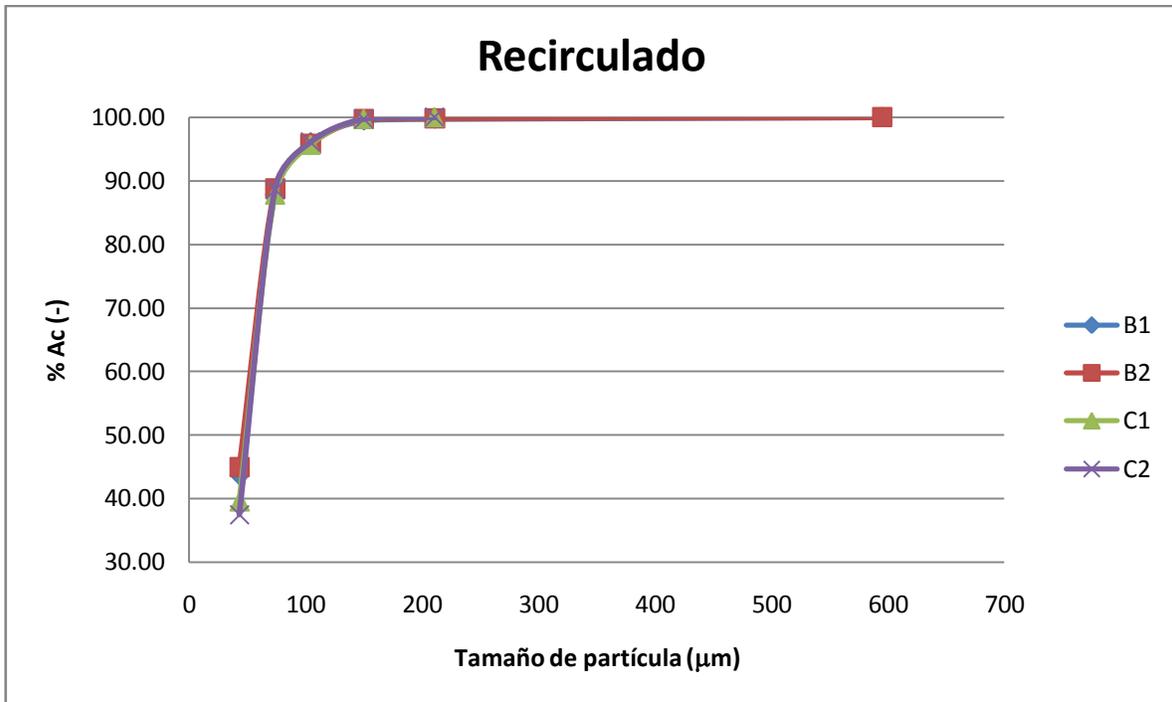


Gráfico 6.13.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 4, 5 y 6 en el reciclado al molino para las muestras de puntos críticos.

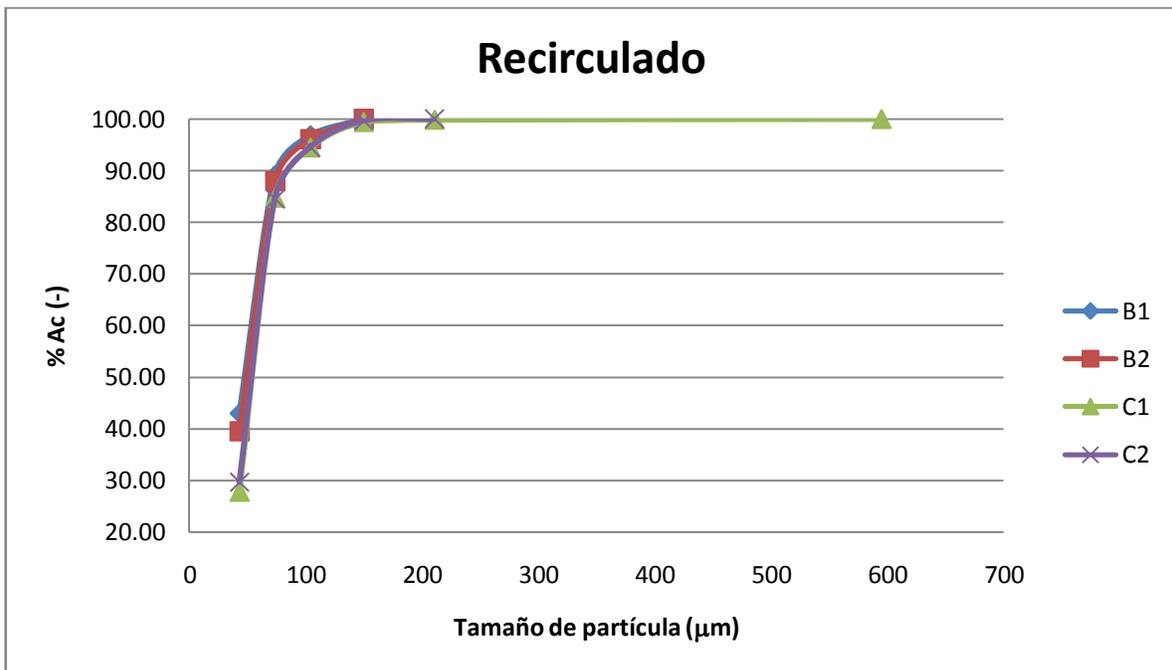


Gráfico 6.14.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 7, 8 y 9 en el reciclado al molino para las muestras de puntos críticos.

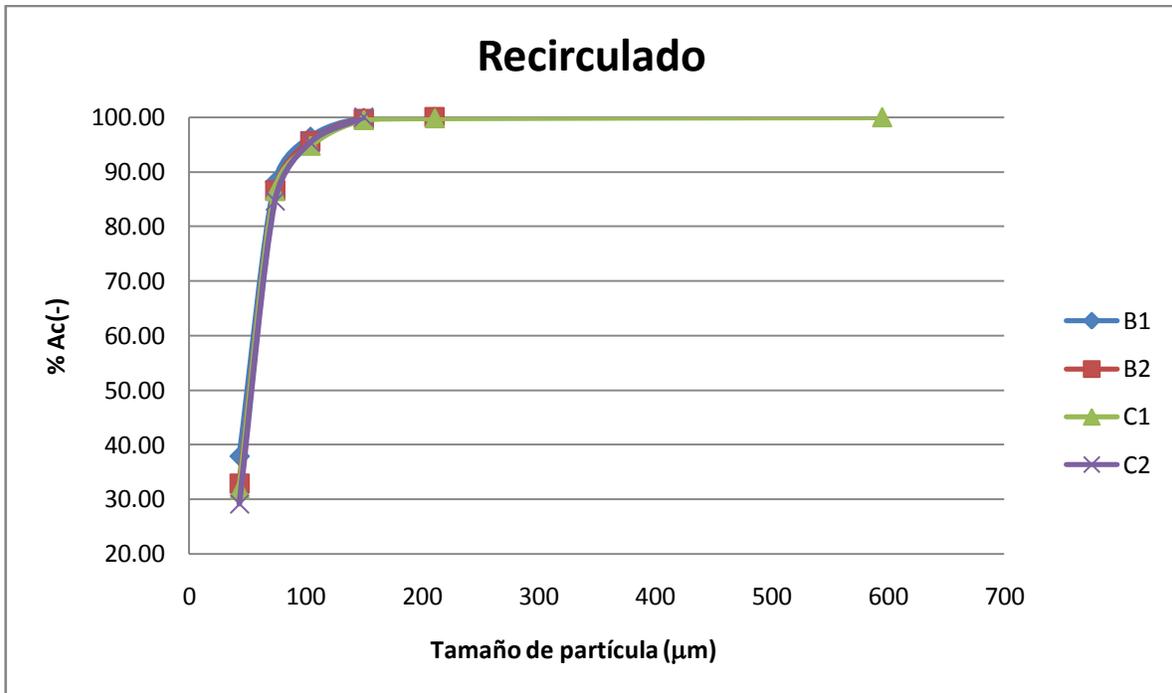


Gráfico 6.15.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 10, 11 y 12 en el recirculado al molino para las muestras de puntos críticos.

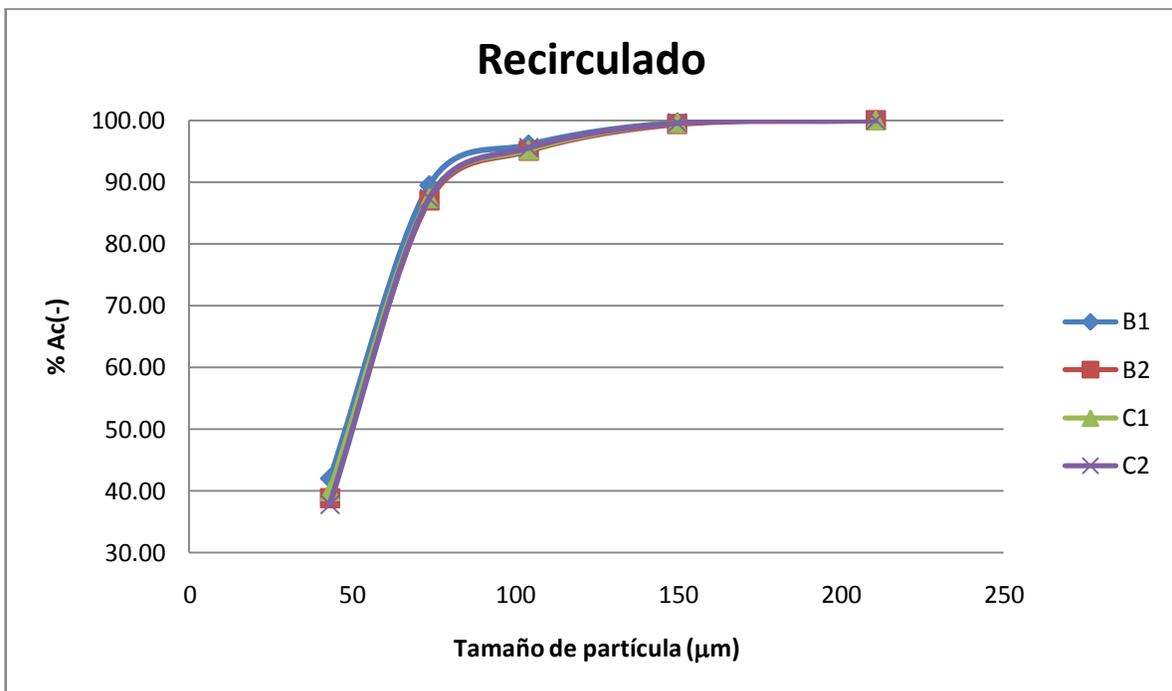


Gráfico 6.16.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 13, 14 y 15 en el recirculado al molino para las muestras de puntos críticos.

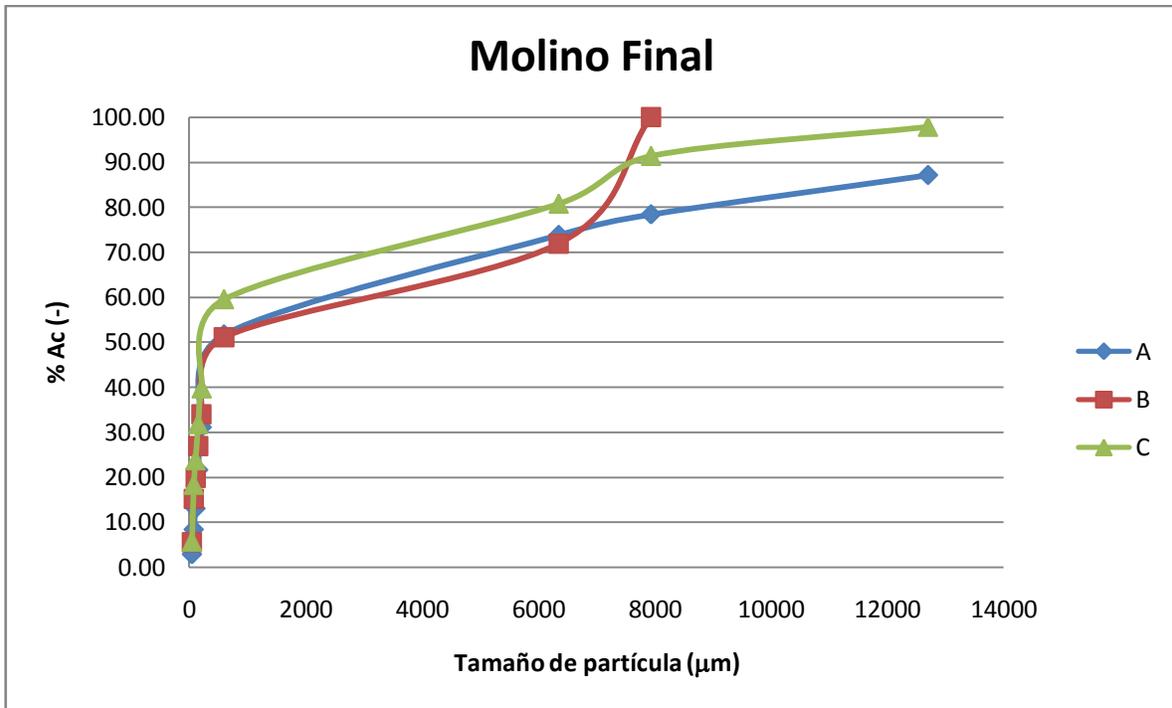


Gráfico 6.17.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 1, 2 y 3 en el material del molino al final de la prueba.

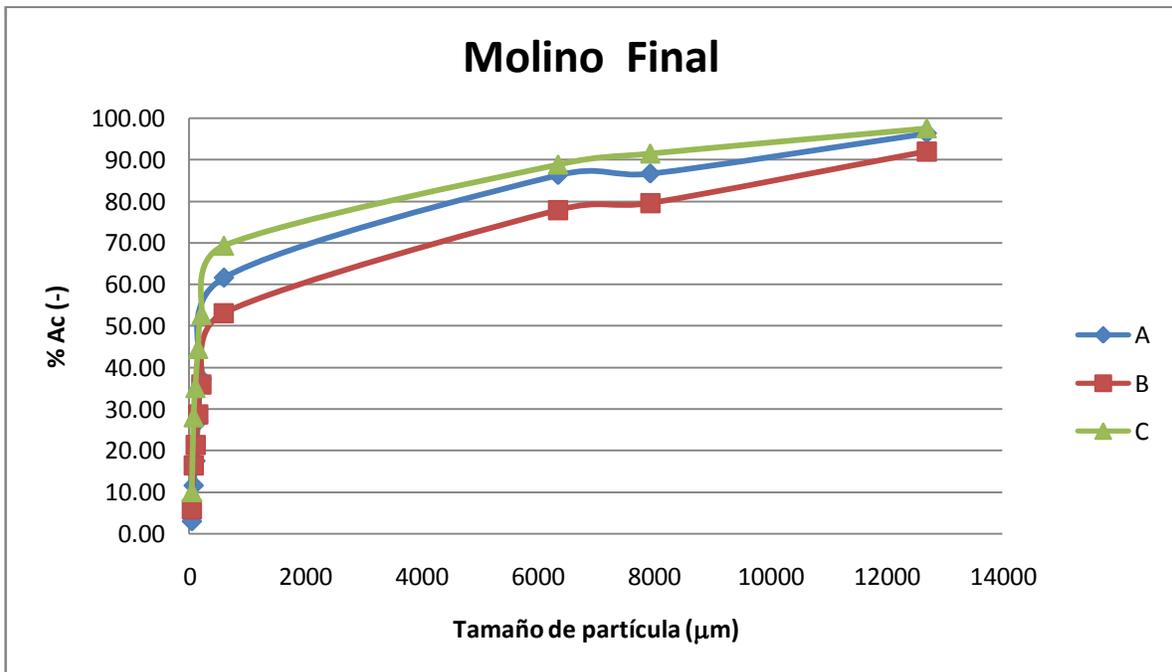


Gráfico 6.18.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 4, 5 y 6 en el material del molino al final de la prueba.

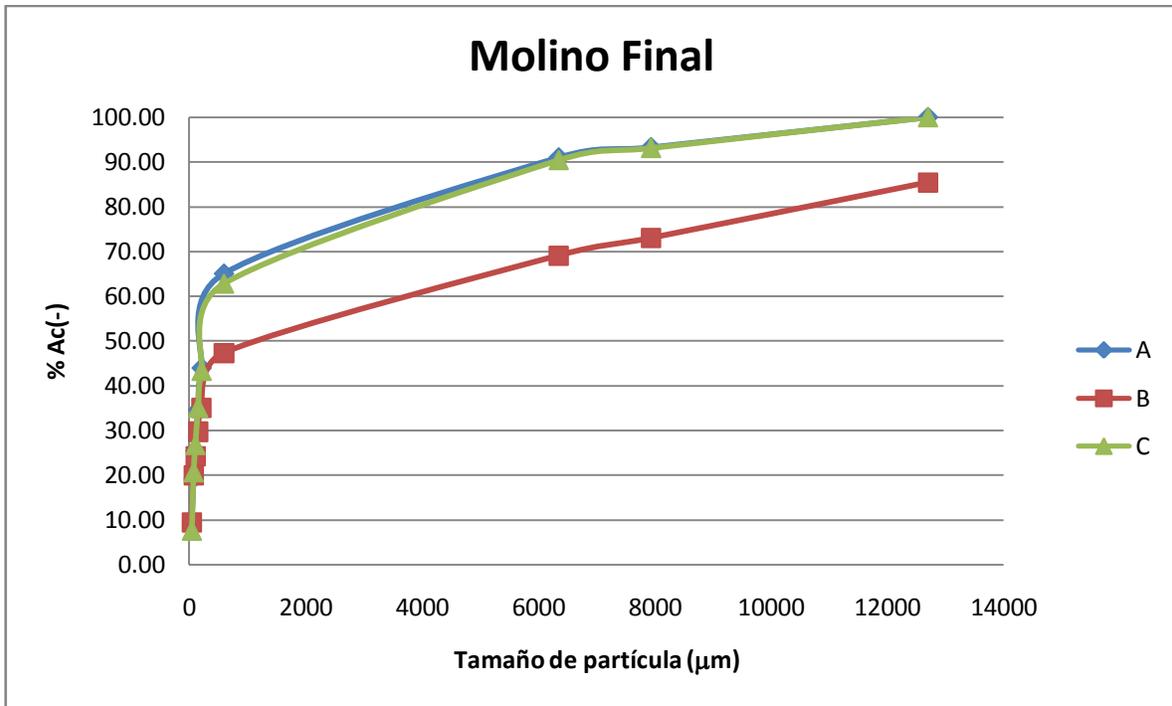


Gráfico 6.19.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 7, 8 y 9 en el material del molino al final de la prueba.

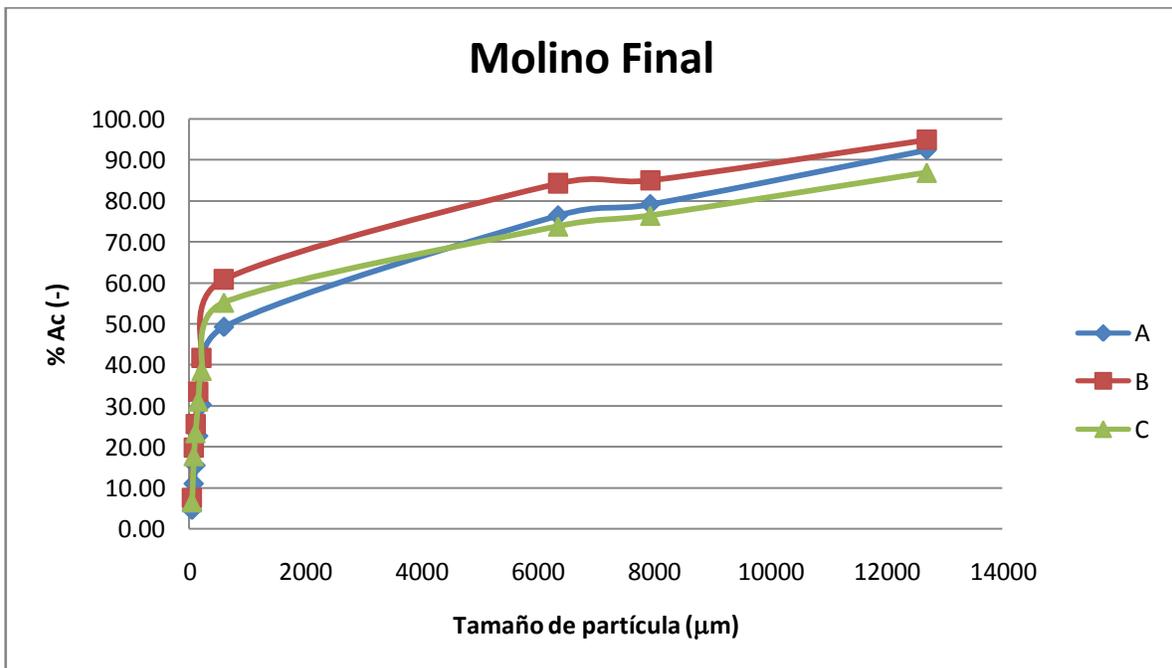


Gráfico 6.20.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 10, 11 y 12 en el material del molino al final de la prueba.

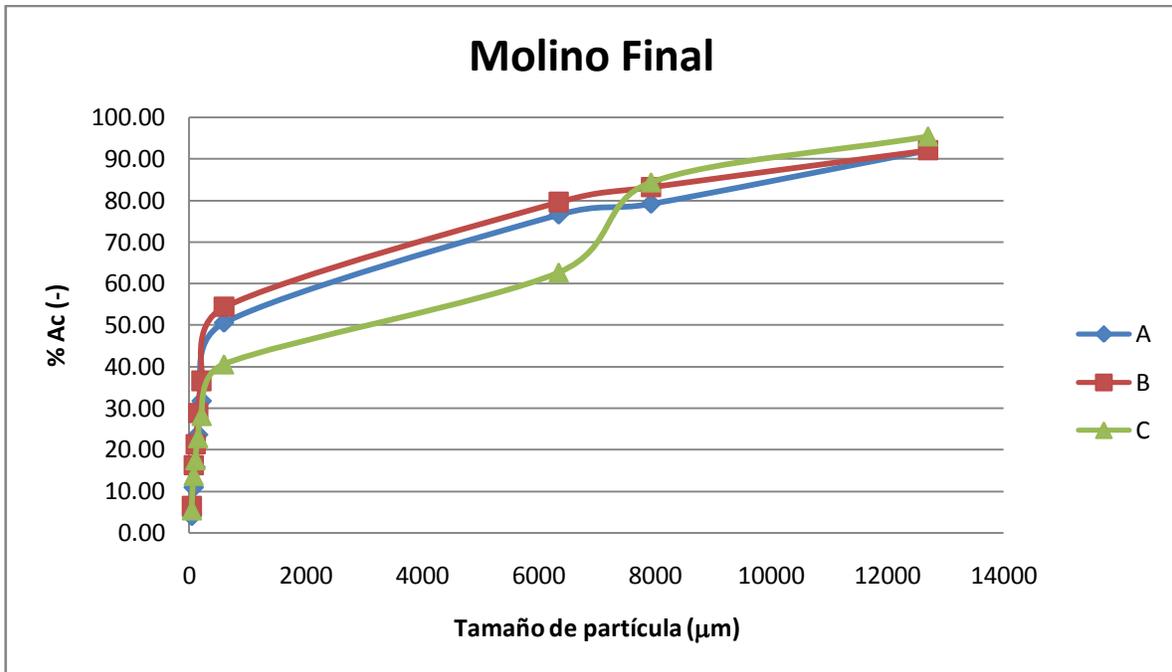


Gráfico 6.21.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (μm) para las pruebas 13, 14 y 15 en el material del molino al final de la prueba.

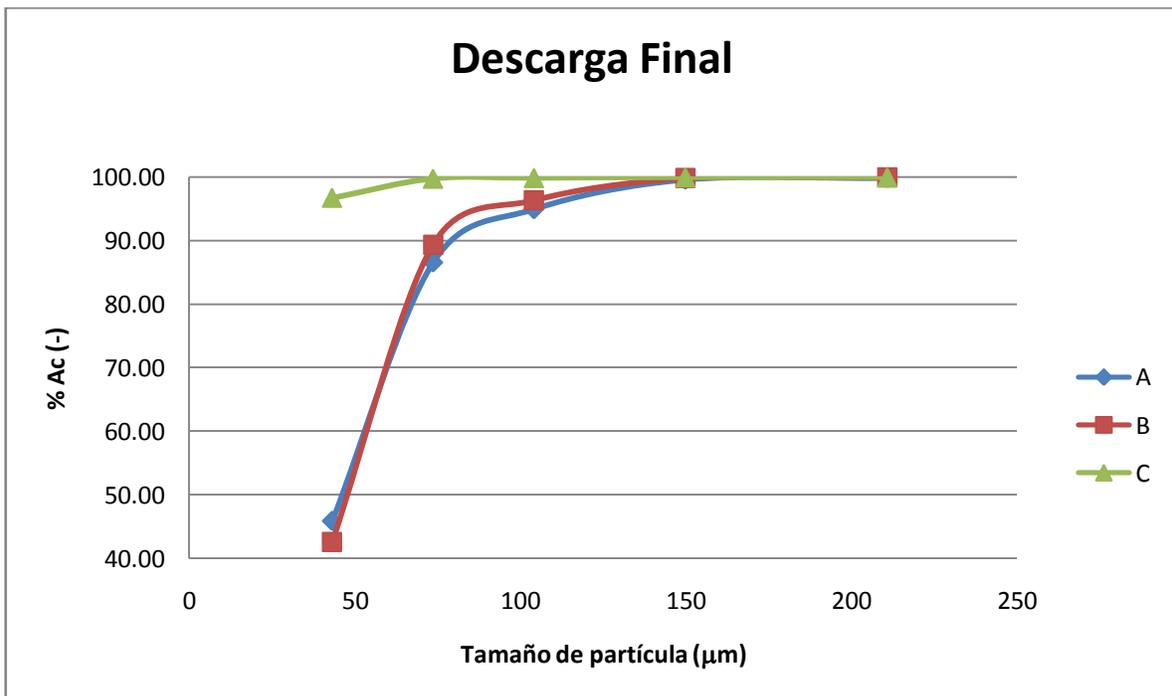


Gráfico 6.22.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (μm) para las pruebas 1, 2 y 3 en el material obtenido en la descarga del aerociclón al final de la prueba.

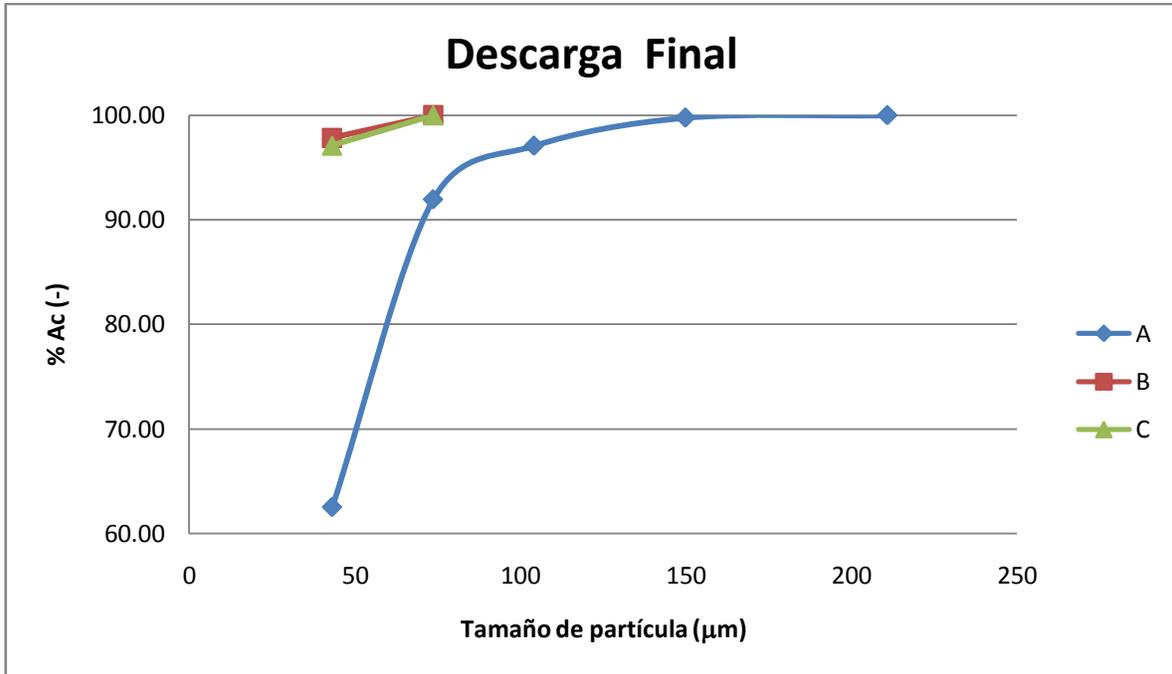


Gráfico 6.23.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 4, 5 y 6 en el material obtenido en la descarga del aerociclón al final de la prueba.

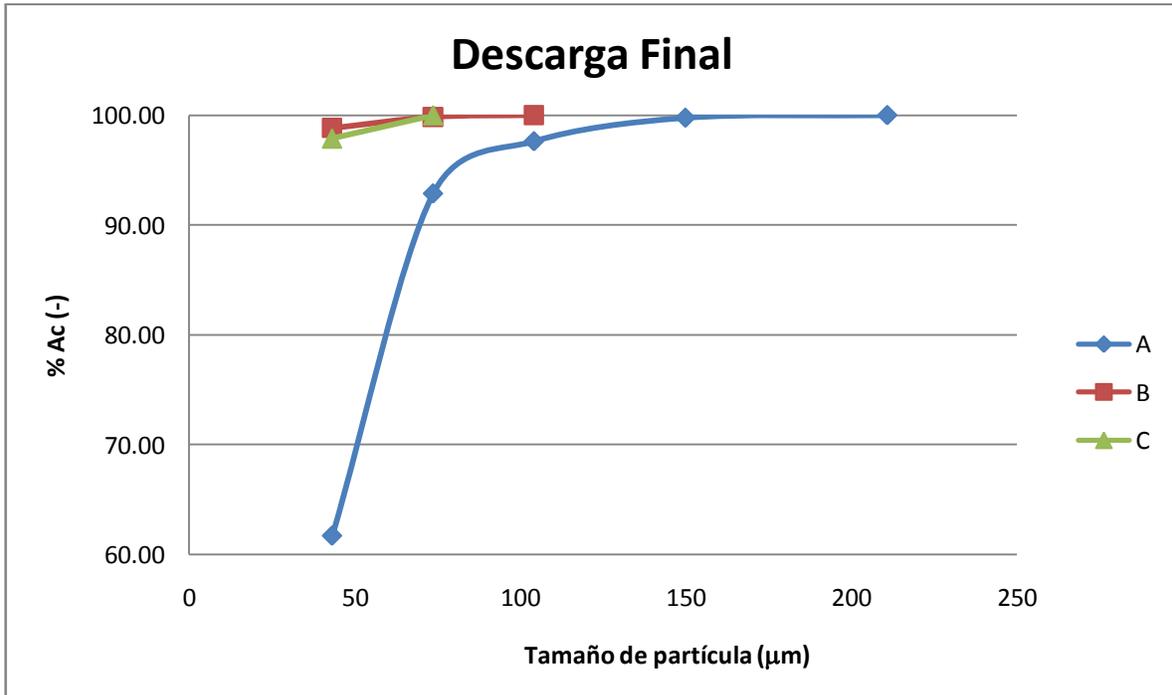


Gráfico 6.24.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 7, 8 y 9 en el material obtenido en la descarga del aerociclón al final de la prueba.

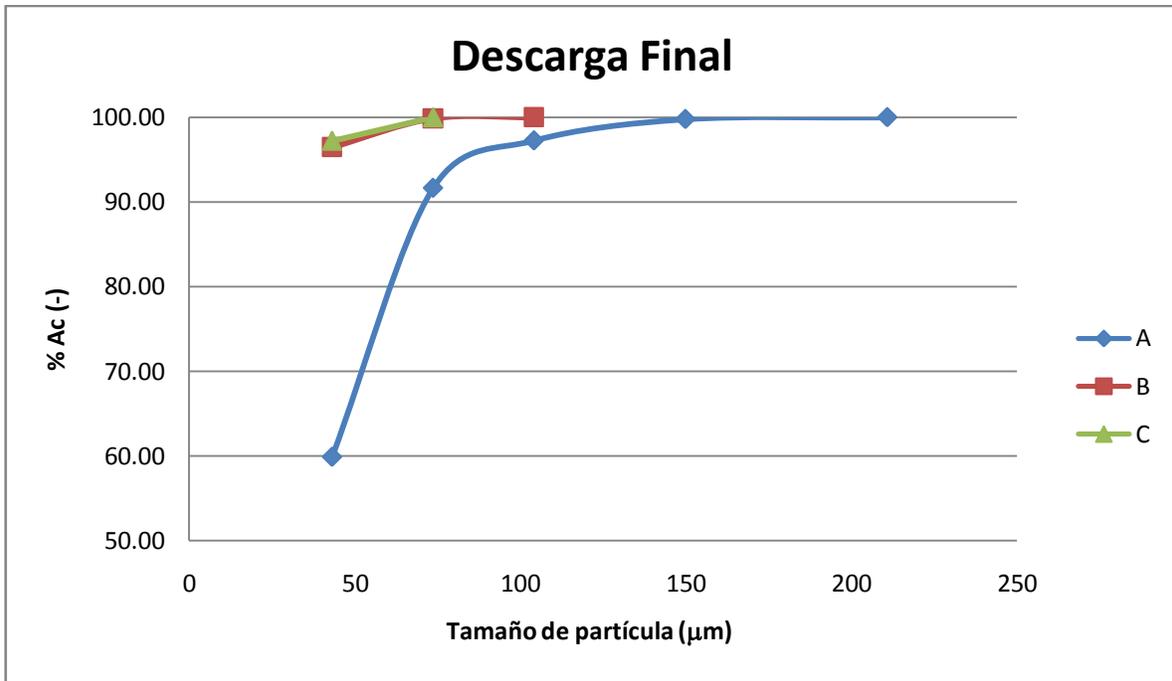


Gráfico 6.25.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 10, 11 y 12 en el material obtenido en la descarga del aerociclón al final de la prueba.

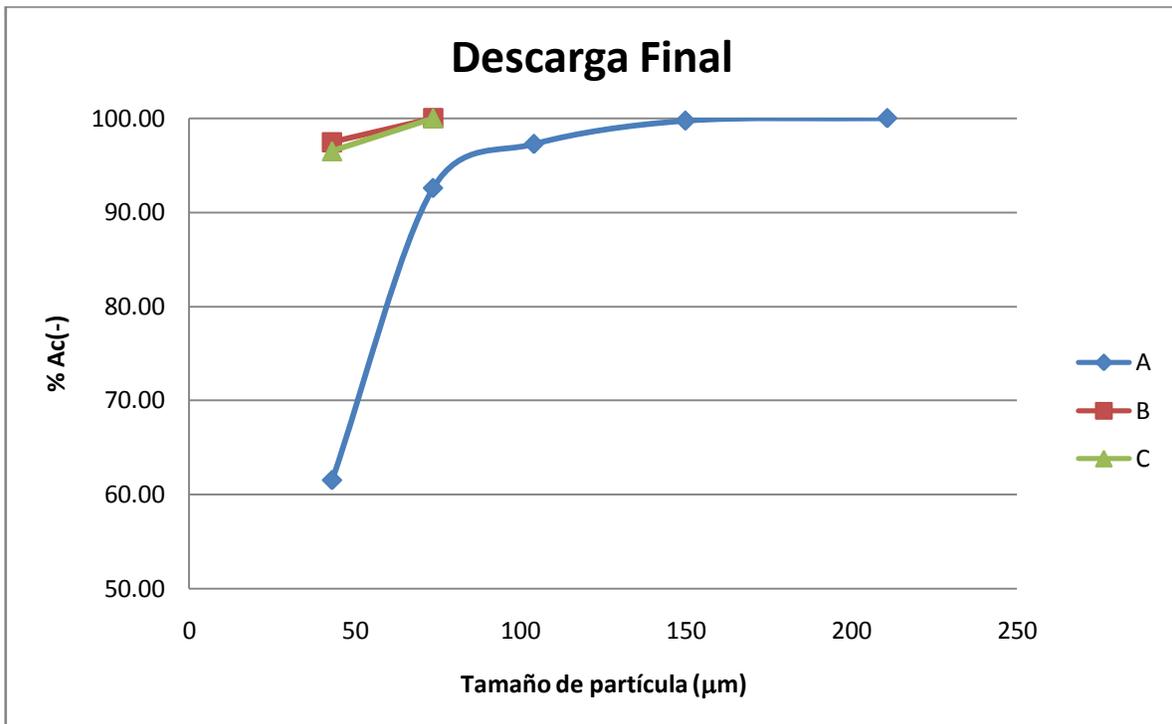


Gráfico 6.26.- % Acumulado (-) vs. Tamaño de partícula (µm) para las pruebas 13, 14 y 15 en el material obtenido en la descarga del aerociclón al final de la prueba.

6.3 INFLUENCIA DE LAS VELOCIDADES DE AIRE EN DUCTOS EN LA RECUPERACIÓN Y GRANULOMETRÍA PRESENTE EN CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

Prueba	g.t.d.aero	Vel(m/s)	Caudal(m ³ /s)	gpm aero	Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
1	3700	10.6680	0.0471	308.33	Posición	AB	AB	AB	A	5 cm
4	3240	10.8763	0.0481	270.00	Posición	AB	AB	AB	A	4 cm
7	1550	10.9423	0.0483	129.17	Posición	AB	AB	AB	A	3 cm
10	2370	10.8560	0.0480	197.50	Posición	AB	AB	AB	A	2 cm
13	230	11.1252	0.0491	19.17	Posición	AB	AB	AB	A	1 cm

Tabla 6.120.- Gramos totales de basalto en la descarga del aerociclón ordenados descendientemente, con sus respectivas combinaciones de válvulas, teniendo VCAC constante en posición A.

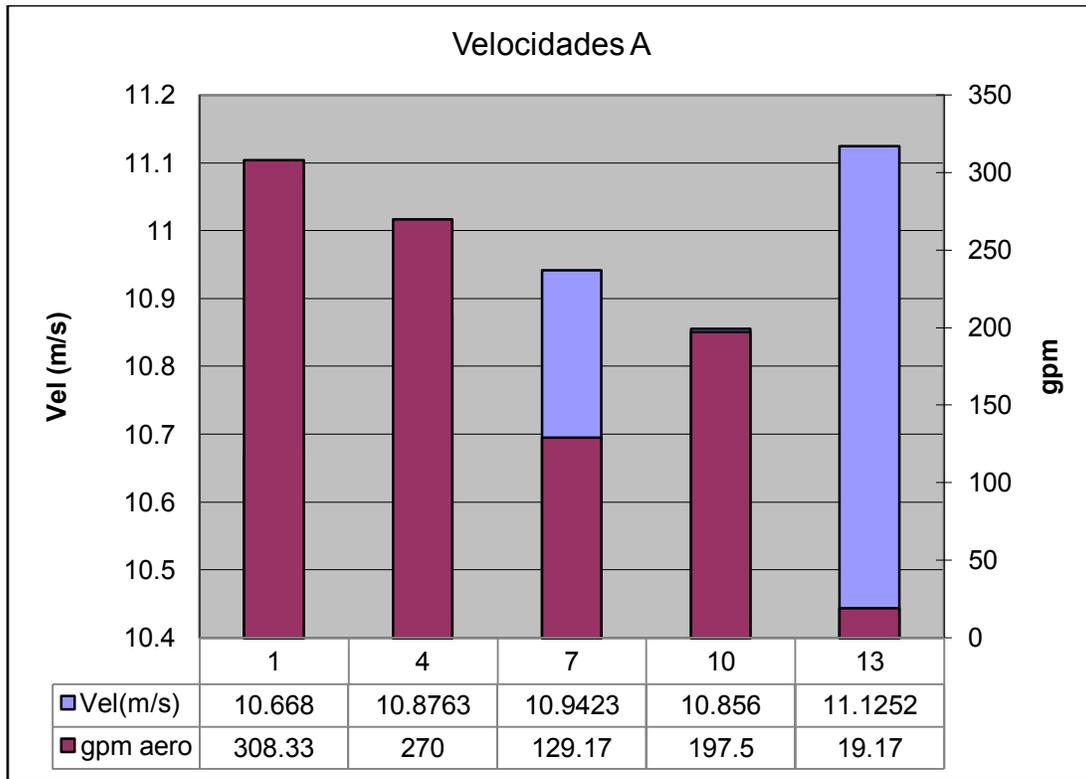


Gráfico 6.27.- Representación gráfica de la cantidad de basalto molido, (g.) totales registrados en la descarga del aerociclón, con sus respectivas velocidades de aire, para la válvula VCAC en posición A.

Prueba	g.t.d.aero	Vel(m/s)	Caudal(m ³ /s)	gpm aero	Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
2	1000	4.6330	0.0205	83.33	Posición	AB	AB	AB	B	5 cm
5	1250	5.3086	0.0235	104.17	Posición	AB	AB	AB	B	4 cm
8	700	5.0698	0.0224	58.33	Posición	AB	AB	AB	B	3 cm
11	920	5.8268	0.0257	76.67	Posición	AB	AB	AB	B	2 cm
14	800	6.1976	0.0274	66.67	Posición	AB	AB	AB	B	1 cm

Tabla 6.121.- Gramos totales de basalto en la descarga del aerociclón ordenados descendientemente, con sus respectivas combinaciones de válvulas, teniendo VCAC constante en posición B.

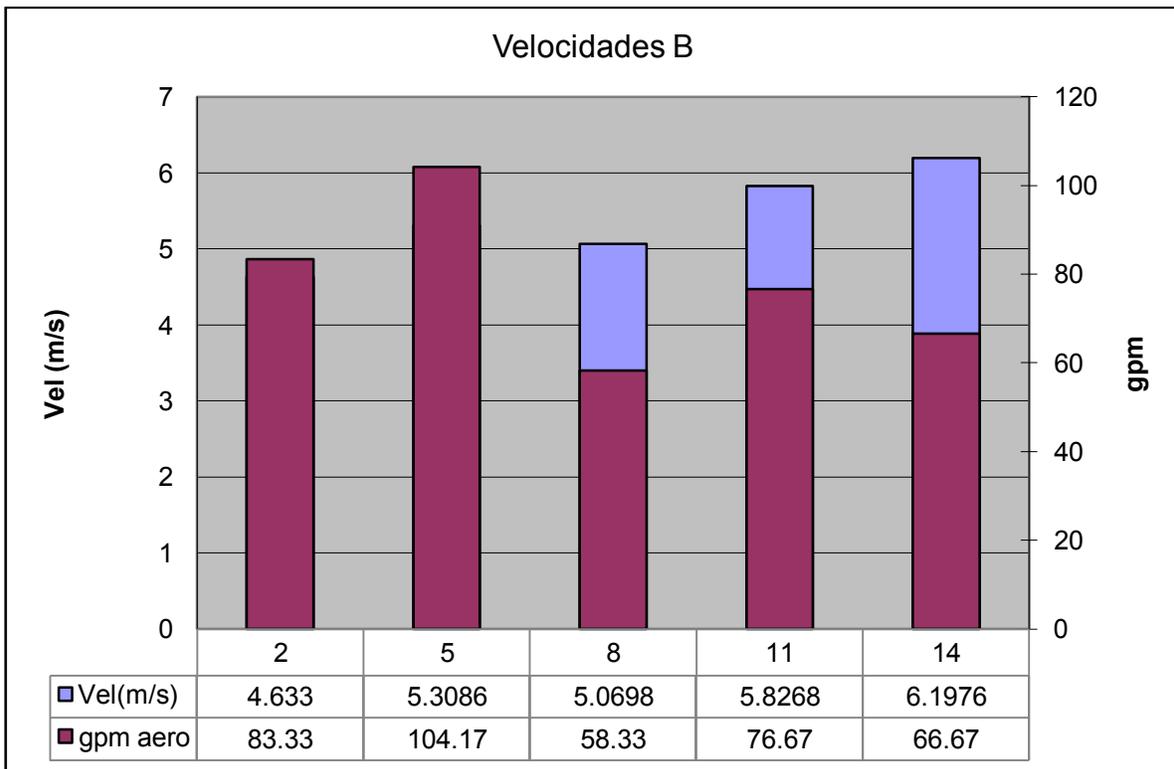


Gráfico 6.28.- Representación gráfica de la cantidad de basalto molido, (g.) totales registrados en la descarga del aerociclón, con sus respectivas velocidades de aire, para la válvula VCAC en posición B.

CAPÍTULO 6 APÉNDICE DE RESULTADOS

Recuperado	g.t.d.aero	Vel(m/s)	Caudal(m ³ /s)	gpm aero	Válvulas	VDV	VAC	VAF	VCAC	VTDC
3	1360	4.8666	0.0215	113.33	Posición	AB	AB	AB	C	5 cm
6	1800	6.8326	0.0302	150.00	Posición	AB	AB	AB	C	4 cm
9	1050	5.4864	0.0242	87.50	Posición	AB	AB	AB	C	3 cm
12	1300	7.0104	0.0310	108.33	Posición	AB	AB	AB	C	2 cm
15	1000	7.5387	0.0333	83.33	Posición	AB	AB	AB	C	1 cm

Tabla 6.122.- Gramos totales de basalto en la descarga del aerociclón ordenados descendientemente, con sus respectivas combinaciones de válvulas, teniendo VCAC constante en posición C.

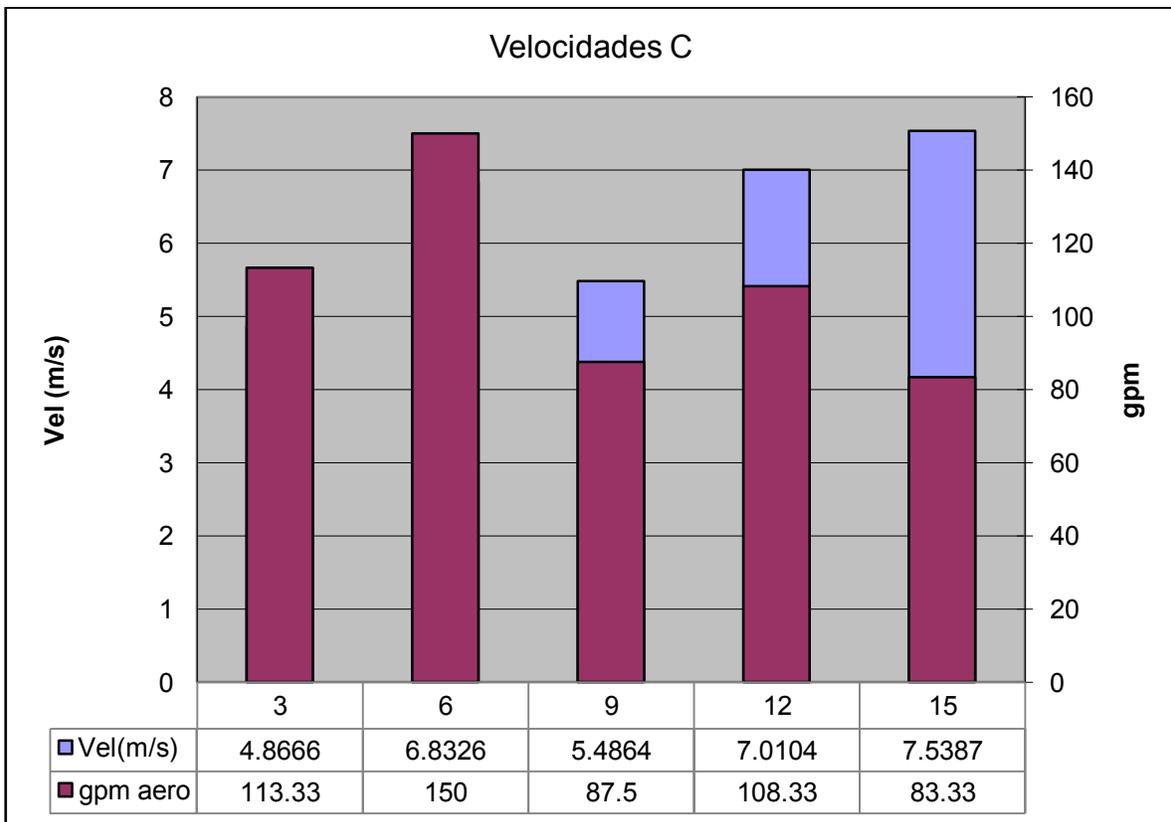


Gráfico 6.29.- Representación gráfica de la cantidad de basalto molido, (g.) totales registrados en la descarga del aerociclón, con sus respectivas velocidades de aire, para la válvula VCAC en posición C.

BIBLIOGRAFÍA:

1. www.camimex.org.mx
2. **“Manual General de Minería y Metalurgia”**, Portal Minero Ediciones, Santiago de Chile, pp. 125-131, 2006.
3. A. Mular, R. Bhappu, **“Mineral Processing Plant Design”**, Society of Mining Engineers, pp.244-248, 1980.
4. René John Deister, **“How to determine the bond work index using lab ball mill grindability tests”**, Minera San Francisco del Oro, Chemical Engineering, 1961
5. E. Kaya, P.C. Fletcher, **“Reproducibility of Bond grindability work index”**, Mineral & Metallurgical Processing, Vol. 20, No. 3, pp. 140-142, Agosto 2003.
6. B. Aksan, B. Sönmer, **“Simulation of Bond grindability test by using cumulative based kinetic model”**, Journal Minerals Engineering, Vol. 13, pp. 673-677, Junio 2000.
7. Vedat Deniz, Huseyin Ozdag, **“A new approach to Bond Grindability and work index dynamic elastic parameters”**, Journal Minerals Engineering, Vol. 16, pp. 211-217, Marzo 2003.
8. R. Ahnmadi, Sh. Shahsavari, **“Procedure for determination of ball Bond Work index in the comercial operations”**, Journal Minerals Engineering, Vol. 22, pp. 104-106, Enero 2009.
9. Carlos Alberto Echeverri Londoño, **“Cyclones optimal design”**, Medellín, Colombia, Pp.1-31, 2006.
10. http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_rocas/basalto-p04.htm
11. A. K. Biswas, W. G. Davenport, **“Extractive metallurgy of copper”**, Editorial Limusa, pp. 52-56, 1993.
12. C. Chaussin, G. Hilly, **“Metalurgia”**, Tomo II, Elaboración de los metales, Editorial Urmo, pp. 50-54, 1975.
13. B. Wills, **“Mineral Processing Technology”**, Pergamon Press, 2ª Ed. Oxford, 1981.

14. Jaime Tapia Quezada, Capitulo 4 **“Fundamentos de la Conminución”**, Universidad Arturo Prat, Iquique – Chile, p.p. 5, 2007.