



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN DEL COMPLEJO MINERO
METALÚRGICO “LA CARIDAD”, PARA GENERAR UN MODELO DE SIMULACIÓN
QUE PERMITA SU OPTIMIZACIÓN**

TESIS

Presenta

Adriana Cinta Pastorino

Director de Tesis

M.C. José de Jesús Huevo Casillas

México D.F. 2015



AGRADECIMIENTOS

Durante toda mi carrera universitaria y hasta el final de este trabajo estuve rodeada de personas significativas que marcaron de manera importante e inolvidable mi vida, por lo cual agradezco:

Primeramente a Dios, por permitirme estar en su presencia y contar con sus bendiciones de tener salud, apoyo de personas incondicionales en mi vida y los recursos correspondientes para haber terminado satisfactoriamente esta carrera que tanto me apasiona, pidiéndole que me acompañe a lo largo de mi carrera profesional para ejercer éticamente.

A mis padres, Carlos Jorge y Carla Patricia quienes me brindaron su apoyo incondicional en todos los momentos durante esta etapa, quienes gracias a su amor y paciencia han hecho de mi lo que soy ahora, una Ingeniera en Minas y Metalurgia, gracias a ustedes he logrado llegar hasta este momento y la vida entera no me alcanzará para agradecerles todo el esfuerzo y sacrificios que hicieron para alcanzar este objetivo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la Facultad de Ingeniería y los profesores de la carrera de Ingeniería de Minas y Metalurgia por su constante apoyo, brindándome el conocimiento teórico y práctico así como experiencias y consejos de vida para ejercer debidamente como profesionista, poniendo en alto en nombre de esta gran institución y tan interesante carrera.

Al complejo minero metalúrgico La Caridad, al Ing. Víctor Manuel Morales Medina, director de operaciones de esta unidad y a las personas que ahí laboran por haberme dado la oportunidad de realizar satisfactoriamente las prácticas profesionales y mi proyecto de tesis brindándome el apoyo y las experiencias fundamentales para lograr el éxito a lo largo de mi ejercer como profesionista.

Al Dr. Juan Luis Reyes Bahena quien tuvo la paciencia y la entrega para guiarme a lo largo del desarrollo de mi tesis, quien no tuvo impedimento ni rechazo en apoyarme en todo momento y por el cual esta tesis tomó forma y pudo ser completada de esta manera tan satisfactoria.

Al M. en C. José de Jesús Huevo Casillas y al comité de titulación, M.A. Gabriel Ramírez Figueroa, M.I. José Enrique Santos Jallath, Lic. Carlos Bernal Esponda y el Ing. Mauricio Mazari Hiriart por la dedicación e importante apoyo para lograr concluir este trabajo en el tiempo correspondiente.

A mi mejor amigo y hermano Bernardo Moreno Onofre, por apoyarme en los buenos y malos momentos y estar conmigo incondicionalmente permitiéndome alcanzar también este objetivo y crecimiento personal con vivencias que serán recordadas siempre.

Gracias a todos por permitirme seguir en sus vidas comprometiéndome a no defraudarlos en esta nueva etapa de mi vida.

Contenido

RESUMEN	I
INTRODUCCIÓN	III
1. GENERALIDADES	1
1.1 UBICACIÓN DEL FUNDO MINERO	1
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO	2
1.3 MINERALOGÍA Y LEYES DEL MINERAL	2
1.4 RESERVAS.....	3
1.5 SISTEMA DE MINADO	4
1.6 PRECIOS DE LOS METALES Y MERCADO	6
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN	9
2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN	26
2.1.1 BANDAS TRANSPORTADORAS.....	26
2.2 QUEBRADORAS	47
2.2.1 QUEBRADORAS PRIMARIAS	47
2.2.2 QUEBRADORAS SECUNDARIAS.....	51
2.2.3 QUEBRADORAS TERCARIAS.....	54
2.3.1 CRIBADO.....	56
3. DATOS ACTUALES DEL PROCESO	63
3.1 DESCARGA DE LAS CRIBAS DE ALIMENTACIÓN A QUEBRADORAS SECUNDARIAS.....	64
3.2 DESCARGA DE LAS QUEBRADORAS SECUNDARIAS	71
3.3 DESCARGA DE QUEBRADORAS TERCARIAS.....	78
4. ANÁLISIS DE QUEBRADORAS TERCARIAS	89
4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DE LAS QUEBRADORAS TERCIARIAS	90
4.2 PRODUCCIÓN DE FINOS DE CADA QUEBRADORA.....	106
4.3 PRODUCCIÓN DE FINOS EN FUNCIÓN DE LA ABERTURA DE CADA QUEBRADORA TERCARIA	113
4.4 PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN LA OPERACIÓN DE LAS QUEBRADORAS.....	116
4.4.1 ABERTURA.....	117
4.4.2 MANTLE.....	120
4.4.3 HORAS OPERADAS.....	120

4.4.4 PRESIÓN	122
4.5 EFICIENCIA DE LAS QUEBRADORAS TERCARIAS	123
5. MODELACIÓN DE LAS QUEBRADORAS TERCARIAS PARA PREDECIR SU COMPORTAMIENTO ...	124
5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO	124
5.2 DATOS.....	141
5. 3 MODELO	142
5. 4 RESUMEN.....	145
CONCLUSIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	149

RESUMEN

El complejo minero metalúrgico “La Caridad” se encuentra ubicado en el estado de Sonora, México, a 260 km al noreste de la ciudad de Hermosillo y a 240 km al sur de la ciudad de Tucson Arizona, U.S.A. La población más cercana es Nacozari de García a 22 km al sureste, teniendo como vía de comunicación la carretera federal N° 17 conocida como “La Ruta de la Sierra” procedente de la ciudad de Hermosillo con rumbo a Nacozari de García, pasando por los poblados de Ures, Mazocahui, Moctezuma y Cumpas.

Dicha unidad tiene como dirección el Km. 21 de la carretera Nacozari – Agua Prieta 84340, A.P. 20 Nacozari de García, Sonora, México.

El sistema de minado utilizado en la mina “La Caridad” es un minado superficial o minado a cielo abierto con bancos múltiples. Este método fue seleccionado con base en la información geológica como mineralización, alteración hidrotermal, leyes y reservas.

El proceso de trituración en esta unidad consta de tres etapas de trituración; primaria, secundaria y terciaria teniendo instaladas dos quebradoras giratorias, 6 quebradoras de cono de poste fijo y 12 quebradoras de cono respectivamente. El tamaño de admisión de las rocas a trituración primaria es de -60” descargando a -5 ½”, que será la alimentación a las quebradoras secundarias, descargando a un tamaño máximo de 2 ½” para finalmente alimentar a las quebradoras terciarias las cuales deben descargar con un P_{80} de - ½”.

Como parte del trabajo de campo de esta tesis, se realizaron muestreos a las bandas donde descargan las cribas de alimentación a las quebradoras secundarias, descarga de las quebradoras secundarias y alimentación y descarga de las quebradoras terciarias, relacionando los parámetros de operación de cada equipo para determinar el comportamiento actual de cada uno de ellos, dando como resultado que las cribas y las quebradoras secundarias si están descargando al tamaño requerido por el proceso, mientras que las quebradoras terciarias descargan a un P_{80} de - 1” lo que indica que su desempeño no es el óptimo por lo que fueron analizadas a detalle para determinar los parámetros que influyen para que se comporten de esta manera.

Para analizar las quebradoras terciarias, se realizaron muestreos de la alimentación y de la descarga de cada quebradora terciaria del lado A para determinar el F_{80} y el P_{80} de cada una de ellas. Ninguna quebradora terciaria cumplió con el requerimiento de descargar a un P_{80} a - ½”, descargando la quebradora 2 y 5 con un P_{80} de -3/4” y las restantes (1, 3, 4 y 11) con un P_{80} a -1”. Con estos resultados fue necesario analizar también los parámetros con los que operaron las quebradoras al momento de los muestreos para generar una correlación, llegando a la conclusión que los parámetros de mayor influencia sobre el comportamiento en la descarga de las quebradoras son la abertura, las horas operadas, el tonelaje de alimentación, el tipo de mantle y la distribución por fracción granulométrica en la alimentación.

Una vez realizado el análisis, se procedió a simular el comportamiento de las quebradoras terciarias variando los parámetros de operación antes mencionados. Para generar el modelo en Excel basado en el JKSImMet, fue necesario determinar las constantes de la función de clasificación (K1, K2 y K3) y las constantes de la función de selección (S1 y S2) por medio de una hoja de Excel en donde se ingresaron los valores de los parámetros de operación de cada quebradora y los valores de cada constante generados por el ajuste inicial del modelo. Con estos datos se realizaron regresiones lineales para obtener los factores por los cuales se multiplicarán cada uno de los parámetros y así poder modificarlos a como el usuario crea conveniente para predecir el comportamiento de cada quebradora.

INTRODUCCIÓN

La trituración es la primera etapa del proceso de reducción de tamaño a la cual es sometido el mineral, por lo que es conveniente analizar cómo operan los equipos y los resultados que se obtienen de cada etapa de trituración para eficientar el circuito, disminuyendo la carga circulante y el desgaste de los equipos e insumos, asegurando un tamaño óptimo de alimentación a molienda.

Lo que se busca al reducir el tamaño de la partícula es lograr tener el tamaño óptimo de liberación para poder separar los minerales valiosos de la ganga para posteriormente concentrarlos.

Si no es posible lograr una buena reducción de tamaño desde la trituración, será complicado un adecuado manejo del mineral en las siguientes etapas, de molienda y flotación, no logrando obtener los resultados deseados.

La trituración, según el tipo de mineral y la reducción de tamaño que se requiera, puede subdividirse en varias etapas, primaria, secundaria, terciaria y a veces cuaternaria. Cada etapa de trituración va muy ligada con el tipo de quebradora que se utiliza.

Actualmente existen diversos tipos de quebradoras utilizándose en las distintas unidades mineras, entre ellas se encuentran:

- Quebradoras giratorias
- Quebradoras de quijadas
- Quebradoras de rodillo
- Quebradoras rotatorias
- Quebradoras de impacto

Las quebradoras giratorias pueden ser de campana o de cono. La primera es utilizada en trituración primaria y secundaria debido a que están diseñadas para una mayor capacidad, teniendo la superficie del tazón una inclinación hacia adentro y hacia el fondo.



Quebradora giratoria de campana operando en trituración primaria en “La Caridad”

Las quebradoras giratorias de cono son utilizadas en las etapas de trituración secundaria y terciaria, teniendo sus superficies de trituración convergentes, es decir, la superficie externa tiende a ser paralela a la superficie del cono. Esta característica varía en las quebradoras instaladas en la tercera etapa debido a que el tamaño de las partículas ya es menor al haber sido sometida a la primera y segunda etapa de trituración, por lo que la superficie externa de trituración se vuelve más recta y paralela a un cono de inclinación más fuerte, lo que comúnmente es conocido como quebradora de cabeza corta.

Una manera de conocer el comportamiento de cada quebradora es mediante la relación de reducción, la cual se obtiene dividiendo el 80% del tamaño que pasa de la distribución acumulada de la alimentación (F_{80}) entre el 80% del tamaño que pasa de la distribución acumulada de la descarga (P_{80}).

La relación de reducción de las quebradoras giratorias de campana se encuentra en un intervalo de 3:1 hasta 10:1.

La relación de reducción de las quebradoras giratorias de cono en la trituración secundaria se encuentra en un intervalo de 6:1 hasta 8:1.

La relación de la reducción de las quebradoras giratorias de cono en la trituración terciaria se encuentra en un intervalo de 4:1 hasta 6:1.

Se hace especial énfasis en el tipo de quebradoras giratorias de campana y de cono debido a que en la unidad donde se realizó este trabajo se tienen instaladas estas quebradoras en las distintas etapas de trituración.

Realizar un análisis del circuito de trituración para determinar el comportamiento actual de los equipos y con base en esto generar un modelo para predecir el comportamiento de los equipos poco eficientes al variar los parámetros de operación es de gran utilidad ya que se logrará optimizar el circuito de trituración con una base previa en un software el cual reúne la mayoría de las variables de operación.

Utilizar simuladores para realizar modelaciones en la industria de la minería es de gran utilidad debido a que es posible involucrar todas las variables de operación y todas las maneras posibles de operar con sus respectivos resultados para poder decidir cuál es la mejor opción para aplicarla a la realidad.

Algo muy importante de los simuladores es que son solo una herramienta y es por esto que la persona que lo esté utilizando debe tener el criterio suficiente para poder interpretar los resultados de manera adecuada o rechazar resultados si es que a su percepción son erróneos.

Uno de los simuladores que se utiliza en la minería y metalurgia es el JKSImMet, el cual es un software que permite modelar y simular circuitos de trituración y de molienda y en algunos casos es aplicable a los circuitos de flotación.

El JKSimMet es un software diseñado para simular los circuitos de procesos de minerales, específicamente de reducción de tamaño y de clasificación.

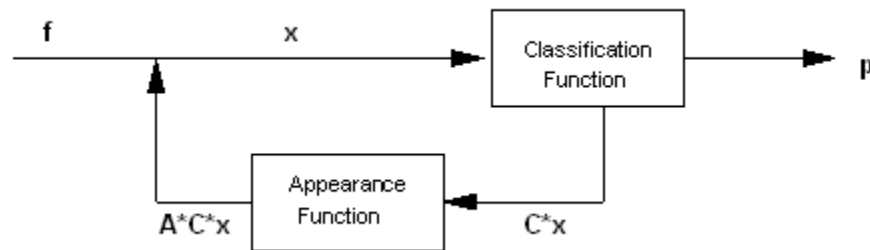
Está basado en investigaciones y documentación del “*Julius Kruttsschnitt Mineral Research Centre*” sobre modelado y simulación a lo largo de más de 25 años, dando como resultado que este software puede ser utilizado por ingenieros que tengan el conocimiento de cómo operar una planta de trituración y/o molienda según sea el caso sin necesidad de tener grandes conocimientos sobre la utilización de modelación en softwares. Esta es la gran ventaja que ofrece el JKSimMet, ya que es una herramienta muy útil que genera la información que se requiere con base en ecuaciones matemáticas adaptadas a un modelo fácilmente manipulable desde la computadora mientras que el ingeniero debe de contar con un criterio amplio y razonable para ser capaz de analizar, interpretar y saber cómo aplicar los resultados después de realizar la simulación.

Hoy en día, contar con el uso de simuladores de este tipo en una industria como la minería y la metalurgia es fundamental, al igual que contar con la capacitación adecuada, ya que así se reduce drásticamente el aplicar la prueba y error directamente en el proceso, reduciendo costos y tiempo, generando bases sólidas para adaptar nuevas técnicas a los procesos y saber qué resultados esperar, pudiendo tomar las decisiones correctas sobre cómo operar dicha planta.

Es altamente recomendable interactuar el trabajo de campo para obtener datos experimentales del comportamiento actual de los procesos o circuitos con el trabajo de planeación e ingeniería utilizando los simuladores correspondientes según sea el área como exploración, explotación del mineral, procesos de reducción de tamaño del mineral ó procesos de concentración para lograr optimizar los circuitos, lo que significa lograr poner en práctica los cambios o mejoras necesarias, con la menor inversión económica pero cumpliendo con los resultados deseados, logrando esto con datos actuales de campo, utilización de softwares para modelación y simulación con todas las variables de operación posibles y un equipo de ingenieros correctamente capacitados y con un criterio que permita tomar la mejor decisión.

El modelar y simular permite ir modificando los parámetros de operación según se requiera para contar con una amplia gama de resultados y así compararlos entre ellos y decidir la mejor opción para aplicarse directamente en operación.

Para generar u optimizar los circuitos de trituración, el JKSimMet cuenta en su base de datos con un modelo de trituración el cual es generado por la función de clasificación y sus constantes (K1, K2 y K3) y la función de rompimiento y sus constantes (S1 y S2) así como por ecuaciones que relacionan dichas funciones con los vectores de distribución de tamaños tanto de la alimentación como de la descarga de las quebradoras.



Representación esquemática del modelo de trituración empleado en el JKSImMet

Donde:

f: vector de distribución de tamaños en la alimentación

p: vector de distribución de tamaños en la descarga

x: vector que representa la cantidad de cada fracción granulométrica en la quebradora

C: función de clasificación, la cual es una matriz diagonal que describe la proporción de partículas en cada fracción granulométrica que se alimenta a la quebradora terciaria.

A: función de selección, la cual es una matriz triangular inferior la cual genera la distribución relativa de cada fracción granulométrica después del rompimiento.

La utilización del JKSImMet permite al usuario:

- Especificar el diagrama de flujo del circuito y el tipo de equipos
- Seleccionar el o los modelos necesarios
- Especificar la información necesaria del circuito como granulometrías, dimensiones de equipos, etc...
- Ajustar los modelos (utilizando datos de planta) para emular una operación en particular
- Utilizar los modelos para simular un circuito y predecir el rendimiento del circuito
- Presentar los resultados en diagramas de flujo con anotaciones, tablas o gráficas directamente en la pantalla o en reportes impresos
- Realizar balance de masa y ajustar los datos de la planta

La utilización del JKSimMet permite al metalurgista:

- Realizar análisis y optimización del rendimiento de los circuitos utilizando datos experimentales actuales
- Realizar estudios de diseño para los nuevos circuitos
- Correr la simulación de una planta
- Evaluar el impacto del rendimiento metalúrgico realizando distintos cambios en el circuito
- Presentar los datos y los resultados en la pantalla, copiar los datos al portapapeles o exportar resultados a MS Excel para imprimirlos o analizarlos posteriormente.

La eficiencia de un circuito de trituración y molienda radica en el correcto ajuste y operación de cada uno de los equipos. Sin embargo la optimización de dichas etapas puede ser lenta y costosa si se realiza directamente en el proceso. Es por eso que en este trabajo se determinan las condiciones de operación actuales en el circuito de trituración y se generará un modelo que permita, a través de variaciones mediante un software, encontrar los parámetros óptimos de operación.

1. GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN DEL FUNDO MINERO

El complejo minero – metalúrgico La Caridad se encuentra ubicado en el estado de Sonora, México, a 260 km al noreste de la ciudad de Hermosillo y a 240 km al sur de la ciudad de Tucson Arizona, U.S.A. La población más cercana es Nacozari de García a 22 km al sureste, teniendo como vía de comunicación la carretera federal N° 17 conocida como “La Ruta de la Sierra” procedente de la ciudad de Hermosillo con rumbo a Nacozari de García, pasando por los poblados de Ures, Mazocahui, Moctezuma y Cumpas.

Dicha unidad tiene como dirección el Km. 21 de la carretera Nacozari – Agua Prieta 84340, A.P. 20 Nacozari de García, Sonora, México, con las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud: N 110° 39’

Longitud: W 30° 21’



FIG 1.1 Plano de localización del Complejo Minero Metalúrgico La Caridad

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO

La Caridad es un depósito cuprífero, el cual ocurre en rocas ígneas de composición intermedia a sílicea. Los tipos de rocas varían desde andesita, diorita a pórfidos de monzonita de cuarzo, raras aplitas y pegmatitas.

Se consideran como rocas preminerales de la más antigua a la más joven a las siguientes unidades litológicas: andesita, diorita, granodiorita y a los pórfidos cuarzomonzoníticos, ampliamente relacionados al principal evento de mineralización.

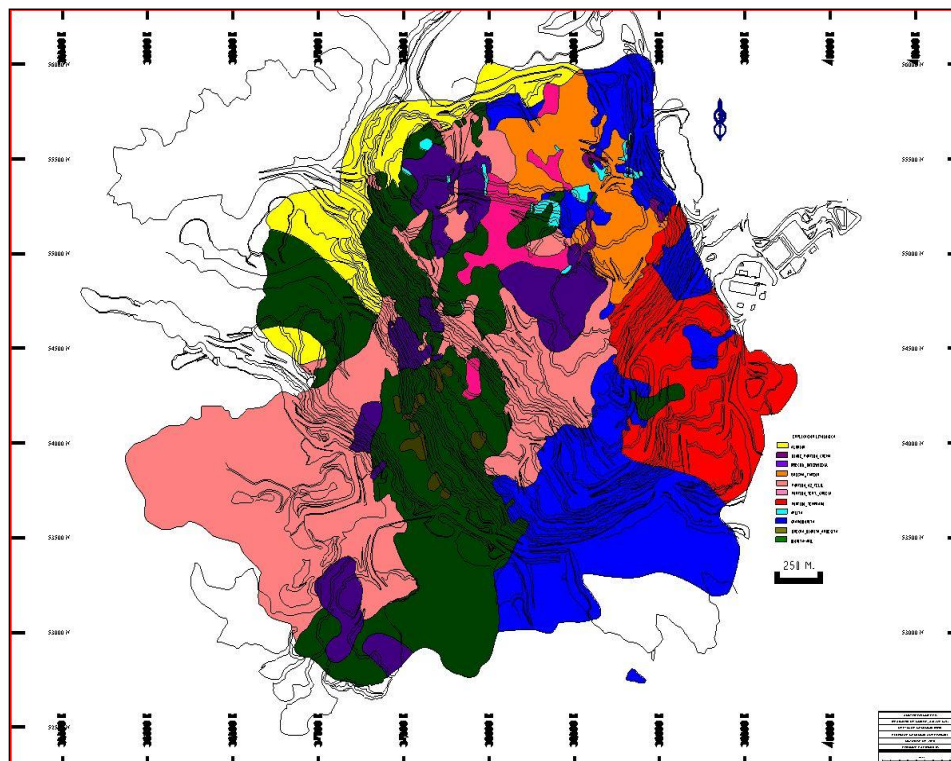


Figura 1.2 Plano litológico del yacimiento

1.3 MINERALOGÍA Y LEYES DEL MINERAL

La mineralización en el depósito de “La Caridad” se conforma de compuestos de cobre en forma de sulfuros, carbonatos, óxidos, sulfatos, fosfatos y silicatos, los cuales están representados por las siguientes rocas mineralizadas: covelita, malaquita, azurita, cuprita, calcantita, galena, pirita, calcopirita, calcocita, molibdenita, wolframita, wavelita, ankerita, apatita, berilo, esfalerita, galena, turquesa, biotita, cuarzo y bornita.

El pórfido cuarzomonzonítico es el tipo de roca más importante dentro del yacimiento, ya que se encuentra fuertemente asociado a la alteración hidrotermal, así como a la mineralización.

El proceso que se llevo a cabo a través de miles de millones de años se debe a la alteración hidrotermal del pórfido cuprífero, ya que éste intrusionó a las rocas encajonantes creando distintas zonas de mineralización:

1. Zona de oxidación
2. Zona de enriquecimiento secundario
3. Zona de minerales primarios

Las leyes promedio que se manejan son las siguientes:

- Cu – 0.22 %
- Mo – 0.027 %
- Ag – 3.1 g/t

1.4 RESERVAS

Las reservas de mineral con las que cuenta la mina “La Caridad”, se han estimado en dos escenarios económicos dando como resultado lo siguiente:

Para un precio del cobre de 2.00 (\$/lb) y una ley de corte de 0.201 %, se tiene un total de 3,007,957 miles de toneladas de reservas de sulfuros que es lo que se puede enviar a flotación, es decir, a planta concentradora.

Con el cálculo para un precio del cobre de 3.68 (\$/lb) y con una ley de corte de 0.100 % se tienen 4, 650, 666 miles de toneladas de reservas de sulfuros.

Con lo anterior se justifica que para realizar la ampliación de la planta concentradora a 120, 000 toneladas sí existen suficientes reservas de mineral económicamente explotable, inclusive para continuar aumentando la capacidad de la planta como se ha realizado ya en dos ocasiones.

1.5 SISTEMA DE MINADO

Analizando la información geológica en cuanto a la distribución de la mineralización tanto de cobre como de molibdeno y de las leyes presentes en el yacimiento, se determinó que es un yacimiento de tipo pórfido cuprífero, es decir, es un yacimiento homogéneo donde la mineralización se encuentra distribuida a todo lo largo y ancho del yacimiento.

Cuenta con leyes de mineral bajas pero con un gran volumen de mineral o reservas económicamente explotables. Añadiendo a esto que la mineralización comienza desde la superficie con la zona de oxidación, presentándose también muestras de mineralización de la zona secundaria.

El sistema de minado utilizado en la mina “La Caridad” es un minado superficial o minado a cielo abierto con bancos múltiples. Este método fue seleccionado con base en la información geológica como mineralización, alteración hidrotermal, leyes y reservas.

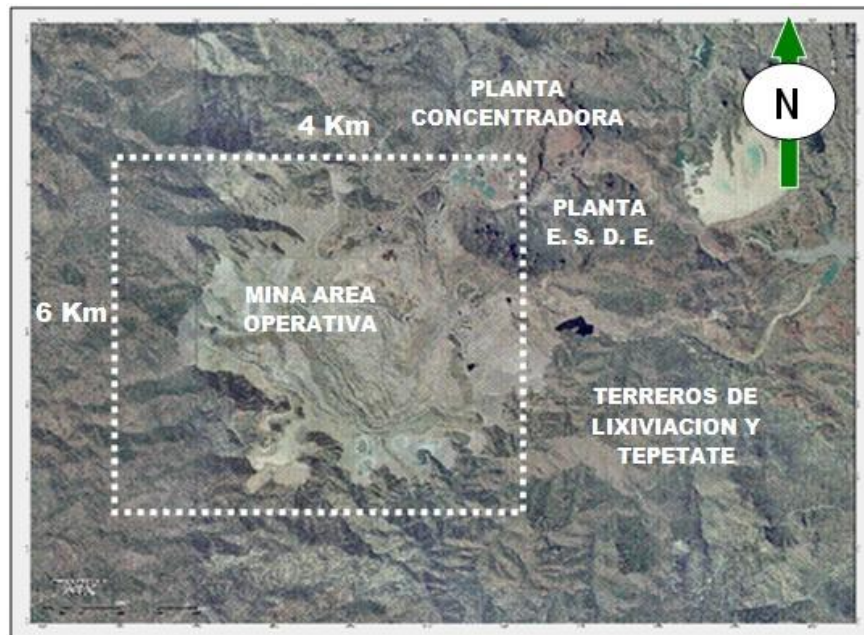


FIG. 1.3 Plano de zona de operación en la unidad La Caridad

El acceso al tajío es a través de una rampa principal la cual debe tener 10 % de pendiente debido al tránsito continuo de camiones fuera de carretera, este porcentaje puede variar debido a las condiciones del terreno. Esta rampa comunica con todos los niveles actualmente explotados en la mina, contando con una berma de seguridad y un ancho de caminos de 40 m aproximadamente.

El tajo de La Caridad está diseñado de acuerdo a la geología, mecánica de rocas y equipo en operación de la siguiente manera: bancos de 15 metros de altura con un ángulo de trabajo de 21° y un talud final de 45°.

En la operación de la mina se cuenta con los siguientes equipos:

PERFORADORAS

Marca	Cantidad	Diámetro perforación	Tipo
Bucyrus Erie 60R (62)	1	12" ¼	Eléctrica
P&H 100 B (65)	1	12" ¼	Eléctrica
Bucyrus Erie 49 R (66, 67)	2	12" ¼	Eléctrica
Bucyrus Erie 39HR (68)	1	12" ¼	Eléctrica
Atlas Copco PV351 (69)	1	12" ¼	Diesel
Total equipo perforación	6	12" ¼	Eléctrica

PALAS

Marca	Cantidad	Capacidad Yd^3	Capacidad M^3	Capacidad T.M.
P&h 2800 Centurion (15, 16)	2	43	33	84
P&h 2800 XPA/B (9, 10)	2	36	28	70
BE – 395BIII (11, 12)	2	43	33	84
TOTAL PALAS	6			

CARGADORES

Marca	Cantidad	Capacidad Yd^3	Capacidad M^3	Capacidad T.M.
Cargador Komatsu WA-1200	2	23	18	45
TOTAL CARGADORES	2			

CAMIONES

Marca	Cantidad	Capacidad TC	Capacidad TM
Caterpillar 793B	9	240	218
Caterpillar 797F	4	400	363
Kom830E-17	9	240	218
Kom830E-AC	5	240	218
Dresser830E	1	240	218
TOTAL EQUIPO ACARREO	27		

EQUIPO AUXILIAR

Equipo	Cantidad	Capacidad
Tractor de Oruga	11	
Tractor de Llanta 824G	8	
Motoniveladoras	3	
Cargador Komatsu WA – 900	2	13 Yd^3
Cargador CAT 988B	1	11 Yd^3
Cisternas	2	35, 000 Gls.
TOTAL EQUIPO AUXILIAR	27	

*Datos obtenidos de un PDF elaborado por planeación mina

1.6 PRECIOS DE LOS METALES Y MERCADO

Los concentrados finales obtenidos del complejo minero metalúrgico “La Caridad” que se comercializan principalmente son el cobre y el molibdeno.

En 2012 el cobre representó el 80% de los ingresos de la división minera del grupo, a pesar de una reducción importante en su precio del 10% comparado con el año anterior. Esto fue debido a una mayor producción compensando la caída de los precios.

El cobre equivalente permite adicionar el valor económico del molibdeno con el objetivo de volver más rentable al yacimiento ya que a mayor profundidad los valores de molibdeno aumentan.

El cobre equivalente se refiere a transformar económicamente el molibdeno a cobre, debido a que el cobre se presenta con mayor abundancia en el yacimiento pero su precio comparado con el del molibdeno es menor, por lo anterior es más conveniente transformar el molibdeno a cobre con el objetivo de elevar la ley del cobre y obtener los costos con base en un solo metal..

Procedimiento para el cálculo de Cobre Equivalente:

Se debe calcular un factor de la siguiente manera:

$$\text{Factor} = \frac{\text{Precio del Molibdeno} \times \text{Recuperación del Molibdeno}}{\text{Precio del Cobre} \times \text{Recuperación del Cobre}}$$

$$\text{Cu Eq.} = \text{Ley de Cu} + (\text{Factor} \times \text{Ley de Mo})$$

El cobre equivalente se calcula con un factor donde se involucran las recuperaciones y los precios de ambos minerales para finalmente multiplicarlo por la ley de cobre.

La obtención del cobre equivalente tiene como objetivo realizar la planeación de la explotación del cuerpo mineral en función de la cotización únicamente del cobre.

A continuación se muestra el comportamiento del precio del cobre hasta el año 2013.

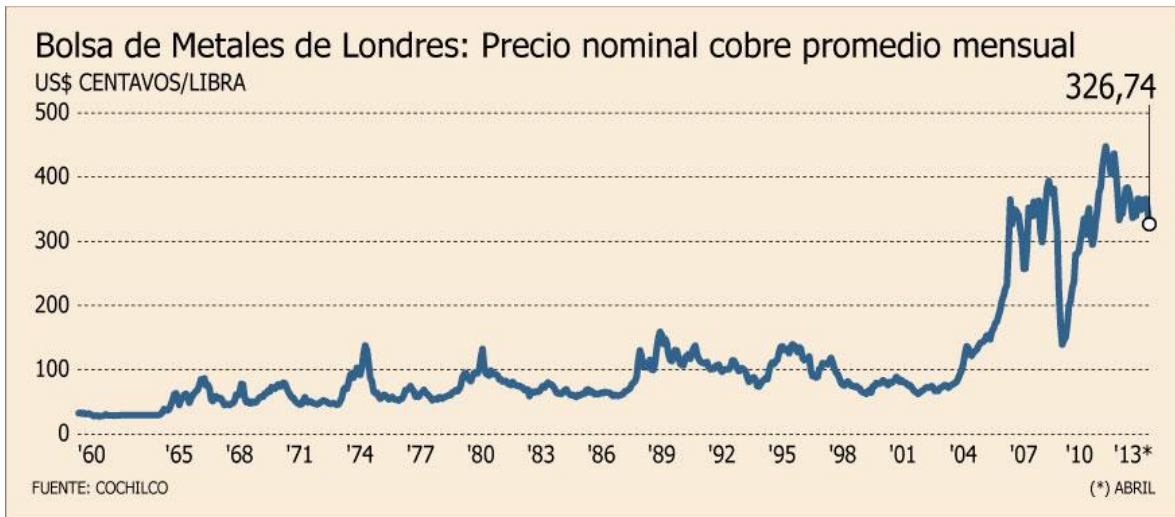


FIG. 1.4 Gráfica de fluctuación de precios del cobre

Esta gráfica muestra las fluctuaciones que ha tenido el precio del cobre, demostrando que el precio del cobre ha ido en aumento pudiendo asegurar que con la cantidad de reservas y el precio del cobre esta mina es económicamente rentable.

El total de concentrado de cobre final que se obtiene de esta unidad minera es enviado a la planta de Fundición de Mexicana de Cobre, ubicada a 40 km aproximadamente de la mina, en el poblado de Esqueda para obtener cátodos de cobre. Las veces que esta planta entra en paro, el concentrado se exporta a China como materia prima.

El concentrado de molibdeno también tiene dos destinos dependiendo del grado en el concentrado, si éste es mayor a 50% el molibdeno es vendido a Molybdenum ubicado en el municipio de Cumpas y si el concentrado de molibdeno es mayor a 55%, se exporta a Holanda y China.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN

El circuito de trituración consta de tres etapas de quebrado, trituración primaria, secundaria y terciaria y dos etapas de clasificación, cribado de alimentación a quebradoras secundarias y cribado fino.

Dicho circuito comienza con la trituración primaria en donde se tienen instaladas dos quebradoras giratorias que se encargan de reducir el tamaño del mineral hasta $-5 \frac{1}{2}''$, el cual es transportado por las bandas 1 y 2 hasta el almacén de gruesos con capacidad para 204,000 TMS.



FIG. 2.1 Descarga del mineral en el almacén de gruesos

Debajo del almacén de gruesos se tienen instalados un total de 8 alimentadores de placas para alimentar el mineral a las bandas 3a y 3b.



FIG. 2.2 Salida de las bandas 3a y 3b del almacén de gruesos

Cada lado o sección (A y B) cuenta con 4 alimentadores instalados que operan en función de la distribución granulométrica que se desee alimentar. Los alimentadores de los extremos descargan material grueso y los del centro descargan material fino.



FIG. 2.3 Alimentadores de placas del almacén de gruesos a banda 3a



FIG. 2.4 Chute de descarga a banda 3a



FIG. 2.5 Chutes de descarga en banda 3a

En cada uno de los lados o secciones se tienen preparados los espacios para colocar un alimentador de placas más como se muestra en las siguientes figuras:



FIG. 2.6 Espacio para colocar alimentador en lado A



FIG. 2.7 Espacio para colocar motor del alimentador en lado A



FIG. 2.8 Espacio para colocar descarga de almacén de gruesos a alimentador en lado A



FIG. 2.9 Espacio para colocar descarga de almacén de gruesos a alimentador en lado B



FIG. 2.10 Espacio para colocar alimentador en lado B

La trituración secundaria y terciaria se encuentra ubicada en el área de trituración fina, en donde por medio de las bandas 3a y 3b el mineral es transportado desde el almacén de gruesos hasta el tripper 4, que se encarga de distribuir el mineral en las 6 tolvas de compensación de las quebradoras secundarias, las cuales tienen capacidad para 800 TMS vivas cada una. Se tienen 3 tolvas y 3 quebradoras secundarias por sección.



FIG. 2.11 Tripper 4a



FIG. 2.12 Tolvas de compensación y alimentadores a cribas de quebradoras secundarias

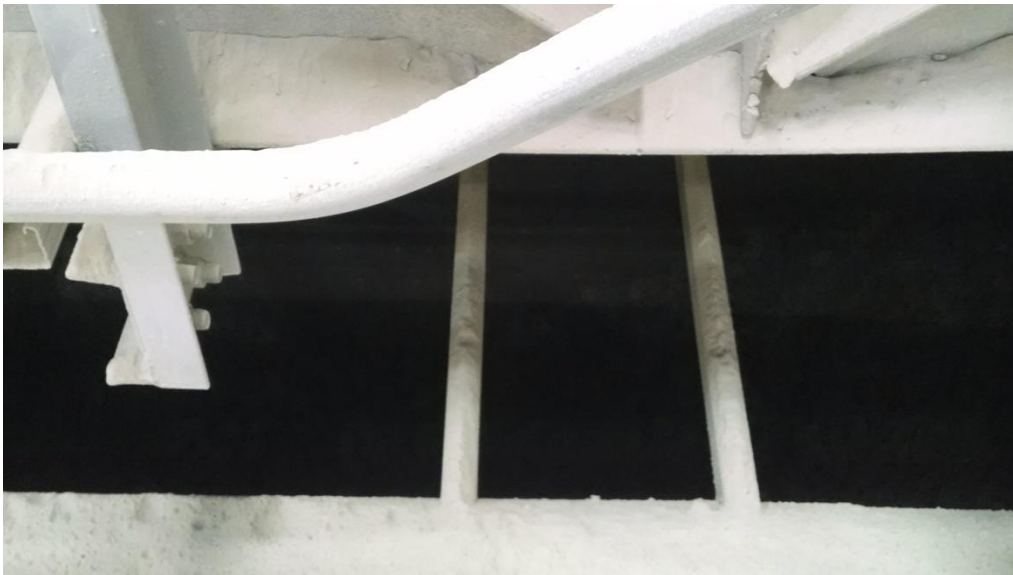


FIG. 2.13 Tolva de compensación de quebradoras secundarias vacía



FIG. 2.14 Tolva de compensación de quebradoras secundarias llena



FIG. 2.15 Descarga de mineral del tripper 4a a la tolva de compensación de la quebradora secundaria



FIG. 2.16 Descarga de mineral del tripper 4b a la tolva de compensación de la quebradora secundaria

Por medio de alimentadores de bandas de 63" x 4m, el mineral se descarga a las cribas de alimentación a las quebradoras secundarias, teniendo cada quebradora su propia criba.



FIG. 2.17 Alimentador de bandas a cribas de quebradoras secundarias



FIG. 2.18 Alimentación a criba de quebradoras secundarias



FIG. 2.19 Alimentadores y cribas de quebradoras secundarias

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN | 2014

En dichas cribas se realiza una clasificación de gruesos y finos. Los finos, con un tamaño de $-\frac{1}{2}$ " son descargados directamente a las bandas 9a y 9b para unirse posteriormente a los finos de las bandas 10a y 10b para ser transportados por las bandas 11, 12, 13, 14a y 14b hasta el almacén de finos.



FIG. 2.20 Descarga de finos de cribas en banda 9



FIG. 2.21 Chute de transferencia de banda 9a a banda 10a

Los gruesos, con un tamaño de $+ \frac{1}{2}$ " , descargan directamente a las quebradoras secundarias.



FIG. 2.22 Alimentación de criba a quebradora secundaria



FIG. 2.23 Alimentación a quebradora secundaria

Las quebradoras secundarias son alimentadas con mineral de granulometría que oscila en un rango de tamaños de $+ \frac{1}{2}''$ a $- 5 \frac{1}{2}''$, obteniéndose de ellas un producto a $- 2 \frac{1}{2}''$ como tamaño máximo.

Las quebradoras secundarias descargan en las bandas 5a y 5b para juntarse más adelante con el producto de las quebradoras terciarias, las cuales deben descargar un producto a $- \frac{1}{2}''$ como tamaño máximo. Estas bandas descargan el mineral en el tripper 5, el cual se encarga de distribuir el mineral a las 20 cribas del área 25, las cuales realizan otra clasificación de gruesos y finos.



FIG. 2.24 Descarga de gruesos en banda 5a

Los finos, con un tamaño de $- \frac{1}{2}$ " son descargados directamente a las bandas 10a y 10b mientras que los gruesos con un tamaño de $+ \frac{1}{2}$ " descargan sobre las bandas 7a y 7b para ser llevados nuevamente a las quebradoras terciarias.

Las bandas 7a y 7b llevan el mineral a los trippers 7a y 7b, que se encargan de distribuir el mineral en la tolvas de compensación de las quebradoras terciarias. Se tienen 6 tolvas de compensación en cada lado de la planta con capacidad para 800 TMS cada una.



FIG. 2.25 Tripper 7a



FIG. 2.26 Tolvas de compensación de quebradoras terciarias

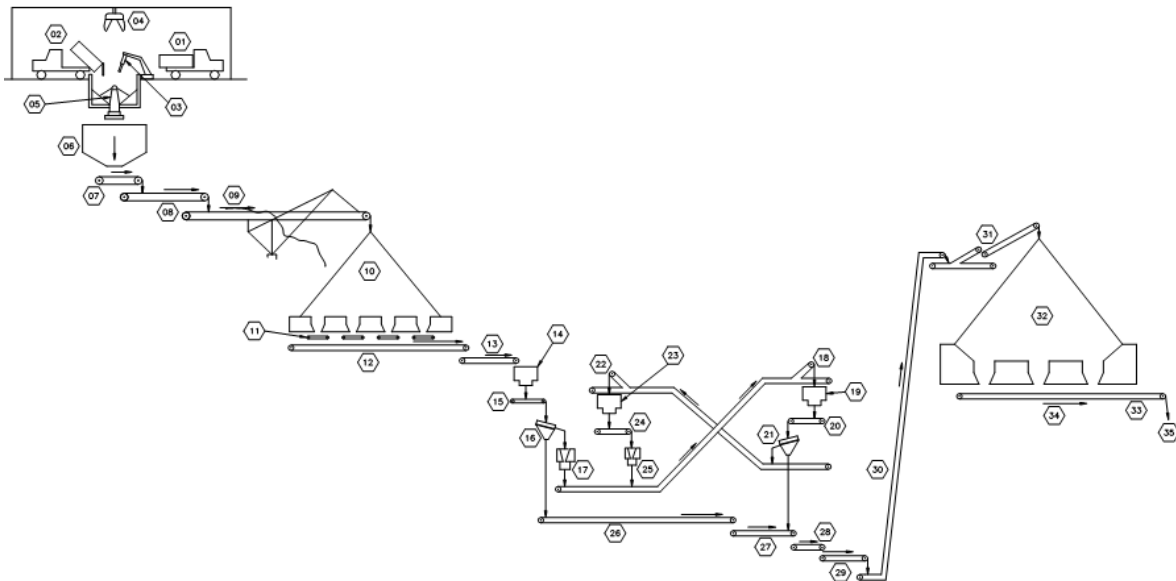
Después de que el mineral se distribuye en las tolvas de compensación de las quebradoras terciarias, los alimentadores de placas se encargan de alimentar el mineral a las bandas distribuidoras 8 (8a – 1 a 6, 8b – 7 a 12) para descargar el mineral directamente a las quebradoras como se muestra en la siguiente figura:



FIG. 2.27 Alimentación a quebradoras terciarias

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN 2014

A continuación se muestra el diagrama completo del circuito de trituración, desde la descarga de los camiones provenientes de mina en las quebradoras primarias hasta el almacén de finos.



LISTA DE INSTALACIONES

No.	CANT.	DESCRIPCIÓN
01	25	CAMIONES PARA ACARREO DE MINERAL 630E, 830E
02	28	CAMIONES WABCO 120C
03	02	ROMPEDOR HIDR. MCA. ALLIED 27YD ALCANCE MOD. 99HY PLUMA MOD. 2717-HD
04	01	ALMEJA ELECTROHIDRAULICA MOD. RST CH-84 MACK MANUFACTURING 4YD
05	02	TRITURADORAS PRIMARIAS ALLIS CHALMERS 60" X 89" (DE KOBE STEEL JAPON)
06	02	TOLVAS REGULADORAS DE 600 TM.
07	02	ALIMENTADORES DE PLACAS STEPHENS ADAMSON 96" X 27"
08	01	BANDA TRANSPORTADORA No.1, 72" ANCHO X 86 MTS. LONGITUD
09	01	BANDA TRANSPORTADORA No.2, 72" ANCHO X 970 MTS. LONGITUD
10	01	APILAMIENTO DE MINERAL DE 204,000 TM. CAPACIDAD VIVA
11	08	ALIMENTADORES DE PLACAS STEPHENS ADAMSON 48" X 12"
12	02	BANDAS TRANSPORTADORAS No. 3A Y 3B, 60" ANCHO X 265 MTS. LONGITUD
13	02	BANDAS DISTRIBUIDORAS DE 72" X 12 MTS. (4A Y 4B)
14	02	TOLVAS DE COMPENSACION 1900 TM. VIVAS
15	06	ALIMENTADORES DE BANDA SECUNDARIOS 63" X 4.3 MTS.
16	06	CRIBAS VIBRATORIAS TYLER DE DOS CAMAS 6' X 16'
17	06	QUEBRADORAS SECUNDARIAS ALLIS CHALMERS 17" X 84"
18	02	BANDAS DISTRIBUIDORAS DE 72" X 320 MTS. (5A Y 5B)
19	02	TOLVAS DE COMPENSACION 2250 TM. C/U
20	20	BANDAS DE ALIMENTACION 72" X 16.5' (6A-1-10 Y 6B-1-10)
21	20	CRIBAS VIBRATORIAS TYLER DE DOS CAMAS 8' X 20'
22	02	BANDAS ALIMENTADORAS DE 60" X 90 MTS. (7A Y 7B)
23	02	TOLVAS DE COMPENSACION DE 2640 TM. C/U
24	12	BANDAS TRANSPORTADORAS 60" X 10.6 MTS. (8A-1-5 Y 8B-6-10)
25	12	QUEBRADORAS TERCARIAS ALLIS CHALMERS 3" X 84"
26	02	BANDAS TRANSPORTADORAS 36" X 241.5 MTS. (9A Y 9B)
27	02	BANDAS TRANSPORTADORAS 60" X 116.3 MTS. (10A Y 10B)
28	02	BANDAS TRANSPORTADORAS 60" X 10.5 MTS. (11A Y 11B)
29	01	BANDA TRANSPORTADORA 72" X 462.4 MTS. (No.12)
30	01	BANDA TRANSPORTADORA 72" X 566.4 MTS. (No.13)
31	01	BANDAS DIST. DE MINERAL 72" X 217.4 MTS. Y 70.8 MTS. (No.14A Y 14B)
32	01	ALMACEN DE MINERAL FINO 290,000 TM.
33	12	PESOMETROS RAMSEY MICROTECH CAP. 0-400 TON.
34	12	ALIMENTADORES DE BANDA No.15/VEL. VARIABLE 48" X 65 MTS.

Fig. 2.28 Diagrama de trituración y cribado

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN

2014

El circuito de trituración primaria consta de los siguientes equipos:

EQUIPO	CANTIDAD
Quebradoras giratorias	2
Tolvas reguladoras	2
Alimentadores de orugas	2
Banda transportadora 1	1
Banda transportadora 2	1

TABLA 1. Equipo instalado en trituración primaria (área 21)

El área de trituración fina se encuentra dividida en dos lados, A y B y consta de los siguientes equipos:

EQUIPO	LADO A	LADO B	TOTAL
Alimentadores de placas a bandas 3	4	4	8
Bandas transportadoras 3	1	1	2
Tripper 4	1	1	2
Tolvas de compensación Q'S	3	3	6
Cribas de alimentación de Q'S	3	3	6
Quebradoras secundarias	3	3	6
Bandas transportadoras 9	1	1	2
Bandas transportadoras 5	1	1	2
Tripper 5	1	1	2
Tolvas de compensación de cribas	10	10	20
Alimentadores de placas para cribas	10	10	20
Cribas	10	10	20
Tripper 7	1	1	2
Bandas transportadoras 7	1	1	2
Bandas transportadoras 10	1	1	2
Tolvas de compensación de Q'T	6	6	12
Bandas distribuidoras 8	6	6	12
Quebradoras terciarias	6	6	12
Bandas transportadoras 11	1	1	2

TABLA 2. Equipo instalado en trituración fina (área 24 y área 25)

Afuera del área de trituration fina, se tienen los siguientes equipos:

EQUIPO	CANTIDAD
Banda transportadora 12	1
Banda transportadora 13	1
Banda transportadora 14 a	1
Banda transportadora 14 b	1
Tripper 14	1

TABLA 3. Bandas transportadoras y tripper 14

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN

A continuación se realizará la descripción de los equipos instalados en el proceso de trituration.

2.1.1 BANDAS TRANSPORTADORAS

En el área de trituration primaria se tiene instalada la banda transportadora 1 cuyas características descritas en el *“Manual de Operaciones”, Mexicana de Cobre, S.A., Concentradora “La Caridad”* son las siguientes:

Tiene una longitud de 86 metros y 72” de ancho, moviéndose a una velocidad de 3.66 m/seg y con una capacidad para transportar hasta 6,600 t/h.

Esta banda funciona con un motor primario de 250 HP a 1,765 RPM y 4,150 volts con un contrapeso de 6,810 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 1

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
5	291	54	0	31	0



FIG. 2.29 Chute de transferencia del alimentador a la banda 1



FIG. 2.30 Revestimiento del chute del alimentador a la banda 1



FIG. 2.31 Descarga del mineral en la banda 1

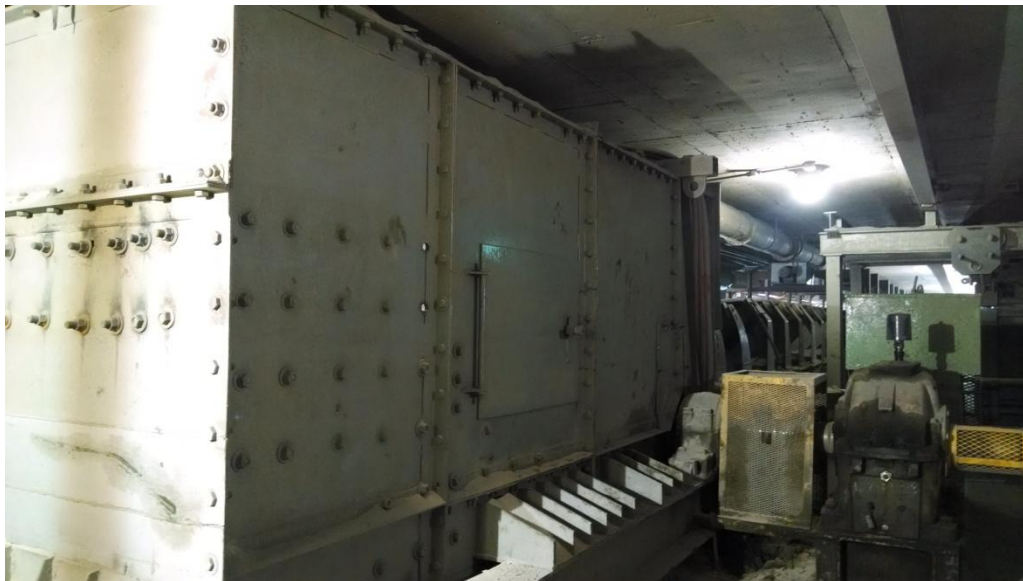


FIG. 2.32 Chute de transferencia de la banda 1 a la banda 2

2.1.1.2 BANDA TRANSPORTADORA N° 2

En esta banda se descarga el mineral que viene de la banda transportadora 1 a través de un chute de transferencia, llevándolo hasta el “stacker” o almacén de gruesos.

La banda transportadora 2 tiene una longitud de 962.425 metros y 72” de ancho moviéndose a una velocidad de 3.37 m/seg y con una capacidad para transportar hasta 6,600 t/h.

Esta banda funciona con dos motores primarios de 600 HP a 1,170 RPM y 4,160 volts y con un motor secundario de 600 HP a 1,170 RPM y 4,150 volts. Tiene un contrapeso de 10,896 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 2

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
13	3, 815	27	0	4	227



FIG. 2.33 Vista de Banda 2

Se debe tener un cuidado especial en el control de la velocidad y en el sistema de frenado de esta banda debido a que cuenta con una inclinación de 30° favorecida por la gravedad para descargar el mineral en el almacén de gruesos, por lo que si el tonelaje aumenta, la velocidad también aumentará pudiendo salirse de control.

La banda cuenta con un sistema de frenos de tipo balatas para ir moderando la velocidad y cada lunes y viernes al entregar el turno es realizada una prueba de frenado para determinar el tiempo de frenado total y que todos los parámetros de operación funcionen adecuadamente.



FIG. 2.34 Descarga del mineral de la banda 2 al almacén de gruesos



Fig. 2.35 Golpes por sobre aceleración de la banda 2

Debajo del almacén de gruesos se encuentran instalados un total de 8 alimentadores de placas marca *Stephens Adamson* de 48" x 12', que se encargan de alimentar el mineral de éste almacén a las bandas 3.

Se tienen instalados 4 alimentadores de placas en cada lado (A y B) del almacén de gruesos para alimentar a las bandas 3a y 3b respectivamente.

2.1.1.3 BANDA TRANSPORTADORA 3a

La banda transportadora 3a tiene una longitud de 234.00 metros y 60" de ancho moviéndose a una velocidad de 2.18 m/seg y con una capacidad para transportar hasta 2,675 t/h.

Funciona con un motor primario de 250 HP a 1,765 RPM y 4,160 volts. Tiene un contrapeso de 7,264 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda 3a

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
7	732	72	0	73	0



FIG. 2.36 Electroimán instalado en banda 3ª



FIG. 2.37 Chute de transferencia de banda 3a a tripper 4a

2.1.1.4 BANDA TRANSPORTADORA 3b

La banda transportadora 3b tiene una longitud de 265.08 metros y 60" de ancho moviéndose a una velocidad de 2.18 m/seg y con capacidad para transportar hasta 2,675 t/h.

Esta banda funciona con un motor primario de 250 HP a 1,765 RPM y 4,160 volts con un contrapeso de 7,264 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda 3b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
7	837	72	0	32	0

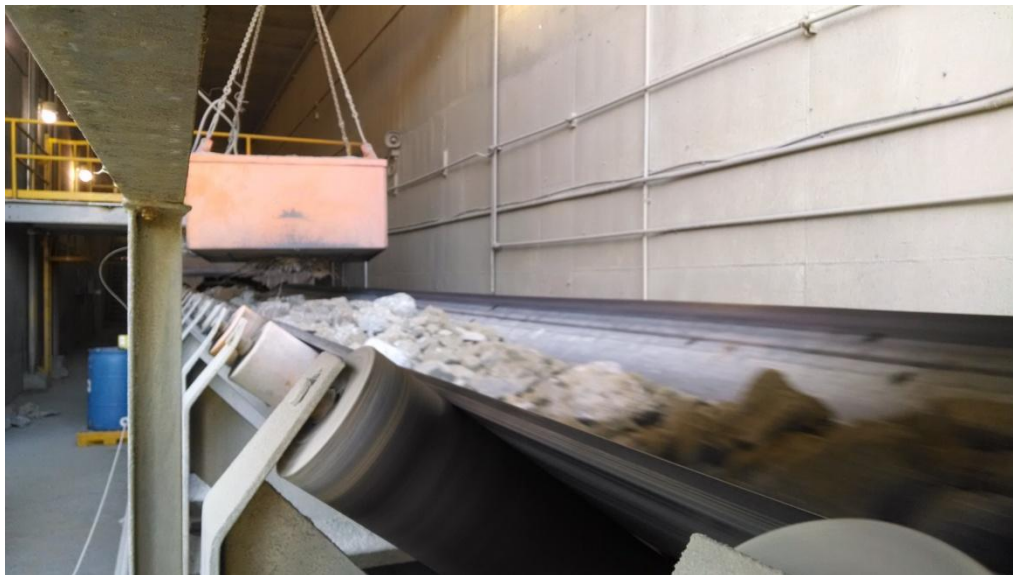


FIG. 2.38 Electroimán instalado en banda 3b



FIG. 2.39 Banda 3a



FIG. 2.40 Bandas 3a y 3b con mineral del almacén de gruesos a planta de trituración fina



FIG. 2.41 Bandas 3a y 3b en planta de trituración fina

2.1.1.5 BANDA TRANSPORTADORA N° 4a

La banda transportadora 4a tiene una longitud de 13.00 metros y 72" de ancho moviéndose a una velocidad de 1.38 m/seg y con una capacidad para transportar 2,675 t/h. Esta banda no tiene contrapeso.

Cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 4a

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
4	42	21	0	2	0

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN 2014

2.1.1.6 BANDA TRANSPORTADORA N° 4b

La banda transportadora 4b tiene una longitud de 10.00 metros y 72" de ancho moviéndose a una velocidad de 1.38 m/seg y con una capacidad para transportar 2,675 t/h.

Cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 4b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
4	15	18	0	1	0

Las bandas 4a y 4b descargan el mineral en las tolvas de compensación de las cribas de alimentación a las quebradoras secundarias para después dosificar la descarga del mineral en seis alimentadores de placas de 63" x 4.3 m, los cuales alimentan el mineral a las cribas antes mencionadas.



Fig. 2.42 Tripper y banda 4a

2.1.1.7 BANDAS TRANSPORTADORAS 5a Y 5b

Cada una de las bandas transportadoras 5a y 5b tiene una longitud de 319.567 metros y un ancho de 72" moviéndose a una velocidad de 3.27 m/seg y con capacidad para transportar hasta 5,900 t/h.

Cada banda funciona con un motor primario de 600 HP a 1,170 RPM y 4,160 volts y con un motor secundario de 600 HP a 1,170 RPM y 4,160 volts. Cada banda tiene un contrapeso de 10,896 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Bandas 5a y 5b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
19	1191	135	20	10	82

Las bandas transportadoras 5a y 5b descargan el mineral en los tripper 5 respectivamente, los cuales se encargan de repartir adecuadamente el tonelaje de mineral en las tolvas de compensación para pasar al alimentador y después a las cribas secundarias en el área de cribado fino.



FIG. 2.43 Descarga de gruesos de quebradoras secundarias en banda 5a



FIG. 2.44 Descarga de gruesos de quebradoras terciarias en banda 5a



FIG. 2.45 Electroimán instalado en la banda 5a



FIG. 2.46 Vista de bandas 5a y 5b

2.1.1.8 BANDAS TRANSPORTADORAS 7a y 7b

Cada una de las bandas transportadoras 7a y 7b tiene una longitud de 289.067 metros y un ancho de 60" moviéndose a una velocidad de 2.72 m/seg y con capacidad para transportar hasta 3,500 t/h.

Cada banda funciona con un motor primario de 600 HP a 1,170 RPM y 4,160 volts y con un motor secundario de 250 HP a 1,765 RPM y 4,160 volts con un contrapeso de 5,445 kg.

Cuentan con las siguientes poleas y rodillos:

Bandas 7a y 7b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
--------	-------------------	---------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN **2014**

19	1058	150	6	82	0
----	------	-----	---	----	---

Estas bandas descargan la carga en los trippers 7, que son los encargados de distribuir el mineral a las tolvas de compensación de las quebradoras terciarias para su alimentación.



FIG. 2.47 Banda 7a para tripper 7a



FIG. 2.48 Banda 7a de área 25 a planta de tripper 7a



FIG. 2.49 Banda 7a de área 25 a planta de tritución fina



FIG. 2.50 Tripper 7a

2.1.1.9 BANDAS 9a y 9b

Cada una de las bandas transportadoras 9a y 9b tiene una longitud de 241.467 metros y un ancho de 36” moviéndose a una velocidad de 3.04 m/seg y con capacidad para transportar 1,260 t/h.

Cada banda funciona con un motor primario de 150 HP a 1,179 RPM y 460 volts con un contrapeso de 3,178 kg.

Cuentan con las siguientes poleas y rodillos:

Bandas 9a Y 9b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
9	694	150	0	73	0



FIG. 2.51 Descarga de finos de criba en banda 9a



FIG. 2.52 Descarga de finos de cribas en banda 9a



FIG. 2.53 Banda 9a

2.1.1.10 BANDAS TRANSPORTADORAS 10a Y 10b

Cada una de las bandas transportadoras 10a y 10b tiene una longitud de 116.322 metros y un ancho de 60” moviéndose a una velocidad de 2.3 m/seg y con capacidad para transportar hasta 2,960 t/h.

Cada banda funciona con un motor primario de 150 HP a 1,800 RPM y 460 volts. Cada banda tiene un contrapeso de 4,177 kg y cuentan con las siguientes poleas y rodillos:

Bandas 10a y 10b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
6	291	120	0	37	0

2.1.1.11 BANDAS TRANSPORTADORAS 11a y 11b

Cada una de las bandas transportadoras 11a y 11b tiene una longitud de 10.500 metros y un ancho de 72” moviéndose a una velocidad de 1.60 m/seg y con capacidad para transportar hasta 2,960 t/h, siendo ortogonales a las bandas 10a y 10b.

Las bandas 11 únicamente tienen la función de descargar el mineral que viene de las bandas 10a y 10b a un chute de transferencia para unir el mineral de las dos bandas en una sola banda, la banda 12.

Cada banda funciona con un motor primario de 30 HP a 1,180 RPM y 460 volts y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda 11a y 11b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
4	27	18	0	0	2

2.1.1.12 BANDA TRANSPORTADORA 12

La banda transportadora 12 tiene una longitud de 462.438 metros y un ancho de 72” moviéndose a una velocidad de 3.35 m/seg y con capacidad para transportar hasta 5,900 t/h.

Esta banda funciona con un motor primario de 600 HP a 1,170 RPM y 4,150 volts con un contrapeso de 31,326 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 12

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
8	1584	21	0	8	120

2.1.1.13 BANDA TRANSPORTADORA 13

La banda transportadora 13 tiene una longitud de 566.143 metros y un ancho de 72” moviéndose a una velocidad de 3.27 m/seg y con capacidad para transportar hasta 5,900 t/h.

Esta banda funciona con dos motores primarios de 600 HP cada uno a 1,170 RPM y 4,160 volts y dos motores secundarios de 500 HP cada uno a 1,170 RPM y 4,160 volts. Tiene un contrapeso de 24,062 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 13

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
13	1838	24	0	3	161

2.1.1.14 BANDA TRANSPORTADORA 14a

La banda transportadora 14a tiene una longitud de 217.350 metros y 72” de ancho moviéndose a una velocidad de 3.27 m/seg y con una capacidad para transportar hasta 5,900 t/h.

Funciona con un motor primario de 600 HP a 1,170 RPM y 4,160 volts con un contrapeso de 9,080 kg y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 14a

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
9	561	18	12	59	0

2.1.1.15 BANDA TRANSPORTADORA 14b

La banda transportadora 14b tiene una longitud de 34.786 metros y 72” de ancho moviéndose a una velocidad de 3.27 m/seg y con una capacidad para transportar hasta 6,100 t/h.

Funciona con un motor primario de 350 HP a 1,180 RPM y 4,160 volts. No tiene contrapeso y cuenta con las siguientes poleas y rodillos:

Banda N° 14b

POLEAS	RODILLOS DE CARGA	RODILLOS DE IMPACTO	RODILLOS DE CARGA RECTOS	RODILLOS DE RETORNO RECTOS	RODILLOS DE RETORNO EN V
2	72	30	0	12	0

2.2 QUEBRADORAS

2.2.1 QUEBRADORAS PRIMARIAS

En el área de trituración primaria se tienen instaladas dos quebradoras giratorias, las cuales se encargan de reducir el mineral hasta un tamaño de $- 5 \frac{1}{2}$ " para su transportación por las bandas 1,2 y 3 al área de trituración fina.



FIG. 2.54 Quebradora primaria de cono giratoria

Las quebradoras primarias son marca *Allis Chalmers/Kobe Steel* 60"x89" teniendo dos lugares de descarga por quebradora en superficie, uno a cada lado de la quebradora, dando un total de cuatro lados o puntos de descarga para los camiones.



FIG. 2.55 Camión fuera de carretera en posición para descargar en quebradora primaria



FIG. 2.56 Camión fuera de carretera descargando en uno de los lados de la quebradora primaria

La capacidad de cada una de las quebradoras primarias es de hasta 5, 000 ton/hora con un tamaño de alimentación máximo admisible de 60" y una descarga de $- 5 \frac{1}{2}$ ".



FIG. 2.57 Quebradora primaria giratoria con carga



FIG. 2.58 Quebradora primaria giratoria con carga

Las quebradoras trabajan con los siguientes parámetros:

- Presión: 160 a 190 libras
- Temperatura: 35°C a 40°C
- Amperaje: 60 a 90 amperes (dependiendo dureza del mineral)
- Abertura: 5 ½"

Cada quebradora tiene una tolva reguladora con una capacidad aproximada de 600 toneladas. Las tolvas reguladoras se utilizan para almacenar el mineral que sale de la quebradora a un tamaño de – 5 ½" e irlo descargando a los alimentadores poco a poco, para que estos puedan a su vez descargar el tonelaje requerido a la banda transportadora 1.

Las tolvas reguladoras permiten que los camiones sigan descargando en la superficie de las quebradoras, siempre y cuando las tolvas estén por debajo del 80 % de su capacidad, esto con el objetivo de no tener camiones en espera durante el tiempo de trituración y la descarga del mineral a la banda 1. Debido a esto, los camiones podrán seguir descargando mientras que las tolvas van "dosificando" el mineral que se descarga a los alimentadores de orugas de marca *Stephens Adamson* con dimensiones de 96" x 27' para que estos lleven el mineral a la banda transportadora 1.



FIG. 2.59 Alimentador Stephens Adamson 96" x 27'

2.2.2 QUEBRADORAS SECUNDARIAS

En el área de tritución fina se tienen instaladas seis quebradoras secundarias, tres en cada sección, siendo la alimentación de éstas la descarga de gruesos de las cribas.



FIG. 2.60 Vista aérea de las dos secciones de tritución secundaria

Las quebradoras secundarias son marca Metso MP 800 17" x 84" tipo hidrocónica. Cada quebradora tiene un motor de 800 HP y son de poste fijo.



FIG. 2.61 Quebradora secundaria METSO MP800



FIG. 2.62 Pistones hidráulicos de quebradora secundaria

Sus parámetros de operación oscilan entre:

- Amperaje: 0 – 100 amperes
- 768 RPM
- Abertura: 28 - 34mm

La finalidad de pasar el mineral por las quebradoras secundarias es el de efectuar la segunda fase de tritución, reduciendo el mineral hasta un tamaño de $- 2 \frac{1}{2}''$.

2.2.3 QUEBRADORAS Terciarias

En el área de trituración fina se tienen instaladas doce trituradoras terciarias, seis en cada lado de la planta, marca *Allis Chalmers/Kobe Steel* de tamaño 3" x 84".



FIG. 2.63 Vista aérea de las dos secciones de trituración terciaria

La alimentación de estas quebradoras es la descarga de gruesos del área de cribado fino con un tamaño de $- 2 \frac{1}{2}$ ", ya que estas quebradoras admiten una alimentación de mineral con un tamaño de hasta 3".

En las quebradoras terciarias no existen cribas como en las quebradoras secundarias, ya que es en las quebradoras terciarias y en el cribado fino donde se tiene la carga circulante.

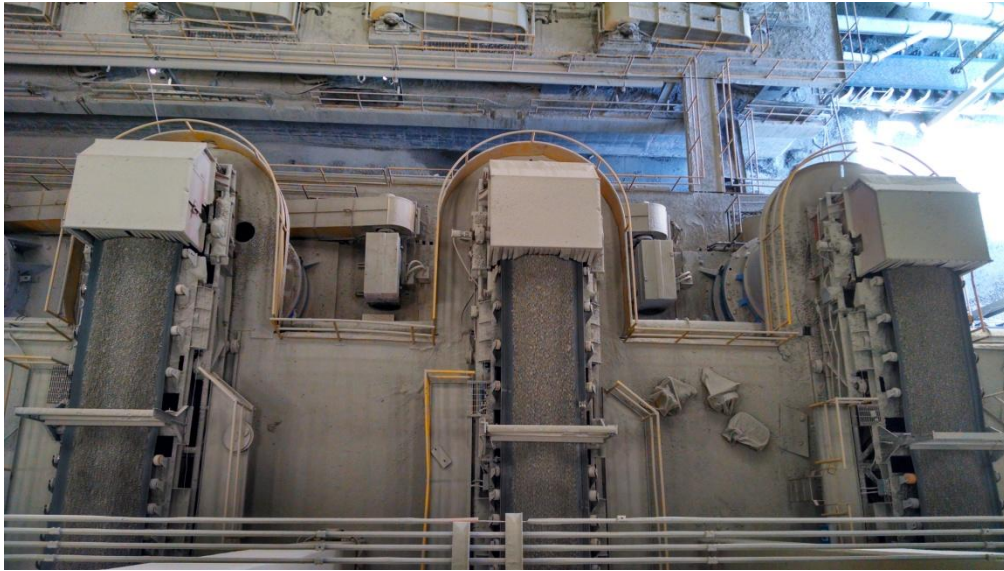


FIG. 2.64 Alimentación por bandas a quebradoras terciarias

Estas quebradoras están diseñadas para un mayor volumen y una menor eficiencia en el quebrado y por lo tanto en la descarga de finos al tamaño deseado.



FIG. 2.65 Quebradora terciaria *Allis Chalmers/Kobe Steel* 3" x 84".

2.3.1 CRIBADO

Contar con áreas de cribado en un circuito de trituración es fundamental para realizar la separación del mineral en gruesos y finos, logrando con esto la alimentación innecesaria de finos a las quebradoras pudiendo alimentar más gruesos a éstas.

2.3.1.1 CRIBAS DE ALIMENTACIÓN A QUEBRADORAS SECUNDARIAS

El cribado primario consta de seis cribas vibratorias marca TYLER de 6 x 16 ft, con dos camas de cribado cada una. Se encuentran ubicadas tres cribas primarias a cada lado de la planta instaladas en la alimentación a las quebradoras secundarias.

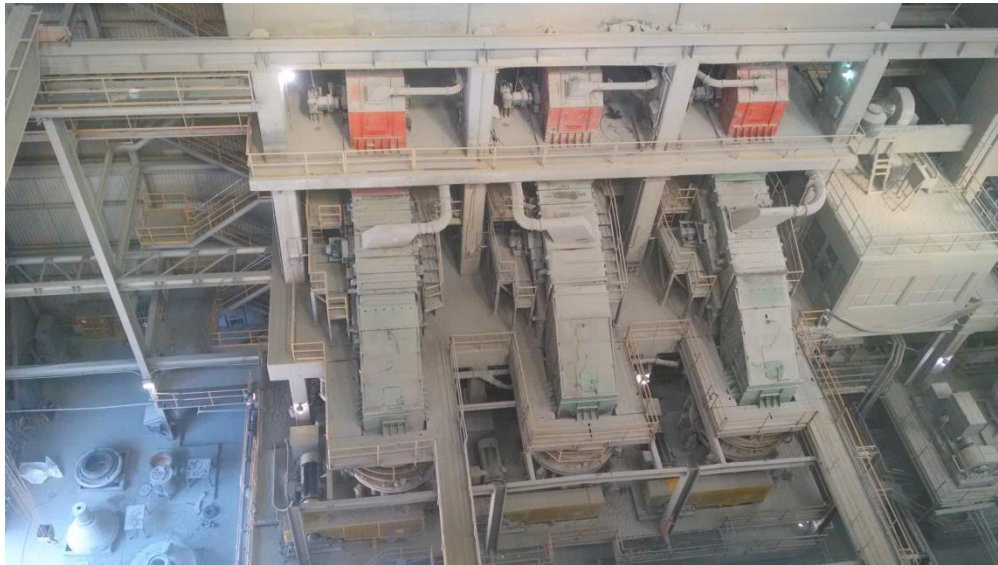


FIG. 2.66 Criba vibratorias Tyler 6 x 16 ft en alimentación a quebradoras secundarias



FIG. 2.67 Descarga de gruesos de la criba a la quebradora secundaria

Las cribas vibratorias primarias TYLER operan con los siguientes parámetros y características:

- Cribado superior: Grizzlyes de 2 ½" de abertura.
- Cribado inferior: Mallas tensadas de ½" de abertura.
- Excentricidad de flecha: 3/16 de pulgada.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN

2014

- Velocidad de operación: 860 RPM (máximo).
- Inclinación: 20°
- Peso Neto: 27,200 libras (12,364 kg)
- Motor: de diseño 30 HP y 1,750 RPM, modificado 50 HP y 1,750 RPM.
- Polea de motor: 9.8"
- Polea de criba: 20"
- Bandas de transmisión: 5 en "v" tamaño c-96, por diseño c-90.



FIG. 2.68 Vista de las 3 cribas vibratorias instaladas en el lado A de la planta de trituración



FIG. 2.69 Vista lateral de una criba con inclinación de 20°

El objetivo de pasar el mineral por estas cribas antes de descargarlo directamente a las quebradoras secundarias es el de extraer los finos con un tamaño de $- \frac{1}{2}$ " para descargarlos directamente a las bandas de finos (bandas 9), con el objetivo de reducir el tonelaje alimentado a las quebradoras y evitar el daño de ellas por operar con mineral fino.



FIG. 2.70 Interior de una criba con malla de $\frac{1}{2}$ "



FIG. 2.71 Cama superior o "Grizzly" de $2\frac{1}{2}$ "



Fig. 2.72 Interior de una criba vibratoria

2.3.1.2 CRIBADO FINO

El cribado fino (área 25) consta de veinte cribas vibratorias marca *TYLER* de 8 x 20 ft, de dos camas cada una. Se tienen instaladas diez cribas en cada lado de la planta.

Las cribas vibratorias primarias *TYLER* operan con los siguientes parámetros y características:

- Cribado superior: Grizzlies de 2 ½"
- Cribado Inferior: Mallas tensadas de ½" de abertura.
- Excentricidad de flecha: 3/16"
- Velocidad de operación: 860 RPM
- Inclinación: 20°
- Peso Neto: 36,900 libras (16,773 kg)
- Motor: 50 HP a 1,750 RPM
- Polea de motor: 9.8"
- Polea de criba: 20" de diámetro
- Bandas de transmisión: 5 en "v" con tamaño c-96 y modificado c-90.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN

2014

Las cribas se encuentran instaladas en la descarga de los alimentadores de las tolvas de compensación del área de cribado fino.

Los finos que pasan por las cribas que están a $-\frac{1}{2}$ " son descargados directamente a las bandas 10a y 10b.

Los gruesos son descargados a las bandas 7a y 7b para ser transportados hasta los trippers 7 para alimentar a las quebradoras terciarias.

3. DATOS ACTUALES DEL PROCESO

Para poder determinar las condiciones de operación de los equipos instalados en el área de trituration fina, se llevaron a cabo muestreos sobre las bandas donde descargan dichos equipos con el objetivo de obtener la distribución granulométrica del producto de cada uno de los equipos.

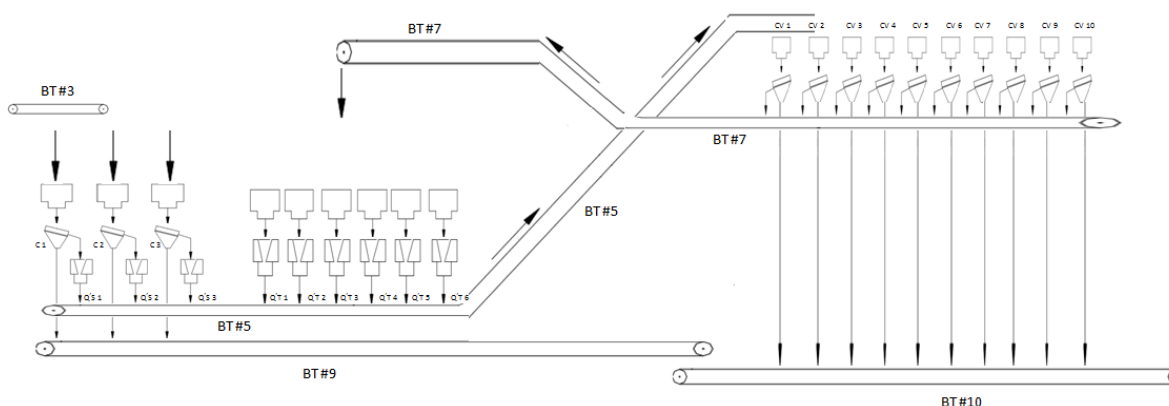


FIG. 3.1 Diagrama completo de trituration fina

Los equipos que fueron muestreados se encuentran operando en el lado A y son los siguientes:

- Descarga de la criba de alimentación a quebradora secundaria # 1
- Descarga de la criba de alimentación a quebradora secundaria # 2
- Descarga de la criba de alimentación a quebradora secundaria # 3
- Descarga de la quebradora secundaria # 1
- Descarga de la quebradora secundaria # 2
- Descarga de la quebradora secundaria # 3
- Descarga de la quebradora terciaria # 1
- Descarga de la quebradora terciaria # 2
- Descarga de la quebradora terciaria # 3
- Descarga de la quebradora terciaria # 4
- Descarga de la quebradora terciaria # 5
- Descarga de la quebradora terciaria # 11

Estos muestreos se realizaron con el objetivo de comparar el P_{80} obtenido de los muestreos con el P_{80} al que deben descargar los respectivos equipos muestreados como se muestra en la siguiente tabla para determinar cuáles equipos están descargando al tamaño correcto y cuáles no, para posteriormente analizarlos y determinar las causas del por qué tienen ese comportamiento.

EQUIPOS	P_{80} al que debería descargar el producto
Cribas de alimentación a quebradoras secundarias	12.700 mm (12,700 micras) (1/2")
Quebradoras secundarias	63.500 mm (63,500 micras) (2 1/2")
Quebradoras terciarias	12.700 mm (12,700 micras) (1/2")

Tabla 3.1 P_{80} requerido para los equipos instalados

3.1 DESCARGA DE LAS CRIBAS DE ALIMENTACIÓN A QUEBRADORAS SECUNDARIAS

Las cribas de alimentación a quebradoras secundarias tienen una abertura de 1/2" en la malla de la cama inferior, por esta razón a - 1/2" debe ser el tamaño máximo de las partículas que descarguen estas cribas.

La descarga de las cribas se realiza directamente en la banda 9a, por lo que ahí se realizaron los muestreos de cada criba.

El muestreo de cada criba se realizó de la siguiente manera:

1. Dejar fuera de operación las 2 cribas restantes y sólo en operación la criba de interés.
2. Esperar 10 minutos para que en la banda 9a sólo se tenga mineral de la criba de interés.
3. Parar la banda con las respectivas medidas de seguridad.
4. Cortar 1 metro lineal de muestra y colocarlo en cubetas previamente etiquetadas.
5. Colocar las cubetas con la muestra en la unidad y transportarlas a laboratorio para trabajar con ellas.

El mismo proceso anterior se realizó para llevar a cabo el muestreo de cada una de las 3 cribas.

Una vez que las muestras se tuvieron en el laboratorio se procedió a cribarlas empleando las mallas de 3", 1 ½", 1", ¾", ½" y finos para después trabajar con los finos obtenidos previamente, en el "Rotap" para obtener la cantidad de material que se encuentra entre las mallas de 3/8", ¼", 4M, 6M, 8M, 10M y – 10M.

Se obtuvieron los siguientes análisis granulométricos:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA DESCARGA DE FINOS DE CRIBAS EN QUEBRADORA SECUNDARIA 01 (banda 9a)

Fecha de muestreo: sábado 26 de julio del 2014

Peso total de muestra: 8.80 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
¾"	19,050	0	0.00	100.00
½"	12,700	0.25	2.84	97.16
3/8"	9,520	0.85	9.66	87.50
¼"	6,350	1.30	14.77	72.73
M4	4,760	0.80	9.09	63.64
M6	3,360	0.75	8.52	55.11
M8	2,380	0.05	0.57	54.55
M10	1,860	1.05	11.93	42.61
M-10	1,860	3.75	42.61	0.00
TOTAL		8.80	100.00	

TABLA 3.2 Granulometría de la descarga de la criba 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE FINOS DE CRIBAS EN QUEBRADORA
SECUNDARIA 02 (banda 9a)

Fecha de muestreo: sábado 26 de julio del 2014

Peso total de muestra: 6.55 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
¾"	19,050	0	0.00	100.00
½"	12,700	0.20	3.08	96.92
3/8"	9,520	0.75	11.54	85.38
¼"	6,350	1.00	15.38	70.00
M4	4,760	0.50	7.69	62.31
M6	3,360	0.60	9.23	53.08
M8	2,380	0.15	2.31	50.77
M10	1,860	0.55	8.46	42.31
M-10	1,860	2.75	42.31	0.00
TOTAL		6.50	100.00	

TABLA 3.3 Granulometría de la descarga de la criba 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE FINOS DE CRIBAS EN QUEBRADORA
SECUNDARIA 03 (banda 9a)

Fecha de muestreo: sábado 26 de julio del 2014

Peso total de muestra: 8.50 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
¾"	19,050	0	0.00	100.00
½"	12,700	0.35	4.12	95.88
3/8"	9,520	0.80	9.41	86.47
¼"	6,350	1.15	13.53	72.94

M4	4,760	0.70	8.24	64.71
M6	3,360	0.80	9.41	55.29
M8	2,380	0.35	4.12	51.18
M10	1,860	0.65	7.65	43.53
M-10	1,860	3.70	43.53	0.00
TOTAL		8.50	100.00	

TABLA 3.4 Granulometría de la descarga de la criba 3

Con lo anterior, ahora es posible obtener el P_{80} de cada una de las cribas muestreadas para saber si están descargando al tamaño de partícula que se desea.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MUESTREO DE CRIBAS DE ALIMENTACIÓN A QUEBRADORAS SECUNDARIAS

Analizando las granulometrías antes mostradas es posible llegar a los siguientes resultados:

	CRIBA QS 01	CRIBA QS 02	CRIBA QS 03
P_{80}	7,824 micras (-3/8")	8,336 micras (-3/8")	7,911 micras (-3/8")
% retenido 1/2"	2.8 %	3.1 %	4.1 %
% pasando 1/2"	97.2 %	96.9 %	95.9 %
+ 3/4	0	0	0
-3/4	8,800	6,500	8,500
TOTAL DE MUESTRA	8,800	6,500	8,500

TABLA 3.5 Granulometría de la descarga de las cribas de alimentación a quebradoras secundarias

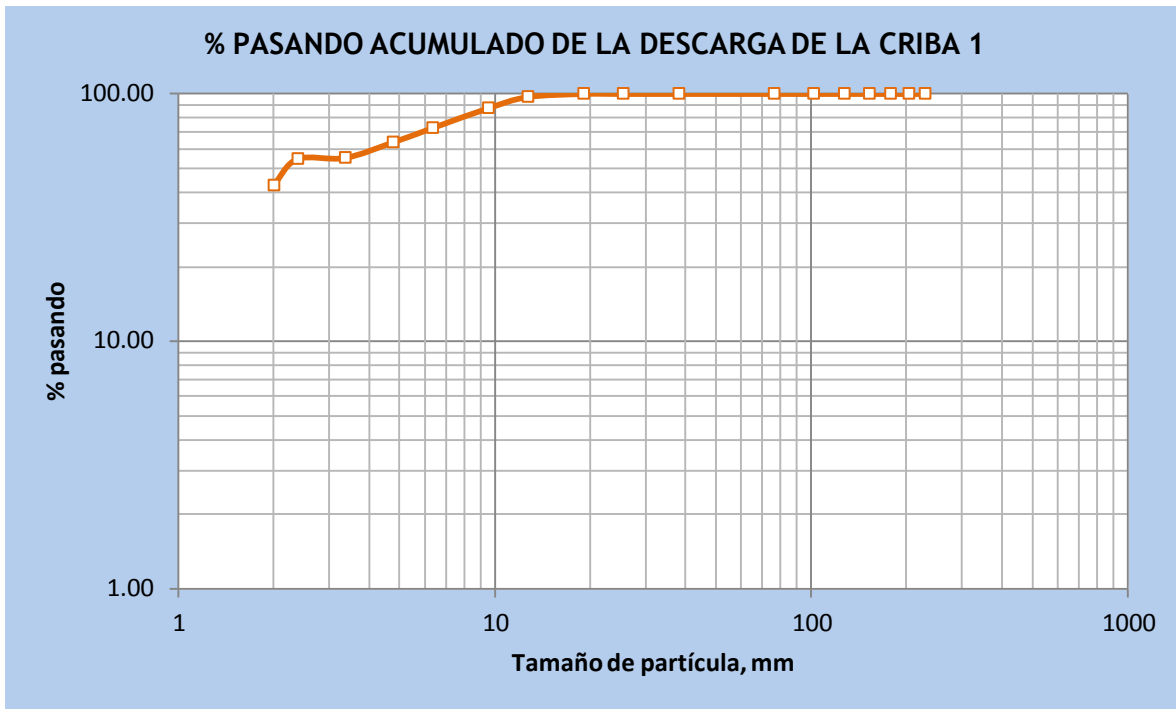


FIG. 3.2 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la criba 1

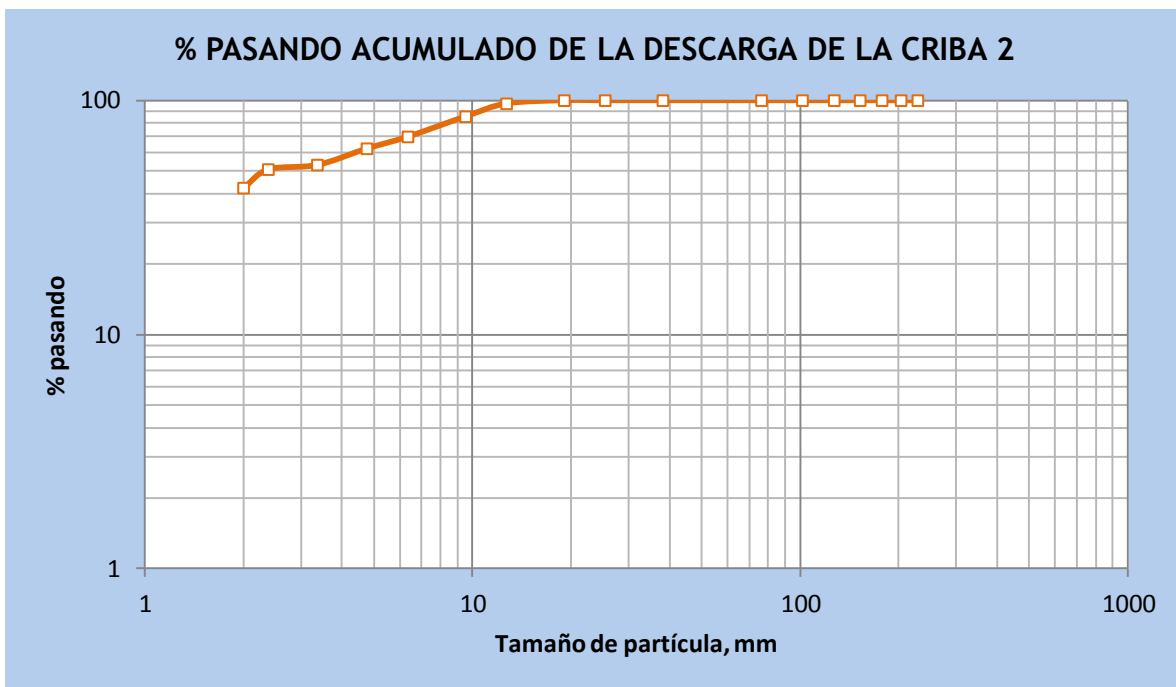


FIG. 3.3 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la criba 2

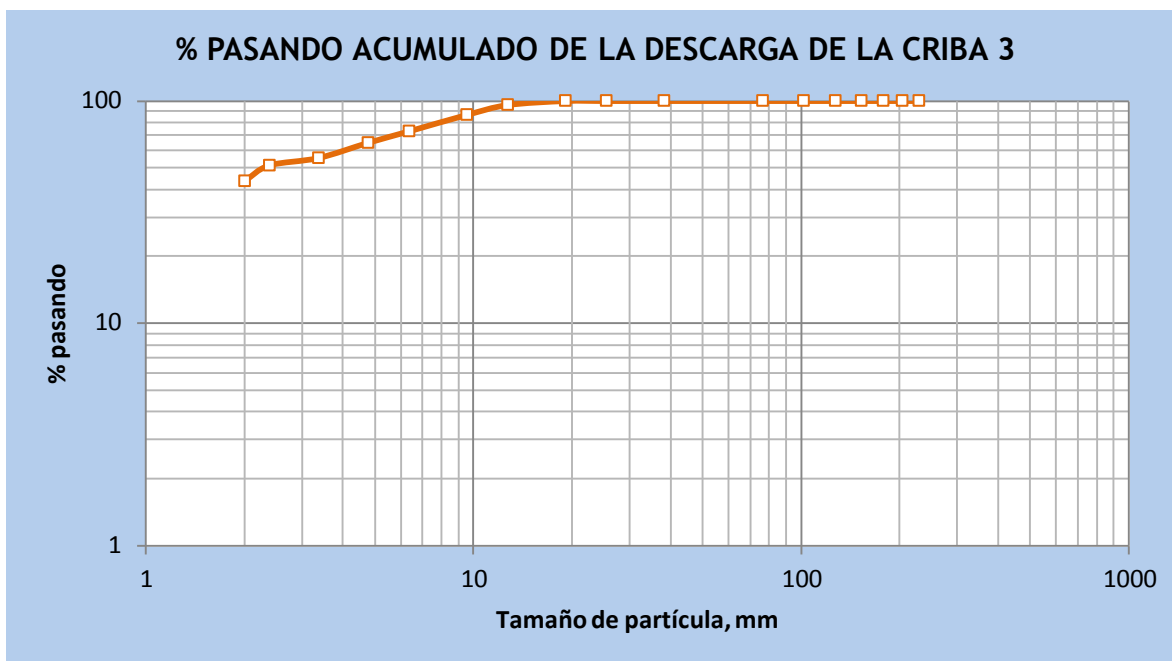


FIG. 3.4 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la criba 3

MALLA	% PASANDO CRIBA 1	% PASANDO CRIBA 2	% PASANDO CRIBA 3
¾"	100.00	100.00	100.00
½"	97.16	96.92	95.88
3/8"	87.50	85.38	86.47
¼"	72.73	70.00	72.94
4M	63.64	62.31	64.71
6M	55.11	53.08	55.29
8M	54.55	50.77	51.18
10M	42.61	42.31	43.53
-10M	0.00	0.00	0.00

TABLA 3.6 % pasando acumulado de las cribas de alimentación a las quebradoras secundarias

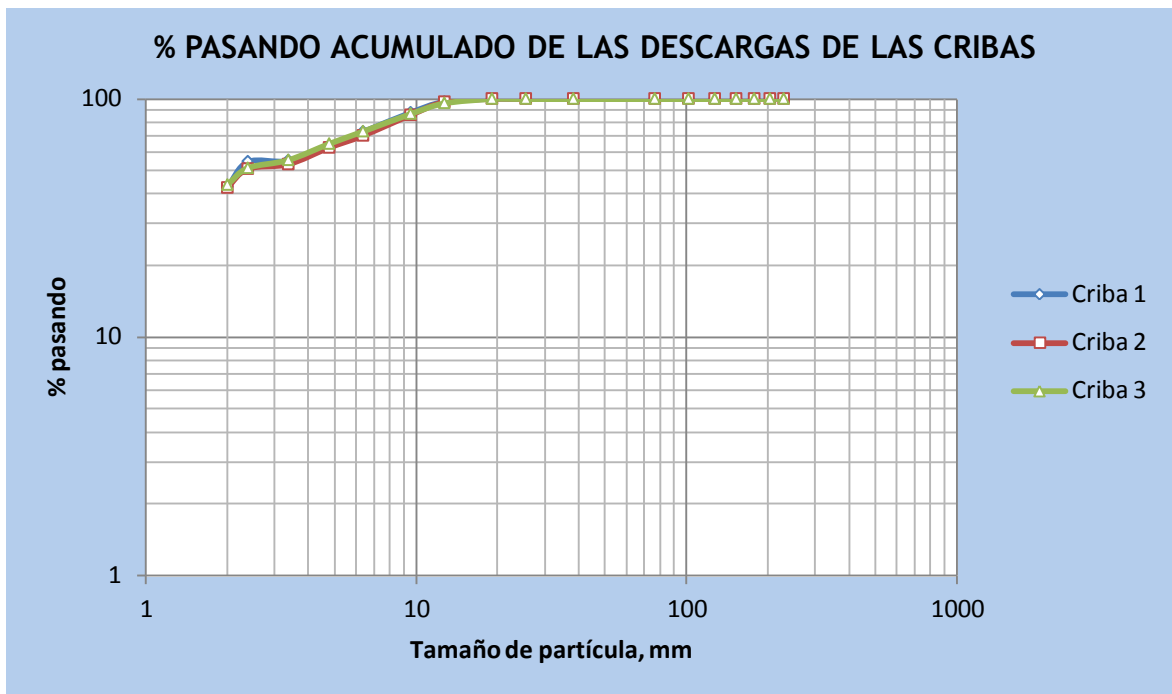


FIG. 3.5 Gráfica de % pasando acumulado de las descargas de las cribas de alimentación a quebradoras secundarias

Como se puede observar, el P_{80} de las cribas de alimentación a quebradoras secundarias se encuentra a un tamaño de 7.824 mm ó 7,824 micras que es un tamaño que se encuentra por debajo de la malla 3/8" por lo que el 80% de la carga que se está descargando de la criba se encuentra en este rango de tamaños.

Con esta información se puede determinar que las tres cribas están descargando un producto con un P_{80} adecuado ya que no se encontraron partículas con un tamaño mayor a 1/2".

El mineral que se encuentra a un tamaño mayor a 1/2", será alimentado directamente a la quebradora secundaria. En esta área no es posible realizar muestreos para obtener los datos experimentales y calcular el valor del F_{80} además de que no es un muestreo necesario para objeto de esta tesis, ya que únicamente interesa analizar las descargas de los equipos involucrados.

3.2 DESCARGA DE LAS QUEBRADORAS SECUNDARIAS

Las quebradoras secundarias deben descargar un producto a un tamaño de 2 ½" o menor debido a que el tamaño de admisión de alimentación a las quebradoras terciarias es de máximo 3" por diseño de las quebradora terciarias.

La descarga de las quebradoras secundarias se realiza directamente en la banda 5a al igual que las quebradoras terciarias, por lo que en esa banda se realizaron los muestreos de cada quebradora secundaria de la siguiente manera:

1. Dejar fuera de operación las 2 quebradoras secundarias restantes y las 6 quebradoras terciarias y sólo en operación la quebradora secundaria de interés.
2. Esperar 10 minutos para estabilizar el circuito y que en la banda 5a sólo se tenga mineral de la quebradora secundaria de interés.
3. Parar la banda con las respectivas medidas de seguridad.
4. Cortar 1 metro lineal de muestra y colocarlo en cubetas previamente etiquetadas.
5. Colocar las cubetas con la muestra en la unidad y transportarlas a laboratorio para trabajar con ellas.

El mismo proceso anterior se realizó para llevar a cabo el muestreo de cada una de las 2 quebradoras secundarias.

Una vez que las muestras se tuvieron en el laboratorio se procedió a cribarlas empleando las mallas de 3", 1 ½", 1", ¾", ½" y finos para después trabajar con los finos obtenidos previamente, en el "Rotap" para obtener la cantidad de material que se encuentra entre las mallas de 3/8", ¼", 4M, 6M, 8M, 10M y -10M.

Se obtuvieron los siguientes análisis granulométricos:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA SECUNDARIA 01 (banda 5a)

Fecha de muestreo: sábado 26 de julio del 2014

Peso total de muestra: 45.7 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0	0.00	100.00
1 ½"	38,100	5.00	10.94	89.06
1"	25,400	12.45	27.24	61.82
¾"	19,050	6.35	13.89	47.92
½"	12,700	8.90	19.47	28.45
3/8"	9,520	2.15	4.70	23.74
¼"	6,350	2.80	6.13	17.61
M4	4,760	1.20	2.63	14.99
M6	3,360	1.15	2.52	12.47
M8	2,380	0.85	1.86	10.61
M10	1,860	0.35	0.77	9.85
M-10	1,860	4.50	9.85	0.00
TOTAL		45.7	100.00	

TABLA 3.7 % Granulometría de la descarga de la quebradora secundaria 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA SECUNDARIA 02 (banda 5a)

Fecha de muestreo: sábado 26 de julio del 2014

Peso total de muestra: 47.45 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38,100	5.35	11.28	88.72
1"	25,400	12.70	26.77	61.96
¾"	19,050	7.80	16.44	45.52

½"	12,700	8.00	16.86	28.66
3/8"	9,520	2.05	4.32	24.34
¼"	6,350	2.95	6.22	18.12
M4	4,760	1.40	2.95	15.17
M6	3,360	1.35	2.85	12.33
M8	2,380	1.05	2.21	10.12
M10	1,860	0.40	0.84	9.27
M-10	1,860	4.40	9.27	0.00
TOTAL		47.45	100.00	

TABLA 3.8 % Granulometría de la descarga de la quebradora secundaria 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA SECUNDARIA 03 (banda 5a)

Fecha de muestreo: sábado 26 de julio del 2014

Peso total de muestra: 65.60 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0	0.00	100.00
1 ½"	38,100	8.10	12.37	87.63
1"	25,400	16.70	25.50	62.14
¾"	19,050	8.00	12.21	49.92
½"	12,700	10.70	16.34	33.59
3/8"	9,520	3.70	5.65	27.94
¼"	6,350	4.70	7.18	20.76
M4	4,760	2.15	3.28	17.48
M6	3,360	2.15	3.28	14.20
M8	2,380	1.10	1.68	12.52
M10	1,860	1.15	1.76	10.76
M-10	1,860	7.05	10.76	0.00
TOTAL		65.50	100.00	

TABLA 3.9 Granulometría de la descarga de la quebradora secundaria 3

Con lo anterior, ahora es posible obtener el P₈₀ de cada una de las quebradoras secundarias muestreadas para saber si están descargando al tamaño de partícula que se desea.

Los muestreos se realizaron con diferentes parámetros de operación en cada quebradora secundaria para poder observar el comportamiento que se tiene en la descarga del producto y la variabilidad tanto de los parámetros de las quebradoras como del producto.

El parámetro de operación que se decidió variar fue la abertura, trabajando cada quebradora a una abertura diferente como se muestra en la tabla siguiente. Con la variación de la abertura, también se modifican directamente otros parámetros de las quebradoras como son el amperaje y la velocidad del alimentador.

El amperaje se modifica según el esfuerzo que se esté generando en las quebradoras y depende de la abertura con la que se esté trabajando y la cantidad de mineral que se le esté alimentando a las quebradoras.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MUESTREO DE QUEBRADORAS SECUNDARIAS

	QS 01	QS 02	QS 03
Abertura	28 mm	32 mm	30 mm
Amperaje	54	63	68
Horas Operadas	685	302	511
Marca	METSO MP 800	METSO MP 800	METSO MP 800
P₈₀	33,821 micras (-1 ½")	33,897 micras (-1 ½")	34,217 micras (-1 ½")
% retenido ½"	71.6 %	71.3 %	66.4 %
% pasando ½"	28.4 %	28.7 %	33.6 %

TABLA 3.10 Parámetros de operación y % pasando acumulado de las quebradoras secundarias

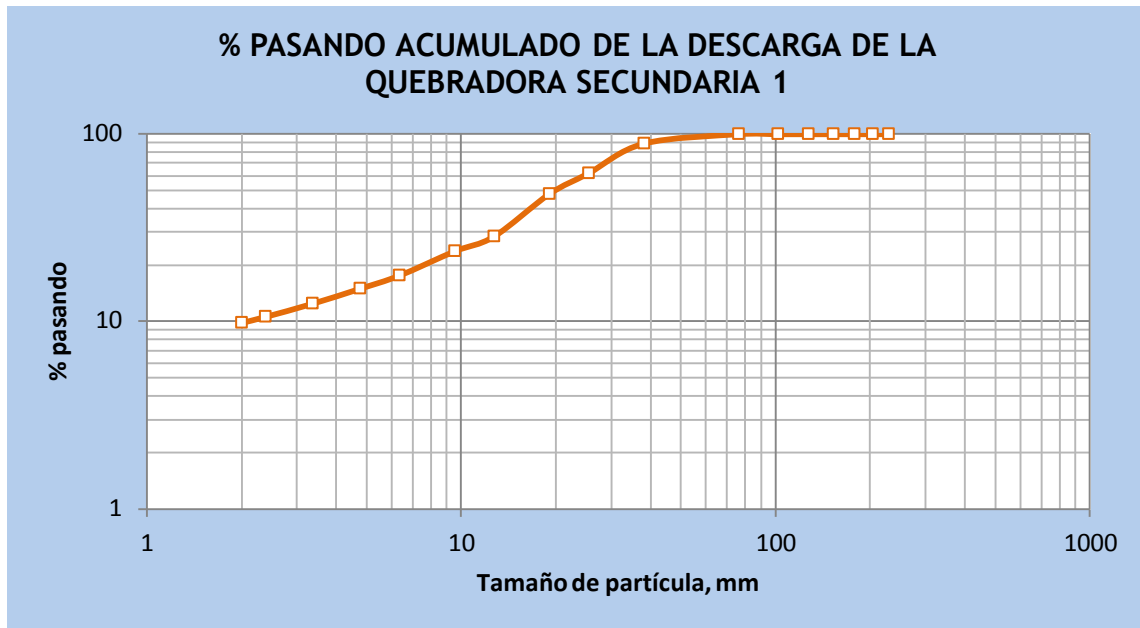


Fig. 3.6 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora secundaria 1

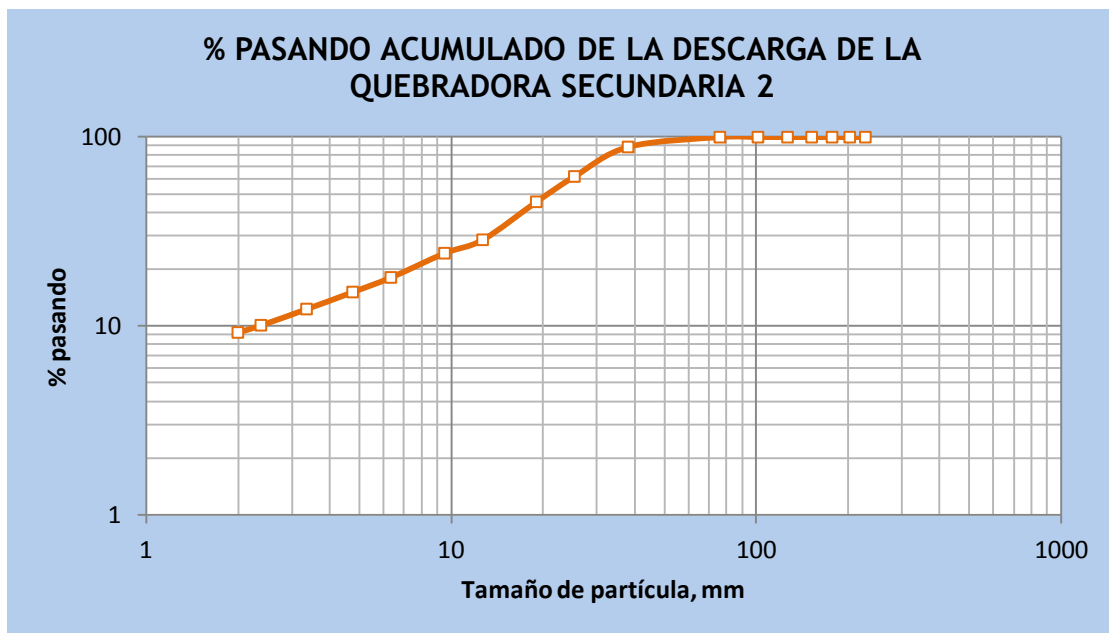


Fig. 3.7 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora secundaria 2

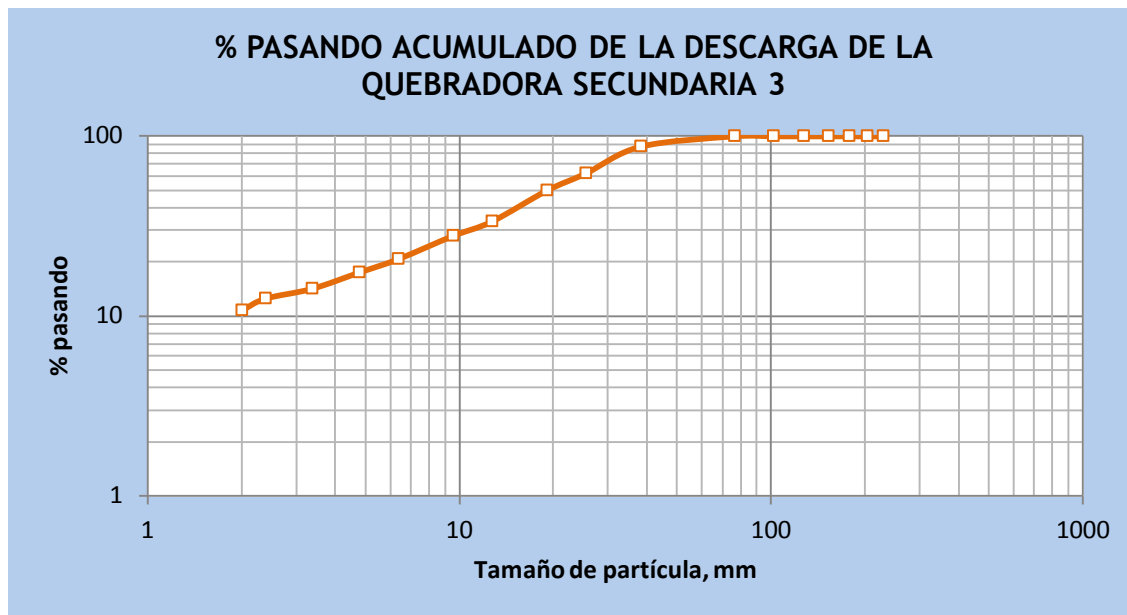


Fig. 3.8 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora secundaria 3

MALLAS	% pasando QS 1	% pasando QS 2	% pasando QS 3
3	100.00	100.00	100.00
1 ½"	89.06	88.72	87.63
1"	61.82	61.96	62.14
¾"	47.92	45.52	49.92
½"	28.45	28.66	33.59
3/8"	23.74	24.34	27.94
¼"	17.61	18.12	20.76
4M	14.99	15.17	17.48
6M	12.47	12.33	14.20
8M	10.61	10.12	12.52
10M	9.85	9.27	10.76
-10M	0.00	0.00	0.00

TABLA 3.11 % pasando acumulado de la descarga de las quebradoras secundarias

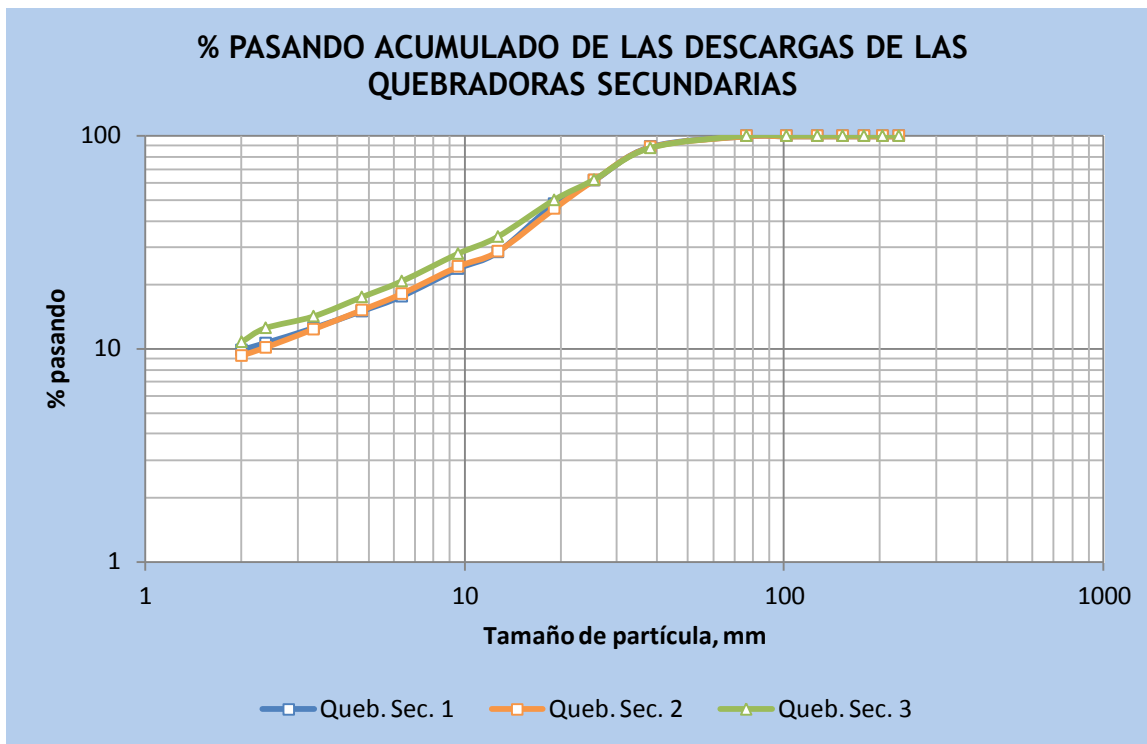


Fig. 3.9 Gráfica de % pasando acumulado de las descargas de las quebradoras secundarias

Con estos resultados es posible llegar a la conclusión de que cuando se tiene un CSS cerrado en las quebradoras secundarias, la velocidad del alimentador debe disminuir para que la quebradora tenga el tiempo suficiente para triturar el mineral de manera óptima. Es por esto que en los resultados de la QS 01 que es la que tiene la abertura menor de 28 mm, la velocidad del alimentador disminuyó a 30, por lo que la carga que se alimenta a la quebradora durante el tiempo que esté operando con estos parámetros va a disminuir, razón por la cual el amperaje también disminuye.

La QS 01, durante el muestreo, operó con una abertura de 28 mm (1.1”), con un amperaje de 54, los cuales son parámetros recomendados para este tipo de quebradoras (Fuente: Metso MP800) pero sacrificando producción ya que la velocidad del alimentador es menor que las velocidades de los alimentadores de las otras dos quebradoras.

Las velocidades de los alimentadores de las QS 02 y 03 durante el muestreo fueron las mismas, de 45, variando la abertura en cada quebradora y por lo tanto también hubo variación en el amperaje. Al tener la misma velocidad en los alimentadores de cada quebradora, se está alimentando a las dos quebradoras la misma cantidad de carga por lo que resulta interesante ver el comportamiento de cada una de ellas con distinta abertura.

La QS 03 operó con un CSS de 30 mm y con un amperaje de 68, mientras que la QS 02 operó con un CSS de 32 mm y con un amperaje de 63.

Estos resultados reflejan que al aumentar el CSS, el amperaje disminuye ya que la quebradora está operando dentro de parámetros que no generan un sobre esfuerzo.

Como conclusión se tiene que al cerrar el CSS de una quebradora secundaria será conveniente disminuir la velocidad del alimentador, ya que si se alimenta mayor tonelaje al de admisión según la abertura que se tenga, la quebradora operará con mayor esfuerzo al estar triturando mayor carga a un menor tamaño, aumentando el amperaje pudiendo crear problemas mecánicos o eléctricos.

Para efecto de este muestreo, las tres quebradoras secundarias a pesar de utilizar distintos parámetros de operación (abertura, amperaje, velocidad del alimentador y horas operadas) tienen un P_{80} similar, la QS 1 de 33,821 micras, la QS 2 de 33,897 micras y la QS 3 de 34,217 micras, por lo que estas quebradoras están descargando un producto con la distribución granulométrica conveniente para alimentar a las quebradoras terciarias.

3.3 DESCARGA DE QUEBRADORAS TERCIARIAS

Las quebradoras terciarias deben descargar un producto con un P_{80} menor a $\frac{1}{2}$ " ya que la descarga de estas quebradoras va a ser transportada por la banda 5 al área de cribado fino, de donde la descarga de finos de dichas cribas irán directamente al almacén de finos como alimentación a molinos.

Los muestreos de cada quebradora terciaria se realizaron de la siguiente manera:

1. Dejar fuera de operación las 5 quebradoras terciarias restantes y sólo en operación la quebradora terciaria de interés.
2. Esperar 10 minutos para estabilizar el circuito y que en la banda 5a sólo se tenga mineral de la quebradora terciaria de interés.
3. Parar la banda con las respectivas medidas de seguridad.
4. Cortar 1 metro lineal de muestra y colocarlo en cubetas previamente etiquetadas.
5. Colocar las cubetas con la muestra en la unidad y transportarlas a laboratorio para trabajar con ellas.

El mismo proceso anterior se realizó para llevar a cabo el muestreo de cada una de las 6 quebradoras terciarias.

Una vez que las muestras se tuvieron en el laboratorio se procedió a cribarlas empleando las mallas de 3", 1 ½", 1", ¾", ½" y finos para después trabajar con los finos obtenidos previamente, en el "Rotap" para obtener la cantidad de material que se encuentra entre las mallas de 3/8", ¼", 4M, 6M, 8M, 10M y – 10M.

Se obtuvieron los siguientes análisis granulométricos:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 01 (banda 5a)

Fecha de muestreo: sábado 05 de julio del 2014

Peso total de muestra: 84.55 kg

MALLA	ABERTURA (Micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0	0.00	100.00
1 ½"	38,100	1.00	1.19	98.81
1"	25,400	10.30	12.23	86.59
¾"	19,050	14.95	17.74	68.84
½"	12,700	30.80	36.56	32.28
3/8"	9,520	7.55	8.96	23.32
¼"	6,350	6.50	7.72	15.61
M4	4,760	2.75	3.26	12.34
M6	3,360	2.10	2.49	9.85
M8	2,380	1.55	1.84	8.01
M10	1,860	0.65	0.77	7.24
M-10	1,860	6.10	7.24	0.00
TOTAL		84.25	100.00	

TABLA 3.11 % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 02 (banda 5a)

Fecha de muestreo: sábado 05 de julio del 2014

Peso total de muestra: 59.00 kg

MALLA	ABERTURA (Micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38,100	0.10	0.17	99.83
1"	25,400	6.50	11.04	88.79
¾"	19,050	10.60	18.00	70.80
½"	12,700	21.25	36.08	34.72
3/8"	9,520	5.65	9.59	25.13
¼"	6,350	5.40	9.17	15.96
M4	4,760	2.15	3.65	12.31
M6	3,360	1.60	2.72	9.59
M8	2,380	1.20	2.04	7.56
M10	1,860	0.45	0.76	6.79
M-10	1,860	4.00	6.79	0.00
TOTAL		58.90	100.00	

TABLA 3.12 % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 03 (banda 5a)

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 68.00 kg

MALLA	ABERTURA (Micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38,100	0.70	1.03	98.97
1"	25,400	8.40	12.35	86.62
¾"	19,050	12.95	19.04	67.57
½"	12,700	23.70	34.85	32.72
3/8"	9,520	6.95	10.22	22.50
¼"	6,350	5.60	8.24	14.26
M4	4,760	2.20	3.24	11.03
M6	3,360	1.60	2.35	8.68
M8	2,380	1.20	1.76	6.91
M10	1,860	0.40	0.59	6.32
M-10	1,860	4.30	6.32	0.00
TOTAL		68.00	100.00	

TABLA 3.13 % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 04 (banda 5a)

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 58.50 kg

MALLA	ABERTURA (Micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38,100	1.00	1.71	98.29
1"	25,400	7.85	13.42	84.87
¾"	19,050	11.85	20.26	64.62
½"	12,700	18.75	32.05	32.56
3/8"	9,520	5.20	8.89	23.68

¼"	6,350	4.65	7.95	15.73
M4	4,760	2.00	3.42	12.31
M6	3,360	1.55	2.65	9.66
M8	2,380	1.20	2.05	7.61
M10	1,860	0.45	0.77	6.84
M-10	1,860	4.00	6.84	0.00
TOTAL		58.50		

TABLA 3.14 % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 05 (banda 5a)

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 36.55 kgF

MALLA	ABERTURA (Micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0	0.00	100.00
1 ½"	38,100	0.10	0.27	99.73
1"	25,400	0.50	1.37	98.36
¾"	19,050	3.35	9.17	89.19
½"	12,700	16.60	45.42	43.78
3/8"	9,520	4.10	11.22	32.56
¼"	6,350	4.00	10.94	21.61
M4	4,760	1.70	4.65	16.96
M6	3,360	1.25	3.42	13.54
M8	2,380	0.95	2.60	10.94
M10	1,860	0.35	0.96	9.99
M-10	1,860	3.65	9.99	0.00
TOTAL		36.55	100.00	

TABLA 3.15 % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 5

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 11 (banda 5a)

Fecha de muestreo: jueves 03 de julio del 2014

Peso total de muestra: 112.25 kg

MALLA	ABERTURA (Micrómetros)	PESO (kg)	PESO (gr)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0	0.00	100.00
1 ½"	38,100	1.65	1.47	98.53
1"	25,400	14.25	12.69	85.84
¾"	19,050	22.60	20.13	65.70
½"	12,700	38.20	34.03	31.67
3/8"	9,520	9.90	8.82	22.85
¼"	6,350	9.15	8.15	14.70
M4	4,760	3.70	3.30	11.40
M6	3,360	2.80	2.49	8.91
M8	2,380	2.05	1.83	7.08
M10	1,860	0.70	0.62	6.46
M-10	1,860	7.25	6.46	0.00
TOTAL		112.25	100.00	

TABLA 3.16 % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 6

Con las granulometrías antes mencionadas es posible crear la siguiente tabla con los distintos parámetros de las quebradoras al momento de realizar los muestreos.

	QT 01	QT 02	QT 03	QT 04	QT 05	QT 11
Abertura	40 mm	24 mm	28 mm	24 mm	16 mm	24 mm
Amperaje	48	37	42	43	38	39
Presión	493 lb	480 lb	480 lb	480 lb	500 lb	498 lb
Temperatura	46 °C	43 °C	44 °C	43 °C	43 °C	42 °C
Horas Operadas	1437.70	934.75	80.2	640.55	1673.88	614.19
Marca	ESCO rasurado	Columbia 2	Columbia 2	Columbia 2	Columbia 2	Columbia 2
P₈₀	23,000 micras (- 1")	17,703 micras (- ¾")	23,165 micras (-1")	23,864 micras (-1")	17,905 micras (- ¾")	23,547 micras (-1")
% retenido ½"	67.7	65.3	67.3	67.4	56.2	68.3
% pasando ½"	32.3	34.7	32.7	32.6	43.8	31.7

TABLA 3.17 Parámetros de operación y % pasando acumulado de la descarga de las quebradoras terciarias

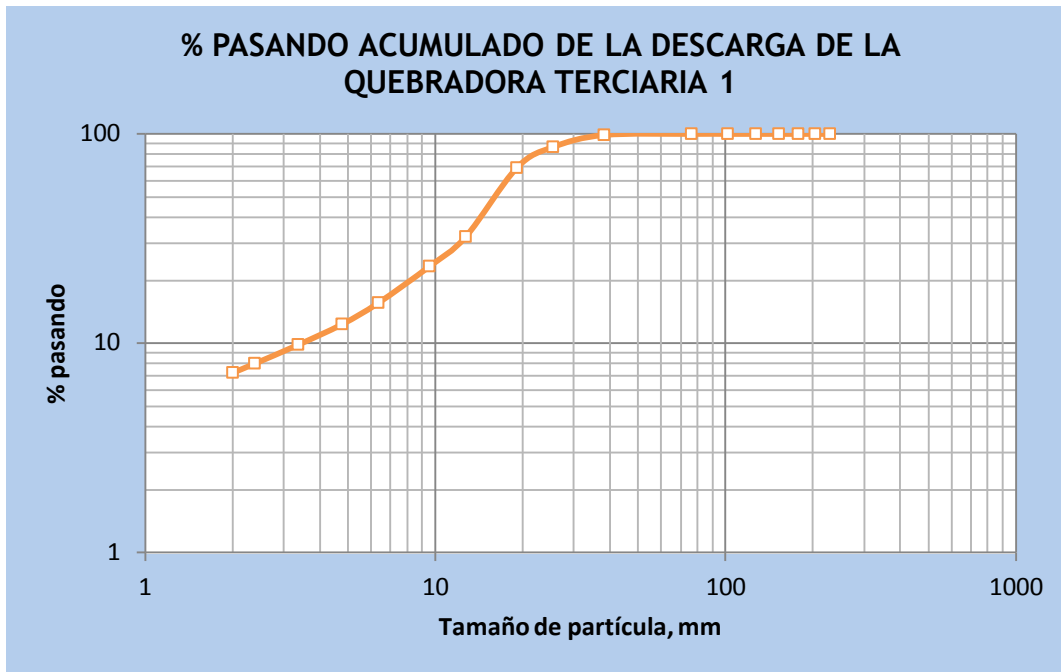


FIG. 3.10 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 1

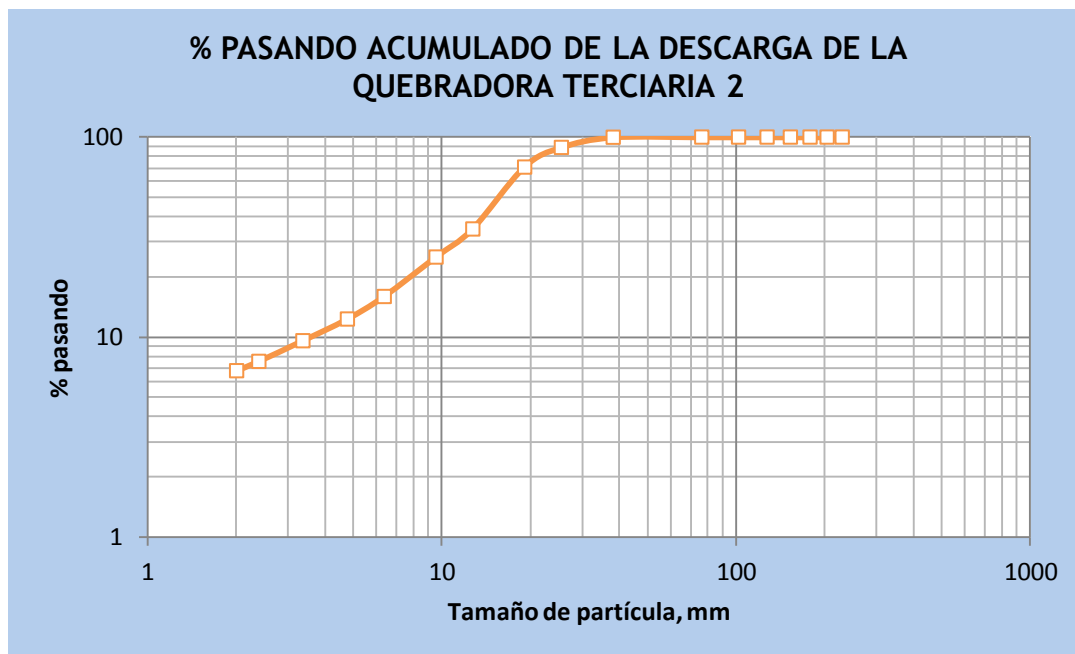


FIG. 3.11 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 2

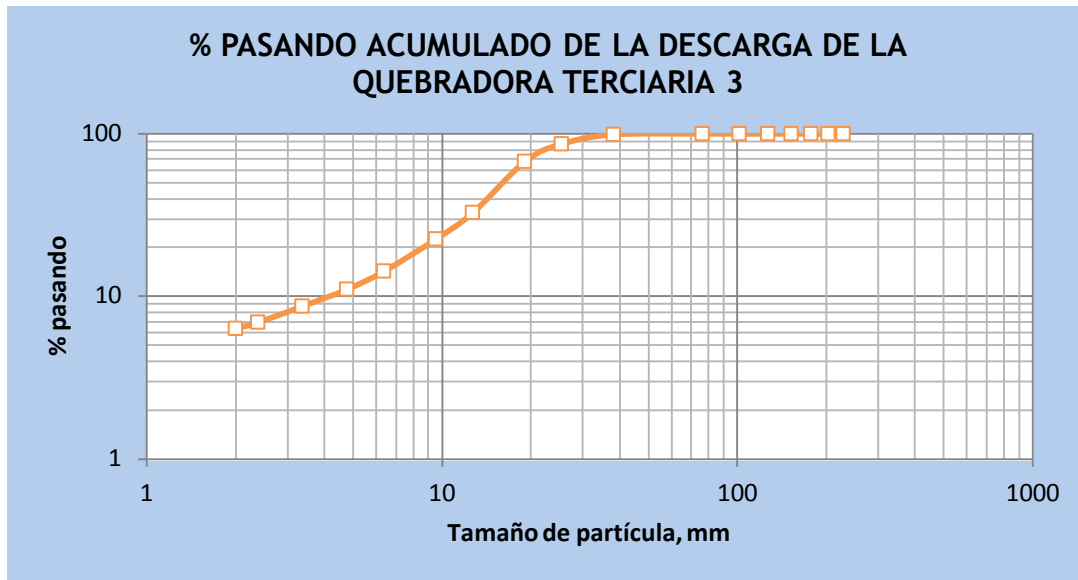


FIG. 3.12 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 3

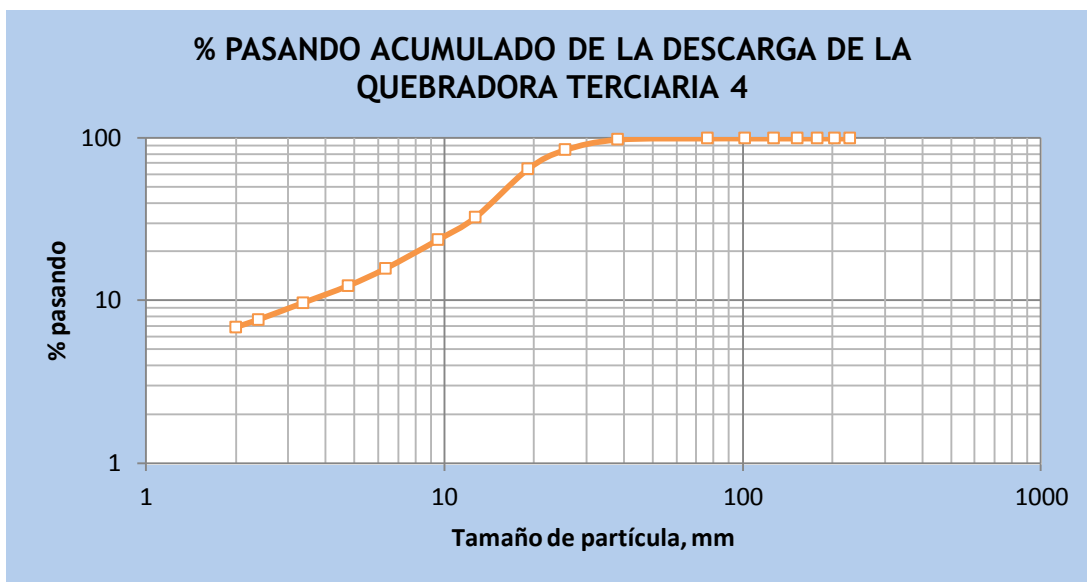


FIG. 3.13 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 4

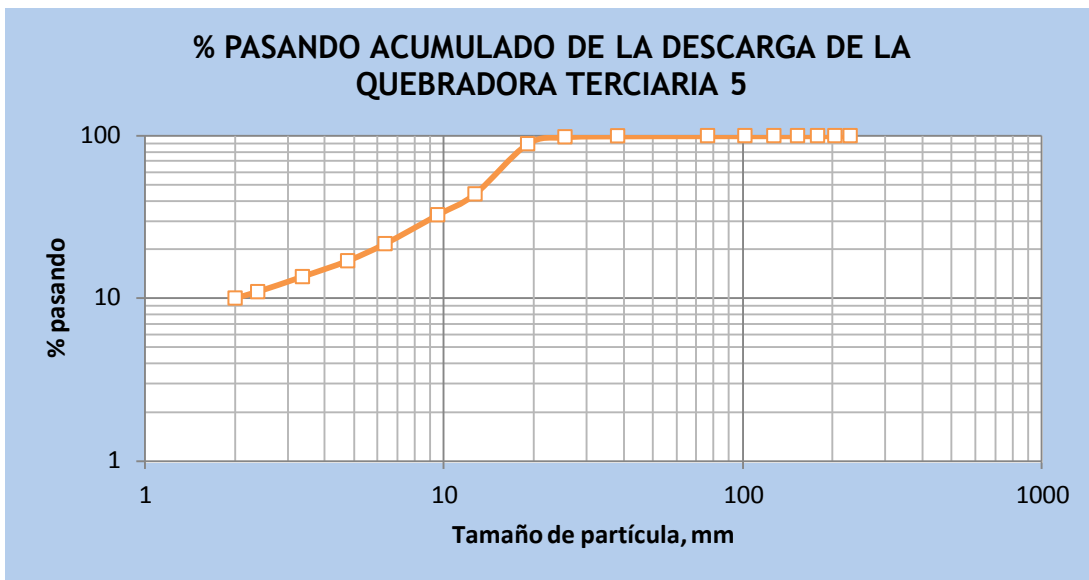


FIG. 3.14 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 5

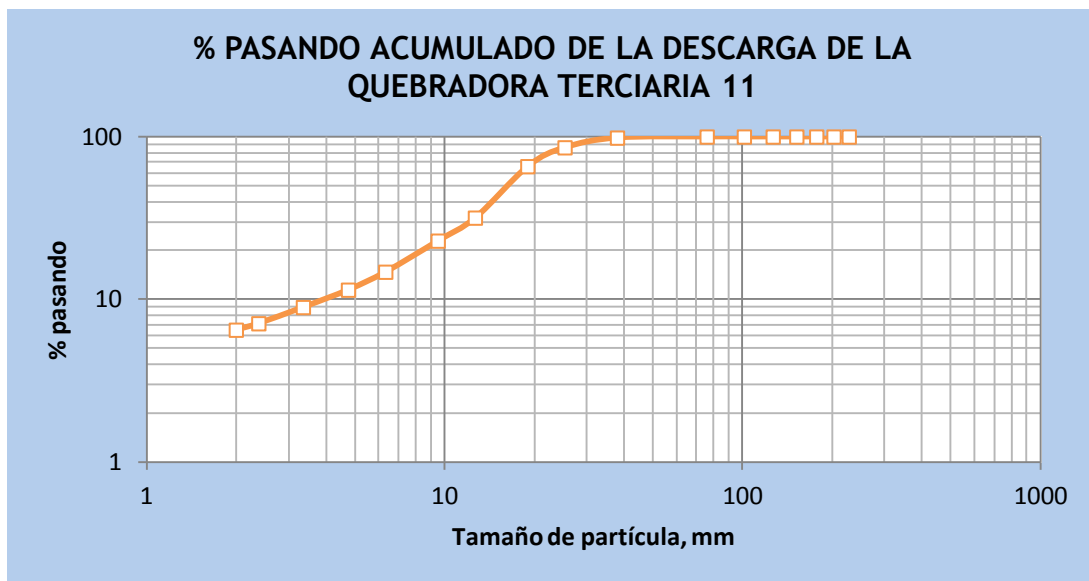


FIG. 3.15 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 6

% EN PESO PASANDO EN LAS DESCARGAS DE LAS QUEBRADORAS

MALLA	QT 01	QT 02	QT 3	QT 4	QT 5	QT 11
3"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1.5"	98.81	99.83	98.97	98.29	99.73	98.53
1"	86.59	88.79	86.62	84.87	98.36	85.84
¾"	68.84	70.80	67.57	64.62	89.19	65.70
½"	32.28	34.72	32.72	32.56	43.78	31.67
3/8"	23.32	25.13	22.50	23.68	32.56	22.85
¼"	15.61	15.96	14.26	15.73	21.61	14.70
4M	12.34	12.31	11.03	12.31	16.96	11.40
6M	9.85	9.59	8.68	9.66	13.54	8.91
8M	8.01	7.56	6.91	7.61	10.94	7.08
10M	7.24	6.79	6.32	6.84	9.99	6.46
-10M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 3.18 % pasando acumulado de la descarga de las quebradoras terciarias

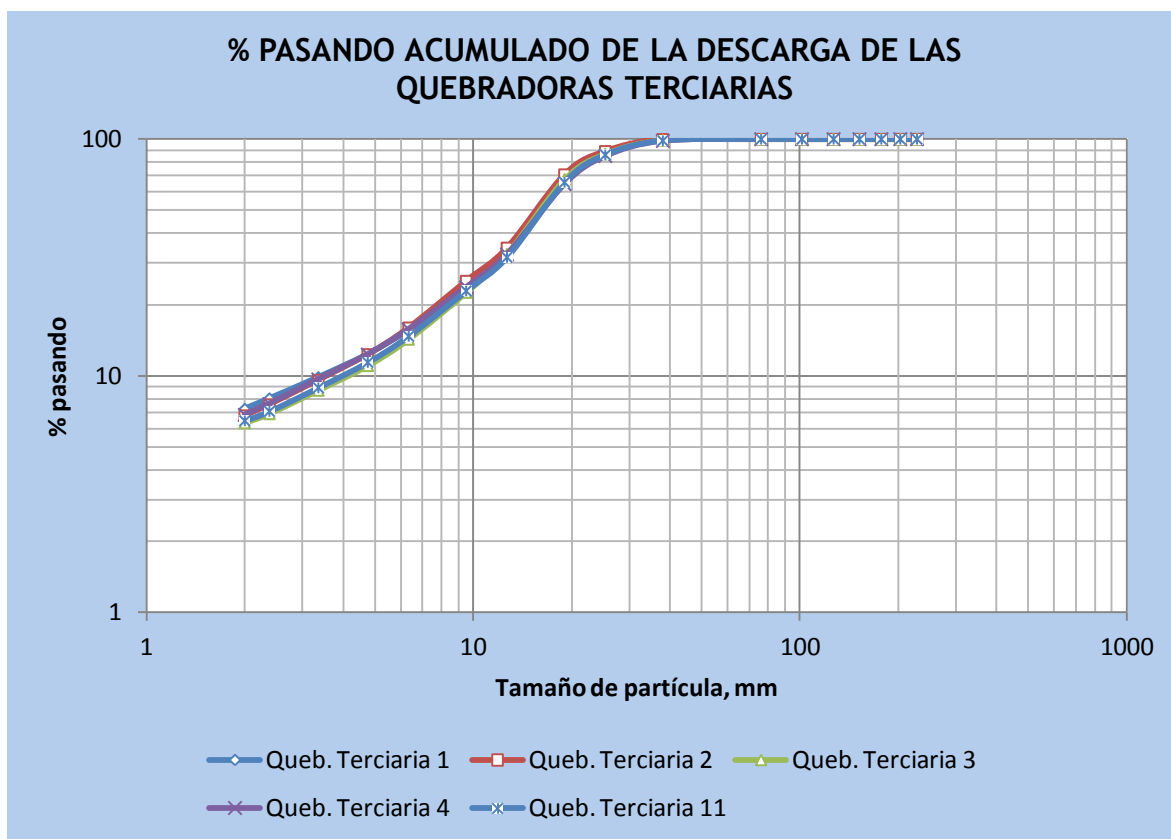


FIG. 3.16 Gráfica de % pasando acumulado de las descargas de las quebradoras terciarias

Los muestreos se realizaron utilizando distintos parámetros de operación en cada quebradora. Lo que se varió fue la abertura ya que de ésta depende el comportamiento de amperaje, de presión y temperatura de la quebradora.

Un producto adecuado de una quebradora terciaria debe tener un P_{80} a $- \frac{1}{2}''$ ya que este mineral será la alimentación a molinos, en donde el tamaño óptimo de partícula es de 4 % a $+ \frac{1}{2}''$.

En la tabla de resultados se observa que ninguna de las quebradoras terciarias cumple con el P_{80} óptimo, teniendo las quebradoras 1, 2, 3, 4 y 11 un P_{80} entre $-1''$ y $+ \frac{3}{4}''$ y la quebradora 5 un P_{80} entre $-3/4''$ y $+ \frac{1}{2}''$.

Con base en estos resultados, es posible determinar que las quebradoras terciarias no están cumpliendo con los requerimientos de granulometría en la descarga por lo que serán analizadas a detalle para determinar las causas del por qué no se tiene un P_{80} a $- \frac{1}{2}''$ relacionando la mayor cantidad de variables involucradas en la operación de las quebradoras mencionadas previamente.

4. ANÁLISIS DE QUEBRADORAS Terciarias

Para poder analizar las quebradoras terciarias, que en el capítulo anterior se determinó que actualmente estas quebradoras no están descargando el producto con la distribución granulométrica adecuada, se realizaron muestreos de la alimentación y de la descarga de cada una de las quebradoras terciarias.

En las quebradoras terciarias si es posible realizar dichos muestreos debido a que cada quebradora tiene su propia banda de alimentación, lo que no pasa en las quebradoras secundarias, donde la alimentación que viene de la banda 3a es distribuida en 3 tolvas de compensación y después en las cribas correspondientes, descargando directamente los gruesos a las quebradoras sin tener acceso para muestrear la alimentación de las quebradoras secundarias.

Los muestreos de las quebradoras terciarias se realizaron de la siguiente manera:

1. Cortar alimentación de las cinco quebradoras que no se van a muestrear, dejando la alimentación únicamente de la quebradora de interés.
2. Esperar entre 5 y 10 minutos para que se tenga en la banda 5, donde se realizará el muestreo de la descarga, únicamente mineral de la quebradora que se va a muestrear.
3. Parar la banda de alimentación (de cada quebradora) y la banda de descarga (banda 5) de la quebradora terciaria que se va a muestrear.
4. Cortar 1 metro lineal de muestra de la banda de alimentación y colocarla en cubetas previamente etiquetadas.
5. Cortar 1 metro lineal de muestra de la banda 5 y colocarla en cubetas previamente etiquetadas.
6. Transportar las muestras a laboratorio.

La realización de estos muestreos permitirá obtener la siguiente información:

- Distribución granulométrica de la alimentación y descarga de cada quebradora.
- F_{80} y P_{80}
- Comportamiento de los parámetros de operación en las quebradoras terciarias a distintos CSS en función del F_{80} y el P_{80} .
- Determinar la quebradora que descarga mayor y menor cantidad de finos.

4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DE LAS QUEBRADORAS TERCIARIAS.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTACIÓN DE QUEBRADORA TERCIARIA 01

Fecha de muestreo: sábado 05 de julio del 2014

Peso total de muestra: 150.56 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.000	100.00
1 ½"	38,100	3.650	2.42	97.58
1"	25,400	27.800	18.46	79.11
¾"	19,050	40.600	26.97	52.15
½"	12,700	69.200	45.96	6.18
3/8"	9,520	6.950	4.62	1.57
1/4"	6,350	1.200	0.80	0.77
4M	4,760	0.150	0.10	0.67
6M	3,360	0.050	0.03	0.64
8M	2,380	0.050	0.03	0.60
10M	1,860	0.010	0.01	0.60
-10M	1,860	0.900	0.60	0.00
Total		150.56	100	

Tabla 4.1 Granulometría de la alimentación a la quebradora terciaria 1

$$F_{80} = 25,954 \text{ micras } (-1 \frac{1}{2} ")$$

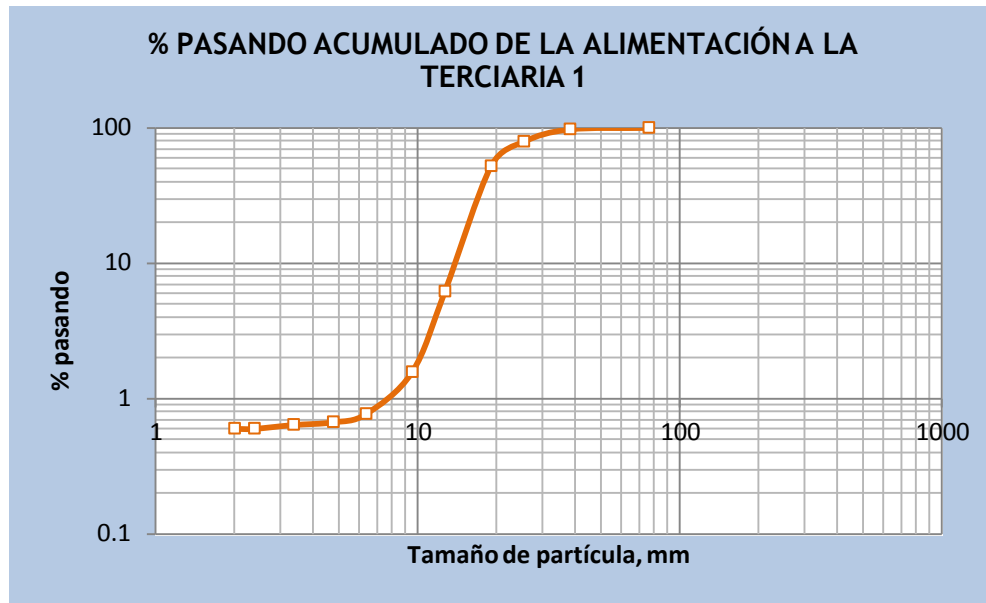


Fig. 4.1 Gráfica de % pasando acumulado de la alimentación a la quebradora terciaria 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 01

Fecha de muestreo: sábado 05 de julio del 2014

Peso total de muestra: 84.25 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38,100	1.00	1.19	98.81
1"	25,400	10.300	12.23	86.59
¾"	19,050	14.950	17.74	68.84
½"	12,700	30.800	36.56	32.28
3/8"	9,520	7.550	8.96	23.32
1/4"	6,350	6.500	7.72	15.61
4M	4,760	2.750	3.26	12.34
6M	3,360	2.100	2.49	9.85
8M	2,380	1.550	1.84	8.01
10M	1,860	0.650	0.77	7.24
-10M	1,860	6.100	7.24	0.00
Total		84.25	100	

Tabla 4.2 Granulometría de la descarga de la quebradora terciaria 1

$P_{80} = 23,000 \text{ micras } (-1'')$

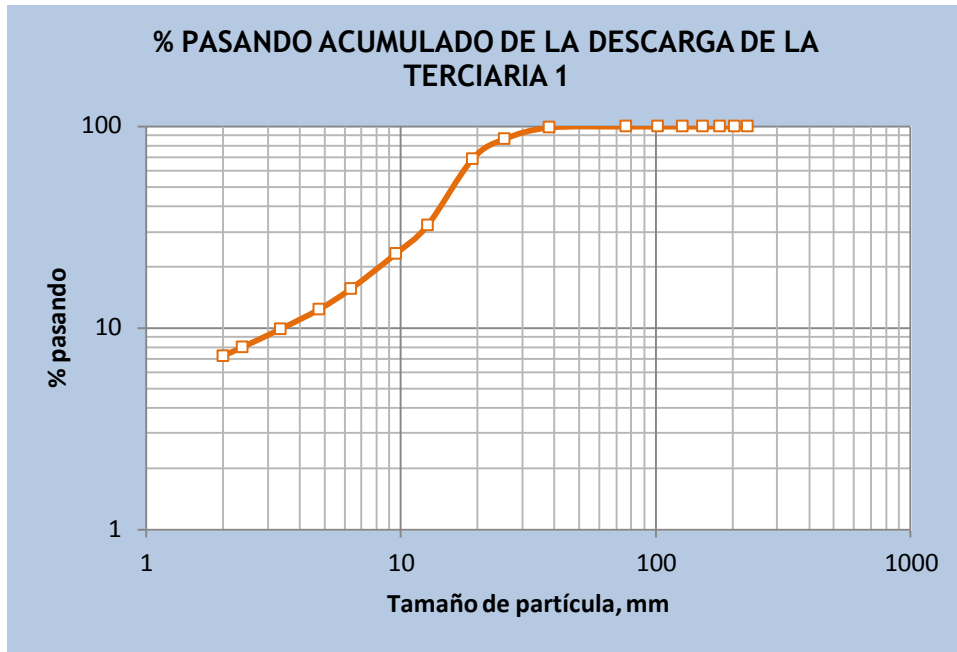


Fig. 4.2 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 1

$$\text{Relación de trituración: } RT = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

$$RT = \frac{25.62}{22.25} = 1.1514$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTACIÓN DE QUEBRADORA TERCIARIA 02

Fecha de muestreo: sábado 05 de julio del 2014

Peso total de muestra: 244.20 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.000	100.00
1 ½"	38,100	7.450	3.05	96.95
1"	25,400	50.800	20.80	76.15
¾"	19,050	66.500	27.23	48.91
½"	12,700	103.150	42.24	6.67
3/8"	9,520	9.950	4.07	2.60
1/4"	6,350	2.750	1.13	1.47
4M	4,760	1.700	0.70	0.78
6M	3,360	0.150	0.06	0.72
8M	2,380	0.100	0.04	0.68
10M	1,860	0.050	0.02	0.66
-10M	1,860	1.600	0.66	0.00
Total		244.200	100.00	

Tabla 4.3 Granulometría de la alimentación a la quebradora terciaria 2

$$F_{80} = 27,595 \text{ micras } (-1 \frac{1}{2} ")$$

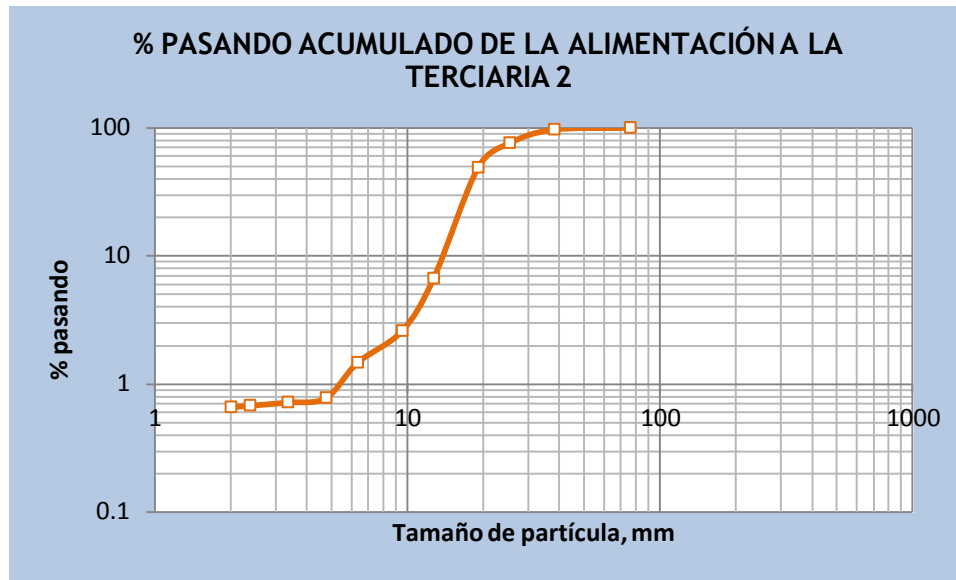


Fig. 4.3 Gráfica de % pasando acumulado de la alimentación a la quebradora terciaria 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 02

Fecha de muestreo: sábado 05 de julio del 2014

Peso total de muestra: 58.900 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 ½"	38,100	0.100	0.17	99.83
1"	25,400	6.500	11.04	88.79
¾"	19,050	10.600	18.04	70.80
½"	12,700	21.250	36.08	34.72
3/8"	9,520	5.650	9.59	25.13
1/4"	6,350	5.400	9.17	15.96
4M	4,760	2.150	3.65	12.31
6M	3,360	1.600	2.72	9.59
8M	2,380	1.200	2.04	7.56
10M	1,860	0.450	0.76	6.79
-10M	1,860	4.000	6.79	0.00
Total		58.900	100.00	

Tabla 4.4 Granulometría de la descarga de la quebradora terciaria 2

$P_{80} = 17,703 \text{ micras } (-3/4")$

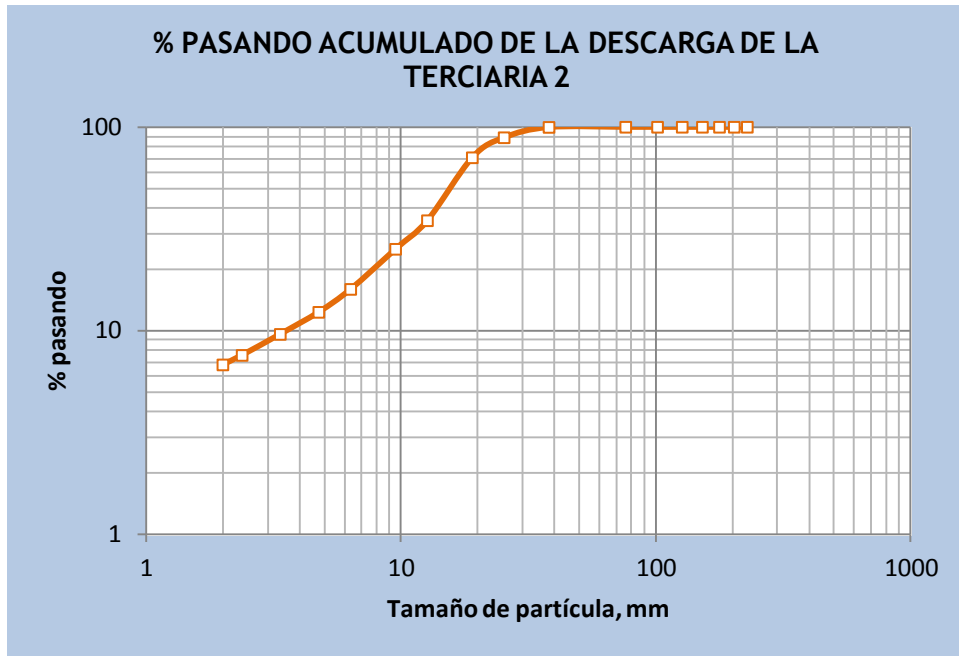


Fig. 4.4 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 2

$$\text{Relación de trituración: } RT = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

$$RT = \frac{26.36}{21.43} = 1.2301$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTACIÓN DE QUEBRADORA TERCIARIA 03

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 130.950 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 ½"	38,100	11.000	8.40	91.60
1"	25,400	24.800	18.94	72.66
¾"	19,050	29.450	22.49	50.17
½"	12,700	54.050	41.28	8.90
3/8"	9,520	7.700	5.88	3.02
1/4"	6,350	2.000	1.53	1.49
4M	4,760	0.350	0.27	1.22
6M	3,360	0.150	0.11	1.11
8M	2,380	0.100	0.08	1.03
10M	1,860	0.050	0.04	0.99
-10M	1,860	1.300	0.99	0.00
Total		130.950	100.00	

Tabla 4.5 Granulometría de la alimentación a la quebradora terciaria 3

$$F_{80} = 30,060 \text{ micras } (-1 \frac{1}{2}'')$$

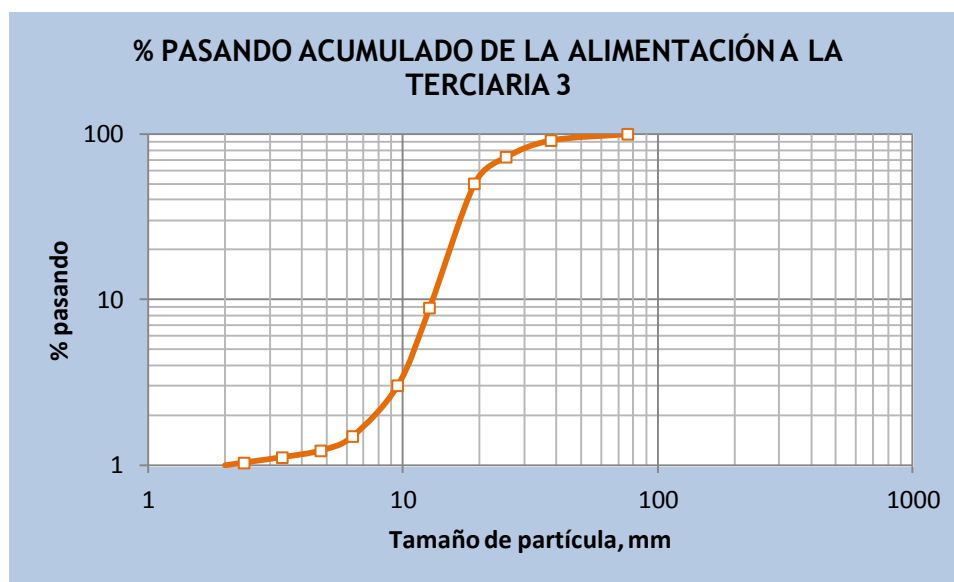


Fig. 4.5 Gráfica de % pasando acumulado de la alimentación a la quebradora terciaria 3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 03

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 68.000 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 1/2"	38,100	0.700	1.03	98.97
1"	25,400	8.400	12.35	86.62
3/4"	19,050	12.950	19.04	67.57
1/2"	12,700	23.700	34.85	32.72
3/8"	9,520	6.950	10.22	22.50
1/4"	6,350	5.600	8.24	14.26
4M	4,760	2.200	3.24	11.03
6M	3,360	1.600	2.35	8.68
8M	2,380	1.200	1.76	6.91
10M	1,860	0.400	0.59	6.32
-10M	1,860	4.300	6.32	0.00
Total		68.000	100.00	

Tabla 4.6 Granulometría de la descarga de la quebradora terciaria 3

$P_{80} = 23,165$ micras (-1")

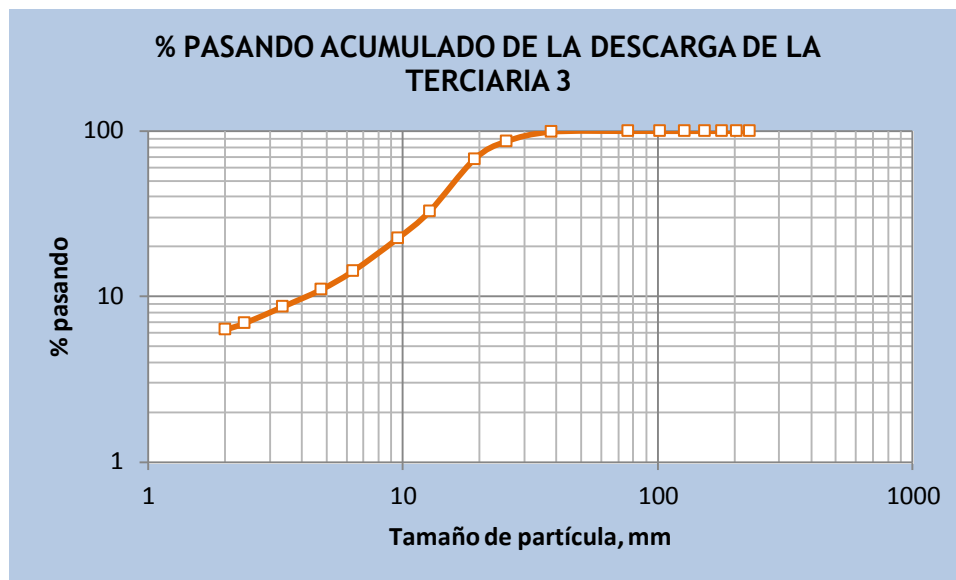


Fig. 4.6 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 3

Relación de trituración: $RT = \frac{F_{80}}{P_{80}}$

$$RT = \frac{28.42}{22.39} = 1.2693$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTACIÓN DE QUEBRADORA TERCIARIA 04

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 140.050 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 ½"	38,100	10.750	7.68	92.32
1"	25,400	34.150	24.38	67.94
¾"	19,050	34.150	24.38	43.56
½"	12,700	51.700	36.92	6.64
3/8"	9,520	6.250	4.46	2.18
1/4"	6,350	1.550	1.11	1.07
4M	4,760	0.250	0.18	0.89
6M	3,360	0.150	0.11	0.79
8M	2,380	0.050	0.04	0.75
10M	1,860	0.050	0.04	0.71
-10M	1,860	1.000	0.71	0.00
Total		140.050	100.00	

Tabla 4.7 Granulometría de la alimentación a la quebradora terciaria 4

$$F_{80} = 31,525 \text{ micras } (-1 \frac{1}{2} \text{''})$$

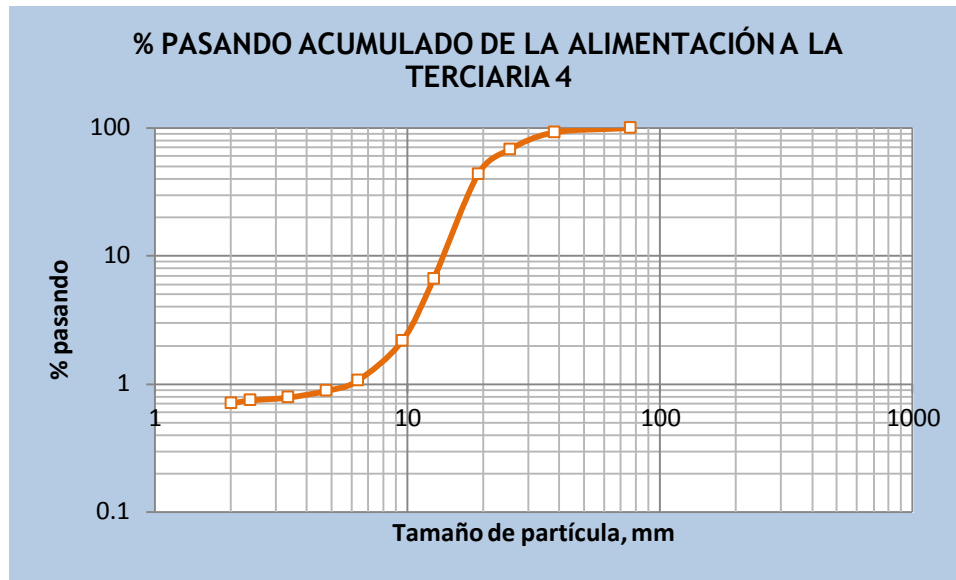


Fig. 4.7 Gráfica de % pasando acumulado de la alimentación a la quebradora terciaria 4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 04

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 58.500 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 ½"	38,100	1.000	1.71	98.29
1"	25,400	7.850	13.42	84.87
¾"	19,050	11.850	20.26	64.62
½"	12,700	18.750	32.05	32.56
3/8"	9,520	5.200	8.89	23.68
1/4"	6,350	4.650	7.95	15.73
4M	4,760	2.000	3.42	12.31
6M	3,360	1.550	2.65	9.66
8M	2,380	1.200	2.05	7.61
10M	1,860	0.450	0.77	6.84
-10M	1,860	4.000	6.84	0.00
Total		58.500	100.00	

Tabla 4.8 Granulometría de la descarga de la quebradora terciaria 4

$P_{80} = 23,864$ micras (-1")

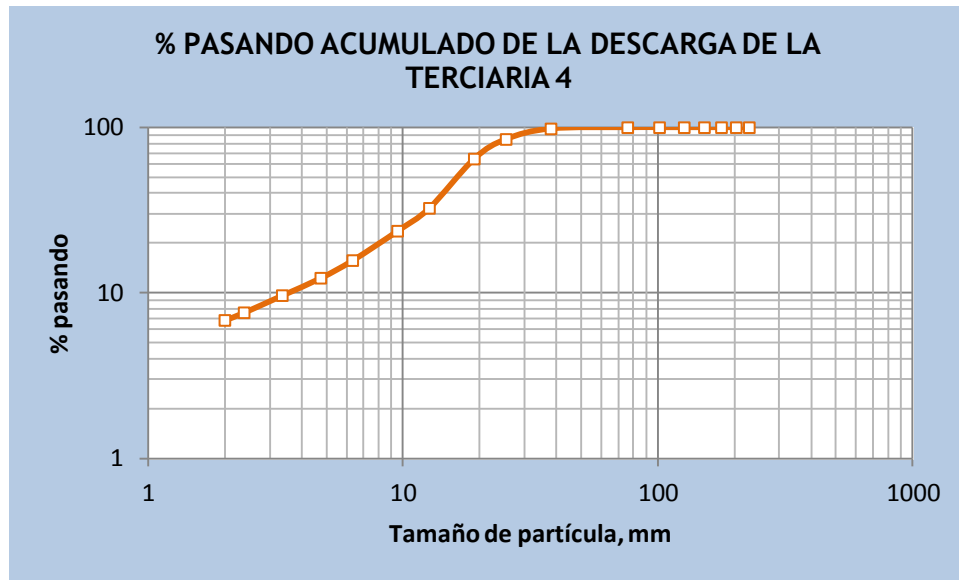


Fig. 4.8 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 4

$$\text{Relación de trituración: } RT = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

$$RT = \frac{29.25}{23.20} = 1.2607$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTACIÓN DE QUEBRADORA TERCIARIA 05

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 145.050 kg

MALLA	ABERTURA micrómetros	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 ½"	38,100	13.350	9.20	90.80
1"	25,400	35.900	24.75	66.05
¾"	19,050	35.200	24.27	41.78
½"	12,700	52.000	35.85	5.93
3/8"	9,520	5.450	3.76	2.17
1/4"	6,350	1.450	1.00	1.17
4M	4,760	0.250	0.17	1.00
6M	3,360	0.150	0.10	0.90
8M	2,380	0.100	0.07	0.83
10M	1,860	0.050	0.03	0.79
-10M	1,860	1.150	0.79	0.00
Total		145.050	100	

Tabla 4.9 Granulometría de la alimentación a la quebradora terciaria 5

$$F_{80} = 32,425 \text{ micras } (-1 \frac{1}{2} \text{''})$$

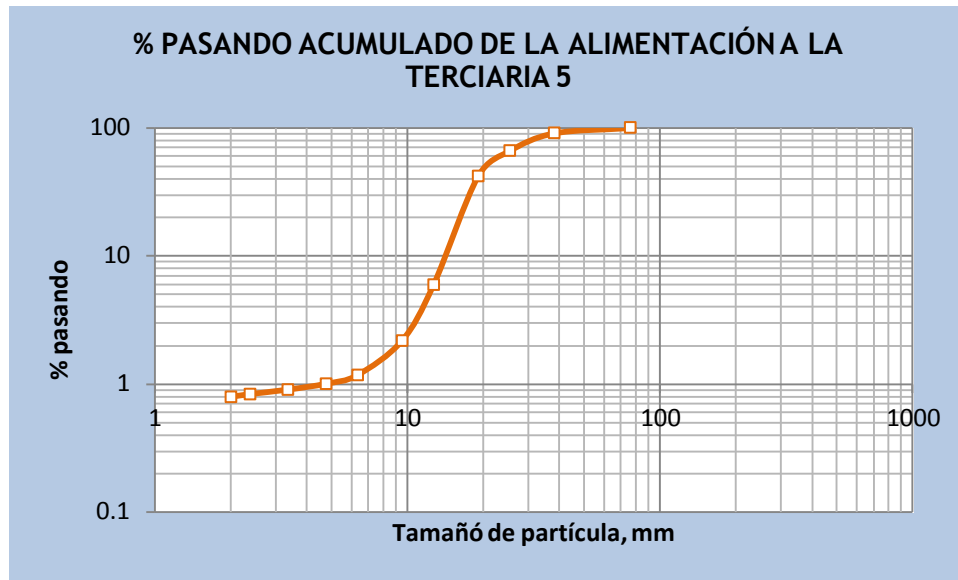


Fig. 4.9 Gráfica de % pasando acumulado de la alimentación a la quebradora terciaria 5

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 05

Fecha de muestreo: martes 08 de julio del 2014

Peso total de muestra: 36.550 kg

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	0.00
1 ½"	38,100	0.100	0.27	99.73
1"	25,400	0.500	1.37	98.36
¾"	19,050	3.350	9.17	89.19
½"	12,700	16.600	45.42	43.78
3/8"	9,520	4.100	11.22	32.56
1/4"	6,350	4.000	10.94	21.61
4M	4,760	1.700	4.65	16.96
6M	3,360	1.250	3.42	13.54
8M	2,380	0.950	2.60	10.94
10M	1,860	0.350	0.96	9.99
-10M	1,860	3.650	9.99	0.00
Total		36.550	100.00	

Tabla 4.10 Granulometría de la descarga de la quebradora terciaria 5

$P_{80} = 17,905$ micras (- 3/4")

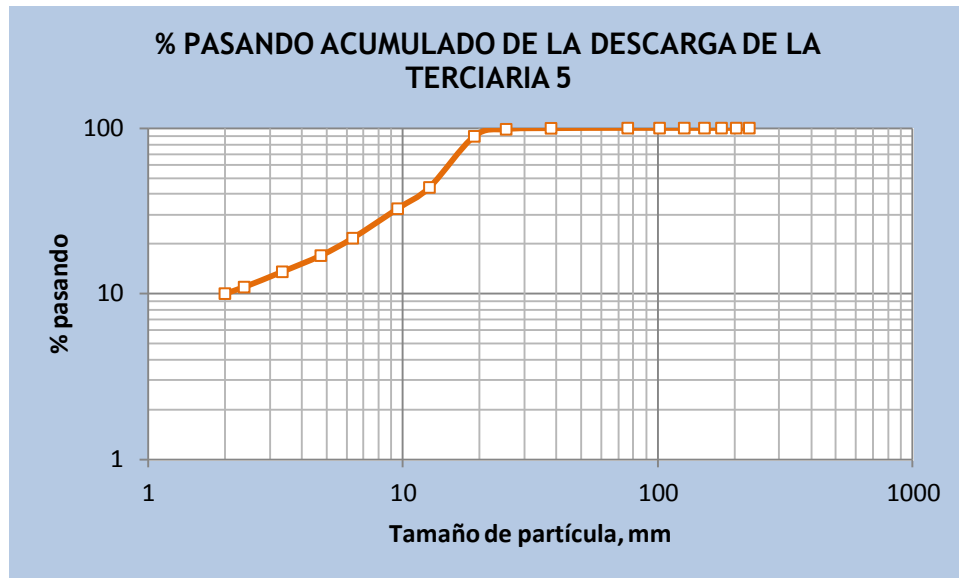


Fig. 4.10 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 5

$$\text{Relación de trituración: } RT = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

$$RT = \frac{30.18}{16.61} = 1.8169$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTACIÓN DE QUEBRADORA TERCIARIA 11

Fecha de muestreo: jueves 03 de julio del 2014

Peso total de muestra: 171.145 kg

MALLA	ABERTURA micrómetros	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 ½"	38,100	6.635	3.88	96.12
1"	25,400	35.660	20.84	75.29
¾"	19,050	47.550	27.75	47.53
½"	12,700	66.900	39.09	8.44
3/8"	9,520	8.250	4.82	3.62
1/4"	6,350	3.900	2.28	1.34
4M	4,760	0.700	0.41	0.93
6M	3,360	0.300	0.18	0.76
8M	2,380	0.150	0.09	0.67
10M	1,860	0.050	0.03	0.64
-10M	1,860	1.100	0.64	0.00
Total		171.145	100.00	

Tabla 4.11 Granulometría de la alimentación a la quebradora terciaria 11

$$F_{80} = 28,093 \text{ micras } (-1 \frac{1}{2} ")$$

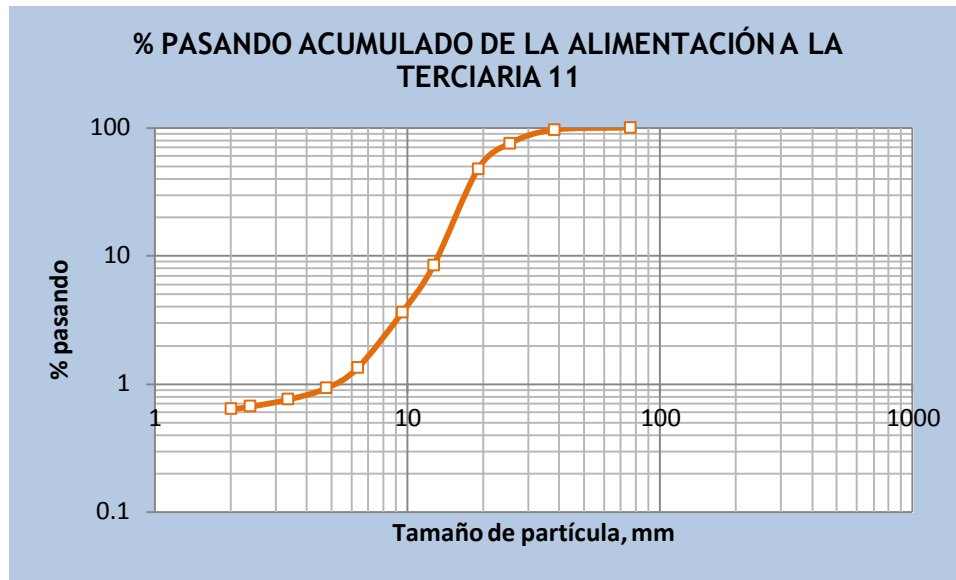


Fig. 4.11 Gráfica de % pasando acumulado de la alimentación a la quebradora terciaria 11

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DESCARGA DE QUEBRADORA TERCIARIA 11

Fecha de muestreo: jueves 03 de julio del 2014

Peso total de muestra: 112.250 kg

MALLA	ABERTURA micrómetros	PESO (kg)	PESO (%)	% EN PESO PASANDO
3"	76,200	0.000	0.00	100.00
1 ½"	38,100	1.650	1.47	98.53
1"	25,400	14.250	12.69	85.84
¾"	19,050	22.600	20.13	65.70
½"	12,700	38.200	34.03	31.67
3/8"	9,520	9.900	8.82	22.85
1/4"	6,350	9.150	8.15	14.70
4M	4,760	3.700	3.30	11.40
6M	3,360	2.800	2.49	8.91
8M	2,380	2.050	1.83	7.08
10M	1,860	0.700	0.62	6.46
-10M	1,860	7.250	6.46	0.00
Total		112.250	100.00	

Tabla 4.12 Granulometría de la descarga de la quebradora terciaria 11

$P_{80} = 23,547$ micras (-1")

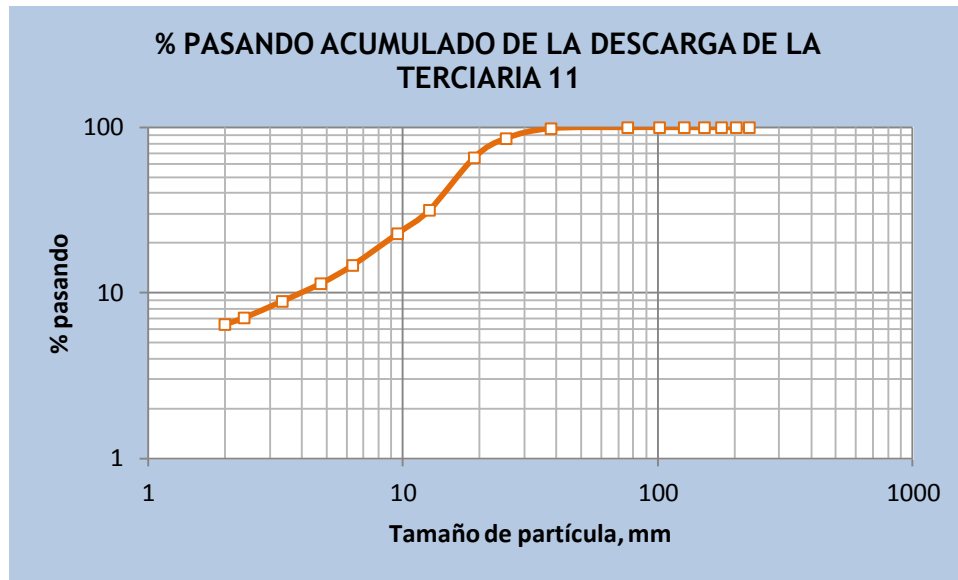


Fig. 4.12 Gráfica de % pasando acumulado de la descarga de la quebradora terciaria 11

$$\text{Relación de trituración: } RT = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

$$RT = \frac{26.69}{22.80} = 1.1706$$

4.2 PRODUCCIÓN DE FINOS DE CADA QUEBRADORA

Para determinar la cantidad de finos que cada quebradora produce, es necesario relacionar la distribución granulométrica en la alimentación y en la descarga experimental, obtenidas con los datos de los muestreos, con el tonelaje por hora alimentado a cada una de ellas para obtener el respectivo tonelaje por fracción.

La producción de finos fue calculada con base en un tamaño de ½" y en la abertura que cada quebradora tuvo al momento del muestreo.

”

QUEBRADORA TERCIARIA	TONELAJE POR HORA ALIMENTADO
QT 1	764.59
QT 2	764.59
QT 3	748.50
QT 4	748.50
QT 5	748.50
QT 11	741.18

Tabla 4.13 Tonelaje de alimentación a cada quebradora terciaria

Al multiplicar el tonelaje por hora de alimentación de cada quebradora por el % en peso de cada fracción granulométrica de la alimentación y de la descarga y dividiéndolo entre 100, se obtiene el tonelaje de alimentación para cada fracción granulométrica de cada quebradora en su alimentación y en la descarga.

TONELAJE DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA POR FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA PARA UNA PRODUCCIÓN DE FINOS DE $-\frac{1}{2}$ "

QUEBRADORA TERCIARIA 1

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	% en peso en alimentación	% en peso en descarga	Tonelaje de alimentación a quebradora	TPH de partículas en alimentación	TPH de partículas en descarga
3"	76,200	0.000	0.00	764.59	0.00	0.00
1 ½"	38,100	2.42	1.19	764.59	18.54	9.08
1"	25,400	18.46	12.23	764.59	141.18	93.48
¾"	19,050	26.97	17.74	764.59	206.18	135.68
½"	12,700	45.96	36.56	764.59	351.42	279.52
3/8"	9,520	4.62	8.96	764.59	35.29	68.52
1/4"	6,350	0.80	7.72	764.59	6.09	58.99
4M	4,760	0.10	3.26	764.59	0.76	24.96
6M	3,360	0.03	2.49	764.59	0.25	19.06
8M	2,380	0.03	1.84	764.59	0.25	14.07
10M	1,860	0.01	0.77	764.59	0.05	5.90
-10M	1,860	0.60	7.24	764.59	4.57	55.36
	FINOS a ½"				47.28	246.85

Tabla 4.14 TPH de partículas en la alimentación y la descarga por fracción granulométrica de la quebradora terciaria 1

Finos producidos (- ½") = 246.85 – 47.28 = **199.57 TPH**

QUEBRADORA TERCIARIA 2

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	% en peso en alimentación	% en peso en descarga	Tonelaje de alimentación a quebradora	TPH de partículas en alimentación	TPH de partículas en descarga
3"	76,200	0.000	0.00	764.59	0.00	0.00
1 ½"	38,100	3.05	0.17	764.59	23.33	1.30
1"	25,400	20.80	11.04	764.59	159.05	84.38
¾"	19,050	27.23	18.00	764.59	208.21	137.60
½"	12,700	42.24	36.08	764.59	322.96	275.85
3/8"	9,520	4.07	9.59	764.59	31.15	73.34
1/4"	6,350	1.13	9.17	764.59	8.61	70.10
4M	4,760	0.70	3.65	764.59	5.32	27.91
6M	3,360	0.06	2.72	764.59	0.47	20.77
8M	2,380	0.04	2.04	764.59	0.31	15.58
10M	1,860	0.02	0.76	764.59	0.16	5.84
-10M	1,860	0.66	6.79	764.59	5.01	51.92
	FINOS a ½"				51.04	265.46

Tabla 4.15 TPH de partículas en la alimentación y la descarga por fracción granulométrica de la quebradora terciaria 2

Finos producidos (- ½") = 265.46 – 51.04 = **214.43 TPH**

QUEBRADORA TERCIARIA 3

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	% en peso en alimentación	% en peso en descarga	Tonelaje de alimentación a quebradora	TPH de partículas en alimentación	TPH de partículas en descarga
3"	76,200	0.000	0.00	748.50	0.00	0.00
1 ½"	38,100	8.40	1.03	748.50	62.88	7.71
1"	25,400	18.94	12.35	748.50	141.75	92.46
¾"	19,050	22.49	19.04	748.50	168.33	142.55
½"	12,700	41.28	34.85	748.50	308.95	260.87
3/8"	9,520	5.88	10.22	748.50	44.01	76.50
1/4"	6,350	1.53	8.24	748.50	11.43	61.64
4M	4,760	0.27	3.24	748.50	2.00	24.22
6M	3,360	0.11	2.35	748.50	0.86	17.61
8M	2,380	0.08	1.76	748.50	0.57	13.21
10M	1,860	0.04	0.59	748.50	0.29	4.40
-10M	1,860	0.900	6.32	748.50	7.43	47.33
	FINOS a ½"				66.59	244.91

Tabla 4.16 TPH de partículas en la alimentación y la descarga por fracción granulométrica de la quebradora terciaria 3

Finos producidos (- ½") = 244.91 – 66.59 = **178.32 TPH**

QUEBRADORA TERCIARIA 4

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	% en peso en alimentación	% en peso en descarga	Tonelaje de alimentación a quebradora	TPH de partículas en alimentación	TPH de partículas en descarga
3"	76,200	0.000	0.00	748.50	0.00	0.00
1 ½"	38,100	7.68	1.71	748.50	57.45	12.79
1"	25,400	24.38	13.42	748.50	182.52	100.44
¾"	19,050	24.38	20.26	748.50	182.52	151.62
½"	12,700	36.92	32.05	748.50	276.31	239.90
3/8"	9,520	4.46	8.89	748.50	33.40	66.53
1/4"	6,350	1.11	7.95	748.50	8.28	59.50
4M	4,760	0.18	3.42	748.50	1.34	25.59
6M	3,360	0.11	2.65	748.50	0.80	19.83
8M	2,380	0.04	2.05	748.50	0.27	15.35
10M	1,860	0.04	0.77	748.50	0.27	5.76
-10M	1,860	0.71	6.84	748.50	5.34	51.18
	FINOS a ½"				49.70	243.74

Tabla 4.17 TPH de partículas en la alimentación y la descarga por fracción granulométrica de la quebradora terciaria 4

Finos producidos (- ½") = 243.74 – 49.70 = **194.04 TPH**

QUEBRADORA TERCIARIA 5

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	% en peso en alimentación	% en peso en descarga	Tonelaje de alimentación a quebradora	TPH de partículas en alimentación	TPH de partículas en descarga
3"	76,200	0.000	0.00	748.50	0.00	0.00
1 ½"	38,100	9.20	0.27	748.50	68.89	2.05
1"	25,400	24.75	1.37	748.50	185.25	10.24
¾"	19,050	24.27	9.17	748.50	181.64	68.60
½"	12,700	35.85	45.42	748.50	268.34	339.95
3/8"	9,520	3.76	11.22	748.50	28.12	83.96
1/4"	6,350	1.00	10.94	748.50	7.48	81.92
4M	4,760	0.17	4.65	748.50	1.29	34.81
6M	3,360	0.10	3.42	748.50	0.77	25.60
8M	2,380	0.07	2.60	748.50	0.52	19.45
10M	1,860	0.03	0.96	748.50	0.26	7.17
-10M	1,860	0.79	9.99	748.50	5.93	74.75
	FINOS a ½"				44.38	327.66

Tabla 4.18 TPH de partículas en la alimentación y la descarga por fracción granulométrica de la quebradora terciaria 5

Finos producidos (- ½") = 327.66 – 44.38 = **283.28 TPH**

QUEBRADORA TERCIARIA 11

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	% en peso en alimentación	% en peso en descarga	Tonelaje de alimentación a quebradora	TPH de partículas en alimentación	TPH de partículas en descarga
3"	76,200	0.000	0.00	741.18	0.00	0.00
1 ½"	38,100	3.88	1.47	741.18	28.73	10.89
1"	25,400	20.84	12.69	741.18	154.43	94.09
¾"	19,050	27.75	20.13	741.18	205.71	149.23
½"	12,700	39.09	34.03	741.18	289.72	252.23
3/8"	9,520	4.82	8.82	741.18	35.73	65.37
1/4"	6,350	2.28	8.15	741.18	16.89	60.42
4M	4,760	0.41	3.30	741.18	3.03	24.43
6M	3,360	0.18	2.49	741.18	1.30	18.49
8M	2,380	0.09	1.83	741.18	0.65	13.54
10M	1,860	0.03	0.62	741.18	0.22	4.62
-10M	1,860	0.64	6.46	741.18	4.76	47.87
	FINOS a ½"				62.58	234.73

Tabla 4.19 TPH de partículas en la alimentación y la descarga por fracción granulométrica de la quebradora terciaria 11

Finos producidos (- ½") = 234.73 – 62.58 = **172.15 TPH**

4.3 PRODUCCIÓN DE FINOS EN FUNCIÓN DE LA ABERTURA DE CADA QUEBRADORA TERCIARIA

Para obtener los finos producidos por cada quebradora en función de la abertura al momento que se realizaron los muestreos, fue necesario interpolar el % en peso pasando de la alimentación y de la descarga en función de la abertura de cada quebradora utilizando los datos experimentales ingresados en el modelo de Excel.

Quebradoras Terciarias	Finos en alimentación	Finos en descarga	Finos producidos
QT 1 (40 mm)	757.94	761.18	3.24
QT 2 (24 mm)	549.93	764.03	110.37
QT 3 (28 mm)	592.27	693.49	101.22
QT 4 (24 mm)	477.50	613.46	135.98
QT 5 (16 mm)	176.12	572.64	396.48
QT 11 (24 mm)	525.87	615.11	89.25

Tabla 4.20 Finos producidos en función de la abertura de cada quebradora

Con los datos de los finos producidos a ½” y cada abertura de las quebradoras es posible compararlos para poder llegar a conclusiones fundamentadas.

	QT #1	QT #2	QT #3	QT #4	QT #5	QT #11
	½”	½”	½”	½”	½”	½”
TPH	764.59	764.59	748.50	748.50	748.50	741.18
Finos alim.	47.28	51.04	66.59	49.70	44.38	62.58
Finos desc.	246.85	265.46	244.91	243.74	327.66	234.73
Finos prod.	199.57	214.42	178.32	194.04	283.28	172.15

Tabla 4.21 Finos producidos a un tamaño de ½” por cada quebradora

El tamaño de descarga óptimo para las quebradoras terciarias es de – ½” es por eso que la comparación de la producción de finos se realizó con base en la abertura de 25.4 mm (½”) y de la abertura de cada quebradora.

En el primer análisis se demuestra la producción de finos que tiene cada quebradora con tamaño de – ½” mientras que en el segundo análisis se muestra la producción de finos tomando en cuenta que los finos se consideran a partir de la abertura de la quebradora y no a partir de la malla de ½”.

La producción de finos por quebradora se muestra en orden decreciente a continuación, siendo la quebradora terciaria 5 la que mayor cantidad de finos produjo, mientras que la quebradora terciaria 11 fue la que menor cantidad de finos descargó.

Quebradora Terciaria	TPH de finos producidos
QT 5	283.28
QT 2	214.42
QT 1	199.57
QT 4	194.04
QT 3	178.32
QT 11	172.15

Tabla 4.22 Finos producidos a un tamaño de 1/2" ordenados de manera descendente

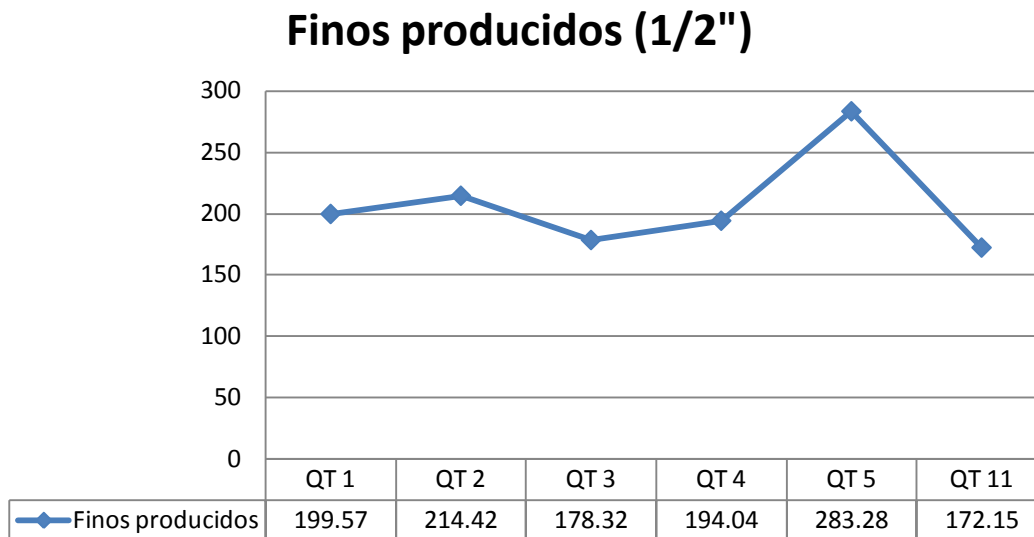


Fig. 4.13 Gráfica de finos producidos a 1/2" por quebradora

Con esta gráfica se muestra la cantidad de finos producidos, considerando a los finos a partir de la abertura que se tuvo en cada quebradora, es decir, si se tiene una abertura de 40 mm, los finos se tomarán en cuenta a partir de esa abertura tanto para la alimentación como para la descarga, para determinar de manera general los finos que se produjeron en cada quebradora y así poder comparar la producción de finos a distintas aberturas con la producción de finos a $-\frac{1}{2}$ ".

Finos producidos con diferente abertura

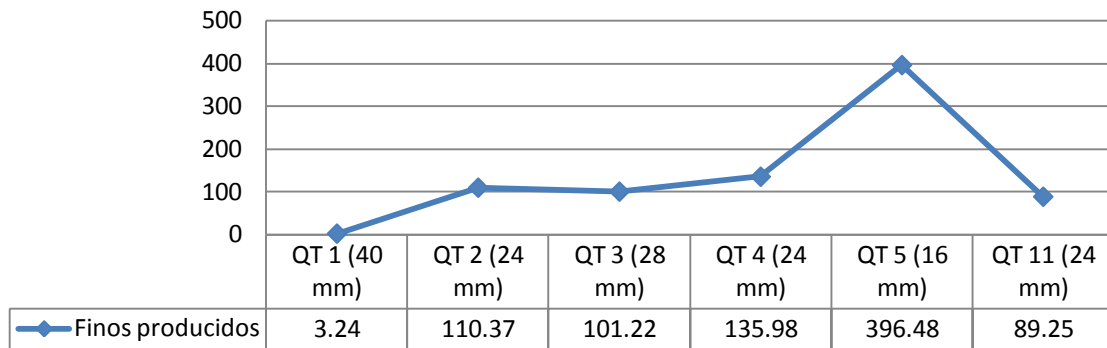


Fig. 4.14 Gráfica de finos producidos en función de la abertura en cada quebradora

Nuevamente la quebradora 5 es la que mayor producción de finos tuvo, mientras que en este caso la que menos finos descargó fue la quebradora 1.

Comparando las TPH de la quebradora 5 a una abertura de 16 mm con las TPH que se obtuvo a $\frac{1}{2}$ ", se tiene que con la abertura de 16 mm se obtuvo un incremento de TPH de finos descargados, debido a que la abertura es menor a la de $\frac{1}{2}$ " (25.4 mm) por lo tanto los finos tenderán a aumentar.

Por el contrario, en la quebradora 1, la abertura que se maneja es de 40 mm, mucho mayor a la óptima de 25.4 mm por lo que la producción de finos tiende a bajar ya que con esa abertura mayor se está permitiendo pasar mucho tonelaje pero sin reducirlo al tamaño óptimo ya que la reducción de tamaño se lleva a cabo por atricionamiento y no por la misma quebradora, ya que el 99.13 % de la alimentación viene a un tamaño de 40 mm o menor y si se tiene una abertura a ese tamaño, no se generarán grandes cantidades de finos. Lo que se requiere es reducir la abertura de esta quebradora ya que a 40 mm se producen 3.24 finos mientras que los finos a $\frac{1}{2}$ " son 199.57 TPH. Hay mucha diferencia entre estos dos tonelajes, lo que indica que el CSS de la quebradora debe cerrarse más.

La quebradora terciaria 3, tuvo una abertura de 28 mm por lo que el tonelaje de finos producidos disminuye.

La quebradora terciaria 4, tiene una abertura similar de 24 mm, lo que podría suponer que el tonelaje por hora de finos descargados debería incrementar un poco comparándolo con la descarga a $\frac{1}{2}$ ", sin embargo el tonelaje disminuyó.

Lo mismo sucede con las quebradoras 2 y 11.

Ahora será necesario evaluar y analizar las diferentes variables involucrados en la operación de las quebradoras para determinar su influencia en la producción de finos.

4.4 PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN LA OPERACIÓN DE LAS QUEBRADORAS.

El primer parámetro que se debe tomar en cuenta es la abertura que se tiene en la quebradora y contestar a la pregunta del por qué se tiene esa abertura.

Lo más normal sería que si el tamaño óptimo de descarga para las quebradoras terciarias es de $-\frac{1}{2}$ ", la abertura que se debería de tener en cada quebradora debería ser de 25.4 mm o menos.

Ahora, lo interesante será analizar todos los parámetros que permita el alcance de este trabajo para determinar el por qué no todas las quebradoras trabajan con esa abertura y el por qué ninguna quebradora descarga un producto con el tamaño óptimo.

Lo primero que se debe de tomar en cuenta es que la planta de trituración fina está diseñada para quebrar 86,400 toneladas tomando en cuenta que cada equipo trabajará 20 horas al día. Este dato sirve para determinar la capacidad de alimentación a cada quebradora terciaria la cual es de 360 t/h.

Este es un parámetro muy importante ya que actualmente, la alimentación a cada quebradora terciaria oscila en el rango de las 700 – 741 t/h, lo que significa que a cada quebradora terciaria se le está alimentando el doble de su capacidad nominal. Cabe mencionar que esta situación se encuentra muy ligada con las aberturas que se manejan actualmente, debido a que no es posible mantener la abertura óptima porque se tiene más tonelaje en la alimentación para evitar que el circuito pare por tolvas llenas, y con ello será necesario incrementar la abertura de la quebradora para poder procesar todo el tonelaje aunque con esto se está comprometiendo el tamaño de descarga.

Al no descargar al tamaño óptimo, se genera carga circulante en aumento por lo que la alimentación a cada quebradora terciaria va a aumentar más, generando descarga de mineral a un tamaño mayor al deseado y por lo tanto más carga circulante y con esto mayor tonelaje de alimentación y así sucesivamente.

Otros parámetros que se deben de tomar en cuenta son los siguientes:

- Abertura
- Amperaje
- Presión
- Horas operadas

➤ Tipo de mantle instalado

A continuación se muestra una tabla comparativa en donde se plasman los parámetros antes mencionados para comenzar a analizarlos.

	QT 01	QT 02	QT 03	QT 04	QT 05	QT 11
Abertura	40 mm	24 mm	28 mm	24 mm	16 mm	24 mm
Amperaje	48	37	42	43	38	39
Presión	493 lb	480 lb	480 lb	480 lb	500 lb	498
Temperatura	46 °C	43 °C	44 °C	43 °C	43 °C	42 °C
Horas Operadas	1,437.70	934.75	80.2	640.55	1,673.88	614.19
Mantle	ESCO Rasurado de QT 7 con 1089 horas de uso.	Columbia 2	Columbia 2	Columbia 2. Lainas modificadas	Columbia 2	Columbia 2
ALIMENTACIÓN						
F ₈₀	25,954 micras (-1 ½")	27,595 micras (-1 ½")	30,060 micras (-1 ½")	31,525 micras (-1 ½")	32,425 micras (-1 ½")	28,093 micras (-1 ½")
% retenido ½"	93.8	93.3	91.1	93.4	94.1	91.6
% pasando ½"	6.2	6.7	8.9	6.6	5.9	8.4
DESCARGA						
P ₈₀	23,000 micras (-1")	17,703 micras (-3/4")	23,165 micras (-1")	23,864 micras (-1")	17,905 micras (-3/4")	23,547 micras (-1")
% retenido ½"	67.7	65.3	67.3	67.4	56.2	68.3
% pasando ½"	32.3	34.7	32.7	32.6	43.8	31.7

Tabla 4.23 Comportamiento de las quebradoras terciarias con base en los parámetros de operación y los resultados de los muestreos realizados a quebradoras

4.4.1 ABERTURA

El primer parámetro a analizar es la abertura, que como ya se mencionó anteriormente está muy relacionada con el tonelaje por fracción de la alimentación a la quebradora ya que en toda quebradora se tiene una función de clasificación y una función de rompimiento.

La función de clasificación se puede representar con la curva de rompimiento que se genera a partir del tonelaje por hora de alimentación de cada fracción granulométrica, lo que determina las posibilidades que tiene cada partícula de romperse dentro de la quebradora en función de su tamaño al momento de ser alimentadas a la quebradora.

CURVA DE ROMPIMIENTO

La curva de rompimiento permite darnos cuenta de las probabilidades que tiene una partícula de disminuir su tamaño dentro de la quebradora y se obtiene restando el % en peso retenido en la alimentación de cada fracción del % en peso retenido en la descarga de cada fracción, dividiendo el resultado entre el % en peso retenido de la alimentación de dicha fracción.

$$\frac{\% \text{ en peso retenido alimentación} - \% \text{ en peso retenido descarga}}{\% \text{ en peso retenido alimentación}}$$

Para cada quebradora terciaria, la curva de rompimiento queda definida de la siguiente manera:

MALLA	ABERTURA (micrómetros)	QT 1	QT 2	QT 3	QT 4	QT 5	QT 11
3"	76,200	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1 ½"	38,100	0.51	0.94	0.88	0.78	0.97	0.62
1"	25,400	0.36	0.53	0.51	0.53	0.95	0.43
¾"	19,050	0.35	0.43	0.35	0.37	0.81	0.35
½"	12,700	0.28	0.30	0.26	0.28	0.40	0.25
3/8"	9,520	0.22	0.23	0.20	0.22	0.31	0.20
1/4"	6,350	0.15	0.15	0.13	0.15	0.21	0.14
4M	4,760	0.12	0.12	0.10	0.12	0.16	0.11
6M	3,360	0.09	0.09	0.08	0.09	0.13	0.08
8M	2,380	0.07	0.07	0.06	0.07	0.10	0.06
10M	1,860	0.07	0.06	0.05	0.06	0.09	0.06
-10M	1,860	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.24 Valores para generar la curva de rompimiento de cada quebradora terciaria

CURVAS DE ROMPIMIENTO PARA QUEBRADORAS TERCIARIAS

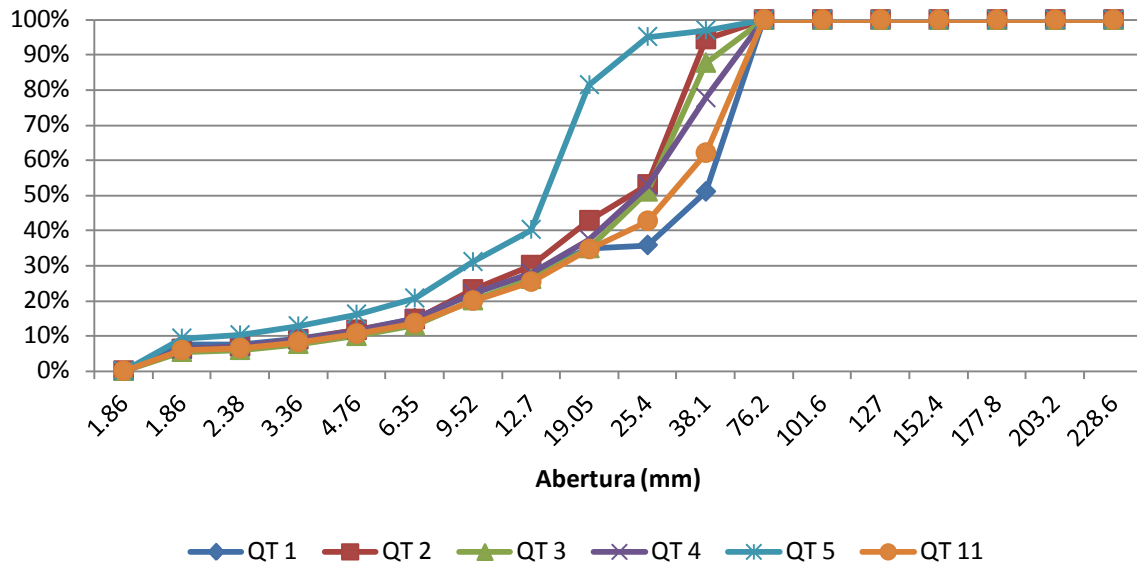


Fig. 4.15 Curvas de rompimiento de las quebradoras terciarias

Esta gráfica refleja las curvas de rompimiento de cada una de las quebradoras analizadas en donde se observa que la quebradora 5 es la que presenta mayor probabilidad de rompimiento para las partículas que se alimenten a ella.

Debido a que se utiliza el % en peso retenido de la alimentación y el % en peso retenido de la descarga, la quebradora terciaria 5 tiene una mayor curva de rompimiento porque la diferencia entre dichos porcentajes en cada fracción es mayor que en el resto de las quebradoras.

Esta diferencia entre porcentajes es mayor porque la quebradora terciaria 5 permite tener una abertura de 16 mm y la partícula tendrá mayores probabilidades de romperse ya que el CSS es inclusive menor que el óptimo.

En cambio en la quebradora terciaria 1, disminuyen las probabilidades de que partículas con tamaño menor a 1/2" en su alimentación se rompan, ya que se tiene un CSS de 40 mm, que es muy abierto.

Entre más cerrado se tenga el CSS mayores probabilidades tendrán las partículas de cualquier tamaño (admitidas por la quebradora) de romperse ya que el rompimiento se estaría efectuando

entre la quebradora y el mineral y no solamente entre el mismo mineral, como sucede con la quebradora terciaria 1.

4.4.2 MANTLE

Al momento de realizarse los muestreos, la quebradora terciaria 1 es la única quebradora que tenía instalado un mantle diferente al resto de las quebradoras. Esto determina el comportamiento tan distinto que tiene dicha quebradora con respecto a las demás, ya que maneja una abertura mucho mayor (de 40 mm) a pesar de contar con 1,437.70 horas operadas. El producto que descarga esta quebradora es de 23,000 micras (-1") que comparado con la terciaria 5 con 1,673.88 horas operadas y con P₈₀ de 17,905 micras (-¾"), determina que el mantle tipo ESCO rasurado no da los mismos resultados que el mantle Columbia 2.

Quebradora Terciaria	Tipo de mantle	Fecha de instalación de mantle	Fecha de muestreos	Horas operadas	Comentarios
01	ESCO Rasurado	19 de junio de 2014	5 de julio de 2014	1,437.70	Mantle de QT 7 con 1089 horas
02	Columbia 2	23 de mayo de 2014	5 de julio de 2014	934.75	
03	Columbia 2	4 de julio de 2014	8 de julio de 2014	80.2	
04	Columbia 2	9 de junio de 2014	8 de julio de 2014	640.55	Lainas modificadas
05	Columbia 2	4 de abril de 2014	8 de julio de 2014	1673.88	
11	Columbia 2	27 de mayo de 2014	3 de julio de 2014	614.19	

Tabla 4.25 Tipo de mantle instalado y horas operadas de cada uno de ellos en cada quebradora terciaria

4.4.3 HORAS OPERADAS

Una vez definido el tipo de mantle, las horas operadas es la variable que más influye al momento de analizar el comportamiento de las quebradoras terciarias.

Según los resultados mostrados en la tabla anterior, sin tomar en cuenta la quebradora terciaria 1, debido a las razones expuestas en el inciso anterior, entre más horas operadas tengan las quebradoras, con mejor eficiencia operará. Y así se demuestra con las quebradoras terciarias 2 y 5, que teniendo 934.75 y 1,673.88 horas operadas respectivamente, son las que mayor tonelaje

producen de finos ya que tienen un P_{80} de 17,703 micras (-3/4") y de 17,905 micras (-3/4) respectivamente.

Las quebradoras 3, 4 y 11 siguen el siguiente comportamiento:

Quebradora Terciaria	Horas Operadas	P80 (micras)
QT 4	640.55	23,864
QT 11	614.19	23,547
QT 3	80.2	23,165

Tabla 4.26 Horas operadas y producto obtenido

Estas tres quebradoras tienen un P_{80} menor a 1" aunque según el tamaño de partícula en micras que descargan, la quebradora terciaria 4, debería descargar a un tamaño más pequeño que la quebradora terciaria 11 ya que ésta tiene menor horas operadas que la terciaria 4, pero esto es debido a que la quebradora terciaria 4 tiene un mantle Columbia 2 con laines modificadas por lo que no se va a comportar igual que las otras quebradoras.

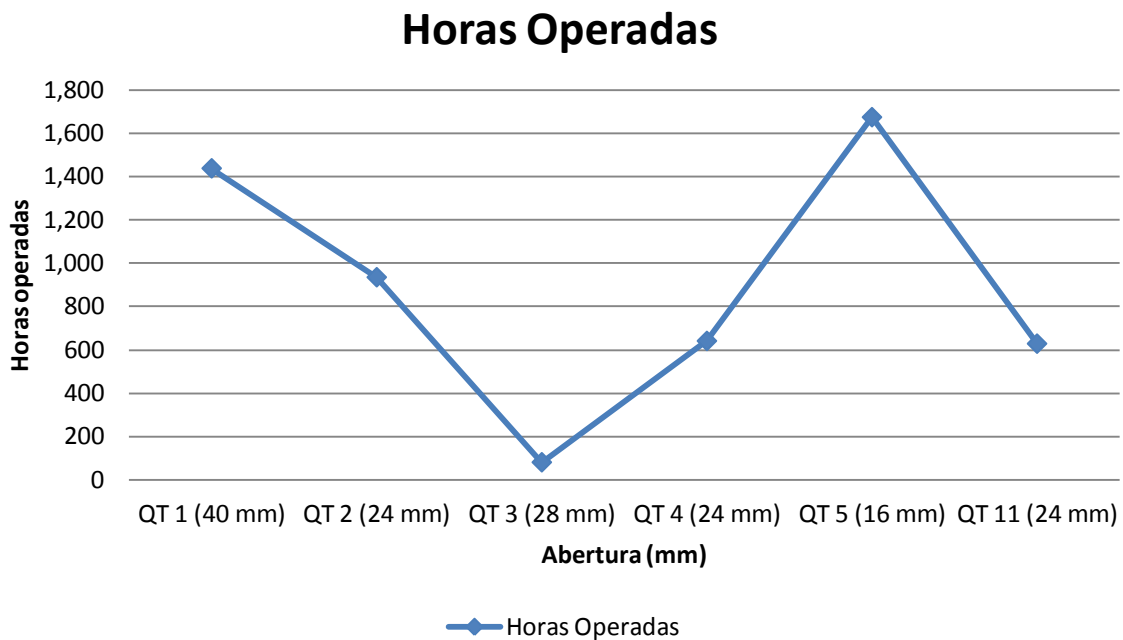


Fig. 4.16 Gráfica de horas operadas de cada quebradora y su relación con la abertura

TPH DE FINOS EN FUNCIÓN DE LAS HORAS OPERADAS

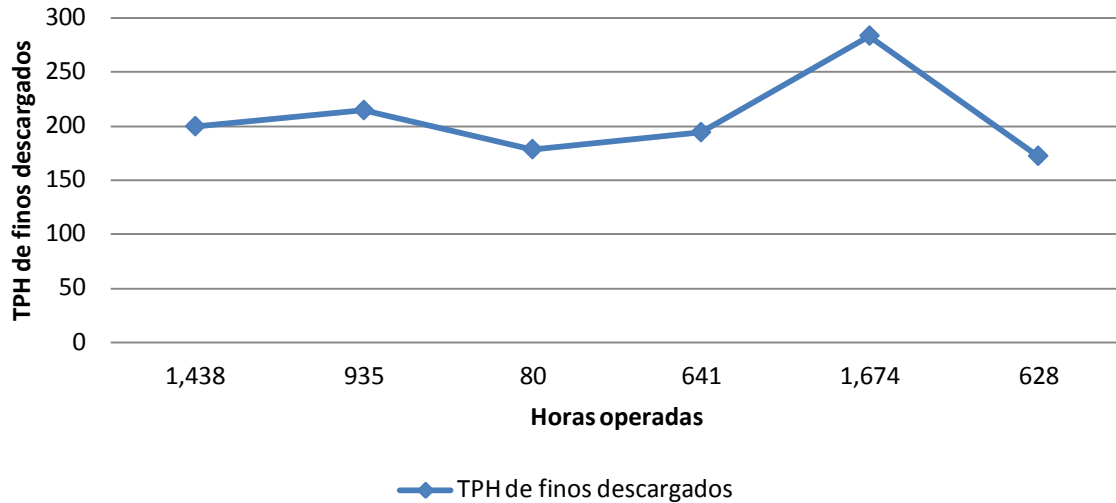


Fig. 4.17 Gráfica de TPH de finos descargados en función de las horas operadas de cada quebradora

4.4.4 PRESIÓN

La presión está en función de la abertura que se tenga en la quebradora y de la cantidad de tonelaje alimentado a ella.

Al tener una abertura establecida, se tienen también un tonelaje de mineral adecuado para alimentar a la quebradora, pero si alguna de estas dos variables se modifica, la presión también variará.

Si la abertura de la quebradora aumenta, es posible alimentar mayor tonelaje a ella, incrementando de tamaño el mineral en la descarga pero operando a una presión adecuada.

Si la abertura de la quebradora disminuye, será necesario disminuir el tonelaje de alimentación al adecuado, el cual es informado por el fabricante, ya que la quebradora no se dará abasto para quebrar tanto mineral al tamaño solicitado por lo que la presión del pistón aumentará considerablemente para tratar de ajustar el setting a lo requerido según el tonelaje suministrado.

4.5 EFICIENCIA DE LAS QUEBRADORAS TERCIARIAS

La eficiencia de las quebradoras terciarias se obtuvo con base en las TPH de finos a - ½” que se producen por cada quebradora respecto a la alimentación de gruesos a cada una de ellas.

La eficiencia de las quebradoras terciarias queda definida de la siguiente manera:

Quebradoras	TPH de finos producidos	Alimentación	Eficiencia
QT 1	199.57	764.59	26.1 %
QT 2	214.43	764.59	28.0 %
QT 3	178.32	748.50	23.8 %
QT 4	194.04	748.50	25.9 %
QT 5	283.28	748.50	37.8 %
QT 11	172.16	741.18	23.2 %

Tabla 4.27 Eficiencia de cada una de las quebradoras terciarias

Nuevamente se observa que la quebradora 5 es la más eficiente, como ya se había mostrado anteriormente al comparar la producción de finos producidos.

Eficiencia de las quebradoras terciarias

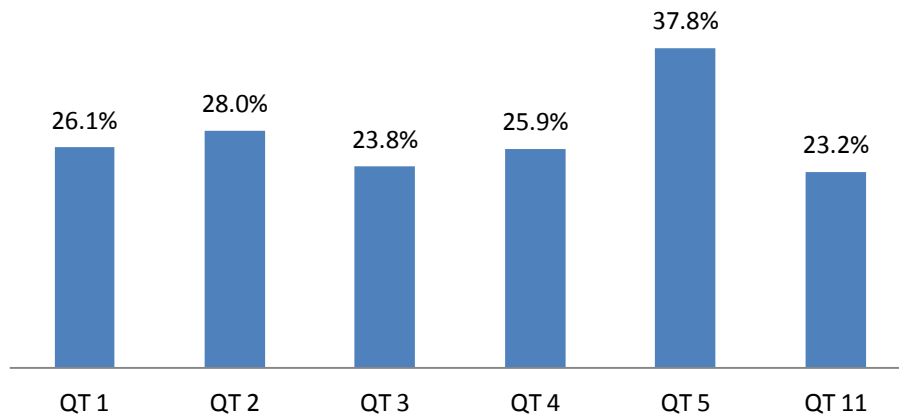


Fig. 4.18 Gráfica de eficiencia de las quebradoras terciarias

5. MODELACIÓN DE LAS QUEBRADORAS TERCIARIAS PARA PREDECIR SU COMPORTAMIENTO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo en Excel que se utilizará para predecir el comportamiento de las quebradoras terciarias es un modelo simplificado, basado en el modelo de trituración del JKSimMet V6.

El modelo en Excel estará únicamente enfocado a encontrar el valor de constantes que permitan calcular la función de rompimiento y la función de clasificación y así buscar minimizar el error de ajuste entre la descarga experimental (obtenida de los muestreos) y la descarga ajustada por el modelo.

Este modelo considera dos funciones:

1. Función de Rompimiento
2. Función de Clasificación

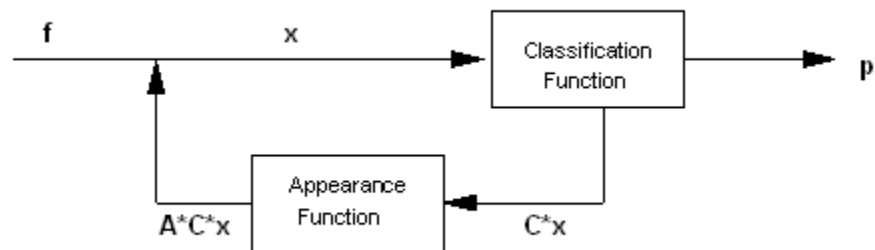


Fig. 5.1 Representación esquemática del modelo de trituración del JKSimMet V6

Con base en el diagrama anterior, es posible obtener las siguientes ecuaciones:

$$x = f + (A \cdot C \cdot x) \dots \quad (1)$$

$$x = p + (C \cdot x) \dots \quad (2)$$

Donde:

x : vector que representa la cantidad de cada fracción granulométrica en la quebradora

f: vector de distribución de tamaños en la alimentación

p: vector de distribución de tamaños en la descarga

C: función de clasificación, la cual es una matriz diagonal que describe la proporción de partículas en cada fracción granulométrica que se alimenta a la quebradora terciaria.

A: función de selección, la cual es una matriz triangular inferior que genera la distribución relativa de cada fracción granulométrica después del rompimiento.

Al combinar las ecuaciones (1) y (2) se obtiene:

$$P = (I - C) * (I - AC) - 1 * f... \quad (3)$$

Donde:

I: es la matriz unitaria

Debido a que la alimentación y la descarga del mineral están expresadas en función de la distribución de tamaños y a que las propiedades de la clasificación interna de la quebradora y las del rompimiento que se genera dentro de ella están expresadas en función de las fracciones granulométricas, es conveniente representar estas cantidades en vectores y en matrices respectivamente, como se mostró anteriormente en las ecuaciones (1) y (2).

Función de rompimiento

Se refiere a la velocidad con la que se rompen las partículas.

El closed side setting (CSS) o abertura es la que se encarga de que exista rompimiento de partículas, es por esta razón que es importante operar las quebradoras con CSS adecuado dependiendo del F_{80} que se tenga y del P_{80} que se desea descargar.

Para efecto de la utilización del modelo, en esta función, las constantes que se deben calcular son S1 y S2.

Función de clasificación

Se refiere a la probabilidad de que se rompa una roca o salga del mismo tamaño.

En el open side setting (OSS) es en donde se lleva a cabo la clasificación de las partículas en función de su tamaño, ya que una roca de mayor tamaño tendrá mayores probabilidades de romperse que una de menor tamaño.

Las constantes que se involucran para determinar la función de clasificación en el modelo son K1, K2 y K3.

En la siguiente gráfica (Fig. 5.2) se muestra la función de clasificación con sus respectivas constantes.

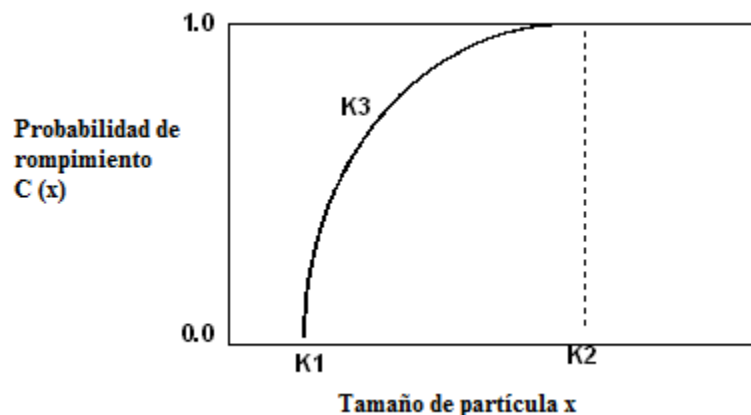


Fig. 5.2 Función de clasificación C(x)

Esta gráfica expresa en el eje de las abscisas, el tamaño de partícula (x) en un rango delimitado por K1 y K2 o por el CSS y el OSS, y en el eje de las ordenadas la probabilidad de rompimiento C (x) de cada partícula que se encuentra en ese rango con base en su propio tamaño. K3 es un valor constante (de 2.3) debido a que es la pendiente de la curva, por lo que no se ajusta.

De la ecuación 3, es posible definir a C (x) de la siguiente manera:

$C(x) = 1$, para $x > K2$, Todas las partículas se rompen

$C(x) = 1 - [(K2 - x) / (K2 - K1)]^{K3}$, para $K1 < x < K2$

$C(x) = 0$, para $x < K1$, Ninguna partícula se rompe

Donde X = tamaño de partícula

La constante K1 debe tomar un valor muy similar al CSS en cuanto a magnitud mientras que la constante K2 debe ser muy similar también en magnitud pero al OSS.

Esta característica no podrá ser notada en el modelo con el que se estará trabajando debido a que fue simplificado, eliminando ciertas constantes y variables por lo que la manera de saber si los valores de K1 y K2 obtenidos son los correctos es observando que K1 sea un valor pequeño y K2 sea un valor mayor.

La constante K3, generalmente para el uso del JKSIMMET V6 y para el uso de este modelo es de 2.3.

Por lo que para generar el ajuste de las quebradoras en el modelo, será necesario obtener K1 y K2 para determinar la función de clasificación, y S1 y S2 para determinar la función de rompimiento.

La obtención de K1, K2, S1 y S2 se realizó en una hoja de Excel utilizando los datos propios de cada quebradora obtenidos de los muestreos en la alimentación y descarga de cada una ellas, los parámetros de operación al momento de la realización de dichos muestreos así como los valores dentro del modelo ajustado de las constantes por conocer.

Se hicieron varias simulaciones en la hoja de Excel utilizando diferentes datos o parámetros, con el objetivo de que al realizar la regresión lineal, el valor de R^2 fuera lo más cercano posible a 1 para evitar la alteración del modelo.

Para obtener K1, la primera simulación que se hizo fue utilizando los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión
4. Amperaje

	K1	Horas operadas	CSS	Presión	Amperaje	K1
QT1	-32.8	1437.7	40	493	48	-32.97
QT2	7.05	934.75	24	480	37	8.13
QT3	6.07	80.2	28	480	42	0.12
QT4	1.78	640.55	24	480	43	6.33
QT5	15.38	1673.88	16	500	38	12.07
QT11	-4.42	614.19	24	498	39	-0.63

Fig. 5.3 Valores de K1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.70797504** y los siguientes coeficientes:

Constante (A0) = 295.646681
 Factor horas operadas (A1) = -0.001617117
 Factor CSS (A2) = -1.872431053
 Factor presión (A3) = -0.472976836
 Factor tonelaje (A4) = -0.379447744

La segunda simulación se realizó utilizando los siguientes 3 parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión

	K1	Horas operadas	CSS	Presión	k1
QT1	-32.8	1437.7	40	493	-32.84
QT2	7.05	934.75	24	480	6.89
QT3	6.07	80.2	28	480	0.27
QT4	1.78	640.55	24	480	7.42
QT5	15.38	1673.88	16	500	12.40
QT11	-4.42	614.19	24	498	-1.07

Fig. 5.4 Valores de K1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.848561566** y los siguientes coeficientes:

Constante (A0) = 285.3768559
 Factor horas operadas (A1) = -0.001801789
 Factor CSS (A2) = -2.041038654
 Factor presión (A3) = -0.474617262

La tercera simulación se realizó utilizando los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed Side Setting ó Abertura (CSS)
3. Presión
4. Tonelaje de alimentación

	K1	Horas operadas	CSS	Presión	Tonelaje	K1
QT1	-32.8	1437.7	40	493	764.59	-33.06
QT2	7.05	934.75	24	480	764.59	9.10
QT3	6.07	80.2	28	480	748.5	-289.24
QT4	1.78	640.55	24	480	748.5	-284.49
QT5	15.38	1673.88	16	500	748.5	-277.61
QT11	-4.42	614.19	24	498	741.18	366321.79

Fig. 5.5 Valores de K1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.735046246** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= -145.9384403 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= -0.007643843 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= -2.260656723 \\ \text{Factor presión (A3)} &= 0.38692361 \end{aligned}$$

Y la cuarta simulación se realizó con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Tonelaje
4. F_{80}

	K1	Horas operadas	CSS	Tonelaje	F80	K1
QT1	-32.8	1437.7	40	764.59	25.62	-32.87
QT2	7.05	934.75	24	764.59	26.36	7.26
QT3	6.07	80.2	28	748.5	28.42	2.69
QT4	1.78	640.55	24	748.5	29.25	6.56
QT5	15.38	1673.88	16	748.5	30.18	13.55
QT11	-4.42	614.19	24	741.18	26.69	-4.12

Fig. 5.6 Valores de K1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.866486262** y los siguientes coeficientes:

$$\text{Constante (A0)} = -509.827953$$

Factor horas operadas (A1) = -0.01120379
 Factor CSS (A2) = -2.046358848
 Factor tonelaje (A3) = 0.67273798
 Factor F80 (A4) = 2.36343801

Para la obtención de K2, se realizaron las mismas simulaciones quedando de la siguiente manera:

Simulación # 1

Los parámetros que se utilizaron fueron los siguientes:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión
4. Amperaje

	K2	Horas operadas	CSS	Presión	Amperaje	K2
QT1	222.13	1437.7	40	493	48	222.98
QT2	75.76	934.75	24	480	37	70.28
QT3	85.73	80.2	28	480	42	115.94
QT4	103.29	640.55	24	480	43	80.19
QT5	30.29	1673.88	16	500	38	47.09
QT11	135.73	614.19	24	498	39	116.46

Fig. 5.7 Valores de K2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.501910221** y los siguientes coeficientes:

Constante (A0) = -1202.427311
 Factor horas operadas (A1) = -0.012644614
 Factor CSS (A2) = 7.423689089
 Factor presión (A3) = 2.225426156
 Factor tonelaje (A4) = 1.031248535

Simulación # 2

Para realizar esta simulación se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión

	K2	Horas operadas	CSS	Presión	K2
QT1	222.13	1437.7	40	493	222.64
QT2	75.76	934.75	24	480	73.64
QT3	85.73	80.2	28	480	115.55
QT4	103.29	640.55	24	480	77.22
QT5	30.29	1673.88	16	500	46.21
QT11	135.73	614.19	24	498	117.67

Fig. 5.8 Valores de K2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.748306127** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= -1174.516374 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= -0.01214272 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= 7.881924365 \\ \text{Factor presión (A3)} &= 2.229884443 \end{aligned}$$

Simulación # 3

Esta simulación se realizó con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión
4. Tonelaje

	K2	Horas operadas	CSS	Presión	Tonelaje	K2
QT1	222.13	1437.7	40	493	764.59	223.48
QT2	75.76	934.75	24	480	764.59	65.16
QT3	85.73	80.2	28	480	748.5	115.16
QT4	103.29	640.55	24	480	748.5	86.02
QT5	30.29	1673.88	16	500	748.5	47.71
QT11	135.73	614.19	24	498	741.18	115.40

Fig. 5.9 Valores de K2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.53347317** y los siguientes coeficientes:

Constante (A0) = 479.484493
 Factor horas operadas (A1) = 0.010260294
 Factor CSS (A2) = 8.724112156
 Factor presión (A3) = 1.044127696
 Factor tonelaje (A4) = -1.483768353

Simulación # 4

La última simulación se realizó con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Tonelaje
4. F_{80}

	K2	Horas operadas	CSS	Tonelaje	F80	K2
QT1	222.13	1437.7	40	764.59	25.62	222.48
QT2	75.76	934.75	24	764.59	26.36	74.73
QT3	85.73	80.2	28	748.5	28.42	102.63
QT4	103.29	640.55	24	748.5	29.25	79.40
QT5	30.29	1673.88	16	748.5	30.18	39.44
QT11	135.73	614.19	24	741.18	26.69	134.24

Fig. 5.10 Valores de K2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.7794527** y los siguientes coeficientes:

Constante (A0) = 2611.65793
 Factor horas operadas (A1) = 0.03193608
 Factor CSS (A2) = 7.6421954
 Factor presión (A3) = -3.15852055
 Factor tonelaje (A4) = -12.7169115

Para la obtención de S1, nuevamente se realizaron las mismas 4 simulaciones.

Simulación # 1

Se realizó con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión
4. Abertura

	S1	Horas operadas	CSS	Presión	Amperaje	S1
QT1	0.3178	1437.7	40	493	48	0.31817
QT2	0.22323	934.75	24	480	37	0.22083
QT3	0.24788	80.2	28	480	42	0.26112
QT4	0.2452	640.55	24	480	43	0.23508
QT5	0.20117	1673.88	16	500	38	0.20853
QT11	0.2689	614.19	24	498	39	0.26045

Fig. 5.11 Valores de S1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.746818526** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= -0.738319119 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= -1.85763E-05 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= 0.004273777 \\ \text{Factor presión (A3)} &= 0.001707883 \\ \text{Factor amperaje (A4)} &= 0.001463743 \end{aligned}$$

Simulación # 2

Esta simulación fue realizada con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión

MODELACIÓN DE LAS QUEBRADORAS TERCIAIAS PARA PREDECIR SU COMPORTAMIENTO

2014

	S1	Horas operadas	CSS	Presión	S1
QT1	0.3178	1437.7	40	493	0.31769
QT2	0.22323	934.75	24	480	0.22560
QT3	0.24788	80.2	28	480	0.26056
QT4	0.2452	640.55	24	480	0.23086
QT5	0.20117	1673.88	16	500	0.20729
QT11	0.2689	614.19	24	498	0.26218

Fig. 5.12 Valores de S1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.859282669** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= -0.698702636 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= -1.7864E-05 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= 0.004924192 \\ \text{Factor presión (A3)} &= 0.001714211 \end{aligned}$$

Simulación # 3

Esta simulación se realizó con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión
4. Tonelaje

	S1	Horas operadas	CSS	Presión	Tonelaje	S1
QT1	0.3178	1437.7	40	493	764.59	0.31837
QT2	0.22323	934.75	24	480	764.59	0.21877
QT3	0.24788	80.2	28	480	748.5	0.26025
QT4	0.2452	640.55	24	480	748.5	0.23794
QT5	0.20117	1673.88	16	500	748.5	0.20849
QT11	0.2689	614.19	24	498	741.18	0.26035

Fig. 5.13 Valores de S1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.78175471** y los siguientes coeficientes:

Constante (A0) = 0.632355688
 Factor horas operadas (A1) = 1.64876E-07
 Factor CSS (A2) = 0.005601943
 Factor presión (A3) = 0.000759973
 Factor tonelaje (A4) = -0.001194064

Simulación # 4

Esta simulación fue realizada con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Tonelaje
4. F_{80}

	S1	Horas operadas	CSS	Tonelaje	F80	S1
QT1	0.3178	1437.7	40	764.59	25.62	0.3179
QT2	0.2232	934.75	24	764.59	26.36	0.2228
QT3	0.2478	80.2	28	748.5	28.42	0.2540
QT4	0.2452	640.55	24	748.5	29.25	0.2364
QT5	0.2011	1673.88	16	748.5	30.18	0.2045
QT11	0.2689	614.19	24	741.18	26.69	0.2684

Fig. 5.14 Valores de S1 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.92112448** y los siguientes coeficientes:

Constante (A0) = 1.9585439
 Factor horas operadas (A1) = 1.4862E-05
 Factor CSS (A2) = 0.0051887
 Factor presión (A3) = -0.00223626
 Factor tonelaje (A4) = -0.0062337

La obtención de la última constante, S2, se logró de la misma manera que las anteriores, como se muestra a continuación.

Simulación # 1

MODELACIÓN DE LAS QUEBRADORAS TERCIAIAS PARA PREDECIR SU COMPORTAMIENTO

2014

En esta simulación se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed size setting o abertura (CSS)
3. Presión
4. Amperaje

	S2	Horas operadas	CSS	Presión	Amperaje	S2
QT1	2.60327	1437.7	40	493	48	2.60766
QT2	1.45849	934.75	24	480	37	1.43008
QT3	1.71629	80.2	28	480	42	1.87299
QT4	1.6809	640.55	24	480	43	1.56108
QT5	1.20088	1673.88	16	500	38	1.28801
QT11	1.99513	614.19	24	498	39	1.89515

Fig. 5.15 Valores de S2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.7563875** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= -10.23886663 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= -0.000192806 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= 0.054063367 \\ \text{Factor presión (A3)} &= 0.021028369 \\ \text{Factor tonelaje (A4)} &= 0.012379225 \end{aligned}$$

Simulación # 2

Esta simulación se realizó con los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión

	S2	Horas operadas	CSS	Presión	S2
QT1	2.60327	1437.7	40	493	2.60358
QT2	1.45849	934.75	24	480	1.47043
QT3	1.71629	80.2	28	480	1.86830
QT4	1.6809	640.55	24	480	1.52538
QT5	1.20088	1673.88	16	500	1.27750
QT11	1.99513	614.19	24	498	1.90978

Fig. 5.16 Valores de S2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.87125522** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= -9.903820565 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= -0.000186782 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= 0.059564076 \\ \text{Factor presión (A3)} &= 0.021081887 \end{aligned}$$

Simulación # 3

Esta simulación se realizó utilizando los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Presión
4. Tonelaje

	S2	Horas operadas	CSS	Presión	Tonelaje	S2
QT1	2.60327	1437.7	40	493	764.59	2.61011
QT2	1.45849	934.75	24	480	764.59	1.40482
QT3	1.71629	80.2	28	480	748.5	1.86532
QT4	1.6809	640.55	24	480	748.5	1.59344
QT5	1.20088	1673.88	16	500	748.5	1.28907
QT11	1.99513	614.19	24	498	741.18	1.89220

Fig. 5.17 Valores de S2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.78258592** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= 2.887869887 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= 1.35215E-05 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= 0.066077377 \\ \text{Factor presión (A3)} &= 0.011911497 \\ \text{Factor (A4)} &= -0.011475148 \end{aligned}$$

Simulación # 4

Para esta simulación se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Tonelaje
4. F_{80}

	S2	Horas operadas	CSS	Tonelaje	F80	S2
QT1	2.6033	1437.7	40	764.59	25.62	2.6046
QT2	1.4585	934.75	24	764.59	26.36	1.4544
QT3	1.7163	80.2	28	748.5	28.42	1.7828
QT4	1.6809	640.55	24	748.5	29.25	1.5869
QT5	1.2009	1673.88	16	748.5	30.18	1.2369
QT11	1.9951	614.19	24	741.18	26.69	1.9893

Fig. 5.18 Valores de S2 obtenidos con los coeficientes de regresión lineal con base en los parámetros seleccionados

Obteniéndose un valor de R^2 ajustado de **0.93793435** y los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} \text{Constante (A0)} &= 22.5215308 \\ \text{Factor horas operadas (A1)} &= 0.0002111 \\ \text{Factor CSS (A2)} &= 0.06143947 \\ \text{Factor presión (A3)} &= -0.02689834 \\ \text{Factor (A4)} &= -0.08242643 \end{aligned}$$

Para tener una visión más objetiva de los resultados, a continuación se presenta una tabla resumiendo los valores que se obtuvieron para cada constante en cada simulación.

	Simulación # 1	Simulación # 2	Simulación # 3	Simulación # 4
K1	0.70797504	0.848561566	0.735046246	0.8664486262
K2	0.501910221	0.748306127	0.53347317	0.7794527
S1	0.746818526	0.859282669	0.78175471	0.92112448
S2	0.7563875	0.87125522	0.78258592	0.93793435

Fig. 5.19 Valores de R^2 ajustados de las 4 constantes con su respectiva simulación

Como se puede observar, la simulación # 4 es la que mejores resultados presenta en cuanto a los valores de R^2 , ya que son los que más se aproximan a 1.

Esto significa que con los datos y parámetros experimentales no se altera el modelo ya que la aproximación a 1 es muy cercana.

Una vez que se decidió con qué número de simulación trabajar, ahora es posible enlistar los coeficientes con los que se trabajarán en las ecuaciones previamente mencionadas.

Para obtener K1:

A0 =	-509.827953
A1 =	-0.01120379
A2 =	-2.04635848
A3 =	0.67273798
A4 =	2.36343801

Donde:

A0: constante

A1: Factor de horas operadas

A2: Factor de CSS

A3: Factor de tonelaje

A4: Factor F_{80}

Siendo sustituidas en la siguiente ecuación:

$$K1 = A0 + ((A1*Horas operadas) + (A2*CSS) + (A3*tonelaje de alimentación) + (A4 * F_{80}))$$

Para obtener K2:

B0 =	2611.65793
B1 =	0.03193608
B2 =	7.6421954
B3 =	-3.15852055
B4 =	-12.7169115

Donde:

B0: constante

B1: Factor de horas operadas

B2: Factor de CSS

B3: Factor de tonelaje

B4: Factor F_{80}

Siendo sustituidas en la siguiente ecuación:

$$K2 = B0 + ((B1*Horas operadas) + (B2*CSS) + (B3*tonelaje de alimentación) + (B4* F_{80}))$$

Para obtener S1:

C0 =	1.9585439
C1 =	1.4862E-05
C2 =	0.0051887
C3 =	-0.00223626
C4 =	-0.0062337

Donde:

C0: constante

C1: Factor de horas operadas

C2: Factor de CSS

C3: Factor de tonelaje

C4: Factor F_{80}

Siendo sustituidas en la siguiente ecuación:

$$S1 = C0 + ((C1*Horas operadas) + (C2*CSS) + (C3*tonelaje de alimentación) + (C4* F_{80}))$$

Para obtener S2:

D0 =	22.5215308
D1 =	0.0002111
D2 =	0.06143947
D3 =	-0.02689834
D4 =	-0.08242643

Donde:

D0: constante

D1: Factor de horas operadas

D2: Factor de CSS

D3: Factor de tonelaje

D4: Factor F_{80}

Siendo sustituidas en la siguiente ecuación:

$$S2 = D0 + ((D1*Horas operadas) + (D2*CSS) + (D3*tonelaje de alimentación) + (D4* F_{80}))$$

Ahora que se tienen las ecuaciones para obtener el valor de las constantes para cualquier valor de los parámetros utilizados es posible utilizar el modelo creado en Excel.

El modelo generado en Excel se compone de 3 partes. La primera se refiere a los datos con los cuales se va a trabajar, el segundo es la aplicación de las ecuaciones y constantes en el modelo para realizar el ajuste y el tercero es el resumen generado con los datos del ajuste del modelo.

5.2 DATOS

En esta sección se tiene la siguiente información:

- Tamaño de partícula en número de mallas y mm.
- Peso en gramos y en porcentaje de la alimentación y la descarga experimentales.
- El acumulado en % pasando y % retenido de la alimentación y la descarga experimentales.
- El tonelaje por hora alimentado a la quebradora
- La abertura con la que se está operando
- El tonelaje por hora alimentado y descargado por cada fracción granulométrica
- Los finos a $\frac{1}{2}$ " alimentados y descargados, por lo tanto también se tienen los finos producidos
- El F_{80} y el P_{80} , ambos en mm.
- La obtención de la cantidad de finos según la abertura a la que se esté operando la quebradora.
- El TPH en la alimentación a la abertura con la que esté operando la quebradora
- El TPH en la descarga a la abertura con la que esté operando la quebradora
- Producción TPH a la abertura de esa quebradora
- La eficiencia de la quebradora

MODELACIÓN DE LAS QUEBRADORAS TERCIAIAS PARA PREDECIR SU COMPORTAMIENTO

2014

En esta primera sección, únicamente se ingresan los siguientes datos, los marcados en gris en el programa:

1. El peso en gramos de la alimentación
2. El peso en gramos de la descarga
3. El tonelaje por hora de alimentación
4. El CSS (abertura)

Tamaño de Partícula	Alimentación								Descarga				TPH de partículas	
	Peso		Acumulado		Peso		Acumulado		ALIM	DESC				
	g	%	% Pasado	% Retenido	g	%	% Pasado	% Retenido						
Malla	mm													
9	228.60	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0			
8	203.20	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0			
7	177.80	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0			
6	152.40	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0			
5	127.00	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0			
4	101.60	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0			
3	76.20	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0			
1.5	38.10	3650.0	2.4	97.6	2.4	1000.0	1.2	98.8	1.2	18.54	9.08			
1	25.40	27800.0	18.5	79.1	20.9	10300.0	12.2	86.6	13.4	141.18	93.48			
3/4	19.05	40600.0	27.0	52.1	47.9	14950.0	17.7	68.8	31.2	206.18	135.68			
1/2	12.70	69200.0	46.0	6.2	93.8	30800.0	36.6	32.3	67.7	351.42	279.52			
3/8	9.53	6950.0	4.6	1.6	98.4	7550.0	9.0	23.3	76.7	35.29	68.52			
1/4	6.35	1200.0	0.8	0.8	99.2	6500.0	7.7	15.6	84.4	6.09	58.99			
4	4.76	150.0	0.1	0.7	99.3	2750.0	3.3	12.3	87.7	0.76	24.96			
6	3.36	50.0	0.0	0.6	99.4	2100.0	2.5	9.9	90.1	0.25	19.06			
8	2.38	50.0	0.0	0.6	99.4	1550.0	1.8	8.0	92.0	0.25	14.07			
10	2.00	10.0	0.0	0.6	99.4	650.0	0.8	7.2	92.8	0.05	5.90			
-10	-2.00	900.0	0.6	0	100.0	6100.0	7.2	0	100.0	4.57	55.36			
Total (TPH) :	764.59			F80 (mm) :	25.62			P80 (mm) :	22.25					
CSS:	40.00			99.13	40.00			99.55	40.00	47.28	246.85			
										199.57	TPH FINOS PRODUCIDOS			

Fig. 5.20 Tabla de datos experimentales

5.3 MODELO

Tamaño de partícula en número de malla y mm

Tamaño geométrico

El TPH en la alimentación de la quebradora por cada fracción granulométrica, la cual es la misma que la obtenida en la sección de datos, ya que la alimentación no se va a ajustar.

El TPH en la descarga de la quebradora por cada fracción granulométrica ya ajustada tomando en cuenta para esto la matriz conformada por la función de clasificación, la cual es una matriz diagonal y la función de rompimiento, la cual es una matriz triangular inferior.

MODELACIÓN DE LAS QUEBRADORAS TERCIAIAS 2014 PARA PREDECIR SU COMPORTAMIENTO

T. Geométrico	F. Rompimiento	F. Clasificación	215.5	190.1	164.6	139.1	113.6	88.0	53.9	31.1	22.0	15.6	11.0	7.8	5.5	4.0	2.8	2.2
215.5	0.317823933	1.000	0.00033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190.1	0.229150112	0.992	0.00416	0.01239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164.6	0.157577839	0.967	0.0161	0.0156	0.04703	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
139.1	0.101692617	0.924	0.03594	0.03584	0.03432	0.10721	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113.6	0.059990496	0.860	0.06047	0.06187	0.06103	0.05789	0.19304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88.0	0.030854309	0.772	0.08382	0.08768	0.08888	0.08699	0.08201	0.30256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53.9	0.008607142	0.615	0.10717	0.11693	0.12149	0.12254	0.11946	0.11199	0.47801	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.1	0.002059777	0.485	0.10342	0.11027	0.12062	0.12531	0.12648	0.12308	0.10674	0.60873	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0.00083558	0.427	0.07975	0.08398	0.08926	0.09914	0.10383	0.10529	0.09523	0.08715	0.66308	0	0	0	0	0	0	0
15.6	0.000338966	0.384	0.05651	0.05977	0.06245	0.06692	0.07657	0.0813	0.07716	0.07389	0.07945	0.70203	0	0	0	0	0	0
11.0	0.000137507	0.352	0.03738	0.03967	0.04169	0.04362	0.04775	0.05695	0.05715	0.05772	0.06506	0.07304	0.72977	0	0	0	0	0
7.8	5.57818E-05	0.329	0.02342	0.02489	0.02628	0.02772	0.02937	0.03321	0.03862	0.04155	0.04955	0.0584	0.06803	0.74947	0	0	0	0
5.5	2.26133E-05	0.312	0.01421	0.01509	0.01596	0.01694	0.01813	0.0196	0.02142	0.02738	0.03495	0.04369	0.05349	0.06425	0.76345	0	0	0
4.0	9.87521E-06	0.301	0.00847	0.00898	0.00948	0.01009	0.01088	0.01192	0.01227	0.01464	0.02261	0.03036	0.03949	0.04988	0.06139	0.77266	0	0
2.8	4.00603E-06	0.293	0.00497	0.00527	0.00555	0.0059	0.00639	0.00707	0.00738	0.0082	0.01178	0.01941	0.02721	0.03656	0.04734	0.05956	0.77986	0
2.2	2.03912E-06	0.288	0.00287	0.00304	0.00321	0.0034	0.00367	0.00408	0.00433	0.00489	0.00647	0.00989	0.01721	0.02497	0.03443	0.04559	0.05796	0.78384

Fig. 5.21 Matriz triangular con base en tamaño geométrico y funciones de rompimiento y clasificación

Tamaño de Partícula		T. Geometrico	Alimentación	Descarga	SD	Error	Curva de rompimiento
Malla	mm						
9	228.60		0.00	0.00	0.10	0	1.00
8	203.20	215.5	0.00	0.00	0.10	0	1.00
7	177.80	190.1	0.00	0.00	0.10	0	1.00
6	152.40	164.6	0.00	0.00	0.10	0	1.00
5	127.00	139.1	0.00	0.00	0.10	0	1.00
4	101.60	113.6	0.00	0.00	0.10	0	1.00
3	76.20	88.0	0.00	0.00	0.10	0	1.00
1.5	38.10	53.9	18.54	8.86	0.22	0.01651	0.51
1	25.40	31.1	141.18	87.92	1.00	0.5283	0.36
3/4	19.05	22.0	206.18	150.78	1.00	3.90446	0.35
1/2	12.70	15.6	351.42	274.95	1.00	0.35706	0.28
3/8	9.53	11.0	35.29	74.05	1.00	0.52709	0.22
1/4	6.35	7.8	6.09	44.29	0.87	4.86879	0.15
4	4.76	5.5	0.76	29.68	0.43	2.10134	0.12
6	3.36	4.0	0.25	19.56	0.35	0.03588	0.09
8	2.38	2.8	0.25	11.98	0.28	0.92658	0.07
10	2.00	2.2	0.05	6.43	0.18	0.15538	0.07
-8	-2.00	Fondo	4.57	56.09	0.82	0.01345	0.00
Total (TPH) :			764.59	764.59			
			47.28	242.08			
				194.80			

Fig. 5.22 Tabla con los valores de cada fracción granulométrica para generar la curva de rompimiento

Información de la quebradora:

Diámetro del rotor (m), el cual es un dato que se ingresa y en este caso es el mismo para todas las quebradoras.

Velocidad del rotor (rpm), es un dato que se ingresa y es el mismo para todas las quebradoras.

Ecs (kWh/ton), es un dato que en este caso lo da el programa.

Función de clasificación:

Se requiere obtener los datos de las siguientes constantes:

- K1
- K2
- K3

K1 y K2 se obtienen utilizando las ecuaciones previamente mencionadas mientras que el valor de K3 será constante siendo de 2.3.

Propiedades del mineral:

También son datos que se obtuvieron directamente de estudios realizados de la mina y serán constantes para todas las quebradoras.

Función de rompimiento:

También son datos que se obtuvieron directamente de estudios realizados en mina y serán constantes para todas las quebradoras.

Función de selección:

Se requiere obtener las siguientes constantes:

S1

S2

Se obtendrán con las ecuaciones que previamente se mostraron.

- Función objetivo
- CSS
- F_{80}
- TPH

Información de Quebradora		Función de Clasificación		Propiedades del Mineral						
Diámetro del rotor (m) :	0.559	K1 :	-32.80	A :	59.6					
Velocidad del rotor (rpm) :	708	K2 :	222.13	b :	0.73					
Ecs (kWh/ton) :	0.060	K3 :	2.3							
Función de Rompimiento										
F. Objetivo :	0.863932713	T ₁₀ estimado :	2.539	T _n		Función de selección				
				75	50	25	4	2	kappa	0.31782
		%T ₁₀	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	alpha	2.60327
CSS	40.00		10	4.0	4.6	6.0	20.4	48.7		
F80	25.62		20	6.9	8.2	11.6	41.6	78.6		
TPH	764.59		30	9.5	11.6	17.2	61.4	94.2		
			40	10.0	12.0	22.0	70.0	95.0		

Fig. 5.23 Información requerida durante la generación del modelo

5. 4 RESUMEN

Se muestra la siguiente información:

Tamaño de partícula en número de malla y mm.

Peso en gramos y en porcentaje, de la alimentación que son los mismos que lo que se tienen en la sección de datos, ya que la alimentación será la misma debido a que ésta no se ajustará.

Acumulado en % pasando y % retenido de la alimentación que también se mantienen igual.

Peso en gramos y en porcentaje, de la descarga, la cual si varía ya que esos datos son obtenidos directamente de la hoja donde se realizó el ajuste.

Acumulado en % pasando y % retenido de la descarga, los cuales también varían según el resultado del ajustado.

F_{80} y P_{80} en mm

El acumulado en % pasando con base en la abertura con la que se quiera operar la quebradora.

El TPH de finos alimentados y descargados con base en la abertura deseada

Producción de finos de la quebradora

Gráfica de tamaño de partícula en mm vs Acumulado en % pasando de la alimentación y la descarga de la quebradora

Por último se tiene una gráfica construida con los datos experimentales y los generados después del ajuste. Por lo que se podrá comparar mediante estas dos curvas el comportamiento de la quebradora con los datos y parámetros experimentales y los modelados.

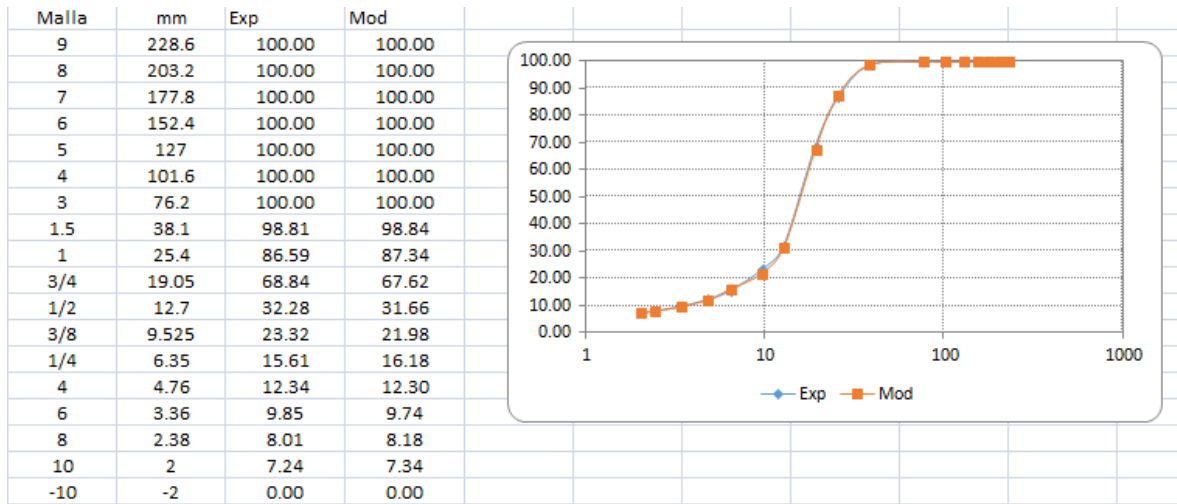


Fig. 5.24 Datos y gráfica comparativos

Con base en las simulaciones realizadas previamente, los parámetros óptimos para el ajuste en la quebradora son los siguientes:

1. Horas operadas
2. Closed side setting ó abertura (CSS)
3. Tonelaje
4. F_{80}

Estos parámetros son los utilizados en la simulación # 4 para las constantes K1, K2, S1 y S2.

CONCLUSIONES

Con la realización de los muestreos a las cribas, quebradoras secundarias y terciarias del lado A de la planta de trituración fina del complejo minero metalúrgico La Caridad es posible llegar a las siguientes conclusiones:

La descarga de las cribas de alimentación a las quebradoras secundarias presentó un P_{80} menor a $\frac{1}{2}$ ", lo que significa que no hay presencia de mineral grueso en dicha descarga, siendo ésta prioridad en el circuito ya que este mineral va directamente al almacén de finos, por lo que se debe tener especial cuidado con las mallas de estas cribas, revisando constantemente la abertura de las mallas para evitar que por desgaste se rompan y comience a descargar mineral a $+\frac{1}{2}$ " en la descarga de los finos.

La descarga de las quebradoras secundarias presentó un P_{80} de $-1\frac{1}{2}$ " indicando que el producto de descarga se encuentra en el rango deseado. Estas quebradoras son de poste fijo por lo que la abertura se mantiene constante pudiendo mantener un tamaño de descarga del mineral también constante. Estas quebradoras no fueron analizadas más detalladamente debido a que si cumplen con el tamaño de descarga requerido.

La descarga de las quebradoras terciarias presentó un P_{80} por arriba de lo requerido ($-\frac{1}{2}$ ") debido a las siguientes razones:

El tonelaje de alimentación a las quebradoras terciarias es mayor al recomendado por el fabricante, por lo que las quebradoras se ven forzadas a abrir el CSS y el OSS, recordando que el OSS debe ser el doble del CSS y es en donde se realiza la función de clasificación.

Para poder procesar el tonelaje que está siendo alimentado a la quebradora, es necesario abrir el CSS para evitar el atascamiento del mineral en la quebradora y en el circuito pero esto generará una descarga de mineral con una granulometría mayor.

Las horas operadas de la quebradora están relacionadas al tipo de mantle instalado en la quebradora. Debido a esto, a mayores horas operadas, mayor cantidad de finos produce la quebradora. Esto se relaciona con el desgaste natural del mantle, ya que éste va asentándose o moldeándose a la quebradora permitiendo un mejor ajuste en el CSS y por lo tanto la obtención de mineral al tamaño deseado.

La abertura ideal para las quebradoras terciarias debe ser menor a 25.4 mm para descargar un producto a $-\frac{1}{2}$ " pero aún así durante los muestreos, las quebradoras 2, 4 y 11 operaron con un setting de 24 mm por lo que se esperaría una descarga con un tamaño de $-\frac{1}{2}$ " pero no fue así, debido a que otras variables como el tonelaje de alimentación, las horas de operación y el tipo de mantle afectan de manera directa la producción de finos.

Al realizar la correlación de los parámetros que influyen en el comportamiento de las quebradoras, a pesar de que las quebradoras tengan un setting adecuado, la cantidad de tonelaje que se está

alimentando y el no tener el poste fijo provocan que el setting varíe según el tonelaje de alimentación para no forzar la quebradora.

El tener poste fijo como en el caso de las quebradoras secundarias tiene la ventaja de que se mantiene el setting fijo aunque se aumente el tonelaje pero la desventaja es que ocurrirán muchas fallas mecánicas y eléctricas por forzar la quebradora pero obteniendo la granulometría deseada.

En las quebradoras terciarias, el no contar con poste fijo permite que la misma quebradora regule el setting según el tonelaje de alimentación que se tiene, pero si actualmente el tonelaje de alimentación es demasiado alto, la presión va a aumentar bajando el poste y por lo tanto abriendo el setting ocasionando una menor producción de finos.

Si se mantiene un setting fijo en las quebradoras terciarias, se tendrán problemas mecánicos y/o eléctricos parando constantemente y teniendo las quebradoras fuera de operación. Por lo que hay que tener especial cuidado en el tonelaje de alimentación para no forzar la quebradora ya que la abertura permanecerá constante.

Al realizar las simulaciones y cálculos del capítulo V, se determinó que los parámetros que afectan directamente la descarga del producto de las quebradoras terciarias son:

1. Horas operadas
2. Closed side setting o abertura (CSS)
3. Tonelaje de alimentación
4. F_{80}

El modelo realizado en Excel beneficia al proceso porque ayuda a predecir el comportamiento de las quebradoras terciarias al variar alguno o todos los parámetros antes mencionados, cabe aclarar que la obtención de las constantes para obtener las funciones de rompimiento y de clasificación es a través de las fórmulas donde se multiplica estas constantes obtenidas en el modelo experimental por los valores actuales de operación o que se deseen de los parámetros óptimos.

Lo que ocurre actualmente en esta unidad minero metalúrgica es que se requiere obtener mayor producción para compensar la caída de los precios, pero como se demostró mediante los muestreos y simulaciones realizadas, el equipo que se tiene no es apto para continuar aumentando el tonelaje de alimentación a cada quebradora, ya que no se logrará la disminución de la partícula al tamaño que se requiere de $- \frac{1}{2}$ ".

BIBLIOGRAFÍA

Fuerstenau, M. C. (2003). *Principles of Mineral Processing*. USA: SME 1 edición.

Fueyo, L. (s.f.). Equipos de trituración, molienda y clasificación; Tecnología, diseño y aplicación. Rocas y Minerales.

JK Tech. (s.f.). Obtenido de <http://www.jktech.com.au/jksimmet>

JKTech Pty Ltd. (s.f.). JK SimMet V6 Manual.

Kelly, G. E. (1990). *Introducción al Procesamiento de Minerales*. México: Noriega 1 edición.

Metso Corporation. (s.f.). Obtenido de <http://www.metsomining.net>

Mineral Technologies International. (s.f.). Obtenido de <http://www.mineraltech.com/MODSIM/ModsimTraining/index.html>

Optimizing the Process with Metso CISA. (s.f.). Obtenido de http://www.madencilik-turkiye.com/dosyalar/metso/sunum7-julie_legay-prosesi_tamamlayici_uygulamalar.pdf

Reyes, J. L. (12 de Septiembre de 2014). Director de Metalurgia en Grupo México. (A. Cinta, Entrevistador)

Reyes, J. L. (12 de Septiembre de 2014). Director de Metalurgia, Grupo México. (C. P. Adriana, Entrevistador)

Svedensten, P. (13 de Agosto de 2004). Crushing plant optimisation by means of a genetic evolutionary algorithm. Suiza: Minerals Engineering.

Wills B.A., N.-M. T. (2006). *Will's Mineral Processing Technology*. UK, Australia: 7° ed. Elsevier.