

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de un circuito de trituración primaria y secundaria para la zona de molinos tipo chileno en la Planta de Beneficio “Buele”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero de Minas

Presentado por:

Ronald Emilio Asanza Quezada

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia, que siempre se esforzó para que pudiera estudiar durante cada etapa de mi vida.

A mis amigos y compañeros: Ana, Kleber, Ronald, Kevin, Julio; que siempre me apoyaron y enseñaron el camino cuando tuve alguna dificultad.

Finalmente dedico este trabajo a todos los profesores, tutores y ayudantes de cátedra que brindaron de su conocimiento y tiempo para que pueda llegar hasta donde estoy hoy.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos al señor Oswaldo Buele, por permitirme trabajar en su empresa y permitir el desarrollo de este proyecto. A la Ingeniera Nancy Zumba, que inclusive en el feriado acudió a los laboratorios de ESPOL para brindar su conocimiento en la elaboración de láminas delgadas. Y finalmente quiero agradecer a la Dra. Gloria Elizabeth Peña y la Dra. Samantha Jiménez por haberme guiado durante todo el desarrollo de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Ronald Emilio Asanza Quezada* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Ronald Emilio Asanza Quezada

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**SAMANTHA TAMARA
JIMENEZ OYOLA**

Dra. Samantha Jiménez

PROFESOR DE LA MATERIA

GLORIA
ELIZABETH
PENA CARPIO

Firmado digitalmente por
GLORIA
ELIZABETH PENA
CARPIO

Dra. Elizabeth Peña

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La pequeña minería en el Ecuador tiene un gran potencial de crecimiento debido al incremento del valor del oro y demás metales en el último año, pero se encuentra limitada por el conocimiento precario de las operaciones de extracción y recuperación que se emplean. Un problema común en las empresas mineras a pequeña escala es que no cuentan con los estudios adecuados al momento de implementar un proceso de conminución e inclusive ni siquiera poseen este proceso de manera completa en muchos casos. En este sentido, este estudio se enfocó en la planta de beneficio Buele, la misma que no cuenta con un circuito de trituración primaria para sus molinos tipo chileno, por lo que presenta una baja eficiencia en alcanzar al grado de liberación mineral y por ello la poca recuperación. En este proyecto, se busca diseñar un circuito de trituración que permita cumplir con las necesidades de la planta de beneficio, con base en las características mineralógicas del material con el que se trabaja.

Para esto, se realizó un levantamiento de información de la cantidad de material que ingresó a la planta durante el último bimestre, además se tomó muestras de mano, con las que se realizó un análisis de láminas delgadas y se identificó el grupo mineralógico al que pertenecía el material; esto sirvió como base para la utilización de las fórmulas de Taggart y Bond en la determinación de capacidades y potencia de motores de las trituradoras.

De esta manera, se llegó a la selección de una trituradora de mandíbulas como trituradora primaria y una trituradora de cono como secundaria. Los equipos seleccionados poseen una robustez elevada, siendo adecuados para minería a pequeña escala por sus bajos costos de mantenimiento y buena eficiencia.

El diseño final del circuito presenta un equilibrio entre la alimentación de cada equipo permitiendo a la planta operar con normalidad incluso con volúmenes grandes. Los resultados de este proyecto aportan información relevante para la empresa minera, lo que permitirá que la planta de beneficio obtenga una mejora en su proceso de conminución y logre una mayor recuperación mineral.

Palabras Clave: Conminución, mineralogía, diseño, trituración.

ABSTRACT

Small-scale mining at the equator has great growth potential due to the increase in the value of gold and other metals in the last year, but it is limited by the precarious knowledge of the extraction and recovery operations that are used. A common problem in small-scale mining companies is that they do not have the appropriate studies when implementing a comminution process and even do not even have this process completely in many cases. In this sense, this study focused on the Buele beneficiation plant, which does not have a primary crushing circuit for its Chilean-type mills, so it has a low efficiency in reaching the degree of mineral release and therefore the little recovery. In this project, we seek to design a crushing circuit that allows to meet the needs of the beneficiation plant, based on the mineralogical characteristics of the material with which it works.

For this, an information survey of the amount of material that entered the plant during the last two months was carried out, in addition hand samples were taken, with which an analysis of thin sheets was carried out and the mineralogical group to which the material belonged was identified; this served as the basis for the use of the Taggart and Bond formulas in determining the engine capacities and power of crushers.

In this way, the selection of a jaw crusher as a primary crusher and a cone crusher as a secondary one was reached. The selected equipment has a high robustness, being suitable for small-scale mining due to its low maintenance costs and good efficiency.

The final design of the circuit presents a balance between the power of each equipment allowing the plant to operate normally even with large volumes. The results of this project provide relevant information for the mining company, which will allow the beneficiation plant to obtain an improvement in its comminution process and achieve greater mineral recovery.

Keywords: *Comminution, mineralogy, design, crushing.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1.....	INTRODUCCIÓN
.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Propiedades físicas de los minerales	3
1.4.2 Procesamiento de minerales	5
1.4.3 Trituración y molienda	8
1.4.4 Equipos de trituración	8
1.4.5 Capacidad de trituradoras	12
1.4.6 Potencia requerida: trituración	14
1.4.7 Elementos auxiliares.....	16

CAPÍTULO 2.....		19
2.....	METODOLOGÍA	19
2.1 Descripción mineralógica del material de entrada		19
2.1.1 Caracterización mineralógica por inspección (petrografía).....		20
2.1.2 Análisis mineralógico laboratorio		20
2.2 Tonelaje		20
2.3 Dimensionamiento de tolva.....		21
2.4 Cálculo del número de etapas de trituración.....		22
2.5 Cálculo de trituradoras		22
2.5.1 Capacidad de trituradora		22
2.6 Potencia requerida.....		23
2.7 Transporte de material.....		23
2.7.1 Cintas transportadoras.		23
2.7.2 Cribas		23
2.8 Diseño del circuito de trituración		23
CAPÍTULO 3.....		25
3.RESULTADOS	Y	ANÁLISIS
.....		25
3.1 Descripción mineralógica del material de entrada		25
3.1.1 Análisis petrográfico visual		25
3.1.2 Láminas delgadas en microscopio óptico		28
3.2 Tonelajes		36
3.3 Cálculos de tolva.....		36
3.4 Razón de reducción del circuito		37
3.5 Trituradoras.....		38

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
CIL	Carbón activado insertado en pulpa
FEV	Factor de Espacios Vacíos

SIMBOLOGÍA

m	Metro
KWh	Kilovatio hora
TC	Tonelada corta
T	Tonelada
H	Horas
s	segundos
ρ	Densidad
Wi	Índice de trabajo de Bond
F ₈₀	Tamaño de alimentación por el que pasa 80% del material.
P ₈₀	Tamaño de salida por el que pasa 80% del material.
R	Razón de reducción
FS	Factor de Seguridad

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1.1 Trituradora de mandíbulas (TELSMITH, 2015).....	9
Ilustración 1.2 Trituradora giratoria (TELSMITH, 2015)	10
Ilustración 1.3 Trituradora de cono (TELSMITH, 2015)	11
Ilustración 1.4 Trituradora de impacto HSI (TELSMITH, 2015).....	11
Ilustración 1.5 Esquema de la vista transversal de una trituradora de mandíbulas. Fuente (Agudelo, 2014)	13
Ilustración 1.6 Esquema de Taggart - trituradora de cono	14
Ilustración 2.1 Metodología a seguir	19
Ilustración 2.2 Forma de la tolva	21
Ilustración 3.1 Muestra de mano M101	26
Ilustración 3.2 Muestra de mano M102.....	27
Ilustración 3.3 Muestra de mano M103.....	28
Ilustración 3.4 Lamina delgada 2021 Pta. Buele #1	29
Ilustración 3.5 Pta. Buele #1: Nícoles Cruzados - Objetivo 10X	30
Ilustración 3.6 2021 Pta. Buele #1: Nícoles Paralelos - Objetivo 10X.....	30
Ilustración 3.7 Lámina delgada 2021 Pta. Buele #2.....	31
Ilustración 3.8 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Paralelos - Objetivo 10X.....	32
Ilustración 3.9 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Cruzados - Objetivo 10X	32
Ilustración 3.10 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Cruzados - Objetivo 4X - Clasto de calcitas y micas.....	33
Ilustración 3.11 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Cruzados - Objetivo 10X - Plagioclasas cloritizadas	34
Ilustración 3.12 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Paralelos - Objetivo 10X - Plagioclasas cloritizadas	35
Ilustración 3.13 Diseño final – Circuito de trituración	43
Ilustración 4.1 Curvas granulométricas de trituradora cónica Telsmith Nro. 48. Fuente: (Nicolini, 2012).....	50
Ilustración 4.2 Curvas granulométricas de producto de trituradoras de mandíbulas Telsmith. Fuente: (Nicolini, 2012)	50

Ilustración 4.3 Capacidad trituradoras de mandíbula excéntrica – Telsmith 10"x16" hasta 22"x50". Fuente (TELSMITH, 2015).....	51
Ilustración 4.4 Análisis de cribado del producto de trituradoras de mandíbula Telsmith. Fuente: (TELSMITH, 2015).....	51
Ilustración 4.5 Capacidad de trituradoras de cono en circuito abierto – serie SBS. Fuente: (TELSMITH, 2005).....	52
Ilustración 4.6 Análisis de cribado del producto de trituradoras de mandíbula Telsmith. Fuente: (TELSMITH, 2005).....	52
Ilustración 4.7 Corte de muestras de mano para exponer una cara lisa.	53
Ilustración 4.8 Pulido de secciones delgadas con polvo abrasivo.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Escala de Mohs. Fuente: (Klein & Hurlbut, 2007)	4
Tabla 1.2 Términos de Tenacidad. Fuente: (Klein & Hurlbut, 2007).....	4
Tabla 1.3 Índice de trabajo de Bond (Portal Minero Chile, 2006)	6
Tabla 3.1 Código de muestras de mano	25
Tabla 3.2 Registro de material procesado en la zona de molinos chilenos	36
Tabla 3.3 Dimensiones de la tolva	37
Tabla 3.4 Razón de reducción en las etapas de trituración.....	38
Tabla 3.5 Especificaciones de la trituradora primaria	38
Tabla 3.6 Especificaciones de la trituradora secundaria de cono.....	39
Tabla 3.7 Especificaciones de la trituradora secundaria de mandíbulas	39
Tabla 3.8 Especificaciones de motores requeridos	40
Tabla 3.9 Especificaciones de las cribas requeridas.....	41
Tabla 3.10 Especificaciones de las banda transportadoras	41
Tabla 3.11 Inversión del circuito.....	44

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La minería en Ecuador ha ido ganando fuerza durante los últimos años, lo que la ha llevado a convertirse en una de las principales fuentes de ingresos del país. Su valor dentro del PIB se ha visto incrementado de un 1.6% en el 2016 a 2.2% en el 2021, como lo describe el Banco Central del Ecuador (2021). Por esta razón, el sector minero siempre está buscando la manera de mejorar las explotaciones y recuperación mineral, manteniéndose dentro de las leyes establecidas por el Estado de Protección y Remediación Ambiental.

El diseño de un circuito de conminución permite cumplir con los requerimientos de una planta de beneficio, optimizando el uso de energía y las recuperaciones minerales. Si bien muchas de las plantas de procesamiento cuentan con equipos de conminución, las plantas de procesamiento asociadas a la minería a pequeña escala no han realizado estudios sobre el dimensionamiento y la selección de estos equipos, los que tienen una gran importancia en todo el proceso de recuperación mineral, ya que se realizan operaciones de trituración primaria, secundaria y molienda para lograr alcanzar el grado de liberación del mineral.

El proyecto surge debido a la necesidad de mejorar los procesos de conminución dentro de la minería a pequeña escala. La deficiencia en los equipos de conminución conlleva a realizar procesos manuales de trituración y molienda, lo que trae consigo riesgos a la salud de los trabajadores y reduce la eficiencia de los procesos físicos y químicos, así como un incremento en el tiempo requerido para completar todas las operaciones. La Planta de Beneficio "Buele" realiza el procesamiento de minerales de cobre y oro, lo que requiere un circuito de trituración y molienda para lograr el grado de liberación del mineral y optimizar la recuperación, por lo que se busca relacionar las características físico - químicas de los minerales a procesar con la selección y dimensionamiento de equipos de conminución apropiados, con la finalidad de mejorar los procesos de reducción de tamaño y la recuperación mineral.

1.1 Descripción del problema

La planta de Beneficio “Buele” realiza la recuperación de minerales de cobre - oro para su concentrado y venta. Utiliza procesos de conminución y recuperación correspondientes a la minería a pequeña escala, los cuales presentan deficiencia en las etapas de reducción de tamaño del mineral. La planta no cuenta con un circuito de trituración primaria para la zona de molinos chilenos, lo que trae consigo pérdidas económicas debido a no producirse una buena liberación mineral por la sobrecarga de material grande en los molinos y por ello una recuperación deficiente, junto con un gasto energético elevado por el sobreesfuerzo de los motores.

Además, la falta de un procesos de trituración incrementa el tiempo requerido para procesar el material, ya que los clastos grandes deben fracturarse de manera manual para evitar daños al molino, lo que no siempre es posible y termina generando un gasto adicional en los mantenimientos. También es importante mencionar los posibles daños a la salud que los trabajadores puede presentar por el hecho de tener que realizar operaciones de fractura manual para las que quizá, no estén capacitados o no posean la condición física necesaria para llevarlas a cabo. Todos estos problemas llevan a pérdidas económicas dentro de la empresa, que pueden no ser tan notables en primera instancia, sin embargo, impiden el desarrollo dentro de los estándares mineros actuales.

1.2 Justificación del problema

Este proyecto busca demostrar la importancia que tiene la reducción de tamaño del material, desde los grandes bloques obtenidos de la mina, hasta los tamaños utilizables en los procesos de recuperación. Para ello el diseño de un circuito de trituración primaria y secundaria es muy relevante dentro de la planta de beneficio “Buele”, para lograr alcanzar una mejora considerable en el grado de liberación y recuperación del mineral valioso y de este modo mejorar los ingresos de la planta.

Además, con el desarrollo de mejores procesos conminución y recuperación mineral, se avanza también en el desarrollo de los aspectos sociales y medioambientales asociados a la minería a pequeña escala, lo cual tendría una enorme repercusión en el sector y el éxito de estas operaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un circuito de trituración primaria y secundaria en el área de molinos tipo chilenos mediante el estudio del tipo de mineral y la cantidad de mineral procesado para mejorar la producción diaria y reducir los costos de mantenimiento de molinos chilenos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el tipo de mineral que procesa la planta de beneficio mediante un análisis petrográfico en lámina delgada.
- Dimensionar y seleccionar los equipos de alimentación, trituración y transporte acorde a la producción mensual de la empresa.
- Calcular la potencia requerida por los equipos para la selección de motores.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Propiedades físicas de los minerales

De acuerdo con Klein & Hurlbut (2007) “un mineral es un sólido homogéneo de origen natural con una composición química definida (pero generalmente no fija) y una disposición atómica muy ordenada. Suele estar formado por procesos inorgánicos”.

De acuerdo con Nesse (2000), “las propiedades físicas de un mineral se definen principalmente por la estructura y composición química que presentan”. Las propiedades pueden darle un valor comercial a los minerales, como lo es la buena conductividad y maleabilidad del cobre. Además, las propiedades nos permiten reconocer los minerales mediante pruebas de laboratorio o el uso de herramientas en inspecciones simples.

Dentro de los procesos de conminución, las propiedades que más importancia tienen son aquellas relacionadas con la cohesión mecánica, es decir, la fuerza de los enlaces químicos. Estas propiedades abarcan: dureza, fractura, clivaje, tenacidad y partición. Si bien no todas son consideradas al momento de realizar la conminución, siempre tendrán influencia en el producto final y la energía requerida para alcanzar la liberación de las partículas metálicas.

Para la descripción de las diferentes propiedades de los minerales se tomó como base el Manual de Mineralogía, Ed. 4 (Klein & Hurlbut (2007) A continuación se detalla cada una de ellas.

Dureza

La resistencia de un mineral a ser rayado por otro se denomina dureza. La forma más común de medirla en la mineralogía es mediante la Escala de dureza de Mohs. Cuenta con diez niveles de dureza con un mineral representativo en cada uno. No existe un crecimiento definido de la dureza entre los niveles, así la diferencia de dureza entre el nivel 1 y 2, no es la misma que entre los niveles 3 y 4.

Tabla 1.1 Escala de Mohs. Fuente: (Klein & Hurlbut, 2007)

Dureza	Mineral representativo
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Ortoclasa
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante

Tenacidad

Se conoce como tenacidad al comportamiento que tiene un mineral cuando este se deforma o rompe. Esta propiedad se desglosa en diferentes términos y pueden ser aplicados para definir el comportamiento del mineral.

Se tiene la siguiente clasificación:

Tabla 1.2 Términos de Tenacidad. Fuente: (Klein & Hurlbut, 2007)

Frágil	Se rompe o pulveriza fácilmente
---------------	---------------------------------

Maleable	Puede moldearse hasta laminas delgadas
Dúctil	Puede formar finos hilos o cables
Séctil	Puede cortarse en laminas delgadas
Elástico	Puede volver a su forma original luego de estirarse
Flexible	Puede estirarse, pero no regresa a su forma original

1.4.2 Procesamiento de minerales

Dentro de la industria minera “el procesamiento mineral es el termino con el que se designa a diversas operaciones a las que se somete una veta o mineral para obtener el producto requerido”(Rao, 2016). El mineral pasa por una etapa de liberación en la cual se reduce su tamaño para lograr separar las partículas valiosas del material estéril en una etapa llamada beneficio mineral. Dentro de las etapas de liberación y beneficio mineral se tiene las siguientes operaciones:

Etapa de liberación o conminución:

- Trituración o chancado
- Molienda

Etapa de beneficio mineral

- Concentración gravimétrica
- Flotación
- Separación magnética

Conminución

Operación en la cual se aplica una fuerza para romper las partículas se denomina disminución de tamaños. Podemos llamar conminución a “todas las operaciones que involucren una reducción de tamaño, sin importar el tipo de mecanismo que se utilice para realzar la reducción”(Rao, 2016). Inclusive, se puede considerar que la conminución inicia en los procesos de arranque y voladura, en los cuales se fragmenta la roca mediante cargas explosivas. Se puede considerar los siguientes objetivos de la conminución:

1. Reducción de clastos grandes en trozos del tamaño deseado.
2. Liberación de minerales valiosos de los minerales de la ganga.
3. Preparación de materia prima para diferentes operaciones de beneficio.
4. Facilidad en la manipulación y el transporte.

La etapa de conminución es la más importantes por el hecho de que permite alcanzar grado de liberación de los minerales de interés, pero requiere de grandes cantidades de energía para lograrlo. Para poder alcanzar los tamaños de partículas deseados se emplea equipos de trituración y molienda acorde a las necesidades de la planta, así como también al tipo de mineral que se busca reducir.

Además de ello, cada mineral posee una energía necesaria para poder romperlo, conocido como índice de trabajo o índice de bond, que es un factor que influye en los cálculos de la potencia requerida por los equipos de trituración y molienda.

Tabla 1.3 Índice de trabajo de Bond (Portal Minero Chile, 2006)

	Wi		Wi
Sólidos	[kWh/TC]	Sólidos	[kWh/TC]
Andesita	18.25	Gneis	20.13
Aceite de esquisto	15.84	Hematita	12.84
Arcilla	6.30	Magnesita	11.13
Arena de sílice	14.10	Magnetita	9.97
Baritina	4.73	Materia prima de cemento	10.51
Basalto	17.10	Mineral de cobre	12.72
Bauxita	8.78	Mineral de estaño	10.90
Caliza	12.74	Mineral de manganeso	12.20
Carbón de piedra	13.00	Mineral de níquel	13.65
Carburo de sílice	25.87	Mineral de oro	14.93
Coque	15.13	Mineral de pirita	8.93
Cuarcita	9.58	Mineral de plomo	11.90
Cuarzo	13.57	Mineral de plomo-zinc	10.93
Diorita	20.90	Mineral de potasa	8.05
Dolomita	11.27	Mineral de pirrotina	9.57
Escoria	10.24	Mineral de rutilo	12.68
Escoria de cemento	13.45	Mineral de espodumena	10.37

Esmeril	56.70	Mineral de titanio	12.33
Esquisto	15.87	Mineral de zinc	11.56
Feldespato	10.80	Molibdeno	12.80
Ferrocromo	7.64	Pedernal	26.16
Ferromanganeso	8.30	Pizarra	14.30
Ferro-silicona	10.01	Roca de fosfato	9.92
Fluoro natural	8.91	Roca de trapeana	19.32
Gabro	18.45	Roca de yeso	16.06
Grafito	15.13	Sienita	13.13
Granito	20.13	Silicato de sílice	13.40
Gravilla	43.56	Taconita	14.61
Vidrio	12.31		

Razón de reducción

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales objetivos de la conminución es reducir los clastos grandes a tamaños deseados, ya sea para transporte o para procesos de beneficio. De esta manera podemos definir que “la relación del tamaño de alimentación y el tamaño de descarga de cualquiera de los equipos utilizados en la conminución se la llama razón de reducción” (Portal Minero Chile, 2006). Siendo la ecuación (1. 1) su expresión básica.

$$R = F_{80}/P_{80} \quad (1. 1)$$

Donde:

R es la razón de reducción del equipo

F_{80} y P_{80} son el tamaño por el cual pasa el 80% del material de alimentación y producto.

Cada equipo posee una razón de reducción diferente y limitada, ya sea por el diseño de estos o por la propia roca. De esta manera se busca reducir el material por etapas dentro de un circuito, de trituración o de molienda, y dependerá del tamaño del material proveniente de la mina y el tamaño deseado para la etapa siguiente. Para poder configurar la cantidad de chancadoras mediante la razón global de reducción que tendremos antes de llegar a nuestro molino.

1.4.3 Trituración y molienda

La conminución está conformada por diferentes procesos que rompen el material y lo llevan hasta el grado de liberación del mineral de interés. Dentro de estos procesos tenemos la trituración y molienda, encargadas de reducir el tamaño del mineral extraído de la mina y que ingresa a la planta de beneficio. Si estos procesos son inadecuados, se requiere de más energía y tiempo para lograr llevar el mineral hasta la liberación e incluso se puede no tener una buena recuperación mineral debido a que la molienda se ve sobrecargada por clastos grandes. Un tamaño adecuado para el material que sale del circuito de trituración es de entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgadas, lo que garantiza que la molienda será rápida y uniforme.

A continuación, se describen los principales equipos utilizados en trituración y molienda, basados en lo escrito por Gupta & Yan (2006).

1.4.4 Equipos de trituración

1.4.4.1 Primaria

Dentro del circuito de trituración, una trituradora primaria reduce el material a un tamaño que se puede transportar y alimentar al circuito de trituración secundario. Las dos trituradoras primarias más comunes que se utilizan para material grueso de pasada son las trituradoras de mandíbula y giratorias. Estas trituradoras rompen la roca a través de las fuerzas de compresión creadas por una superficie dura en movimiento que fuerza y aprieta las rocas hacia una superficie rígida estacionaria.

Trituradora de mandíbulas

Una trituradora de mandíbula reduce las rocas grandes dejándolas caer en un espacio plano en forma de "V" creado entre una superficie fija y una superficie móvil. Cuenta con un eje que cumple la función de articulación para el giro de la mandíbula que abre y cierra el espacio en la salida. Cuando este espacio se abre deja caer el material que se rompió en el ciclo de cierre.

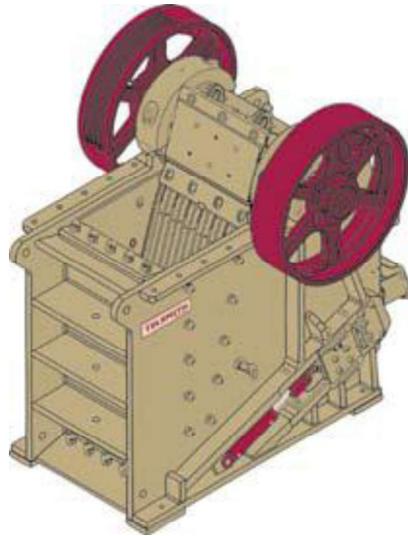


Ilustración 1.1 Trituradora de mandíbulas (TELSMITH, 2015)

Trituradora giratoria

En una trituradora giratoria, una superficie de trituración móvil y redonda se encuentra dentro de una cáscara dura redonda que sirve como superficie estacionaria. La acción de trituración se crea al cerrar el espacio entre la superficie de trituración dura unida al eje y los revestimientos cóncavos (fijos) montados en el marco principal de la trituradora. El espacio se abre y se cierra mediante un accionamiento excéntrico en la parte inferior del eje que hace que el eje vertical central gire.

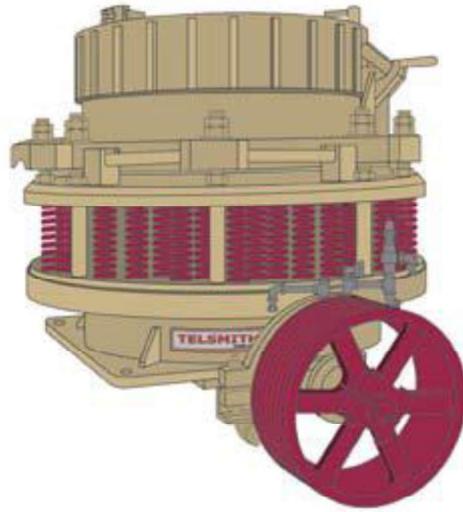


Ilustración 1.2 Trituradora giratoria (TELSMITH, 2015)

1.4.4.2 Secundarias

Trituradoras de cono

El tipo más común de trituradora secundaria es la trituradora de cono. Una trituradora de cono es muy similar a la giratoria, pero tiene un eje mucho más corto con una superficie de trituración de mayor diámetro en relación con su dimensión vertical. El movimiento excéntrico del cono triturador interior es similar al de la trituradora giratoria. Su forma elimina los tiempo muertos provocados por la apertura en las trituradoras de mandíbulas, de ahí el hecho de que sean más eficientes al momento de procesar material.



Ilustración 1.3 Trituradora de cono (TELSMITH, 2015)

Trituradoras de impacto

Las trituradoras de impacto implican el uso de impacto de alta velocidad en lugar de compresión para triturar material. Utilizan martillos o barras de metal pesado con bisagras o fijas unidas a los bordes de los discos giratorios horizontales. Las barras golpean repetidamente el material a triturar. No son adecuadas cuando la presencia de abrasivos es elevada, por lo que tiene un máximo en el contenido de abrasivos de la alimentación de 4-5% en el caso de las trituradoras.

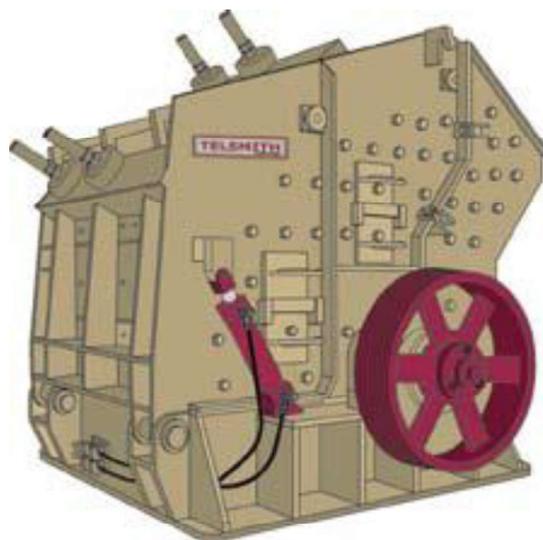


Ilustración 1.4 Trituradora de impacto HSI (TELSMITH, 2015)

Trituradoras de rodillos

Las trituradoras de rodillos constan de un par de rodillos cilíndricos horizontales a través de los cuales pasa el material. Los dos rodillos giran en direcciones opuestas pellizcando y aplastando el material entre ellos. Estos tipos de trituradoras se utilizan en aplicaciones de trituración secundaria o terciaria por el tamaño de partícula de su producto. Presentan poca capacidad, pero buenos resultados en cuanto a la homogeneidad de tamaños.

1.4.5 Capacidad de trituradoras

La variable más importante de una trituradora es la capacidad que tendrá, parámetro fundamental en el dimensionamiento y planificación. Existen diferentes métodos para el cálculo de la capacidad por parte de diferentes autores:

- Hersam (1923)
- Taggart (1945)
- Michaelson (1945)

1.4.5.1 Taggart

Trituradora de mandíbulas

Taggart desarrolló una ecuación práctica que permite obtener la capacidad de producción de una trituradora de mandíbulas relacionando el ancho y tamaño del material de alimentación (Duda, 2003), expresada en forma de la ecuación (1. 2) siguiente:

$$T = 0.6 * L * r \quad (1. 2)$$

Donde:

T es la capacidad en T/H.

L es el ancho de la mandíbula (pulgadas).

r es el reglaje (pulgadas). Este último valor viene dado por la suma entre el recorrido de la mandíbula y la apertura de la boca de salida en su posición cerrada.

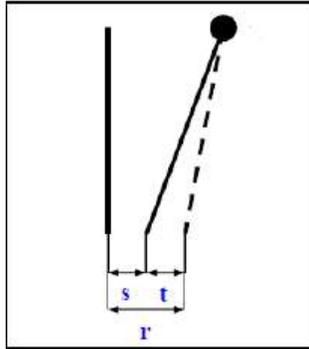


Ilustración 1.5 Esquema de la vista transversal de una trituradora de mandíbulas. Fuente (Agudelo, 2014)

$$r = s + t \quad (1.3)$$

Donde:

r es el reglaje (pulgadas)

s es el recorrido de la mandíbula (pulgadas)

t es la apertura de la boca de salida en su posición cerrada (pulgadas)

Trituradora de cono

Taggart desarrolló una fórmula similar para poder obtener la capacidad de una trituradora de cono. Esta se basa la razón entre el área de la boca de entrada, conformada por dos radios, y la razón de reducción entre el ancho de la boca de entrada “a” y la boca de salida “s”, los parámetros mencionados se pueden apreciar en la Ilustración 1-4.

$$A = \pi(r_2^2 - r_1^2) \quad (1.4)$$

$$T = 0.6 * \left(\frac{A}{R}\right) \quad (1.5)$$

Donde:

T es la capacidad de la trituradora en T/H

A es el área de la entrada (pulgadas)

R es la razón de reducción expresada en la Ecuación (1. 1)

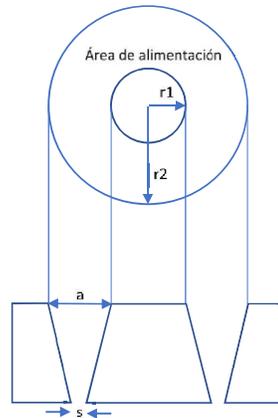


Ilustración 1.6 Esquema de Taggart - trituradora de cono

1.4.5.2 Michaelson

De acuerdo con Merello (2016), la capacidad de chancadores de mandíbulas mediante el flujo gravimétrico de la roca a través de la boca de salida, multiplicado por una constante K dependiente del tipo de placa que el equipo posea, expresada por la ecuación (1. 6)

$$Q = \frac{7.037 * 10^{-5} * W * k * (L_{min} + L_T)}{v} \quad (1. 6)$$

Donde:

Q es la capacidad en T/H

W es el ancho de las placas

v es la frecuencia del equipo

k puede tomar valores de 0.18 - 0.3 para placas rectas y 0.32 a 0.45 para placas curvas

$L_{min} + L_T$ es la apertura máxima de la mandíbula móvil o reglaje [Ecuación (1. 3)]

1.4.6 Potencia requerida: trituración

La potencia que requiere un equipo de conminución se basa en las leyes de la conminución postuladas por los autores: Rittinger, Kick y Bond; descritas por Kanda & Kotake (2007) y que serán mencionadas a continuación.

Rittinger enuncia la primera ley como la energía aplicada para la reducción de tamaño de las partículas es proporcional a la nueva superficie producida. La ecuación (1. 7) es la forma de expresar esta ley y se considera aplicable a partículas cuyos diámetros de fragmentación son menores a 100 micras (partículas finas).

$$E/M = C_R(S_p - S_f) \quad (1. 7)$$

Donde:

S_p y S_f son el área superficial específica del producto y la alimentación.

C_R Característica de la dureza de la roca y depende de la forma, tipo de material, número de defectos y la eficiencia de las fuerzas aplicadas.

E/M es consumo específico de energía o energía de conminución.

Kick enuncia lo que se conoce como segunda ley. La energía requerida en la conminución es proporcional a la reducción de volumen de las partículas. Al contrario que la primera, esta ley demuestra el comportamiento de las partículas cuyo tamaño es superior a 10 centímetros (partículas gruesas) y puede verse expresada en la ecuación (1. 8).

$$\frac{E}{M} = C_K * \ln\left(\frac{X_f}{X_p}\right) \quad (1.8)$$

Donde:

X_p y X_f son el tamaño de las partículas del producto y la alimentación respectivamente.

C_K Característica de la dureza de la roca (no es igual que el de Rittinger).

CEE: consumo específico de energía.

Finalmente, la tercera ley es tomada como el enunciado de Bond que sugiere que cualquier proceso de trituración puede considerarse una etapa intermedia en la descomposición de una partícula de tamaño infinito en un número infinito de partículas de tamaño cero. A diferencias de las primeras leyes, no se tiene una limitación de los rangos en los cuales se la puede aplicar. Se expresa mediante la ecuación (1. 9).

$$W = Wi \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad (1.9)$$

Donde:

W es el trabajo realizado (KWh/TC).

F y P son los tamaños de partículas en micrones que corresponden al 80% de la alimentación y producto respectivamente.

Wi es el índice de trabajo de Bond (KWh/TC).

Para llevar el trabajo obtenido a valores de potencia, se requiere conocer de la cantidad de material que se procesará por hora, además de un factor de seguridad (FS) que será representativo de cada equipo empleado. De esta manera tenemos la siguiente ecuación:

$$P(KW) = W * TPH * FS \quad (1.10)$$

Donde:

W es el trabajo realizado (KWh/TC)

TPH es el tonelaje que procesará el equipo por hora

FS es el factor de seguridad del equipo

1.4.7 Elementos auxiliares

Los elementos auxiliares utilizados dentro de la minería son aquellos que nos permiten cumplir con diferentes servicios dentro de nuestra empresa. Estos servicios pueden incluir: agua, aire, transporte de material, ventilación, clasificación, bombeo, etc. La mayoría son utilizados dentro de los procesos de recuperación mineral y para el diseño de un circuito de trituración en seco, se requiere principalmente de equipos de transporte y clasificación de material.

1.4.7.1 Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares de los procesos de extracción o refinamiento mineral, cumplen con la función de recibir y transportar mineral desde un punto de carga hasta un punto de descarga. El transporte se realiza de manera uniforme y continua generalmente. Una vez instaladas, no requieren de un operario para su funcionamiento, aunque necesiten una revisión dependiendo del tipo de material que se transporta.

Dentro de una de procesamiento, las cintas transportadoras son las encargadas de llevar el material producto de las trituradoras hacia los molinos u otras etapas de trituración. Están limitadas por una capacidad de carga o transporte que se expresa en la ecuación (1. 11).

$$Q = Q_m * \gamma * v * K \quad (1. 11)$$

Donde:

Q_m es el volumen teórico transportado para $v=1\text{m/s}$ (m^3/h)

v es la velocidad de la banda (m/s)

K es una constante de la banda

γ es la densidad específica aparente del material (t/m^3)

1.4.7.2 Cribas

Las cribas cumplen con la función de clasificación granulométrica del material de su alimentación. Además, permiten tener un control del volumen que pasa a través de ellas y que avanza por los diferentes procesos dentro del circuito.

Existen diferentes fórmulas para calcular la capacidad de las cribas a utilizar en un proceso de conminución, esta depende generalmente de la densidad mineral y la apertura de malla que se busca. Andrea Blanco (2016) expresa que la fórmula elaborada por Testut nos permite estimar la capacidad de las cribas con una malla cuadrada, condicionada a:

- Material seco.
- Rendimiento alto de cribado.

- Malla cuadrada.
- Tamaños críticos superiores al 15%.
- Material de tamaños entre 0,5 mm y 250mm.

Se expresa de la siguiente manera:

$$T = 1.4 * \frac{\rho_s}{\gamma} * a^{0.6} \quad (1. 12)$$

Donde:

T es la capacidad en T/h por m² de superficie útil.

ρ_s es el peso específico real del producto a cribar.

γ es la proporción de granos de tamaños críticos

a es la apertura de la malla en mm.

El área requerida para la formula se puede obtener mediante la expresión que relaciona al caudal a procesar (Q) sobre la capacidad (T) multiplicado por un factor de 1,35.

$$S(m^2) = 1.35 * \left(\frac{Q}{T}\right) \quad (1. 13)$$

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentará de manera sistemática el procedimiento que se utilizó para cumplir con los objetivos del proyecto. Abarca desde la toma de muestras y recolección de datos, los análisis mineralógicos y el dimensionamiento de los equipos necesarios. Este proyecto se realizó siguiendo los pasos de la ilustración 2-1.

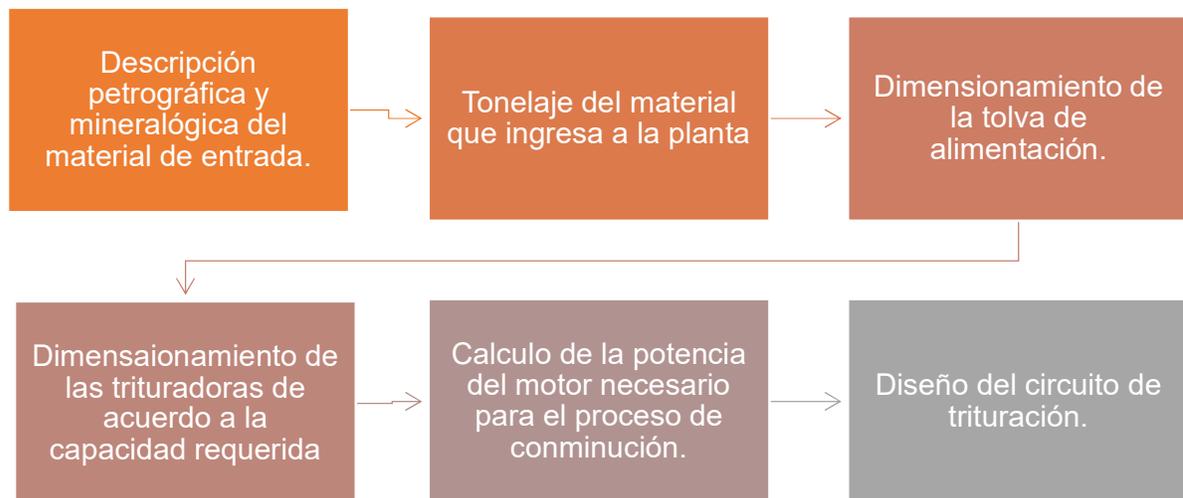


Ilustración 2.1 Metodología a seguir

2.1 Descripción mineralógica del material de entrada

Para realizar descripción mineralógica, se requirió de la toma de muestras del material que ingresa a la planta de procesamiento. Las muestras fueron tomadas manualmente de manera heterogénea, con un peso alrededor de 1kg, para asegurar un buen análisis del mineral. Las muestras pasaron por un proceso de rotulado, para poder llevar un control de los análisis realizados.

2.1.1 Caracterización mineralógica por inspección (petrografía)

Se realizó una caracterización para cada una de las muestras tomadas, con la finalidad de determinar el tipo de roca a la que pertenece el material ingresado, además de brindar una descripción de los minerales visibles a simple vista en el mineral. Esto nos brindó una idea de la dureza general de la roca y de su formación.

2.1.2 Análisis mineralógico laboratorio

El análisis mineralógico nos permitió obtener el tipo de roca del que está formada la veta y las propiedades físicas de la misma, que se utilizaron para la selección de la trituradora. (propio de planta)

2.2 Tonelaje

Para el cálculo del procesamiento requerido de la planta se utilizaron datos de la cantidad semanal de material que ingresa a la planta. Los datos de tonelaje se obtuvieron de los registros llevados por la propia empresa, por lo que se los considerará como un aproximado para los cálculos.

La producción diaria se obtiene mediante la razón del tonelaje promedio (T) y los días laborables, definidos en la ecuación (2. 1).

$$TPD = \frac{T_{semanales}}{día} \quad (2.1)$$

Se trabaja jornadas de 8 horas días según la ley ecuatoriana, por lo que el TPD debe repartirse para las horas de trabajo.

$$TPH = \frac{TPD}{8}$$

El TPH resultante fue el de la trituradora primaria.

2.3 Dimensionamiento de tolva

La capacidad de la tolva debe permitir el funcionamiento de la trituradora de manera continua durante el ciclo de trabajo, además debe ser adecuada para almacenar el material que ingresa. El material que sale de la mina se considera material grueso y requiere de una tolva característica para este tipo de material. Generalmente formada por dos paralelepípedos. La capacidad de la tolva está ligada al volumen (V) de esta y la densidad del mineral corregida (ρ_c), como se muestra en la ecuación (2. 2)

$$T = V * \rho_c \quad (2. 2)$$

La densidad corregida del mineral se obtiene mediante un cálculo relacionando el factor de espacios en la tolva (FEV) y la densidad del mineral (ρ_m). La ecuación (15) representa la densidad corregida.

$$\rho_c = (1 - FEV)\rho_m \quad (2. 3)$$

La forma elegida para le tolva es la siguiente:

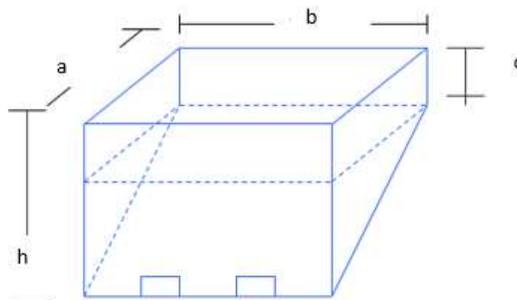


Ilustración 2.2 Forma de la tolva

El volumen de esta forma se puede obtener con simple aplicación de aritmética, estando conformado por polígonos rectos.

$$V_{tot} = \frac{V_{a*b*c}}{2} + V_{a*b*(h-c)} \quad (2.4)$$

2.4 Cálculo del número de etapas de trituración

Para calcular el número de etapas de trituración, se debe conocer el tamaño hasta el que se desea reducir el material de boca mina. Para el caso de los molinos chilenos el tamaño óptimo para esto es de $\frac{3}{4}$ de pulgada, debido a la boca de entrada que poseen a un lateral. Por esta razón el tamaño se consideró desde el máximo tamaño encontrado en las pilas de material hasta el de la boca de entrada del molino tipo chileno.

2.5 Cálculo de trituradoras

Se definió los parámetros esenciales de las trituradoras para el circuito. Estos incluyen la capacidad de trituración y la potencia requerida de los motores para el funcionamiento de las trituradoras. Para ello se tuvo en consideración el volumen y tipo de material que se procesa dentro de la planta.

2.5.1 Capacidad de trituradora

Trituradora primaria

La capacidad de la trituradora se obtuvo mediante la Ecuación (1. 2), considerando la razón de reducción obtenida en el cálculo de etapas de reducción de tamaño, además del reglaje dado por la Ecuación (1. 3). El tamaño sirvió como base para la capacidad de las cintas transportadoras y el cálculo del área de las cribas vibratorias.

Trituradora secundaria

Del mismo modo, se aplicó la Ecuación (1. 4) y Ecuación (1. 5) descritas por Taggart para el cálculo de la capacidad de una trituradora de cono. Junto con la Ecuación (1. 1) que está incluida dentro de este cálculos. De igual modo, el tamaño sirvió como base para la capacidad de las cintas transportadoras y el cálculo del área de las cribas vibratorias.

2.6 Potencia requerida.

La potencia se calculó utilizando la ecuación (1. 9) y la ecuación (1. 10), la que considera el índice de Bond de la roca a tratar, ya que se correlaciona con los datos obtenidos del análisis mineralógico realizado. Se consideró la tabla de índices proporcionada en el Manual General de Minería y Metalurgia (Portal Minero Chile, 2006). El valor obtenido de potencia es representativo y considera factores de seguridad aplicados a cada equipo.

2.7 Transporte de material

Dentro del transporte mineral se incluyeron el cálculo de cintas transportadoras y cribas, además de que se consideró un factor de seguridad respecto al material que ingresa a la planta.

2.7.1 Cintas transportadoras.

El cálculo de cintas transportadoras, capacidad de transporte, se realizó mediante la ecuación (1. 11). Utilizando los análisis mineralógicos para determinar la densidad del material y considerando la capacidad de las trituradoras. Para el cálculo se utilizó como guía el escrito de Miravete (1998) “Los transportes en la ingeniería industrial”

2.7.2 Cribas

El diseño de cribas requirió del conocimiento del tipo de material que ingresa a la planta, sus tamaños críticos principales, además del volumen o caudal que se planea tratar. La capacidad de la criba se obtuvo mediante la Ecuación (1. 12), que nos permitió relacionar el peso específico del mineral con el tamaño de malla buscado. Además de ello la superficie de la criba fue obtenido mediante la Ecuación (1. 13), relacionando el caudal a tratar por la planta y la capacidad obtenida anteriormente.

2.8 Diseño del circuito de trituración

Obtenidos todos los parámetros de las trituradoras, se diseñó el circuito de trituración final. Para ello los gráficos y nomenclaturas utilizados fueron seleccionados

con base en el uso dentro del país. Generalmente se hace uso de un sistema semi pictográfico para representar los diferentes circuitos dentro de una planta, que sean de fácil comprensión para trabajadores y personas ajenas al área.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Descripción mineralógica del material de entrada

Se realizó la toma de muestras en pilas de material próximo a ingresar al proceso de chancado en los molinos chilenos. Las muestras de la tabla se tomaron al azar entre tres pilas diferente para resultados homogéneos.

Tabla 3.1 Código de muestras de mano

# MUESTRA	CÓDIGO	FECHA
1	M101	10/07/2021
2	M102	10/07/2021
3	M103	10/07/2021

3.1.1 Análisis petrográfico visual

Se realizó un análisis visual de las muestras tomadas, haciendo uso de los insumos del laboratorio de petrografía para tener la mayor información posible de las mismas entre los que se probó:

- Dureza de la roca
- Reacción con ácido clorhídrico
- Minerales visibles
- Magnetismo
- Textura
- Estructura

- **M101:**



Ilustración 3.1 Muestra de mano M101

La roca presenta un grano fino con una textura afanítica de coloración gris oscura con un bandeo central de color gris claro. Se pueden apreciar los siguientes minerales: pirita, calcopirita, cuarzos blancos y transparentes, posiblemente pirrotina. La roca solo reacciona con el ácido clorhídrico en la zona bandeada central lo que indica pequeñas cantidades de carbonatos presentes en dicha zona. Posee una dureza entre 4 y 5 en la escala de Mohs, además de ser levemente magnética.

- **M102:**



Ilustración 3.2 Muestra de mano M102

Roca de grano muy fino, con una textura afanítica y estructura maciza de coloración gris verdosa oscura. A simple vista se pueden apreciar los siguientes minerales: destellos de pirita, calcopirita oxidada, posible hematita igualmente oxidada, cuarzo blanco y epidotas. En la zona del cuarzo blanco, pese a ser una roca de grano fino, posee unos clastos de color gris oscuro, posiblemente producidos durante la formación y que fueron arrancados durante la voladura. Posee magnetismo y una dureza entre 7 y 8 en la escala de Mohs. No presenta reacción con el ácido clorhídrico por lo que no contiene carbonatos.

- **M103:**

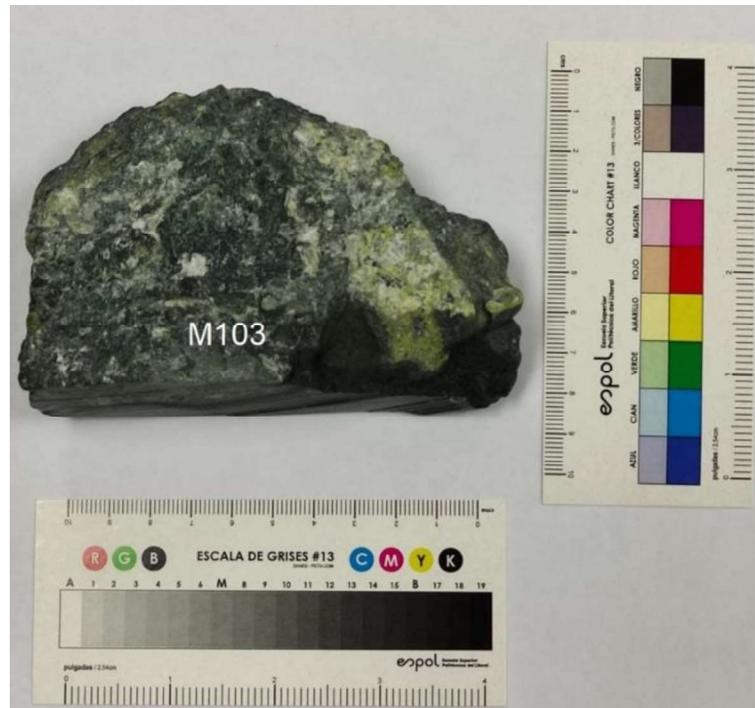


Ilustración 3.3 Muestra de mano M103

Roca de grano fino y color gris claro. Se pueden apreciar brechas con intrusiones de cuarzo blanco alrededor junto con clastos medianos de cuarzo transparente. Se observa un mineral de color verde claro junto con el cuarzo, lo que bien puede considerarse como una alteración debido a metamorfismo regional o a que la brecha se formó en un ambiente hidrotermal. La muestra no presenta magnetismo y posee una dureza entre 3 y 4 en la escala de Mohs además de que reacciona con el ácido clorhídrico, indicativo de la presencia de carbonatos.

3.1.2 Láminas delgadas en microscopio óptico

Las láminas delgadas fueron realizadas de las muestras M102 y M103 tomadas en campo. Para las cuales se realizó una inspección mineralógica microscópica en el laboratorio de petrografía.

- **M102. Nombre en laboratorio: 2021 Pta. Buele #1**



Ilustración 3.4 Lamina delgada 2021 Pta. Buele #1

El análisis de la lámina delgada reveló que la muestra presentaba una alteración característica de una roca corneana proveniente de una roca de esquistos verdes de tremolita y actinolita, que ha sido alterada por procesos de metamorfismo regional. En las ilustración 3-5 e ilustración 3-6 se evidencia el hábito radial de las tremolitas, en nicoles cruzados y paralelos respectivamente, con una alteración que no permite distinguir los cristales del mineral de manera clara.

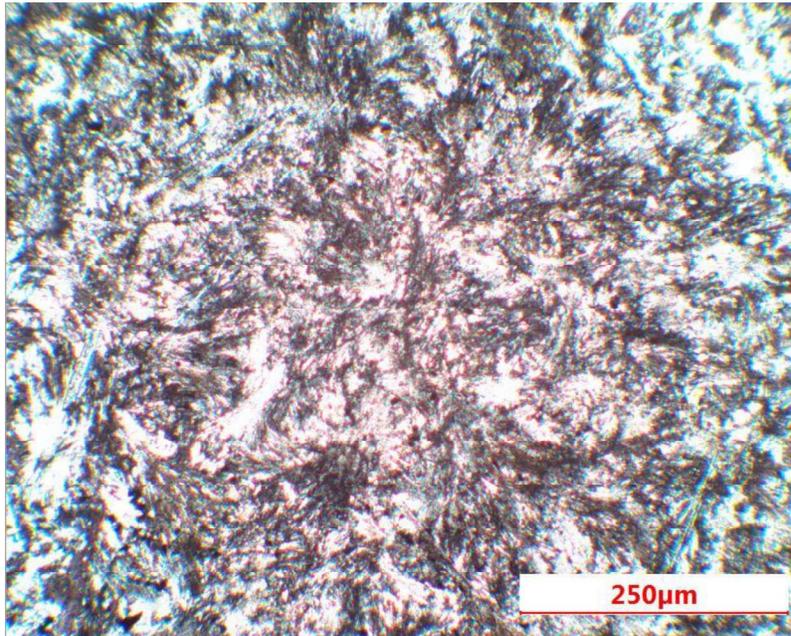


Ilustración 3.5 Pta. Buele #1: Nícoles Cruzados - Objetivo 10X

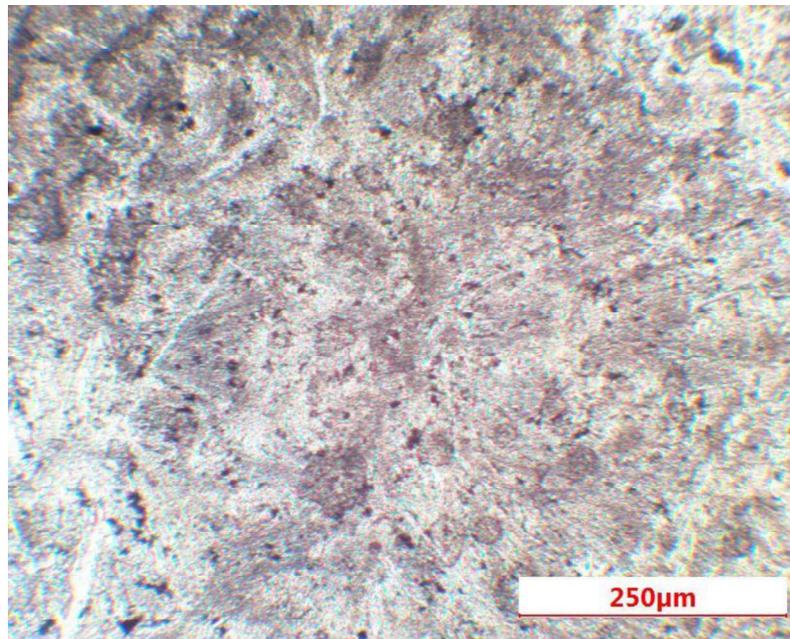


Ilustración 3.6 2021 Pta. Buele #1: Nícoles Paralelos - Objetivo 10X

Además, se pudieron identificar algunas plagioclasas, epidotas, posibles cristales de hornblenda alterados y minerales metálicos opacos.

- **M103. Nombre en laboratorio: 2021 Pta. Buele #2**



Ilustración 3.7 Lámina delgada 2021 Pta. Buele #2

La sección delgada presentó cristales de diferentes tamaños, producto de la formación de la roca brechosa, principalmente se pueden observar clastos y betillas de calcita con sus maclas características. La Ilustración 3-8 e Ilustración 3-9 muestra cristales de calcita con sus maclas características que son apreciables tanto en nicoles cruzados como en nicoles paralelos.

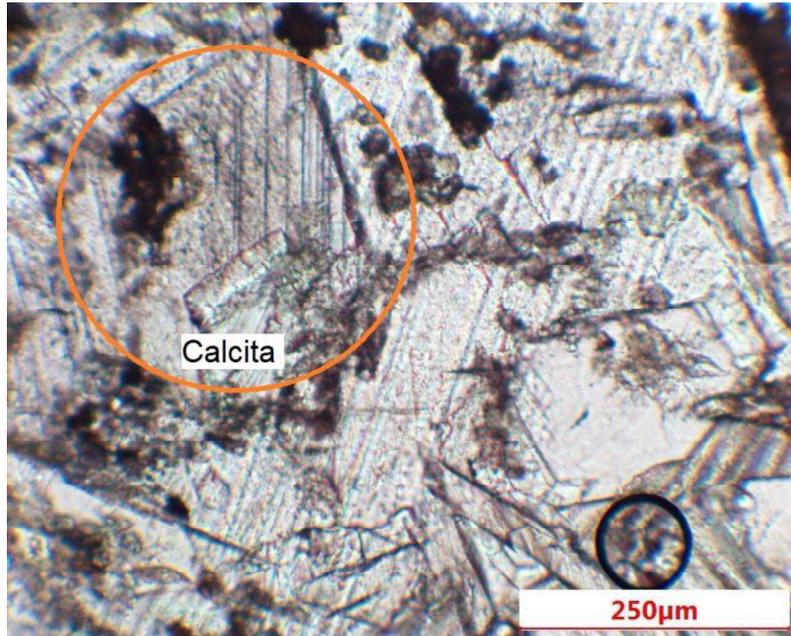


Ilustración 3.8 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Paralelos - Objetivo 10X

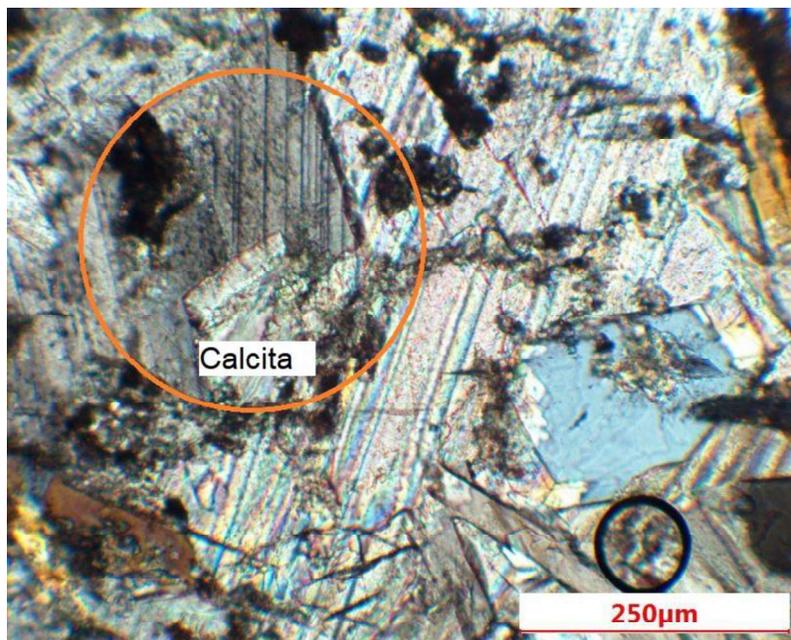


Ilustración 3.9 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Cruzados - Objetivo 10X

Se logró encontrar, también, clastos formados por cristales de calcita y algunas micas alteradas, lo que es indicativo de que la roca pasó por un proceso hidrotermal que alteró la estructura de los minerales. Esto se puede apreciar en la ilustración 3-10.

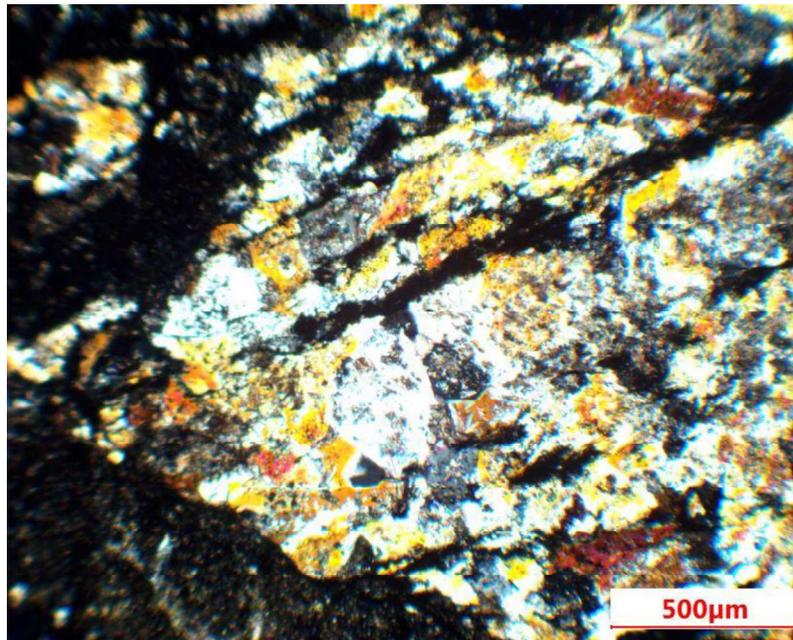


Ilustración 3.10 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Cruzados - Objetivo 4X - Clasto de calcitas y micas

Además, en la Ilustración 3-11 se logran apreciar plagioclasas cloritizadas, pese a que las maclas características eran poco visibles, se pudo determinar por la forma y el ángulo de extinción cercano a 18° .

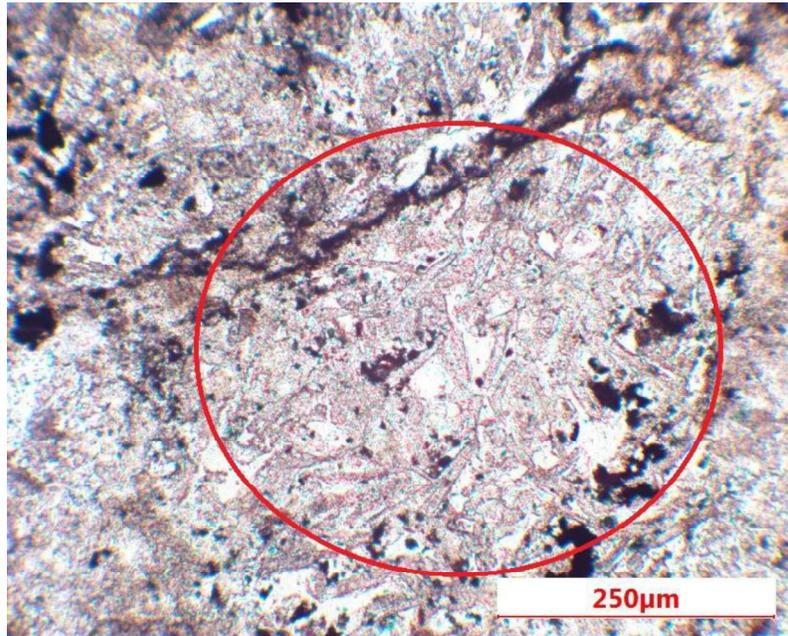


Ilustración 3.11 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Cruzados - Objetivo 10X - Plagioclasas cloritizadas

En la Ilustración 3-12 se puede apreciar la coloración de las plagioclasas en nicoles cruzados que es un color blanco rodeado de una coloración verde oscura, representativa de la clorita alterada.

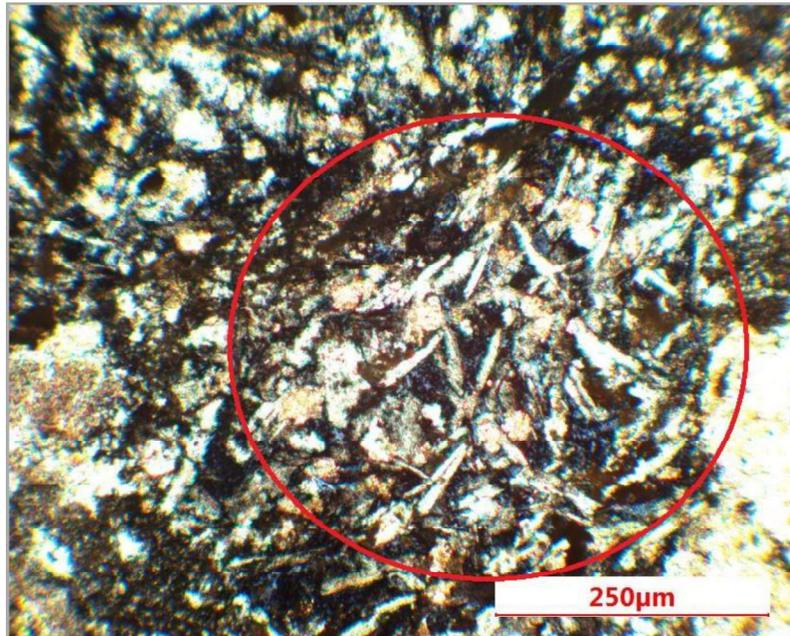


Ilustración 3.12 2021 Pta. Buele #2: Nícoles Paralelos - Objetivo 10X - Plagioclasas cloritizadas

Además, se pudo observar algunos minerales de biotita y micas alteradas dispersas por toda la lámina delgada. Si bien los colores presentados en las ilustraciones anteriores no son fieles a la paleta representativa de cada mineral, los ángulos de extinción, maclas, y demás características permitieron identificarlos.

El análisis de la roca, tanto en muestras de mano como láminas delgadas, reveló que las rocas han sido sometidas a metamorfismo regional e hidrotermal y provengan de un depósito epitermal o volcánico. Por esta razón se ha escogido como roca base para el índice de Bond a los **esquistos** con un valor de **15,87 KWh/TC**. Además, las diferencia entre las rocas evidencia la forma.

Se demuestra también que la planta de beneficio “Buele” no trabaja con material procedente de un solo lugar, sino que se procesa material de yacimientos con diferente formación geológica y ubicación. Esta manera de trabajo es principalmente vista en minería a pequeña escala, que trabaja con un tonelaje pequeño y pueden procesar de diferentes puntos para diluir leyes minerales y rentabilizar el negocio.

3.2 Tonelajes

En base a los registros llevados por la empresa, se creó la siguiente tabla que muestra los datos del material que ingresa a la planta de beneficio.

Tabla 3.2 Registro de material procesado en la zona de molinos chilenos

Fecha	Peso del material
1-6/06/2021	120 T
7-13/06/2021	140 T
14-20/06/2021	120 T
21-27/06/2021	100 T
28-4/07/2021	120 T

El promedio de material procesado por semana dentro de la zona de molinos chilenos es de 120 T. Este valor debe ser transformado a toneladas diarias, para lo cual se aplica la ecuación (12) dando como resultado $TPD = 17,14 \frac{T}{día}$, que fue considerado para la base del diseño de la tolva que alimentará nuestro circuito de trituración.

Esto no quiere decir que el tonelaje promedio sea un valor fijo a lo largo de la vida útil de la planta, sino que podrían existir sesgos en determinados meses del año, lo cual es indicativo de un aumento o disminución de producción. Por esta razón se debe siempre considerar un factor de seguridad en el material de ingreso que nos garantizará que nuestra planta sea capaz de poder manejar un tonelaje mayor al usual.

3.3 Cálculos de tolva

Para la tolva se consideró que almacenaría material grueso, por lo que su FEV se considera igual al 40% ($FEV=0,4$) y la densidad del mineral se considera de $2,73 \text{ g/cm}^3$. Mediante la ecuación (2. 3) se obtuvo la densidad corregida del mineral.

$$\rho_c = 1,638 \frac{g}{cm^3}$$

Considerando los dos turnos diarios de trabajo y las horas efectivas de cada turno, 6 horas, se realizó el cálculo del volumen requerido para la tolva, despejando la ecuación

(2. 2). El volumen que debe almacenar nuestra tolva deberá ser aproximado al valor de $V = 10,46 \text{ m}^3$.

Se consideró una altura h de 3 metros, con una altura de sección piramidal de 2,00 metros, además de que el ancho de la tolva será igual al ancho de una volqueta más un metro. Las volquetas que descargan el material tienen un ancho de 2,50 metros por lo que $b = 3,50 \text{ m}$.

Por motivos de seguridad ante posibles rocas grandes, el ancho de la tolva se consideró de 1,30 metros. Finalmente, las dimensiones de la tolva calculadas por despeje de la ecuación (2. 4) se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Dimensiones de la tolva

Parámetros	Medidas
Largo (a)	1,30 m
Ancho (b)	3,50 m
Alto (h)	3,00 m
Altura el cubo (c)	1,00 m
Volumen (V)	11,37 m ³

3.4 Razón de reducción del circuito

El tamaño de material promedio que ingresa a la planta es de 9 pulgadas aproximadamente. Por lo que se requiere de una razón de reducción, utilizando en la ecuación (1. 1).

$$R = \frac{9}{\frac{3}{4}} = 12$$

El valor de la razón de reducción obtenido es aproximadamente $R = 12$. Con el que se puede configurar el número de trituradoras, multiplicando la razón de reducción de cada una. Para este caso se utilizó una trituradora primaria y una secundaria de razones de reducción de 4 y 3 respectivamente.

Tabla 3.4 Razón de reducción en las etapas de trituración

Etapas de trituración	Razón de reducción (R)
Primaria	4
Secundaria	3

3.5 Trituradoras

Para lograr llegar al tamaño del material requerido, se consideró el uso de dos trituradoras, primaria y secundaria, con razones de reducción de 4 y 3 respectivamente.

3.5.1 Trituradora primaria

Para la trituradora primaria, se consideró una trituradora de mandíbulas debido a la resistencia del equipo y el poco mantenimiento que requiere, además, la dureza de las muestras indica que se requiere un equipo con gran potencia para fracturar el material. Las trituradoras de mandíbulas son capaces de procesar gran cantidad de material y tener un bajo mantenimiento, lo que la vuelve el equipo ideal en una planta de pequeña minería.

El dimensionamiento de la trituradora se basó en las dimensiones del material de entrada. El ancho se obtuvo mediante al tamaño máximo del material de entrada y para evitar problemas de atasco se consideró un factor de seguridad de 1,5, con lo cual se obtuvo un ancho de $A=12$ pulgadas. También se consideró una razón de 2.5 entre el ancho y largo de la boca de entrada, obteniendo un ancho $L= 38$ pulgadas. El reglaje considerado para esta trituradora se basa en la razón de reducción que se busca y se relaciona con el ancho de la boca de salida en su posición cerrada. Para ello se obtiene el valor de $s= 2,5$ pulgadas con un recorrido $t= 0,5$ pulgadas.

Tabla 3.5 Especificaciones de la trituradora primaria

Tipo	Trituradora de mandíbulas
Capacidad	54 T/h
Apertura	12,00 pulgadas
Largo de placas	36,00 pulgadas
Boca de salida	2 pulgadas
Pasante	65 %

3.5.2 Trituradora secundaria

La trituradora secundaria fue considerada basando en la eficiencia de los equipos y el tamaño de mineral que se busca. De esta manera se optó por dar dos opciones de equipos.

Trituradora de cono, que pese a tener un mantenimiento un poco más elevado, es muy eficiente respecto a la reducción de tamaño, además de poseer una elevada capacidad y brindar una forma del material final adecuada.

Para la boca de entrada se consideró el tamaño de la boca de salida de la trituradora primaria, en este caso $a = 2,25$ pulgadas y aplicando una razón de reducción $R=3$ se definió el tamaño de salida como $s = 0,75$ pulgadas.

Tabla 3.6 Especificaciones de la trituradora secundaria de cono

Tipo	Trituradora de cono
Capacidad	140,00 T/h
Apertura	3 pulgadas
Boca de salida	3/4 pulgadas
Pasante	80%

Trituradora de mandíbulas, que posee una menor capacidad y eficiencia en la reducción de tamaño debido al tiempo entre apertura y cierre de las mandíbulas, además de tener en consideración un factor de seguridad más elevado respecto a la de cono.

Para la boca de entrada se consideró que el material de alimentación tendría un tamaño de salida de la trituradora principal $F_{80} = 2,5$ pulgadas, aplicando un ancho de placas $a = 15$ pulgadas y un largo $L = 24$ pulgadas. La boca de salida de esta trituradora será igual que en caso de la trituradora de cono $s = 0,75$ con un recorrido $r = 0,5$ pulgadas.

Tabla 3.7 Especificaciones de la trituradora secundaria de mandíbulas

Tipo	Trituradora de mandíbulas
-------------	---------------------------

Capacidad	30 T/h
Apertura	15,00 pulgadas
Largo de placas	24,00 pulgadas
Boca de salida	3/4 pulgadas
Pasante	50 %

3.6 Potencia de motores

Para determinar la potencia de los motores requerida por los equipos de trituración, se consideró un factor de seguridad de 2 en el tonelaje por hora a procesar, esto con el fin de garantizar que se pudiese trabajar incluso sobre la producción diaria de la planta. Además, en el cálculo de motores considera un factor de seguridad que depende del equipo a emplear, si bien puede parecer un exceso de potencial al considerar dos factores de seguridad, esto evitará que el equipo sufra desperfectos debido a la sobrecarga de material que pudiese existir y reducir los tiempos de trituración.

Tabla 3.8 Especificaciones de motores requeridos

Trituración	Potencia (KW)	HP calculado	HP catálogo
Primaria	112,00	150	50
Secundaria cono	85,00	114	150
Secundaria mandíbulas	122,00	164	40

3.7 Elementos auxiliares

Dentro de los elementos auxiliares tenemos a las cribas y cintas transportadoras, estas últimas conectarán las diferentes etapas dentro del circuito de conminución, especialmente las etapas de trituración primaria y secundaria.

Cribas

Las cribas fueron determinadas para cada etapa de trituración ya que se busca crear un circuito cerrado para mejorar la reducción de tamaño en cada etapa. Se consideró un caudal de material superior al que normalmente procesa la planta con el fin de tener la seguridad de que las cribas serán capaces de abastecer en caso de que haya datos fuera del rango estimado, al igual que se consideró en el caso de trituradoras. Las cribas se consideraron de malla cuadrada, pero pueden ser reemplazadas por cribas normales gravitacionales o cribas Grizzlies, ya que el resultado es el mismo, con la diferencia de que estas últimas requieren un supervisor y algunas veces, un operario que las mantenga desatascadas.

Para el cribado se consideran mallas de forma cuadrada con una luz de 1 pulgada, colocada en la alimentación de la trituración secundaria. Además, se considera una proporción de tamaños críticos en base a las curvas granulométricas de las trituradoras.

Tabla 3.9 Especificaciones de las cribas requeridas

Etapas de trituración	Luz de malla (pulgadas)	Capacidad (T/h/m²)	Área de cribado (m²)	Motor (HP)
Secundaria	1"	49,23	1,00	10

Bandas

Las bandas transportadoras fueron consideradas del material más resistente, para asegurar una vida útil prolongada y resistencia a cortes producidos por el material. Si bien la distancia a la que se colocarán los equipos puede variar, se consideró un estándar de 5 m. Se colocarán bandas que permitan la recirculación del material que no cumple con el tamaño buscado en cada etapa de trituración y permita regresarlo a la boca de entrada de cada trituradora.

Tabla 3.10 Especificaciones de las banda transportadoras

Material	Capacidad (T/h)	Velocidad (m/s)	Motor (HP)
Poliéster	40	1	5

3.8 Diseño del circuito

El diseño del circuito final se basó en una representación pictográfica de los equipos que se calcularon en base a las necesidades de la planta de beneficio. Si bien la representación puede parecer simple, lo que se busca es la comprensión del lector a la hora de analizarlo, además el circuito no presenta a rajatabla los equipos, sino que usa un diseño minimalista de líneas de secuencia en las que se presentan las fases de trituración primaria y secundaria cerradas, así como el flujo del material desde los molinos hacia las celdas de flotación.

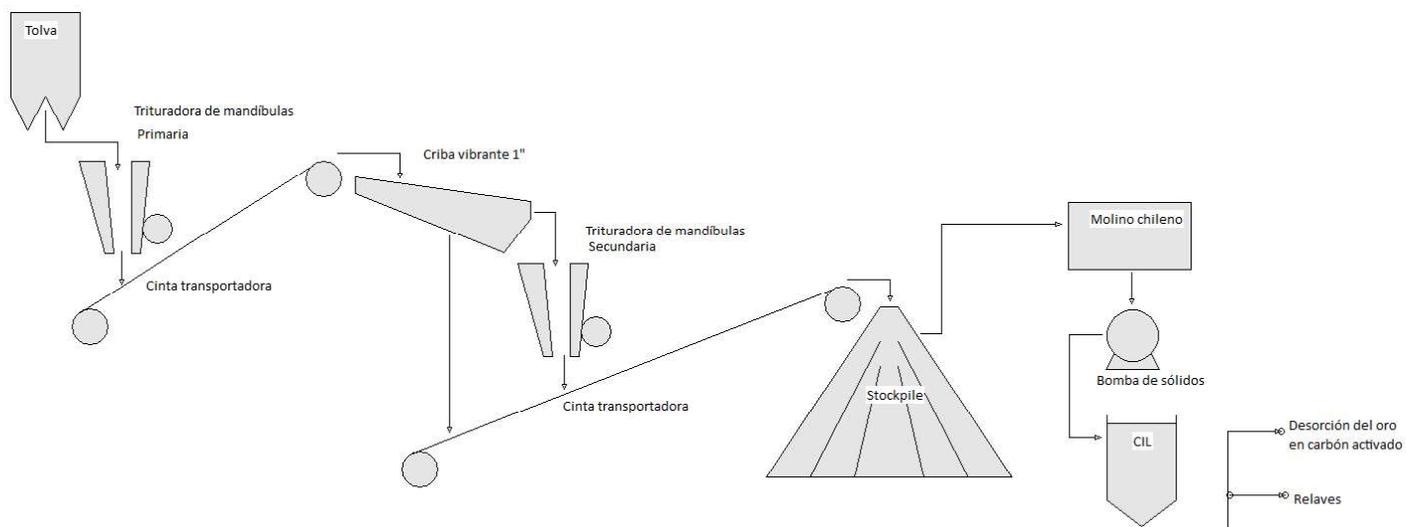


Ilustración 3.13 Diseño final – Circuito de trituración

3.9 Inversión del circuito

Los costos generales del circuito consideran equipos importados directamente al país cuyo precio está regulado e incluye IVA, se busca que los equipos tengan características similares a las determinadas mediante los cálculos, por lo que se considerará un aproximado superior.

Tabla 3.11 Inversión del circuito

Equipo	Características	Precio mandíbulas	Precio cono
Trituradora de mandíbulas Alimentador + motor + tolva	Q=50 T/h R=4 S=2 pulgadas HP = 50	\$ 35.000,00	\$ 35.000,00
Trituradoras de mandíbula (v. Cono) incluido motor	Q=30 T/h R=3 S=3/4 pulgadas HP = 40	\$ 25.000,00	\$ 80.000,00
Criba vibrante secundaria Incluido motor	Área= 1 m ² Q= 50 T/h Luz de malla= 1 pulgada	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
Bandas transportadoras (2)	Q= 40 T/h	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
Motores bandas	5 HP	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
TOTAL		\$70.000,00	\$ 125.000,00

La Tabla 3.11 muestra la variación en la inversión en caso de considerar una trituradora de mandíbulas o una trituradora de cono, el total final tiene una diferencia de **\$ 55.000,00** y pueden ser explicados debido a la gran capacidad que presentan las trituradoras de cono en su modelo más reducido, sumando a esto el tamaño de los equipos y su eficiencia en la reducción de tamaño. A diferencia de esto, la trituradora de mandíbulas brinda una robustez elevada y una eficiencia buena para minería a pequeña escala, que es el factor más determinante durante la selección de equipos.

Por esta razón el circuito presenta una trituración secundaria mediante un equipo de mandíbulas, siendo el que mejor se adapta al tipo de minería y mantiene los costos de inversión en un punto medio para la empresa.

Si bien el costo de inversión parece un valor elevado, considerando que se trata de minería a pequeña escala, puede reducirse mediante la adquisición de equipos de segunda mano que generalmente se encuentran por debajo del precio de mercado debido a las condiciones de uso a las que han sido expuestos. Además, el circuito puede separarse por partes para la adquisición, siendo el equipo de trituración primario el más importante en este caso.

Considerando los beneficios que tiene la empresa por cada tonelada de material que ingresa a la zona de molinos hasta que sale como material concentrado, el circuito de trituración puede llegar a darnos ganancias a partir de 1.5 años desde su implementación.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto espera tener una recepción positiva dentro de la empresa, siendo visto como un modelo de mejorar para las operaciones que se realizan, de manera que su aplicación y éxito sea el detonante para alcanzar a diferentes empresas de la zona que no cuenten con los respectivos estudios sobre la conminución de minerales y busquen mejorar su situación.

Si bien este proyecto parece tener poca importancia dentro de la minería, hay que tener siempre en consideración que la base de toda operación de minera metálica es lograr obtener los elementos que se encuentra fundidos con el suelo y que deben ser liberados desde su unidad básica, y eso convierte a los procesos de conminución en la vía hacia la liberación mineral.

4.1 Conclusiones

Mediante el análisis petrográfico de las muestras tomadas en la planta de beneficio, se pudo verificar que el material que procesa la planta proviene de diferentes yacimientos geológicos debido a la diferencia mineralógica entre las muestras analizadas. A su vez, se pudo comprobar la alta presencia de minerales metálicos refractarios, indicativo de que el material procesado tiene un valor económico importante.

Los tipos de roca fueron catalogados con índices de Bond diferentes, por lo que se consideró el mayor de ellos para la selección de los equipos y el cálculo de la potencia de motores requerida, sin embargo, esta potencia debe ser tomada como una referencia ya que se puede considerar diversos factores de seguridad propios de la empresa.

Los equipos de trituración fueron seleccionados para tener un equilibrio entre la alimentación y la descarga hacia la zona de molinos chilenos, incluyendo la dimensión de tolva requerida. De igual forma los equipos cuentan con un factor de seguridad de dos veces la alimentación normal de la planta, lo que les permitirá funcionar sin inconvenientes. Además, se busca tener equipos con una razón de reducción media, si empleásemos equipos con elevadas razones de reducción buscando mejorar la eficiencia del proceso, terminaríamos con una granulometría con mucho material grueso, poco material fino y la ausencia de material intermedio.

En base a los catálogos se eligió trituradora de mandíbulas para la etapa primaria de trituración, es ideal para una minería a pequeña escala en donde se requiere de equipos robustos que tengan una buena eficiencia y bajo coste de mantenimiento. Para la etapa secundaria la elección de trituradora de mandíbulas se basa buscar una granulometría homogénea, lo que se consigue aplicando etapas de trituración sucesivas. Además el costo de este equipo tiene una gran diferencia entre una trituradora de cono.

4.2 Recomendaciones

Se debe realizar un análisis petrográfico de la mayor cantidad de muestras posibles, para tener información más amplia del tipo de mineral que ingresa a la planta. Para esto se recomienda conseguir un transporte adecuado para la cantidad de muestras que se pudiese llegar a tomar.

Conocer la granulometría de salida de nuestros equipos de trituración es de gran importancia, para ello la elección debe basarse no solo en las capacidades requeridas, sino en la curva granulométrica proporcionada por el fabricante.

Para empresas pequeñas, como en nuestro caso de estudio, se busca que las trituradoras posean una gran robustez a pesar de que se pierda rendimiento en las operaciones ya que el mantenimiento de equipos con esta característica es bajo y significa un ahorro considerable.

En caso de que el material a triturar presente una elevada abrasividad, es recomendable la selección de equipos de trituración fabricados en acero al manganeso, que aumentan la vida útil de las partes móviles. Además, la trituradora primaria puede ser una trituradora de mandíbula estriada que mejora la forma de rotura del material.

Además, es recomendable el uso de electroimanes en la salida de la trituración primaria, para eliminar todo residuo metálico que podría interferir en el proceso de cribado y trituración secundaria, de esta manera se evitan costos de mantenimiento inesperados.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, U. (2014). *Minerales no metálicos Generalidades. C.*
- Banco Central del Ecuador. (2021). *Comercialización de Oro.*
<https://www.bce.fin.ec/index.php/comercializacion-de-oro>
- Blanco, A. (2016). Clasificación, cribado. *Apuntes de Mineralurgia y Tecnología Mineralúrgica*, 220–270.
https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/9._clasificacion_cribado.pdf
- Duda, W. (2003). *Manual tecnológico del cemento - Walter H. Duda - Google Libros.*
https://books.google.com.ec/books?id=pt20-8Ey56YC&pg=PA2-IA5&dq=materia+prima+en+la+elaboracion+del+cemento&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiq6e_Q6azrAhWizlkKHUuQC7wQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=materia+prima+en+la+elaboracion+del+cemento&f=false
- Gupta, A., & Yan, D. (2006). Introduction to Mineral Processing and Operation. *Introduction to Mineral Processing*, 1–2. https://labs.seprosystems.com/mineral-processing-introduction/?__cf_chl_jschl_tk__=a787ae34e362e81906d25cac220b786d0192ca37-1623975093-0-ARwuqB20FMaIUHBGj1o6S0LGgN2rTrmsG8l4_r5X4CZfMfMAreexpLLAEedzpfByV9v03Xsz0ExRg-Ht4bKnLBSHTNgNGVarhbNOfvFJpdDLzNQRJbcBQd
- Kanda, Y., & Kotake, N. (2007). Chapter 12 Comminution Energy and Evaluation in Fine Grinding. *Handbook of Powder Technology*, 12(07), 529–550.
[https://doi.org/10.1016/S0167-3785\(07\)12015-7](https://doi.org/10.1016/S0167-3785(07)12015-7)
- Klein, C., & Hurlbut, C. (2007). *Manual of Mineralogy.pdf* (p. 683).
- Merello, B. (2016). *Caracterización de la Chancabilidad de Rocas Mineralizadas Provenientes del Proyecto Chuquicamata Subterránea.*
- Miravete, A., Larrodé, E., Castejón, L., & Cuartero, J. (1998). *Los Transportes en la Ingeniería Industrial (Teoría).*
<https://books.google.com.ec/books?id=RdMfEAAAQBAJ&pg=PA501&dq=cintas+transportadoras+calculos+de+capacidad&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjPs4DyzavxAhW->

RzABHdSrAtwQ6AEwAHoECAcQAg#v=onepage&q=cintas transportadoras
calculos de capacidad&f=false

Nesse, W. (2000). *William D. Nesse - Introduction to Mineralogy*.

Nicolini, J. (2012). *Tablas y Ábacos – Sistema Ingles*.

Portal Minero Chile. (2006). *Manual General de Minería y Metalúrgica*.

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjkur-J3qzxAhVLGfKfHchrAIYQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F9428635%2FMANUAL_GENERAL_DE_MINERIA_Y_METALURGIA&usg=AOvVaw0uZhKDHhvE05eR3lyF7vNP

Rao, D. V. S. (2016). Minerals and coal process calculations. In *Minerals and Coal Process Calculations*. <https://doi.org/10.1201/9781315225524>

TELSMITH. (2005). *Trituradoras de cono*. <https://www.mclanahan.com/products/cone-crushers>

TELSMITH. (2015). Mineral processing handbook. In *Society of Mining Engineers*.

ANEXOS

Curvas granulométricas de las trituradoras seleccionadas:

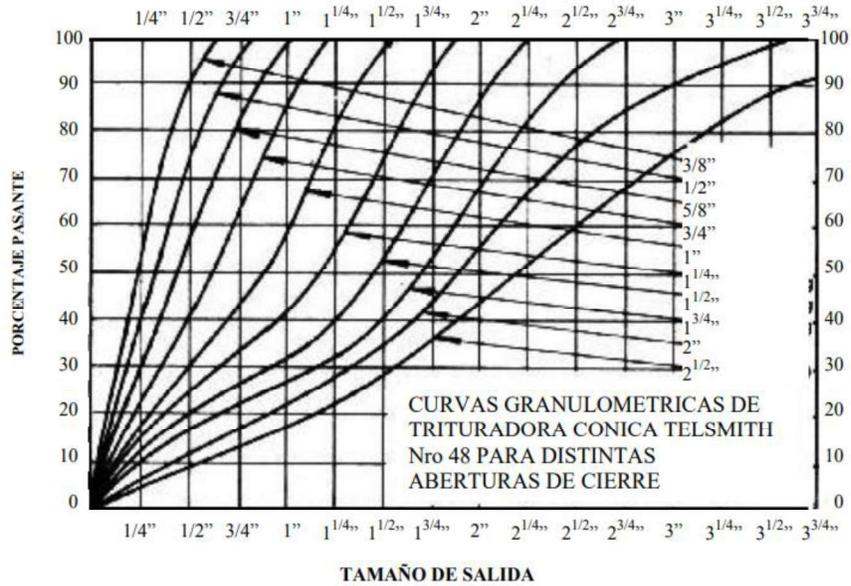


Ilustración 4.1 Curvas granulométricas de trituradora cónica Telsmith Nro. 48. Fuente: (Nicolini, 2012)

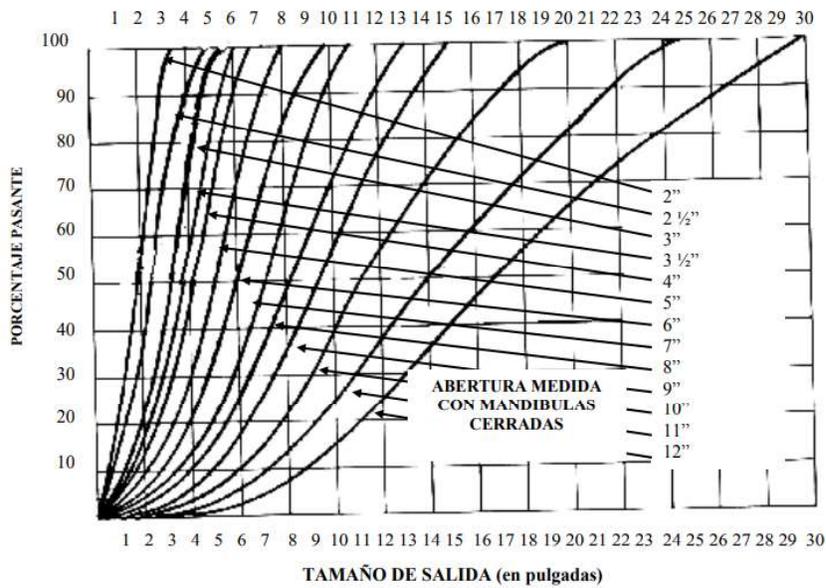


Ilustración 4.2 Curvas granulométricas de producto de trituradoras de mandíbulas Telsmith. Fuente: (Nicolini, 2012)

Size	10"×16"	10"×21"	10"×30"	12"×36"	15"×24"	15"×38"	20"×36"	20"×44"	22"×38"	22"×50"	25"×50"
Capacity — Tons Per Hour at Discharge Setting of:											
¾"	9—13	12—16	20—29	25—38	21—30	—	—	—	—	—	—
1"	10—15	15—20	23—34	29—43	25—35	43—64	—	—	—	—	—
1½"	14—20	19—26	29—43	36—54	30—45	53—79	64—115	90—151	—	—	—
2"	17—25	22—33	35—52	43—65	37—55	57—86	75—135	110—168	100—155	143—233	—
2½"	—	—	—	50—75	43—65	67—100	85—155	123—192	120—195	160—260	160—260
3"	—	—	—	—	—	76—114	96—174	152—217	135—220	182—296	180—295
3½"	—	—	—	—	—	85—128	108—192	167—243	150—240	198—322	200—320
4"	—	—	—	—	—	—	146—210*	183—267	165—270	219—358	220—360
5"	—	—	—	—	—	—	165—250*	212—316	190—310	251—409	250—405
6"	—	—	—	—	—	—	—	—	220—370	—	295—485

Ilustración 4.3 Capacidad trituradoras de mandíbula excéntrica – Telsmith 10"×16" hasta 22"×50". Fuente (TELSMITH, 2015)

Sieve Designation Standard			Closed Side Setting										Sieve Designation Standard								
US	mm	Decimal	¼"	½"	¾"	1"	1½"	2"	2½"	3"	3½"	US	mm	Decimal							
6"	150.0	6.00									100	100	100	6"	150.0	6.00					
5"	125.0	5.00									100	100	95	5"	125.0	5.00					
4½"	112.5	4.50									98	95	89	4½"	112.5	4.50					
4"	100.0	4.00									96	89	82	4"	100.0	4.00					
3½"	90.0	3.50									100	89	82	73	3½"	90.0	3.50				
3"	75.0	3.00									100	93	82	72	62	3"	75.0	3.00			
2½"	63.0	2.50									100	95	81	69	60	52	2½"	63.0	2.50		
2"	50.0	2.00									100	97	80	65	55	47	41	2"	50.0	2.00	
1½"	37.5	1.50									100	88	80	63	48	39	33	28	1½"	37.5	1.50
1¼"	31.5	1.25	100	93	78	70	56	40	33	29	24	1¼"	31.5	1.25							
1"	25.0	1.00	98	82	68	55	43	28	25	24	18	1"	25.0	1.00							
¾"	19.0	0.75	80	62	50	38	30	22	18	18	14	¾"	19.0	0.75							
½"	12.5	0.50	60	42	33	25	19	14	12	12	10	½"	12.5	0.50							
⅜"	9.5	0.375	41	30	27	19	13	11	9	9	8	⅜"	9.5	0.375							
4M	4.75	0.187	15	12	11	9	7	6	5	5	5	4M	4.75	0.187							
8M	2.36	0.094	8	7	6	5	5	3	3	3	3	8M	2.36	0.094							
16M	1.18	0.047	4	3	3	3	2	2	2	2	2	16M	1.18	0.047							
30M	0.60	0.023	2	2	2	2	1	1	1	1	1	30M	0.60	0.023							
50M	0.30	0.012	1	1	1	1						50M	0.30	0.012							

Ilustración 4.4 Análisis de cribado del producto de trituradoras de mandíbula Telsmith. Fuente: (TELSMITH, 2015)

Capacidades de trituración de circuito abierto - trituradora de cono de la serie SBS										
Modelo		Rendimiento total en la configuración de descarga (CSS) indicada								
		3/8" 10 mm	1/2" 13 mm	5/8" 16 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1-1/4" 32 mm	1-1/2" 38 mm	1-3/4" 45 mm	2" 51 mm
38 SBS	stph	90-115	115-145	140-170	155-190	190-230	220-270	235-290		
	mtph	81-104	104-131	126-153	140-171	171-207	198-243	212-261		
44 SBS	stph	123-160	150-200	180-235	200-260	245-320	285-370	320-415	360-455	
	mtph	111-144	135-180	162-212	180-234	221-288	257-333	288-374	324-410	
52 SBS	stph		175-225	205-265	230-300	280-365	320-420	365-475	410-530	455-585
	mtph		158-203	185-239	207-270	252-329	288-378	329-428	369-477	410-527
57 SBS	stph			300-382	335-435	400-525	435-560	485-625	565-730	635-820
	mtph			270-344	302-392	360-473	392-504	437-563	509-657	572-738
68 SBS	stph				470-610	535-695	590-765	635-825	705-915	780-1005
	mtph				423-549	482-626	531-689	572-473	635-825	702-905

Ilustración 4.5 Capacidad de trituradoras de cono en circuito abierto – serie SBS. Fuente: (TELSMITH, 2005)

Modelo SBS granulometrías de producto típicas											
Tamaño de malla		% que pasa el ajuste (CSS)									
EUA	mm	3/8" 10 mm	1/2" 13 mm	5/8" 16 mm	3/4" 19 mm	7/8" 22 mm	1" 25 mm	1-1/4" 32 mm	1-1/2" 38 mm	1-3/4" 44 mm	2" 51 mm
5"	125										100%
4"	100									100%	99%
3-1/2"	87,5								100%	99%	97%
3"	76								99%	97%	93%
2-1/2"	64							100%	97%	93%	83%
2"	51						100%	98%	91%	79%	66%
1-3/4"	44					100%	99%	95%	84%	69%	54%
1-1/2"	38				100%	99%	96%	88%	73%	58%	44%
1-1/4"	32			100%	99%	96%	89%	76%	61%	45%	35%
1"	25			99%	95%	87%	78%	63%	47%	35%	27%
7/8"	22		100%	95%	89%	79%	69%	54%	39%	30%	23%
3/4"	19	100%	98%	92%	81%	70%	60%	45%	33%	26%	20%
5/8"	16	98%	93%	83%	72%	58%	48%	35%	27%	22%	17%
1/2"	13	95%	84%	72%	59%	47%	38%	27%	22%	18%	14%

Ilustración 4.6 Análisis de cribado del producto de trituradoras de mandíbula Telsmith. Fuente: (TELSMITH, 2005)

Elaboración de láminas delgadas



Ilustración 4.7 Corte de muestras de mano para exponer una cara lisa.



Ilustración 4.8 Pulido de secciones delgadas con polvo abrasivo.