



1859



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**  
**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos**  
**Naturales no Renovables**

**Carrera de Ingeniería en Minas**

**Simulación del proceso de trituración con la aplicación del software  
METSIM en las operaciones de la Planta de Beneficio León con el material  
de la Sociedad Minera la Ponderosa, código 390190, Provincia del Oro,  
cantón Portovelo, sector El Salado.**

**Trabajo de Integración Curricular,  
previo a la obtención de título de  
Ingeniera en Minas.**

**AUTORA:**

Laura Araceli Jiménez Chocho

**DIRECTOR:**

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc.

**Loja- Ecuador**

2024

## Certificación

Loja, 3 de diciembre del 2024.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Simulación del proceso de trituración con la aplicación del software METSIM en las operaciones de la Planta de Beneficio León con el material de la Sociedad Minera la Ponderosa, código 390190, Provincia del Oro, cantón Portovelo, sector El Salado**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Minas**, de la autoría de la estudiante **Laura Araceli Jiménez Chocho**, con cédula de identidad Nro. **1721413308**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



STALIN IVAN PUGLLA  
AREVALO

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Laura Araceli Jiménez Chocho**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:** 

**Cédula de identidad:** 1721413308

**Fecha:** 03 de diciembre del 2024

**Correo electrónico:** [laura.a.jimenez@unl.edu.ec](mailto:laura.a.jimenez@unl.edu.ec)

**Celular:** +593 98 909 9185

**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o, publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, **Laura Araceli Jiménez Chocho**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Simulación del proceso de trituración con la aplicación del software METSIM en las operaciones de la Planta de Beneficio León con el material de la Sociedad Minera la Ponderosa, código 390190, Provincia del Oro, cantón Portovelo, sector El Salado**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera en Minas**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional. Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes informáticas del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de diciembre del dos mil veinticuatro.

**Firma:** 

**Cédula de identidad:** 1721413308

**Dirección:** Loja, Ancón y Eduardo Mora

**Fecha:** 03/12/2024

**Correo electrónico:** [laura.a.jimenez@unl.edu.ec](mailto:laura.a.jimenez@unl.edu.ec)

**Celular:** +593 98 909 9185

**Datos Complementarios:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo

## **Dedicatoria**

El presente Trabajo de Investigación se lo dedico a mi querida mamita (+) María Luisa Jiménez. Por ser mi mayor refugio y haberme acompañado con su amor y sabiduría desde mis primeros pasos. Mi amor por ti trasciende cualquier distancia, Mamita. Eres mi mayor inspiración.

A mi papito Manuel Chocho, por brindarme su amor y transmitirme esas enormes ganas de salir adelante. Sus consejos y anécdotas de vida han sido mi fuente de motivación para seguir de pie y alcanzar mi anhelado título.

A mi inigualable madre Luz María, por enseñarme que las cosas solo se consiguen con optimismo y dedicación. Por ser una mujer trabajadora y llena de alegría que me ha mostrado su apoyo incondicional en cada paso. Sé que este logro no es solo mío, sino también el de ella.

A mis hermanas Dayra y Luisa, por darme tanto amor y demostrarme lo maravilloso que es tener hermanas. Quisiera expresar mi más sincero amor a mi hermana Dayra, que ha sido y será mi mano derecha, y recuerde constantemente que ella es mi sol y mi agua. Se que este logro es tanto mío como el de ella.

A mis queridos sobrinos Elian y Luciana, que iluminaron mi vida con su presencia. Recordarles siempre que cada sacrificio que haga será para brindarles mi mayor apoyo.

A mi pareja Pablo, por su amor sincero y apoyo incondicional.

***Laura Araceli Jiménez Chocho.***

## **Agradecimiento**

A través de este trabajo de titulación, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por permitirme realizar este logro en mi vida.

Quiero expresar mi más sincera gratitud a mi paciente director del Trabajo de Integración Curricular Ing. Stalin Iván Puglla, por su valiosa colaboración y dirección desinteresada a lo largo del desarrollo de este trabajo. Su orientación y apoyo constante han sido fundamentales para poder alcanzar mi anhelado título.

A la planta docente de la carrera de Ingeniería en Minas, cuyos conocimientos y experiencias en el área han sido un gran apoyo constante y valioso durante el desarrollo de mi carrera universitaria.

De la misma manera, quiero expresar mis agradecimientos a la Planta de Beneficio “León” y a la Sociedad Minera la Ponderosa, por brindarme el espacio y las facilidades necesarias para la realización de este proyecto.

A mi familia, por su constante presencia y apoyo, en especial a mis abuelitos María y Manuel, mi madre Luz María, mis hermanas Dayra y Luisa, mis adorados sobrinos Elian y Luciana y a mi cuñado Carlos.

De la misma forma expresar mis más sinceros agradecimientos a mis Tíos Alba y Paul por su constante respaldo y apoyo desinteresado y a mis primos en especial Michael, Camila y Fernanda por su compañía.

A mis amigos y compañeros de la universidad, en especial a Alejandra, por su constante apoyo y amistad sincera. Gracias por enseñarme el valor de una amistad verdadera.

Y a mi pareja Pablo. Gracias por estar siempre a mi lado, y por ser mi compañero en esta travesía. No hay palabras suficientes para agradecerte por tu constante presencia y apoyo.

***Laura Araceli Jiménez Chocho.***

## Índice de Contenidos

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría .....</b>	<b>iii</b>
<b>Carta de Autorización .....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos: .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de figuras:.....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas: .....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de anexos: .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. Título... ..</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen.....</b>	<b>2</b>
Abstract.....	4
<b>3. Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Marco Teórico .....</b>	<b>8</b>
4.1 Cribado.....	8
4.1.1 Principios del Cribado: .....	8
4.1.2 Eficiencia en el Cribado.....	8
4.1.3 Tipos de Cribas .....	8
4.2 Trituración.....	10
4.2.1 Etapas de la Trituración .....	10
4.2.2 Equipos de Trituración.....	10
4.3 Teorías de Fragmentación.....	15
4.3.1 Teoría de F.C. Bond (1952) .....	15
4.4 Circuito de Trituración.....	16
4.4.1 Circuito Abierto .....	16
4.4.2 Circuito Cerrado.....	16
4.5 Propiedades Mineralógicas .....	17
4.5.1 Análisis Mineralógico .....	18
4.6 Propiedades Físico- Mecánicas de las Rocas.....	18
4.7 Ensayo Minero Metalúrgicos .....	19
4.7.1 Índice de Bond .....	19
4.7.2 Abrasividad .....	20
4.7.3 Ensayo al Fuego.....	20
4.8 METSIM.....	20
4.9 Tipos de Muestreo.....	21

4.9.1	Muestreo en Stock Pile .....	21
4.9.2	Tipos de Cuarteo .....	22
4.10	Distrito Zaruma-Portovelo.....	23
<b>5.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>24</b>
5.1	Área de estudio .....	24
5.1.1	Ubicación .....	24
5.1.2	Acceso.....	25
5.1.3	Material de Estudio .....	27
5.1.4	Geología Regional .....	28
5.1.5	Geología Local.....	29
5.2	Materiales.....	29
5.3	Procedimiento .....	30
5.4	Metodología del Primer Objetivo .....	31
5.5	Metodología del Segundo Objetivo .....	41
5.6	Metodología Tercer Objetivo.....	43
<b>6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>61</b>
6.1	Resultados del Primer Objetivo .....	61
6.2	Resultados del Segundo Objetivo: .....	72
6.2.1	Infraestructura Administrativa .....	72
6.2.2	Área de Procesamiento .....	73
6.3	Resultados del Tercer Objetivo.....	78
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>87</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>90</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>92</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>93</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>96</b>

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Características de la Trituradora de Mandíbulas .....	11
<b>Figura 2.</b> Trituradora de Mandíbulas .....	12
<b>Figura 3.</b> Trituradora Cónica – Características generales .....	13
<b>Figura 4.</b> Estructura y funcionamiento de la trituradora de conos .....	14
<b>Figura 5.</b> Partes de una trituradora de conos .....	14
<b>Figura 6.</b> Circuito Cerrado .....	16
<b>Figura 7.</b> Circuito Cerrado .....	17
<b>Figura 8.</b> Propiedades Físico-Mecánicas de las Rocas .....	19
<b>Figura 9.</b> Muestreo en stock pile .....	22
<b>Figura 10.</b> Cuarteo Manual .....	22
<b>Figura 11.</b> Distrito minero Zaruma-Portovelo. Unidades Geológicas .....	23
<b>Figura 12.</b> Mapa de ubicación de la Planta de tratamiento y beneficio " León .....	24
<b>Figura 13.</b> Acceso vía terrestre Capital Quito - Cantón Portovelo .....	26
<b>Figura 14.</b> Acceso vía terrestre desde el Cantón Portovelo hasta el área de estudio .....	26
<b>Figura 15.</b> Acceso vía terrestre Loja - Planta de Beneficio " León" .....	27
<b>Figura 16.</b> Mapa de Ubicación de la Concesión Minera Bomba de Pacchapamba Unificada .....	28
<b>Figura 17.</b> Geología Regional: Sociedad Minera la Ponderosa .....	29
<b>Figura 18.</b> Muestreo en stock pile .....	31
<b>Figura 19.</b> Secuencia de pasos para la obtención de la muestra .....	32
<b>Figura 20.</b> Ejemplo de proceso de etiquetado .....	33
<b>Figura 21.</b> Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la densidad aparente .....	34
<b>Figura 22.</b> Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la densidad .....	35
<b>Figura 23.</b> Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la RCS .....	36
<b>Figura 24.</b> Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la RCS .....	36
<b>Figura 25.</b> Descripción macroscópica del material de la sociedad minera La Ponderosa .....	37
<b>Figura 26.</b> Procedimiento para la realización del Ensayo al Fuego para ley de Oro (Au) ....	40
<b>Figura 27.</b> Secuencia de pasos para el ensayo de abrasividad .....	41
<b>Figura 28.</b> Curva Granulométrica asociada al grado de reducción .....	45
<b>Figura 29.</b> Alimentador de placas disponible en el Software METSIM .....	46
<b>Figura 30.</b> Gráfica de análisis para la elección del tipo de trituradora en relación con la abrasividad y capacidad en (t/h) .....	48
<b>Figura 31.</b> Gráfica de análisis para la elección del tipo de trituradora en relación con la capacidad en (ton/h) y el tamaño máximo de alimentación .....	48

<b>Figura 32.</b> Parámetros de información del proyecto.....	51
<b>Figura 33.</b> a) Selección de elementos, b) Selección de componentes.....	51
<b>Figura 34.</b> Selección del tamaño de mallas bajo la marca US. ESTANDAR.....	52
<b>Figura 35.</b> Registro del porcentaje de los componentes del material .....	52
<b>Figura 36.</b> Parámetros de diseño registrados para la primera clasificación de tamaños.....	53
<b>Figura 37.</b> Parámetros de diseño considerados para la tolva de gruesos .....	54
<b>Figura 38.</b> Equipos considerados para la alimentación y transporte del material dentro del software METSIM .....	54
<b>Figura 39.</b> Parámetros considerados en la zaranda 1 .....	55
<b>Figura 40.</b> Parámetros de diseño para la primera etapa de trituración.....	55
<b>Figura 41.</b> Parámetros de diseño para la segunda etapa de trituración.....	55
<b>Figura 42.</b> Parámetros de diseño calculados en el Software Metsim para la criba vibratoria .....	59
<b>Figura 43.</b> a) Caja de control máquina de compresión uniaxial b) muestra 3 .....	62
<b>Figura 44.</b> a) Caja de control máquina de compresión uniaxial b) muestra 2 .....	62
<b>Figura 45.</b> a) Caja de control máquina de compresión uniaxial b) muestra 3 .....	63
<b>Figura 46.</b> Muestra M-01 visualizada en el microscópico.....	63
<b>Figura 47.</b> Muestra M-02 visualizada en el microscópico.....	64
<b>Figura 48.</b> Resultados DRX (M-1) elaborados por el Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional. ....	64
<b>Figura 49.</b> Resultados DRX (M-2) elaborados por el Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional. ....	65
<b>Figura 50.</b> Lámina delgada con luz polarizada para la muestra M-01 .....	65
<b>Figura 51.</b> Lámina delgada con luz polarizada para la muestra M-01 .....	66
<b>Figura 52.</b> Lámina delgada con luz polarizada para la muestra M-01 .....	66
<b>Figura 53.</b> Sección pulida con luz polarizada para la muestra M-01 .....	67
<b>Figura 54.</b> Sección pulida con luz polarizada para la muestra M-01 .....	67
<b>Figura 55.</b> Estado de sulfuración para la muestra M-01 .....	67
<b>Figura 56.</b> Infraestructura Planta de Beneficio " León" .....	72
<b>Figura 57.</b> Infraestructura Planta de Beneficio " León" .....	73
<b>Figura 58.</b> Zona de Stock para la Sociedad Minera la Ponderosa .....	73
<b>Figura 59.</b> Área de Trituración – Plataforma 2 materia perteneciente a la sociedad minera la ponderosa. ....	74
<b>Figura 60.</b> a) material con un tamaño superior a 30 cm b) acondicionamiento del material de manera manual .....	74

<b>Figura 61.</b> a) Área de trituración – proceso mecánico b) trituradora de mandíbulas .....	75
<b>Figura 62.</b> Diagrama de flujo- Proceso de Trituración Actual .....	76
<b>Figura 63.</b> Simulación del Proceso de Trituración en el Software METSIM con el propósito de ampliar y diseñar. ....	83
<b>Figura 64.</b> Curvas Granulométricas de las Corrientes: 8, 9 y 11 .....	84
<b>Figura 65.</b> Vista de Perfil Propuesta del Proceso de Trituración aplicado en la Operaciones de la Planta de Beneficio “León” .....	86
<b>Figura 66.</b> Vista de Planta Propuesta del Proceso de Trituración aplicado en la Operaciones de la Planta de Beneficio “León” .....	86

## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Clasificación: Cribas fijas .....	9
<b>Tabla 2.</b> Clasificación: Cribas Móviles.....	9
<b>Tabla 3.</b> Factores para la elección de los equipos de trituración.....	11
<b>Tabla 4.</b> Parámetros característicos de la trituradora de mandíbulas .....	12
<b>Tabla 5.</b> Módulos presentes en METSIM .....	21
<b>Tabla 6.</b> Ubicación Política de la Planta de Beneficio " León" . .....	24
<b>Tabla 7.</b> Coordenadas del polígono de la Planta de Beneficio “León” Datum: WGS84.....	25
<b>Tabla 8.</b> Rutas de acceso para llegar a la zona de estudio .....	27
<b>Tabla 9.</b> Ubicación Política: Concesión minera: Bomba de Pacchapamba Unificada, Código: 526.....	28
<b>Tabla 10.</b> Materiales.....	30
<b>Tabla 11.</b> Ficha de etiquetado .....	32
<b>Tabla 12.</b> Registro de muestras para el ensayo de densidad. ....	35
<b>Tabla 13.</b> Registro de muestras para el ensayo de contenido de humedad. ....	36
<b>Tabla 14.</b> Registro de muestras para el ensayo de densidad. ....	37
<b>Tabla 15.</b> Ficha Técnica para el Análisis Mineralógico.....	38
<b>Tabla 16.</b> Ficha técnica .....	42
<b>Tabla 17.</b> Razón de reducción.....	44
<b>Tabla 18.</b> Análisis para la elección del circuito de trituración.....	45
<b>Tabla 19.</b> Análisis para la elección del Alimentador .....	47
<b>Tabla 20.</b> Análisis para la elección del tipo de trituradora secundaria .....	49
<b>Tabla 21.</b> Análisis para la elección del tipo de trituradora.....	50
<b>Tabla 22.</b> Análisis para la elección del tipo de forros .....	50
<b>Tabla 23.</b> Porcentaje pasante de las mallas. ....	53
<b>Tabla 24.</b> Hoja de cálculo de los Diagramas de flujo en el Software METSIM.....	56
<b>Tabla 25.</b> Factor de Seguridad para mayorar los resultados de la Potencia del Motor .....	57
<b>Tabla 26.</b> Análisis Multicriterio para la Elección de las Trituradoras de Mandíbulas tanto para la Primera etapa como a la Segunda etapa.....	58
<b>Tabla 27.</b> Características técnicas de la criba vibratoria.....	59
<b>Tabla 28.</b> Características técnicas de las bandas transportadoras .....	60
<b>Tabla 29.</b> Evaluación Económica del Circuito de Trituración a Implementar en las Operaciones de la Planta de Beneficio León .....	60

<b>Tabla 30.</b> Resultados del ensayo de densidad real para el material de la Sociedad Minera la Ponderosa.....	61
<b>Tabla 31.</b> Resultados del ensayo de contenido de humedad para el material de la Sociedad Minera la Ponderosa .....	61
<b>Tabla 32.</b> Resultados de la resistencia a la compresión simple para el material de la Sociedad Minera la Ponderosa. ....	62
<b>Tabla 33.</b> Resultado de leyes de Oro (Au) y Plata (Ag) .....	68
<b>Tabla 34.</b> Resultados: Ensayo de Abrasividad.....	69
<b>Tabla 35.</b> Correlación para el Ensayo de Abrasividad.....	69
<b>Tabla 36.</b> Clasificación de la abrasividad de las rocas según el índice CAI.....	70
<b>Tabla 37.</b> Resumen de la Caracterización del Material perteneciente de la Sociedad Minera la Ponderosa .....	71
<b>Tabla 38.</b> Evaluación Económica del Circuito de Trituración Actual de la Planta de Beneficio León.....	77
<b>Tabla 39.</b> Análisis multicriterio para la elección del circuito de trituración.....	79
<b>Tabla 40.</b> Clasificación de la abrasividad de las rocas según el índice CAI.....	80
<b>Tabla 41.</b> Especificaciones del equipo de clasificación secundaria en la primera etapa de conminución.....	81
<b>Tabla 42.</b> Especificaciones de los transportadores en la primera etapa de trituración.....	82
<b>Tabla 43.</b> Especificaciones de los transportadores en la segunda etapa de trituración.....	82
<b>Tabla 44.</b> Balances de masa y tamaño de reducción P <sub>80</sub> en todas las corrientes de la simulación .....	83
<b>Tabla 45.</b> Evaluación Económica del Circuito de Trituración a Implementar en las Operaciones de la Planta de Beneficio León .....	85
<b>Tabla 46.</b> Valores típicos del Índice de Abrasividad CERCHAR (CAI) para algunos tipos de rocas ígneas.....	88

## Índice de Anexos:

<b>Anexo 1.</b> Mapa geológico local del Área Minera Bomba de Pacchapamba Unificada, código 526.....	96
<b>Anexo 2.</b> Cálculo del volumen del STOCK para realizar la campaña de muestreo .....	97
<b>Anexo 3.</b> Cálculo de la Razón de Reducción para las etapas de Trituración. ....	98
<b>Anexo 4.</b> Cálculo para el dimensionamiento de la Tolva de Gruesos para la Planta de Beneficio “León” .....	99
<b>Anexo 5.</b> Cálculo para la estimación de la Capacidad del Alimentador de Placas .....	100
<b>Anexo 6.</b> Estimación del porcentaje pasante de las mallas implementadas em el Software METSIM.....	101
<b>Anexo 7.</b> Cálculos para la obtención de las propiedades físico- mecánicas.....	103
<b>Anexo 8.</b> Ficha técnica de M-01 del material de la Sociedad Minera la Ponderosa .....	107
<b>Anexo 9.</b> Ficha técnica de M-02 del material de la Sociedad Minera la Ponderosa .....	108
<b>Anexo 10.</b> Resultados de los análisis de Difracción de Rayos X para las muestras M-01 y M-02 pertenecientes de la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada.....	109
<b>Anexo 11.</b> Informe de los Resultados de los análisis de Láminas delgadas y Secciones Pulidas para las muestras M-01 y M-02 pertenecientes de la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada. ....	110
<b>Anexo 12.</b> Informe de los Resultados del Ensayo a Fuego para la muestra M-1 de la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada.....	116
<b>Anexo 13.</b> Informe de los Resultados del Ensayo de Abrasión en la máquina de los Ángeles para la muestra M-1 perteneciente a la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada.....	117
<b>Anexo 14.</b> Informe de los Resultados del ensayo Índice de trabajo (Work Index Wi).....	118
<b>Anexo 15.</b> Cálculo del Volumen Proyectado de la Zona de Stock.....	120
<b>Anexo 16.</b> Ficha técnica equipos del proceso de trituración .....	120
<b>Anexo 17.</b> Cálculo de las variables operacionales de la Trituradora de Mandíbulas .....	122
<b>Anexo 18.</b> Cálculo del consumo energético del Área de Trituración.....	123
<b>Anexo 19.</b> Descripción de las áreas complementarias posteriores al proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León .....	125
<b>Anexo 20.</b> Descripción de los procesos que se realizan en la Plata de Beneficio León .....	127
<b>Anexo 21.</b> Diagrama de flujo Planta de Beneficio León .....	130

<b>Anexo 22.</b> Resultados de la simulación del Software METSIM para propuesta de la implantación del circuito abierto del proceso de trituración.....	132
<b>Anexo 23.</b> Resultados de la simulación del Software METSIM para propuesta de la implantación del circuito cerrado del proceso de trituración.....	137
<b>Anexo 24.</b> Plano de la Tolva de Gruesos para el proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León.....	145
<b>Anexo 25.</b> Especificaciones Técnicas de los equipos a implementar en el Proceso de Trituración y cálculo de las variables tecnológicas de las trituradoras a implementar..	146
<b>Anexo 26.</b> Cálculo de la Energía de Bond y Potencia para las trituradoras a implementar a futuro.....	149
<b>Anexo 27.</b> Análisis Multicriterio para la Elección de la Trituradora de Mandíbulas para la Primera Etapa de Trituración .....	151
<b>Anexo 28.</b> Cálculo de las bandas para el proceso de trituración brindado por el Software METSIM.....	159
<b>Anexo 29.</b> Evaluación económica del circuito de trituración a implementar en las operaciones de la planta de beneficio león.....	161
<b>Anexo 30.</b> Diagrama de flujo final de la propuesta del proceso de trituración aplicado en las operaciones de la Planta de Beneficio “León”.....	172
<b>Anexo 31.</b> Plano final de la propuesta del proceso de trituración aplicado en las operaciones de la Planta de Beneficio “León”.....	172
<b>Anexo 32.</b> Mapa de ubicación de la Planta de Tratamiento y Beneficio “León”.....	172
<b>Anexo 33.</b> Mapa de ubicación de la concesión minera “Bomba de Pacchapamba Unificada”. .....	172
<b>Anexo 34.</b> Mapa geológico regional del área minera “Bomba de Pacchapamba Unificada”. .....	172
<b>Anexo 35.</b> Mapa geológico local del área minera “Bomba de Pacchapamba Unificada”.....	172
<b>Anexo 36.</b> Planimetría de la Planta de Beneficio “León”. .....	172
<b>Anexo 37.</b> Plano de la tolva de gruesos para el proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León”.....	172
<b>Anexo 38.</b> Diagrama de flujo del proceso actual que desarrolla la Planta de Beneficio “León”. .....	172
<b>Anexo 39.</b> Diagrama de Flujo del Circuito Cerrado del Proceso de Trituración – Simulación Dinámica. ....	172

<b>Anexo 40.</b> Diagrama de Flujo del Circuito Abierto del Proceso de Trituración – Simulación Estática.....	172
<b>Anexo 41.</b> Certificación de la traducción del resumen.....	173

## **1. Título**

Simulación del proceso de trituración con la aplicación del software METSIM en las operaciones de la Planta de Beneficio León con el material de la Sociedad Minera la Ponderosa, código 390190, Provincia del Oro, cantón Portovelo, sector El Salado.

## 2. Resumen

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “Simulación del proceso de trituración con la aplicación del software METSIM en las operaciones de la Planta de Beneficio León con el material de la Sociedad Minera la Ponderosa, código 390190, Provincia del Oro, cantón Portovelo, sector El Salado”, fue desarrollado en base a análisis bibliográficos y experimentales. La planta de Beneficio “León” tiene un área de 1237 m<sup>2</sup> y se divide en tres infraestructuras dedicadas a la administración, procesamiento y concentración mineral y, relaveras. La planta brinda sus servicios a titulares mineros para la recuperación de minerales valiosos mediante un proceso ordenado, cuya secuencia inicia con la trituración mineral, molienda, cianuración, refinación y fundición. Siendo la primera Sociedad Minera la Ponderosa, área Minera Bomba de Pacchapamba Unificada, quienes hacen uso en mayor porcentaje del servicio que brinda la planta, por lo que el stock disponible para que la sociedad minera acumule el material, tiene una capacidad 755 toneladas, aunque normalmente solo almacenen 84 ton.

De este modo, primeramente, se caracterizó de manera física, mecánica, mineralógica y minero- metalúrgica, el material en stock de la sociedad Minera La Ponderosa, por lo que se analizaron 3 muestras en la parte de propiedades físico- mecánicas en donde se obtuvo una densidad de 2.96 gr/cm<sup>3</sup> con un porcentaje de humedad del 1.51% y una resistencia a la compresión de 96.71 MPa. En cambio, la descripción mineralógica de manera microscópica mediante los análisis de Difracción de rayos X, láminas delgadas y secciones pulidas, denotaron la presencia de minerales de cuarzo, calcita, caolinita, clinocloro, moscovita, gypsum, anhidrita y, minerales metálicos como galena, pirita, calcopirita y oro. Mediante la determinación de las propiedades minero metalúrgicas en las que se catalogó a la roca como muy abrasiva y un índice de Bond ajustado a trituración de 18 kWh/ton, fueron indispensables para la evaluación y selección de las trituradoras que se van a implementar en el circuito propuesto de trituración.

Se describió el proceso de trituración que realiza actualmente la planta de Beneficio “León”, el cual, inicia con el acondicionamiento del material mediante un combo, preparando así el material para su entrada en la trituradora de mandíbulas de 320 x 400 mm. El producto resultante tiene un tamaño que varía entre los 6 y 8 cm. Labora a una capacidad de 10 toneladas diarias, operando con una potencia de 10 HP. Sin embargo, este trabajo se realiza de manera intermitente.

Se simuló el circuito propuesto, pero, antes de realizarlo, se evaluó las diferentes alternativas y se estableció ciertos criterios para dar selección al tipo de circuito de trituración,

etapas de trituración, tipos de trituradoras, tipos de revestimientos y demás equipos secundarios que ayudan a la automatización del nuevo circuito de trituración.

A partir del cálculo de la tasa de reducción global ( $i=20$ ), se estableció dos etapas de trituración (primaria y secundaria). Se evaluó la implementación de un circuito cerrado vs un circuito abierto, siendo el último mencionado el seleccionado debido a que el circuito cerrado presentó un porcentaje elevado de carga circulante (213%). Como se mencionó anteriormente, al tratar un material abrasivo y de alta resistencia, se optó por elegir a la trituradora de mandíbulas de 400x600 en la primera etapa de reducción, con una proyección para 15 toneladas por hora, una potencia de 15 HP y forros dentados ondulados. Debido a que, en la caracterización mineralógica, se denotó un 15% de caolinita (arcilla), se descartó el uso de una trituradora cónica en la segunda etapa, por lo que se eligió una trituradora de mandíbulas de 250x400 con un set ajustado a 17mm, potencia de 30 HP y revestimientos dentados y forma de pico.

Los demás equipos secundarios implícitos dentro de este proceso, inicia con la implementación de una tolva diseñada para una capacidad proyectada de 150 toneladas, con barrotes en la parte superior separados cada 32 cm, los cuales ayudan como primera etapa de clasificación un alimentador de placas de 61.34 toneladas por hora, criba vibratoria como segunda etapa de clasificación, cuyo material retenido trasladará mediante el uso de una cinta transportadora hacia la trituradora primaria y el material pasante es trasladado junto con el producto de la primera trituración hacia la trituradora secundaria con ayuda de una banda transportadora. La valoración económica de todo el circuito dio un valor de 59652.5 USD.

El Software METSIM a través de la simulación del circuito de trituración, dio como resultados balances de masa correctos, distribución y curvas granulométricas, y porcentajes pasantes ( $P_{80}$ ) en las 13 corrientes establecidas para dicho circuito que cumplen con las condiciones requeridas para mejorar la eficiencia de trituración.

**Palabras Claves:** Trituración, grado de reducción, carga circulante, circuito abierto, trituradora de mandíbulas, METSIM.

## **Abstract**

The present Curricular Integration Work called “Simulation of the crushing process with the application of METSIM software in the operations of the León Beneficiation Plant with the material of Sociedad Minera La Ponderosa, Code 390190, Province of El Oro, canton Portovelo, sector El Salado”, was developed based on bibliographic and experimental analysis. The “León” beneficiation plant has an area of 1237 m<sup>2</sup> and is divided into three infrastructures dedicated to administration, mineral processing, mineral concentration and tailings. The plant provides services to mine owners for the recovery of valuable minerals through and in order to whose sequence starts with mineral crushing, grinding, cyanidation, refining and smelting. “Sociedad Minera La Ponderosa, Minera Bomba de Pacchapamba Unificada”, is one of the companies that makes the most use of the service provided by the plant, so the stock available for the mining company to accumulate the material has a capacity of 755 tons, although they normally store 84 tons.

Firstly, the material in stock of La Ponderosa Mining Company was characterized in a physical, mechanical, mineralogical and mining-metallurgical way, so 3 samples were analyzed in the part of physical-mechanical properties where a density of 2.96 gr/cm<sup>3</sup> was obtained with a humidity percentage of 1.51% and a compressive strength of 96.71 MPa. On the other hand, the microscopic mineralogical description by means of X-ray diffraction analysis, thin slices and polished sections, denoted the presence of quartz minerals, calcite, kaolinite, clinoclore, muscovite, gypsum, anhydrite and metallic minerals such as galena, pyrite, chalcopyrite and gold. By determining the metallurgical mining properties in which the rock was classified as very abrasive and a Bond index adjusted to crushing of 18 kWh/ton, were indispensable for the evaluation and selection of the crushers to be implemented in the proposed crushing circuit.

The crushing process currently carried out by the "León" Beneficio plant was described, which begins with the conditioning of the material with a tool called “combo”, this preparing the material for its entry into the 320 x 400 mm jaw crusher. The resulting product has a size that varies between 6 and 8 cm. It works at a capacity of 10 tons per day, operating with a power of 10 HP. However, this work is performed intermittently.

The proposed circuit was simulated, but before carrying it out, the different alternatives were evaluated and certain criteria were established to select the type of crushing circuit, crushing stages, types of crushers, types of liners and other secondary equipment that helps the automation of the new crushing circuit. Based on the calculation of the global reduction rate

( $i=20$ ), two crushing stages were established (primary and secondary). The implementation of a closed circuit versus an open circuit was evaluated, the latter being selected because the closed circuit presented a high percentage of circulating load (213%). As mentioned previously, since it is an abrasive and highly resistant material, the 400x600 jaw crusher was chosen for the first stage of reduction, with a projection for 15 tons per hour, a power of 15 HP and corrugated toothed sleeves. Because the mineralogical characterization indicated 15% kaolinite (clay), the use of a conical crusher was ruled out in the second stage, so a 250x400 jaw crusher with a clearance adjusted to 17mm was chosen. 30 HP power and serrated and beak-shaped coatings. The other secondary equipment involved in this process begins with the implementation of a hopper designed for a projected capacity of 150 tons, with bars at the upper place separated every 32 cm, which help a plate feeder as the first classification stage. 61.34 tons per hour, vibrating screen as a second stage of classification, whose retained material will be transferred through the use of a conveyor belt to the primary crusher and the material that passes is transferred together with the product of the first crushing to the secondary crusher with the help of a conveyor belt. The economic valuation of the entire circuit showed a value of 59,652.5 USD

METSIM through the simulation of the crushing circuit, gave as results correct mass balances, distribution and granulometric curves, and passing percentages ( $P_{80}$ ) in the 13 streams established for this circuit that comply with the conditions required to improve the crushing efficiency.

**Keywords:** Crushing, reduction degree, circulating load, open circuit, jaw crusher, METSIM.

### 3. Introducción

De acuerdo con la información proporcionada por Delaune y Costa (2021), en Ecuador existen hasta el año 2021 un total de 171 plantas de beneficio instaladas, de las cuales el 50% se ubican en la provincia de El Oro y el 43% en la provincia de Azuay; el resto de plantas de beneficio se ubican en las provincias de Tungurahua, Zamora, Cotopaxi y Guayas (p.137). Cabe mencionar que, en la provincia de El Oro, cantón Portovelo, se registran un total de 85 concesiones mineras en trámite e inscritas hasta el 2023, además según datos presentados por el Gad Municipal del Cantón Portovelo (2023) se resalta que, la actividad económica predominante se concentra en el proceso de beneficio del mineral, contando con un total de 56 plantas de beneficio dedicadas a esta actividad hasta la fecha actual. (p.113)

En el cantón Portovelo, actualmente, pocas plantas de beneficio funcionan de manera satisfactoria, particularmente en lo que respecta al proceso de trituración. Se observa que, en la mayoría de los casos, la etapa de trituración está limitada al uso de una sola trituradora de mandíbulas y al acondicionamiento de la roca de manera manual. Sin embargo, la falta de equipos especializados y clasificadores adecuados provoca que este proceso sea ineficiente. Como consecuencia, el tamaño granulométrico final no es el adecuado para alimentar a los equipos de molienda.

La Planta de beneficio “León” ubicada en la provincia de El Oro, cantón Portovelo, sector el Salado, alquila sus servicios a titulares mineros que deseen obtener el mineral de interés, siendo sometido a procesos de trituración como primera etapa de reducción de tamaño. Previo al inicio del procesamiento del material, es fundamental tener presente la caracterización del material como la directriz principal.

En este contexto, se destaca una ausencia por parte de los inversores que alquilan la instalación en relación con la descripción detallada del material. Esta falta de información resulta en un, debido al empleo inadecuado de equipos de grado insuficiente de reducción del material trituración. Por esta razón se propone emplear herramientas especializadas en la simulación de plantas de tratamiento y beneficio de minerales partiendo de la caracterización del material de la Sociedad Minera la Ponderosa.

El uso de herramientas informáticas para el desarrollo de diseños y simulaciones de plantas de tratamiento y beneficio de minerales, ayuda a controlar de mejor manera las diferentes etapas que están implícitas dentro de un proceso de trituración. El software METSIM, es utilizado tanto para la etapa de trituración, como las demás etapas de molienda y hasta concentración, pues el software proporciona balances de masa, distribuciones de tamaño,

curvas granulométricas, variables tecnológicas de cada equipo, control de carga circulante, entre otros; pues la interfaz que maneja es mucho más amplia y los resultados obtenidos, son cercanos a la realidad.

Para realizar la presente investigación los objetivos a ejecutar son los siguientes:

### **Objetivos:**

#### Objetivo General:

- ✓ Simular el proceso de trituración con la aplicación del software METSIM en las operaciones de la Planta de Beneficio León con el material de la Sociedad Minera la Ponderosa.

#### Objetivos Específicos:

- ✓ Caracterizar las propiedades físico-mecánicas, mineralógicas y elaborar los ensayos minero metalúrgico del material de la Sociedad Minera la Ponderosa.
- ✓ Describir el proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León”.
- ✓ Simular el nuevo proceso de trituración con la aplicación del software METSIM aplicado a la Planta de Beneficio “León”.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Cribado

El cribado es una operación mecánica de clasificación que facilita la separación de tamaños de materiales según el tamaño granulométrico, mediante el uso de cribas. Estas máquinas permiten el paso de partículas con dimensiones inferiores de su abertura, mientras retienen y evacuan por separado aquellos de dimensiones superiores. (Universidad Politécnica de Cartagena, s.f, p.1)

#### 4.1.1 Principios del Cribado:

- **Estratificar el material:** Debido al movimiento vibratorio, las partículas gruesas ascienden hacia la parte superior de la capa del material, y las partículas más pequeñas se deslizan hacia la parte inferior, utilizando los espacios creados entre las partículas de mayor dimensión. (Metson Minerals, 2008, p. 80).
- **Probabilidad de separación:** “Este es el proceso en el que las partículas llegan a la malla y, según sean mayores o menores que las aberturas de la malla son rechazadas o pasan a través de la criba” (Metson Minerals, 2008, p. 80).

#### 4.1.2 Eficiencia en el Cribado

Metson Minerals, (2008) infiere que la eficiencia de cribado es la calidad de separación obtenida de las cribas. En este contexto es importante mencionar que una criba con baja eficiencia puede ocasionar problemas en el cribado.

- **Sobrecarga del circuito cerrado de trituración:** Una criba que opera con una baja eficiencia genera más carga circulante, debido a que una parte del material que debería pasar por la criba retorna al circuito, y esto reduce el rendimiento de los equipos de trituración, lo que puede producir mayor desgaste en los forros de las trituradoras.
- **Productos que no cumplen especificaciones:** Una criba deficiente genera productos con partículas de tamaño que no se encuentran dentro del rango.

#### 4.1.3 Tipos de Cribas

“La separación en los equipos de cribado depende del tamaño de malla y de la dimensión del material a procesar y estas características determinan la capacidad de eficiencia de la criba” (Blanco, 2014).

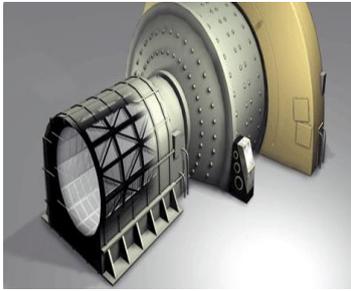
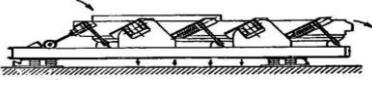
Las cribas se califican en dos categorías: fijas y móviles, las cuales se especifican en la Tabla 1 y en la Tabla 2

**Tabla 1** Clasificación: Cribas fijas

Clasificación -Cribas fijas		
Tipo de Criba	Descripción	Ilustración
<b>Parrillas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son barras de acero de sección rectangular o trapezoidal, ubicadas en el sentido de la corriente del material</li> <li>- Empleado para un cribado grueso o escalpado de un Todo-Uno</li> <li>- Separaciones de las barras entre 25mm-250 mm con una inclinación de 45°</li> </ul>	
<b>Rejillas Curvas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generalmente son de sección triangular ubicadas transversalmente al sentido del flujo del material</li> <li>- Utilizada mayoritariamente para material fino, posterior a la etapa de molienda</li> <li>- Separación de 45 micras a 2.4 mm y puede contener un 40% de sólidos</li> </ul>	

**Nota.** Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena (2008)

**Tabla 2** Clasificación: Cribas Móviles

Clasificación - Cribas Móviles		
Tipo de Criba	Descripción	Ilustración
<b>Trommels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienen un movimiento giratorio, constituido por un cilindro cuya envoltura está perforada.</li> <li>- No es tan eficiente, ya que produce atascos. Pero son económicos.</li> <li>- Suele emplearse como acoplamiento a la salida de un molino, para retener elementos molidores o piezas metálicas desgastadas.</li> </ul>	
<b>Cribas de Sacudidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son las menos utilizadas</li> <li>- Frecuencia de 500 a 1000 rpm.</li> <li>- Tiene una subclasificación (resonancia y tipo Raetter)</li> </ul>	
<b>Cribas Vibratorias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son las más utilizadas, pues poseen gran capacidad por metro cuadrado.</li> <li>- Capacidades de 0.5 m a 40 mm.</li> <li>- Tiene una subclasificación, en dependencia del movimiento (choque, movimiento circular y movimiento rectilíneo)</li> <li>- Mayor eficiencia al clasificar el material.</li> </ul>	

**Nota.** Obtenido de Blanco (2014)

## 4.2 Trituración

“La trituración, es la primera etapa tecnológica de reducción de tamaños, se realiza generalmente en vía seca o húmeda. Su enfoque es reducir el tamaño del material y acondicionarlo para la etapa siguiente” (Metson Corporation, 2011, p.16).

Los variables operacionales en el la etapa de trituración son:

- ✓ Energía necesaria para realizar el trabajo medida en  $\left(\frac{kWh}{ton}\right)$
- ✓ Potencia del motor.

Los mecanismos de fractura presentes en el proceso de trituración según el mismo autor son:

- ✓ **Impacto:** Se produce cuándo las partículas chocan entre sí o contra la superficie.
- ✓ **Compresión:** Las partículas son sometidas a fuerzas de compresión que las fragmentan.
- ✓ **Corte :** Las partículas son sometidas a una fuerza cortante.
- ✓ **Frotación :** Ocurre cuándo las partículas se frotan unas con otras.

### 4.2.1 Etapas de la Trituración

Las etapas de trituración según Calviño (2009), son:

**Trituración Primaria.** Es la primera etapa del proceso de trituración, generalmente recibe el material Todo-Uno, reduce tamaños normalmente comprendidos entre 8” a 6”.

**Trituración Secundaria.** Esta etapa fragmenta el producto generado de la trituración primaria hasta tamaños de 3” y 2”, preparándolo para pasar a la concentración preliminar, los equipos que generalmente son: Trituradora giratoria y Trituradora de conos.

**Trituración Terciaría.** En la trituración terciaria el grado de reducción de la materia llega hasta tamaños de  $\frac{1}{2}$ ” a  $\frac{3}{8}$ ”. Entre los equipos que generalmente se utilizan se tiene: Trituradoras cónicas y Trituradoras de rodillos. (párr.1-7)

### 4.2.2 Equipos de Trituración

Según López y Casado (2007), “La elección correcta de las trituradoras se basan en varios factores asociados tanto a la naturaleza del material, como a todos aquellos aspectos técnicos propios del equipo de conminución”.

Los factores más relevantes son: características del mineral a tratar, tamaño de la alimentación, tamaño del producto, capacidad de la trituradora y proceso siguiente a la conminución, y se detallan en la tabla 3.

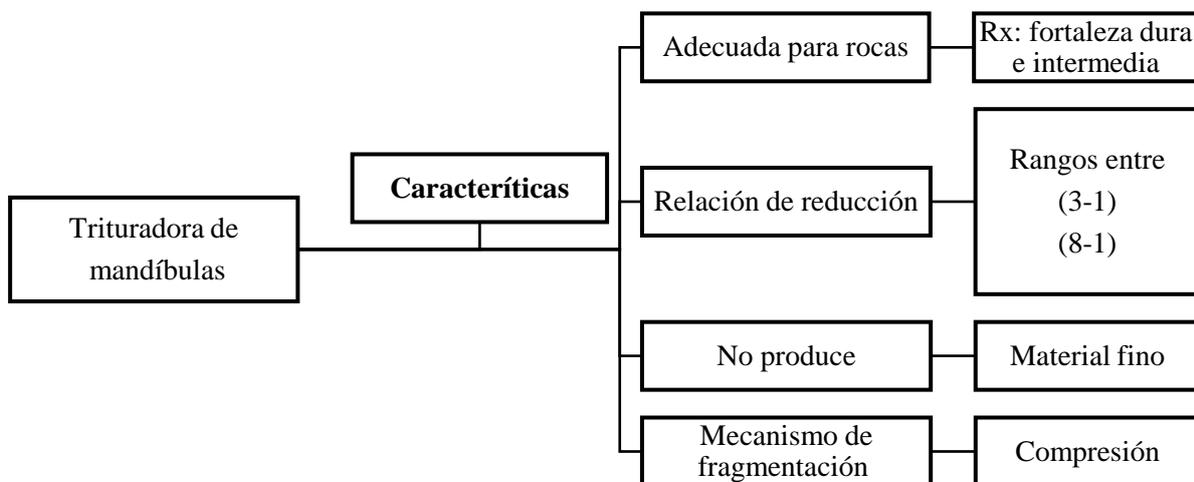
**Tabla 3** Factores para la elección de los equipos de trituración

Factores para la elección de los equipos de trituración	
Parámetro	
Características del material a tratar	Existen características del material que se deben considerar cuando se selecciona las trituradoras, por ejemplo: Resistencia, Abrasividad, Mineralización, Fortaleza
Tamaño de la alimentación	Para diferentes métodos de explotación y distintos tipos de materiales, el tamaño de alimentación puede variar. La trituradora seleccionada debe estar dimensionada para el tamaño de roca proveniente de la explotación.
Tamaño del producto	El tamaño deseado del producto proveniente de un circuito de trituración determinará el tipo de trituradoras a utilizar.
Capacidad de la trituradora	Establece la cantidad de volumen del material fragmentado por unidad de tiempo.
Proceso siguiente a la conminución	Los procesos de recuperación siguientes influyen de manera directa en la selección de estos equipos. Debido a que cada proceso de recuperación tiene su tamaño específico requerido.

**Nota.** Obtenido de López y Casado (2017)

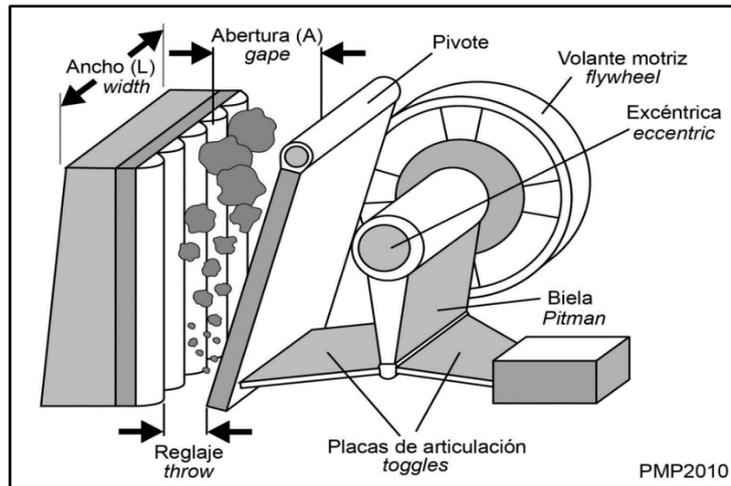
- **Trituradora de Mandíbulas.**

El funcionamiento de la trituradora de mandíbulas según Jacome (2014), se basa en dos placas de hierro instaladas, una fija y otra con un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento hacia la placa fija. Este movimiento permite fracturar el material que ingresa a los espacios entre las placas conocido también como cámara de trituración, empleando fuerzas de compresión. (p.8)



**Figura 1** Características de la Trituradora de Mandíbulas

**Nota.** Obtenido de Blanco, (2014) y Delgadillo, (2024)



**Figura 2 Trituradora de Mandíbulas**  
**Nota.** Obtenido de Yepes, (2022)

Según lo mencionado por Blanco (2014), existen los siguientes prototipos de trituradoras de mandíbulas:

**Tipo Blake o de doble efecto:** Este tipo de trituradora está compuesta por una mandíbula fija y una móvil, articulada en la parte superior, se mueve de manera oscilante hacia adelante y hacia atrás sobre un eje. Dicho movimiento facilita a la compresión de la roca dentro de la cámara de trituración .

**De simple efecto:** Se trata de una abreviación del diseño de la trituradora tipo Blake, en la cuál un solo eje cumple el doble papel de articulación para el giro de la mandíbula móvil como de la excéntrica de esta manera convierte el movimiento lineal en uno cuasi lineal. (pp.90-95)

En la tabla 4 se detallan los parámetros que caracterizan a la trituradora de mandíbulas:

**Tabla 4** *Parámetros característicos de la trituradora de mandíbulas*

Parámetros característicos de la trituradora de mandíbulas	
Parámetro	Detalle
<b>Cámara de trituración</b>	Es el espacio comprendido entre la mandíbula fija y la móvil. Adquiriendo una forma cónica con bases rectangulares
<b>Ángulo de recepción</b>	Es el ángulo que se forma entre la mandíbula fija y la mandíbula móvil
<b>Capacidad de producción</b>	Se trata de la cantidad de producto que puede ser liberada en un intervalo de tiempo.

**Nota:** Obtenido de Blanco (2014).

## Desgaste en las trituradoras de mandíbulas

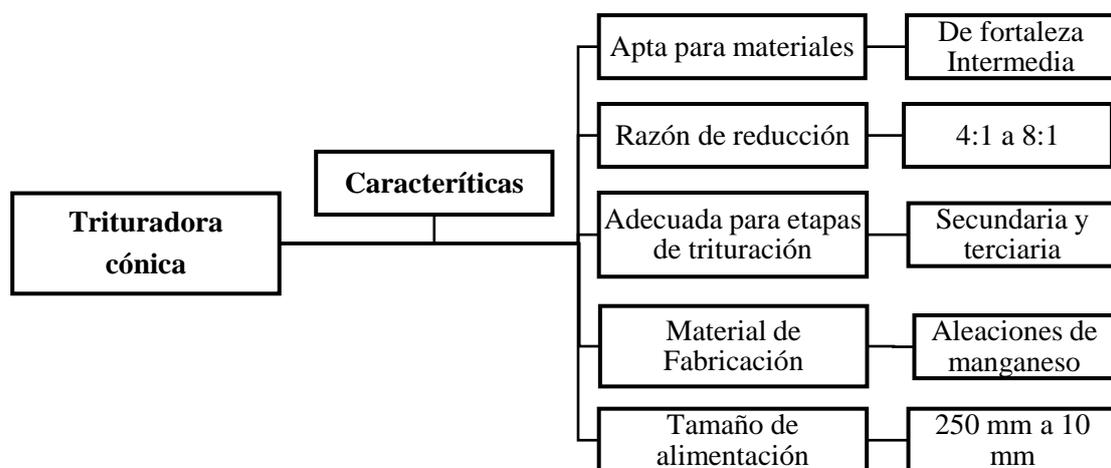
El desgaste se produce por la estructura de la roca, mena o mineral y es el resultado de las fuerzas de tracción, compresión o impacto combinadas con la fortaleza y la energía necesaria para triturar el material.

En las trituradoras de mandíbulas se usan las fuerzas de compresión para la reducción del material. Existen materiales indicados para dichos procesos como es el de acero al manganeso, que es la primera opción para el desgaste por compresión. Esta aleación posee una propiedad muy especial, siendo autotemplante y auto-sanador cuando está expuesto a grandes cantidades de energía de impacto. (Metson Minerals, 2008)

### Tipo de forros para las trituradoras de mandíbulas:

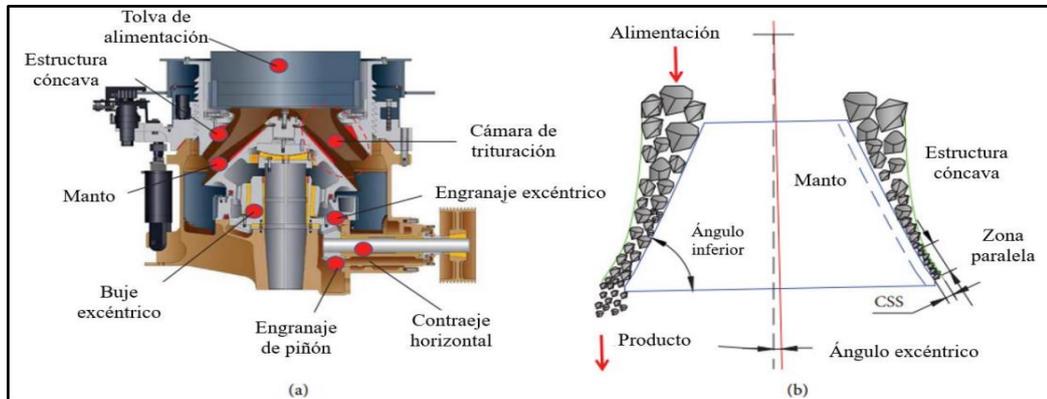
- ✓ **Dentados Ondulados :** Son de forma ondula, aumentan la producción, sirven para materiales abrasivos que ocasionen grandes cantidades de desgaste. Son recomendados para alimentación con detritos y/o finos.
  - ✓ **Dentados en forma de pico:** Reducen parcialmente las lajas, son recomendables para trituradoras de mandíbulas de pequeño tamaño.
  - ✓ **Lisos:** Son aplicables para materiales extremadamente abrasivos.
- **Trituradora cónica**

Encalada (2023,) menciona que una trituradora de conos es un equipo de trituración comúnmente implementado en trituración secundaria y terciaria. Está compuesta por una estructura cóncava externa que aloja un manto cónico con un movimiento excéntrico. Las características principales de la trituradora se detallan en la figura 3.



**Figura 3** Trituradora Cónica – Características generales  
*Nota.* Obtenido de Encalada, (2023) y Delgadillo, (2024)

Las trituradoras de cono Standard son comúnmente empleadas en la trituración secundaria, caracterizadas por tener superficies de trituración escalonadas con una zona paralela entre superficies cortas. La estructura de las trituradoras de cono se ilustra en la figura 4a, mientras que el principio de funcionamiento se describe con mayor detalle en la figura 4b.

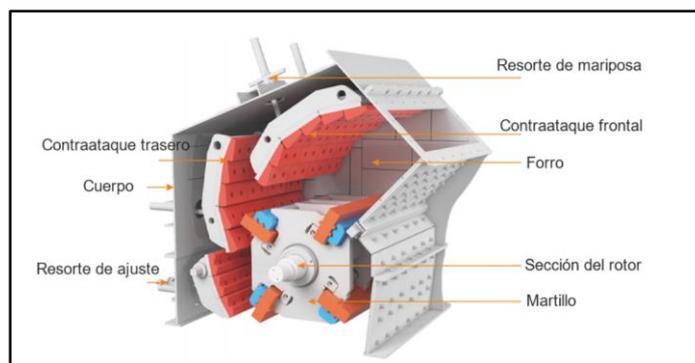


**Figura 4** Estructura y funcionamiento de la trituradora de conos  
**Nota.** Obtenido de Wu et al., (2021)

- **Trituradora de Impactos**

Se trata de una máquina la cual aprovecha la energía de un impacto para fragmentar el material. Por lo común están compuestas por una carcasa de placa de acero que integra un eje y un conjunto de rotor. El número de piezas móviles es muy reducido. (Metson Minerals, 2008)

Esta trituradora no es adecuada para materiales abrasivos, a menos que el material sea muy blando; es decir, materiales que sean fácilmente triturables, tampoco se sugiere para materiales muy duros, salvo que tenga una textura estratificada. (Rolando et al., 2016)



**Figura 5** Partes de una trituradora de conos  
**Nota.** Obtenido de (Daswell, (s.f.)

Existen dos tipos principales de trituradoras de impactos que se explican a continuación:  
**Trituradora de impactos de eje horizontal.**

El material en estas trituradoras es fragmentado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de martillos – barras fijados al rotor. (Metson Minerals, 2008)

**Ventajas:**

- ✓ Gran eficiencia en la trituración, capaz de realizar trituración fina como molienda gruesa
- ✓ Estructura simple y bajo costo de mantenimiento
- ✓ Excelente calidad de productos, mayoritariamente en forma cúbica.

**Trituradora de impactos de eje vertical.**

Estas trituradoras pueden considerarse “ bombas de piedra” debido a que operan como una bomba centrífuga. La alimentación del material aprovecha la fuerza de la gravedad desde la parte superior y la evacuación del material es por fuerza centrífuga. (Jacome, 2014)

“La trituración ocurre mientras el material choca a alta velocidad contra los forros de la carcasa exterior y también debido a la acción del choque de las partículas de roca”. (Metson Minerals, 2008)

Jacome (2014), destaca que las trituradoras de impactos han resultado ser de gran importancia debido, ya que han dado lugar a otro tipo de máquinas de trituración donde dicho proceso se hace roca contra roca, reduciendo así el consumo de acero en una planta de procesamiento. Sin embargo, su alto consumo de energía hace que se utilicen más como correctores de forma de granos que como trituradoras principales.

**4.3 Teorías de Fragmentación**

Cabe destacar que en “La Tecnología Mineralurgia, la fragmentación representa la operación con mayor consumo energético y, generalmente la más costosa”.(Blanco, 2014, p.70)

**4.3.1 Teoría de F.C. Bond (1952)**

Blanco (2014), expone lo siguiente referente a la tercera Ley de Conminución formulada por el científico Fred Chester Bond en el año 1952.

**POSTULADO:** “La energía necesaria para la fragmentación, reducción de tamaño de los materiales es proporcional a la nueva longitud de fisura creada”. (Blanco, 2014, p.74)

**Expresión:**

$$W_B = 10 * W_i \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad (1)$$

**Donde:**

$W_B$  = Energía de Bond  $\left(\frac{kWh}{ton}\right)$

$W_i$  = Índice de Trabajo de Bond  $\left(\frac{kWh}{tc}\right)$

$P_{80}$  = Producto pasante del 80%  $\mu m$

$F_{80}$  = Tamaño de alimentación del 80%  $\mu m$

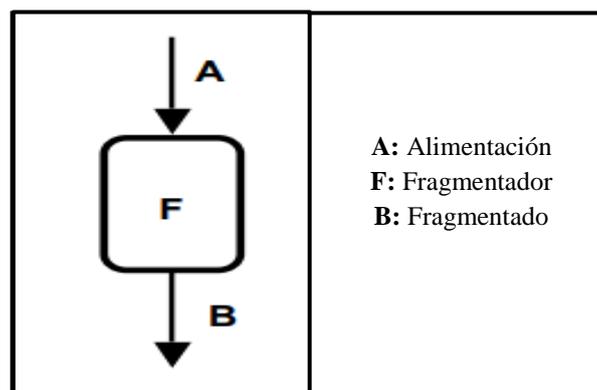
### **Índice de Trabajo de Bond.**

“Es el trabajo necesario para reducir una tonelada corta desde un tamaño muy grande, hasta 100  $\mu m$ . Sus unidades de medida se expresan en  $\left(\frac{kWh}{ton}\right)$ ”. (Blanco, 2014, p.74)

## **4.4 Circuito de Trituración**

### **4.4.1 Circuito Abierto**

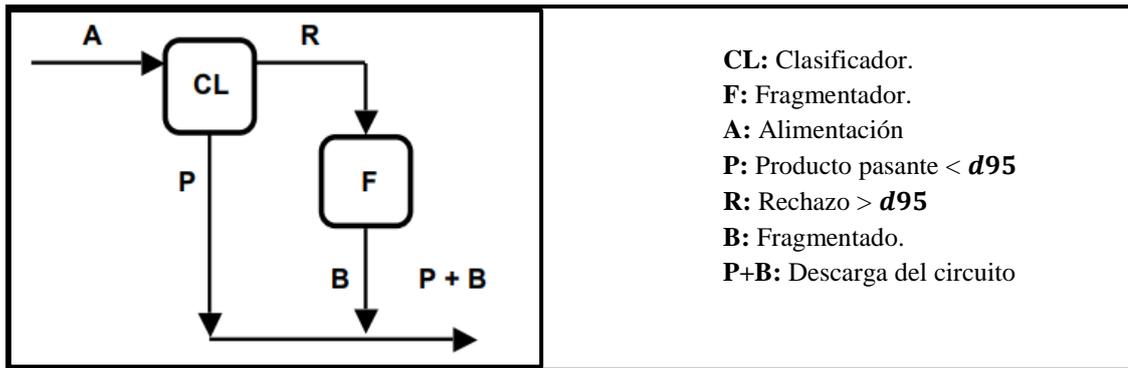
“Se caracteriza por recibir una alimentación directa y ofrece una única salida, opera con un fragmentador solo o acompañado por un clasificador, sin recirculación”.(Blanco, 2014, p.46)



**Figura 6** *Circuito Cerrado*  
**Nota.** *Obtenido de Blanco, (2014)*

### **4.4.2 Circuito Cerrado**

Los circuitos cerrados operan con un flujo de material constante entre el clasificador y el fragmentador, lo que establece una circulación interna cerrada que resulta en una carga circulante entre ambos equipos del circuito”. (Blanco, 2014, p. 47)



**Figura 7** Circuito Cerrado  
 Nota. Obtenido de Blanco, (2014)

### Carga Circulante en Circuito Cerrado

Según Blanco (2014), la carga circulante solo se presenta en los circuitos cerrados, de este modo se define como la relación de rechazo entre el clasificador y la alimentación. El rechazo que presenta el clasificador es la fracción de material que no cumple con el criterio de tamaño establecido.

Circuitos cerrados de trituración primaria: La carga circulante presenta porcentajes pequeños.

Circuitos cerrados de trituración secundaria y terciaria: La carga circulante presenta valores entre 40% y 150%.

### 4.5 Propiedades Mineralógicas

Comprender las características de los minerales facilita su correcta identificación, ayuda a definir sus aplicaciones en la industria y, favorece una extracción y tratamiento más responsable. Conforme a Ortiz (2005), las propiedades mineralógicas de los minerales son las siguientes:

- **Dureza:** Esta propiedad es dependiente de la cohesión de los minerales y su exfoliación. De manera general, es la resistencia que ofrece un mineral al ser rayado por otro cuerpo, los silicatos minerales con átomos pequeños tienden a ser más duros. Para determinarla se usa la escala de Mohs, donde el yeso es el mineral con menor dureza y el diamante es el más duro en esta escala.
- **Color:** Es un indicador importante ya que algunos minerales presentan colores distintivos.

Según la fuente de sus colores, se clasifican en cuatro grupos: los acromáticos, permiten el paso de la luz sin absorción; los idiocromáticos, su color se debe a la presencia de átomos específicos como el cobre; los alochromáticos muestran variedades

de color por presencia de elementos trazas y los pseudocromáticos, donde los efectos de color se deben a fenómenos ópticos como por ejemplo la interferencia de luz.

- **Raya:** Esta propiedad sirve para distinguir entre minerales coloreados y alocromáticos. Algunos minerales, como la hematita reciben su nombre por el color de la raya (rojo sangre).
- **Brillo:** Es la capacidad que tiene el mineral de reflejar la luz. Se mide con un índice de refracción.
- **Exfoliación:** La exfoliación de un mineral se refiere a su capacidad para fracturarse de manera ordenada a lo largo de direcciones específicas.

#### **4.5.1 Análisis Mineralógico**

- **Difracción de Rayos X:**

Esta técnica se emplea en la caracterización de minerales con estructura cristalina definida. La información se basa en la interacción de los Rayos X con los cristales, basada en la difracción generada por un conjunto de átomos ordenados.(Betancourth et al., 2010)

- **Láminas delgadas:**

Son utilizadas en el estudio de rocas con microscopio petrográfico, se realizan secciones pulidas de 30  $\mu m$  de grosor, adheridas a láminas de vidrio con resina epoxi y se recubren con un cubreobjetos.(Stalin Pilatasig, s.f.)

#### **4.6 Propiedades Físico- Mecánicas de las Rocas**

De acuerdo con la Universidad de Garanda (2010), se destacan ciertas propiedades físico-mecánicas de la roca, sin embargo para la elaboración de esta investigación, se prestará especial atención a la propiedades que se describen en la Figura 8.

<b>Densidad</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Contenido de Agua</b>	<b>Resistencia a la compresión simple</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La densidad se define como la relación existente entre la masa y el volumen y se mide en términos de unidades de masa por unidades de volumen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El peso específico se define como la relación que existe entre la densidad del cuerpo y la densidad del agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La humedad de una muestra se expresa como el porcentaje de masa de agua evaporada a 110°C, en relación con la masa de muestra en estado seco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La resistencia uniaxial, representa el máximo esfuerzo que una roca puede soportar cuando se somete a la máquina de compresión uniaxial. Se mide como la carga por unidad de área, sus unidades de medida son <math>\frac{Kg}{cm^2}</math></li> </ul>

**Figura 8** *Propiedades Físico-Mecánicas de las Rocas*  
**Nota.** *Obtenido de Universidad de Garanda, (2010)*

## 4.7 Ensayo Minero Metalúrgicos

### 4.7.1 Índice de Bond

Generalmente, el índice de trabajo es un parámetro dentro del proceso de conminución, el cual representa la energía necesaria que posee un material en específico al someterse a una trituración o molienda. (Riera, 2022)

Tras el análisis de la información proporcionada por la Universidad Politécnica de Cartagena (2008) es fundamental mencionar que, la energía de fractura necesaria para triturar el material en los procesos de trituración difiere con la energía de moliendabilidad utilizada en los procesos de molienda.

En trituración, el alimento se reduce hasta tamaños de 10 mm en dependencia de la configuración del equipo utilizado, lo que implica un menor gasto energético. Por otra parte, en molienda, el objetivo es alcanzar tamaño de partículas mucho más finos y homogéneos, generalmente en el rango de 150 a 74 micras, por lo que requiere una mayor cantidad de energía para alcanzar el tamaño de partícula deseado.

Realizar este ensayo es crucial porque nos brinda una evaluación directa de la dureza del material, lo que resulta fundamental para entender tanto su resistencia a la abrasión como su capacidad para resistir procesos como la trituración y la molienda.

Además, posibilita la comparación de la resistencia entre diversos minerales, lo cual facilita la selección de materiales para revestimientos de equipos y contribuye a la toma de decisiones en cuanto a la selección de materias primas en los sectores minero y metalúrgico.

#### **4.7.2 Abrasividad**

La abrasividad de la roca, desgaste, o también denominado dureza de un agregado, es una propiedad que depende de las características principales de la roca madre. Esta propiedad es importante cuando la roca va a estar sometida a un roce continuo como, por ejemplo, a un equipo en especial u herramienta destinada a perforar, romper o mover rocas. (Apaza, 2017)

- **Máquina de los Ángeles:** Su nombre proviene de Dorry y Ángeles, dos investigadores que desarrollaron el principio básico del ensayo. Esta máquina evalúa la resistencia de los agregados a la abrasión y desgaste mediante un proceso de trituración y molienda repetido, y siguiendo las normativas establecidas. Está compuesta por un tambor instalado en una estructura metálica y un sistema de control digital programable que inicia el motor para hacer girar el tambor un número específico de veces. (Delgado et al., 2016)

Apaza (2017) establece que la evaluación del desgaste se realiza mediante la medición de la disminución de masa de la muestra después de un determinado número de ciclos de abrasión. Este valor de pérdida de masa se utiliza para calcular el nivel de abrasión, expresado como un porcentaje de desgaste. Un porcentaje más elevado indica una mayor capacidad abrasiva del agregado y una menor resistencia al desgaste.

#### **4.7.3 Ensayo al Fuego**

Este ensayo es utilizado para medir leyes de Oro y Plata. Generalmente consiste en la fusión de la muestra mediante el uso de reactivos y fundentes específicos, generando dos fases líquidas distintas: una escoria compuesta mayormente por silicatos complejos y una fase metálica que contiene principalmente plomo, ambas en estado líquido, responsable de capturar los metales de interés como el oro y la plata. Posteriormente, estos metales pueden ser analizados químicamente o determinados mediante técnicas gravimétricas, dependiendo de las condiciones finales de la muestra. (INGEMMET, 2013)

### **4.8 METSIM**

METSIM es un software de simulación que se utiliza para simular plantas de beneficio de minerales, empezando desde el proceso de conminución. Ejemplo de ello se puede simular procesos de conminución y procesos metalúrgicos donde ocurren reacciones químicas. (Montero, 2009, p.10)

Lo que diferencia a METSIM de otros softwares utilizados para las mismas funciones, es el lenguaje en el que fue creado. METSIM fue desarrollado utilizando APL (A Programming

Language), un lenguaje de alto nivel que se originó a partir de la notación matemática. (Montero, 2009, p.10)

En la página oficial de METSIM se realiza el contacto con la empresa para que brinden el software, el cual viene con una prueba gratuita de 14 días.

Este software presenta distintos módulos, que están en dependencia a las necesidades del usuario, la siguiente tabla indica los módulos disponibles:

**Tabla 5** *Módulos presentes en METSIM*

<b>Módulos presentes en METSIM</b>	
<b>Módulo</b>	<b>Descripción</b>
Simulación Estática y Dinámica	En este módulo se realiza simulación dinámica del proceso de conminución.
Lixiviación en Pilas	En este módulo se construye modelos que incluyan pilas de lixiviación.
Costo operativo	Se realizan análisis de costos de operación.
Análisis de tamaño de partículas	En este módulo se realiza análisis de tamaños de partículas.
Solar/ Clima	Este módulo sirve para tener en consideración las condiciones climáticas.
Separación gravimétrica	Este módulo es útil para realizar simulaciones que incluyan la separación por gravedad.

**Nota.** *Obtenido de (Montero, 2009)*

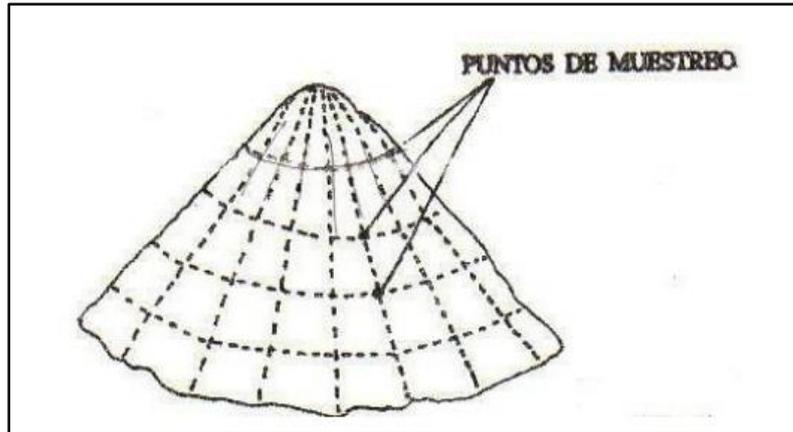
Para trabajar con METSIM y realizar cualquier tipo de simulación, es importante tener conocimientos previos sobre los procesos de metalurgia extractiva no se necesita ser experto en programación. (Montero, 2009)

## **4.9 Tipos de Muestreo**

### **4.9.1 Muestreo en Stock Pile**

El muestreo en Stock Pile, según lo establece Lambert (2006), trata principalmente de dividir el cono (material estoqueado), en secciones imaginarias de  $1\text{m}^2$ , con la finalidad de tomar muestras de manera proporcional en cada intersección de esta malla imaginaria. Generalmente, se muestra en mayor proporción en la parte inferior del cono y se disminuye la cantidad, conforme se va subiendo. Se tiene que tomar mínimo 5 Kg de muestra por cada 10 Ton de material. Cabe recalcar que la distribución del material en la pila no es homogénea, se recomienda aumentar la cantidad en un rango de 10 a 20 Kg. (p.59)

Lo que se trata de evitar al aplicar este tipo de muestreo, es el sesgamiento.

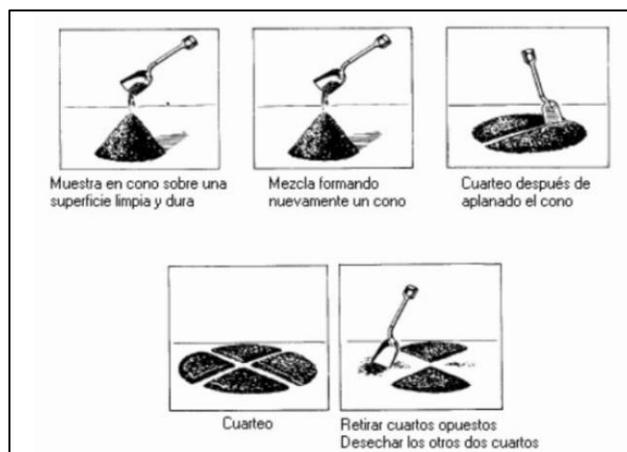


**Figura 9** Muestreo en stock pile  
**Nota.** Obtenido de Lambert, (2006)

#### 4.9.2 Tipos de Cuarteo

El cuarteo de muestras es un procedimiento crucial en el proceso de muestreo, el cual implica dividir una muestra grande en porciones más pequeñas y representativas. Según Flórez, (2019), establece los siguientes tipos de muestreo.

- **Cuarteo mecánico:** Es un equipo que consta con ocho ductos de igual ancho cuando se trata de muestras gruesas. El cuarteador está equipado con una tolva en donde se coloca la muestra tomada del stock, que lleva el material en los ductos para homogeneizarlo y dividirlo, y con dos recipientes, los cuales están encargados de recibir las dos mitades de la muestra luego de ser cuarteada.
- **Cuarteo manual:** En el cuarteo manual, se coloca el material sobre una lona, para posteriormente mezclarlo y formar nuevamente un cono. Con ayuda de una pala, se aplana el cono y se divide en 4 secciones iguales. Para el muestreo, se recomienda tomar el material de los lados opuestos y no de los adyacentes. La superficie, en donde se realiza el cuarteo, debe estar limpia y nivelada. (pp. 3-4)



**Figura 10** Cuarteo Manual  
**Nota.** Obtenido de Florez, (2019)

#### 4.10 Distrito Zaruma-Portovelo.

Bonilla (2009), señala que el distrito Zaruma-Portovelo ocupa la parte SE de la faja de mineralización aurífera-polimetálica Zaruma-Portovelo, siendo la sección S la más investigada y conocida, se encuentra cerca de la falla Piñas-Portovelo. A continuación, en la Figura 11 se denotan las unidades geológicas presentes en el Distrito Zaruma-Portovelo.

	<b>Paleozoico</b>	<b>Rocas Metamórficas (M)</b>	<p><b>Ubicación:</b> Se localiza en el sector SO del distrito Zaruma-Portovelo y forma parte del sector sur de la falla Piñas-Portovelo.</p> <p><b>Descripción :</b> Litología semipelítica del Terreno Chaucha-Tahuín. Incluye una variedad de rocas metamórficas como serpentinitas, eclogitas, gneises, paragneises, migmatitas, entre otras.</p>
<b>DISTRITO ZARUMA PORTOVELO</b>	<b>Oligoceno</b>	<b>Vólcanicos Saraguro</b>	<p><b>Ubicación :</b> Ocupa la porción N y E del distrito Zaruma-Portovelo.</p> <p><b>Descipción:</b> Se trata de depósitos formados por tobas soldadas con flujos de ceniza, lavas de composición andesítica a basalto- andesítica y material volcánico.</p>
		<b>Unidad Portovelo</b>	<p><b>Ubicación:</b> Se ubica entre los poblados de Zaruma, Malvas, Arcapamba y Huertas, en la porción centro y oriental del distrito.</p>

**Figura 11** Distrito minero Zaruma-Portovelo. Unidades Geológicas  
**Nota.** Obtenido de (Bonilla, 2009)

## 5. Metodología

### 5.1 Área de estudio

De manera general se describió el área de estudio empezando por su ubicación y abordando también el acceso de igual manera, se detalló el lugar de procedencia del material que se ocupó para la realización del presente estudio.

#### 5.1.1 Ubicación

La Planta de Beneficio “León”, código 390990, está ubicada en el sector El Salado, Cantón Portovelo, provincia de El Oro. Ver figura 12 y Tabla 6.



**Figura 12** Mapa de ubicación de la Planta de tratamiento y beneficio " León

**Tabla 6** Ubicación Política de la Planta de Beneficio " León".

Ubicación Política de la Planta de Beneficio “León”, código 390190		
PROVINCIA	CANTÓN	SECTOR
El Oro	Portovelo	El Salado
<u>DATUM: WGS84</u>		
<b>Longitud (x)</b>		<b>Latitud (y)</b>
650939 E		9585903 N
<u>DATUM: PSAD56</u>		
651203 E		9586290 N

**Nota.** Tomado de Google Earth (2023)

En la siguiente tabla se ilustran las coordenadas geográficas WGS84, del polígono del predio de la Planta de Beneficio “León”. Ver tabla 7.

**Tabla 7** *Coordenadas del polígono de la Planta de Beneficio “León” Datum: WGS84.*

<u>Coordenadas del polígono de la Planta de Beneficio “León” Datum: WGS84</u>		
<b>Punto</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
P1	650948	9585901
P2	650918	9585832
P3	650866	9585848
P4	650860	9585831
P5	650750	9585860
P6	650783	9585946

**Nota.** *Tomado de Google Earth (2023)*

### **5.1.2 Acceso**

El acceso de la Planta de Beneficio “León”, se lo lleva a cabo de manera aérea y terrestre.

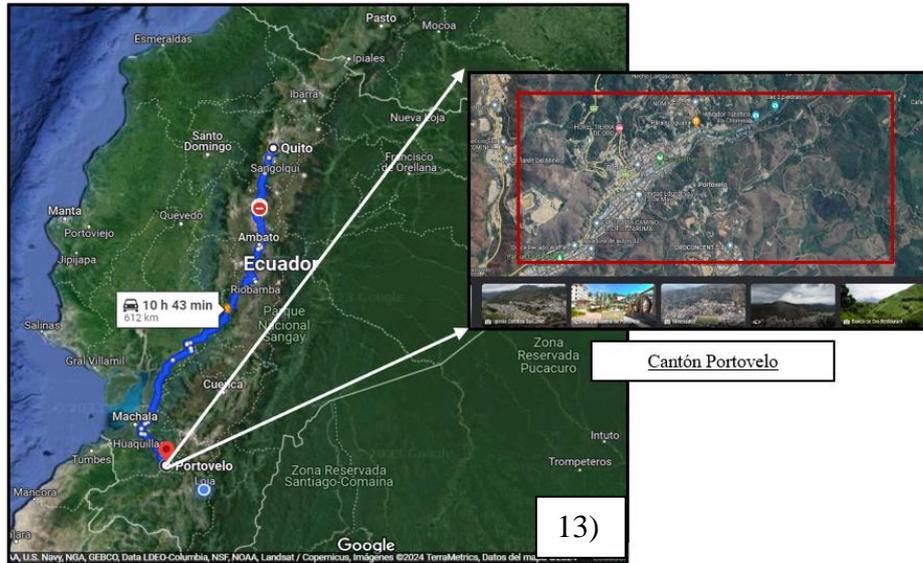
**5.1.2.1 Vía Aérea.** Se parte desde el aeropuerto Internacional Mariscal Sucre ubicado en la ciudad de Quito hasta el aeropuerto Camilo Ponce Enríquez ubicado en el cantón Catamayo de la ciudad de Loja. Seguidamente se continúa por vía terrestre, tomando la vía de primer orden hasta el sector de Las Chinchas, luego se cruza a la vía de tercer orden Chinchas-Portovelo y se llega al cantón Portovelo.

#### **5.1.2.2 Vía terrestre.**

##### **5.1.2.2.1 Ruta #1.**

#### Ciudad de Quito- Cantón Portovelo

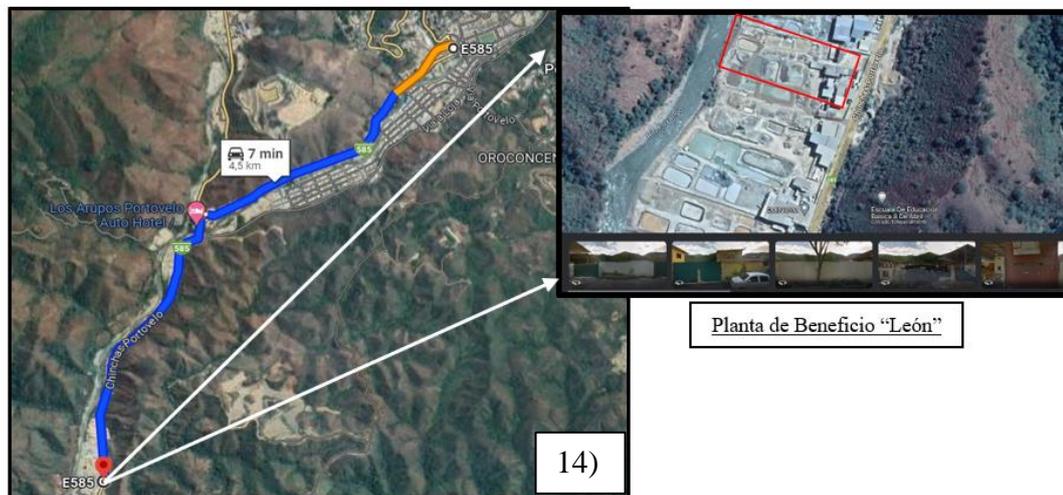
Se inicia desde la capital de Quito tomando la vía de primer orden hasta la ciudad de Machala, se continúa con la vía Machala- Loja hasta llegar a la Parroquia de Zaracay, luego se toma la vía de primer orden hasta llegar al Cantón Piñas y finalmente, se toma la vía Piñas-Portovelo y se llega al Cantón Portovelo, aproximadamente tiene 612 km y dura 10 h 45 minutos el recorrido. Ver figura 13.



**Figura 13** Acceso vía terrestre Capital Quito - Cantón Portovelo  
**Nota.** Tomado de Google Maps (2024)

### Cantón Portovelo – Planta de Beneficio León

Desde el Cantón de Portovelo, se inicia el recorrido a través de la vía de primer orden que se dirige hacia el redondel Memorial Minero, para luego tomar la vía de segundo orden hacia el sector el Salado donde se encuentra ubicada el área de estudio, aproximadamente se recorre una distancia de 4.5 km y su tiempo de duración es de 7 minutos. Ver figura 14.



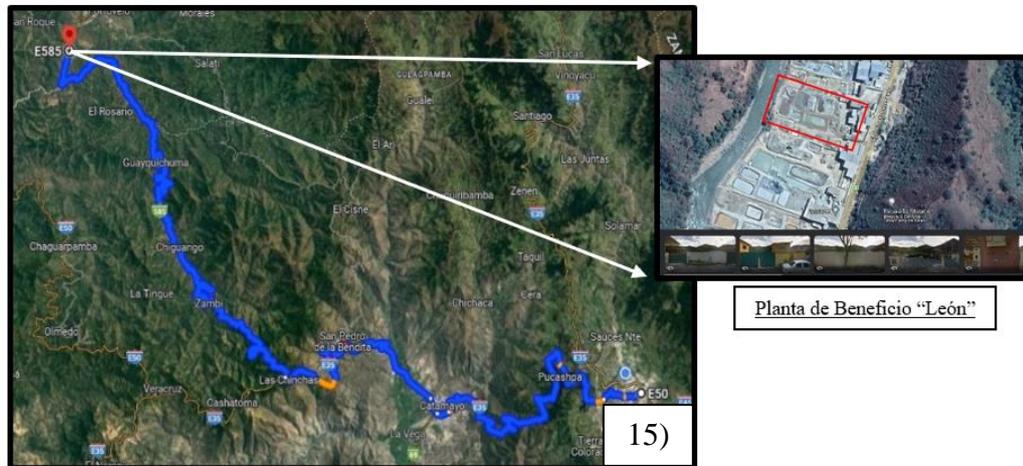
**Figura 14** Acceso vía terrestre desde el Cantón Portovelo hasta el área de estudio  
**Nota.** Tomado de Google Maps (2024)

#### **5.1.2.2.2 Ruta # 2.**

### Provincia de Loja – Planta de Beneficio “León”

Se inicia el recorrido en el terminal terrestre de la Provincia de Loja “Reina del Cisne”, partiendo a la vía de primer orden Loja -Catamayo, seguidamente desde el Cantón Catamayo por la vía de primer orden hasta llegar al sector Las Chinchas, luego se dirige a la vía de tercer

orden (Chincas – Portovelo) y finalmente se llega al sector El Salado, donde se encuentra ubicada la Planta de Beneficio “León”, se recorre aproximadamente 120 km y tarda 3h 20 min. Ver figura 15.



**Figura 15** Acceso vía terrestre Loja - Planta de Beneficio " León"  
**Nota.** Tomado de Google Maps (2024)

A continuación, en la tabla 8 se detalla las distancias comprendidas entre las distintas rutas para llegar al área de estudio.

**Tabla 8** Rutas de acceso para llegar a la zona de estudio

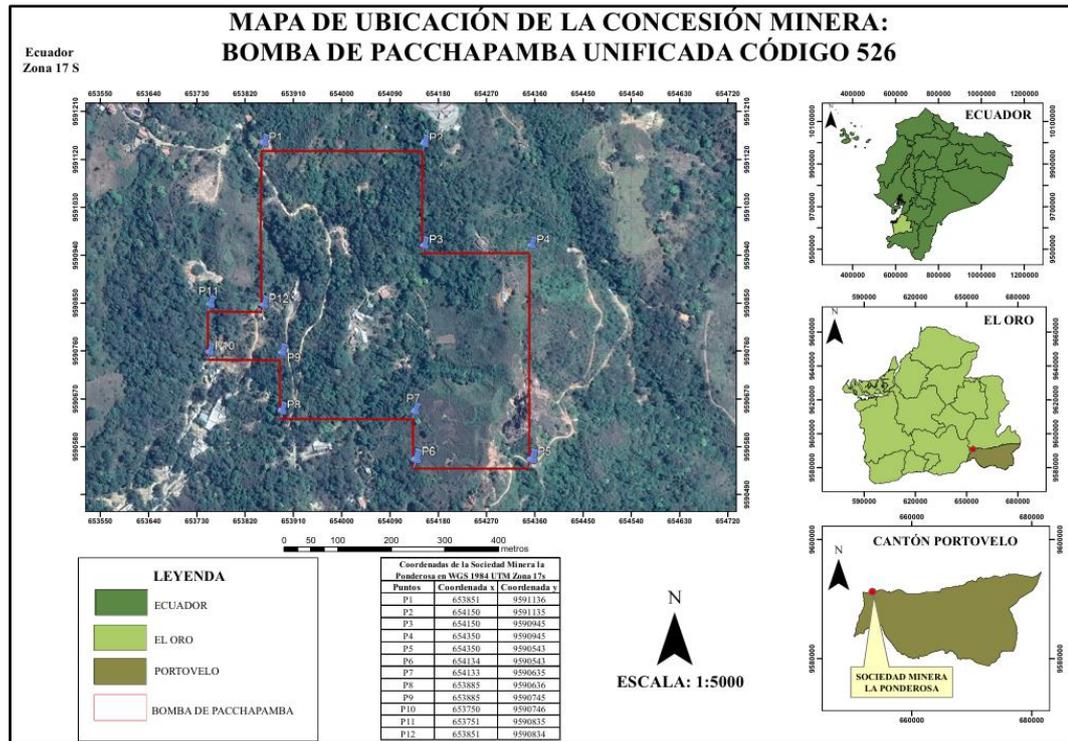
Rutas	Distancia
Quito-Machala	537.6 Km
Machala – Zaracay - Portovelo	105 Km
Portovelo- Planta de Beneficio León	4.5 Km
Loja – Catamayo	36.1 Km
Catamayo- Las Chinchas- Planta de Beneficio “León”	83.9 Km

**Nota.** Tomado de Google Maps (2024)

### 5.1.3 Material de Estudio

El material que se utilizó para la realización del presente estudio es de procedencia de la Sociedad Minera la Ponderosa, misma que es cotitular del área minera: Bomba de Pacchapamba Unificada, código: 526, con un área de 24 ha y está ubicada en la provincia del El Oro, cantón de Portovelo, frente al estadio Río Amarillo. Ver figura 16.

Se escogió el material de esta área minera en razón de que representa el 42% del ritmo de producción semestral de la planta de beneficio “León”.



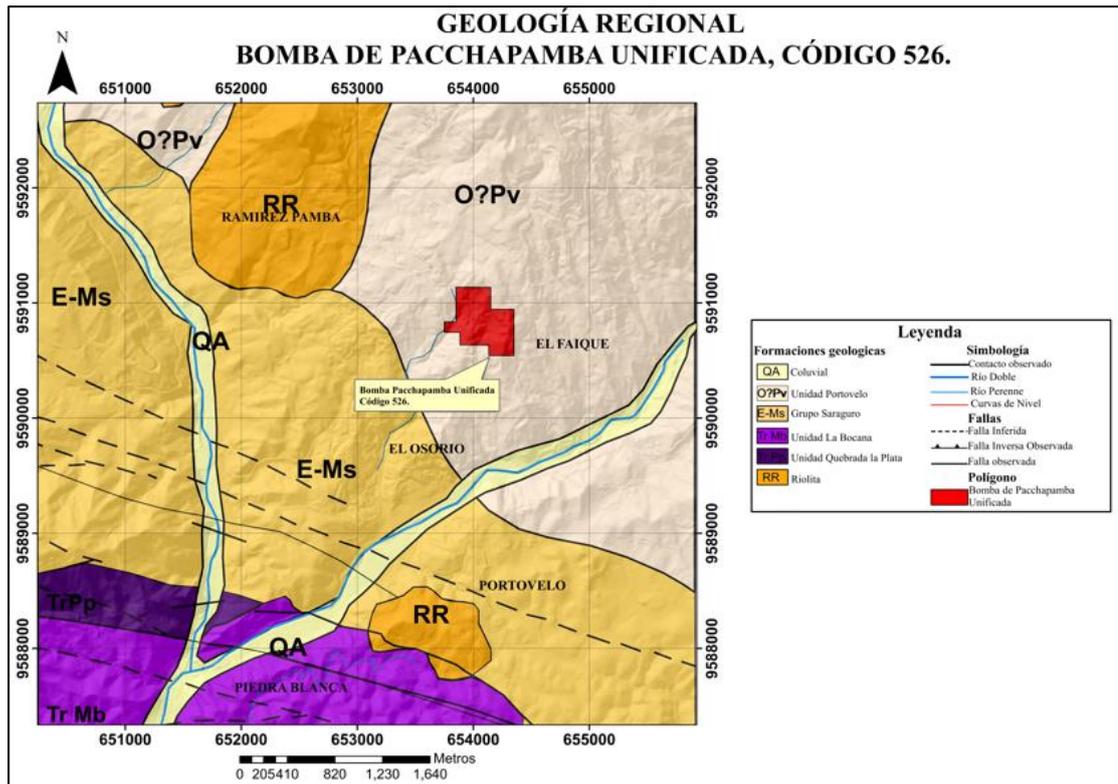
**Figura 16** Mapa de Ubicación de la Concesión Minera Bomba de Pacchapamba Unificada  
**Nota.** Tomado de Google Maps (2024)

**Tabla 9** Ubicación Política: Concesión minera: Bomba de Pacchapamba Unificada, Código: 526.

Ubicación Política de la Concesión minera: Bomba de Pacchapamba Unificada, Código: 526.		
PROVINCIA	CANTÓN	REFERENCIA
El Oro	Portovelo	Frente al estadio Río Amarillo
<u>DATUM: WGS84</u>		
<b>Longitud (x)</b>		<b>Latitud (y)</b>
653851		9591136
<u>DATUM: PSAD56</u>		
654109		9591509

### 5.1.4 Geología Regional

Regionalmente el material de mena utilizado para este estudio se traslada desde las operaciones mineras del área minera Bomba de Pacchapamba Unificada, código 526, y está constituido geológicamente, según la carta geológica a escala 1:100,000 presentada por INIGEMM (2013), por la Unidad Portovelo (O?Pv), la cual está conformada por lavas basalto-andesíticas, tobas andesíticas muy meteorizadas y tobas dacíticas, tobas de afinidad calcoalcalina, que sobreyacen discordantemente al basamento metamórfico.



**Figura 17** *Geología Regional: Sociedad Minera la Ponderosa*  
**Nota.** Tomado de INIGEMM (2013)

### 5.1.5 Geología Local

Según la información emitida por Escobar y Patiño (2010), el Área Minera Bomba de Pacchapamba Unificada, está alojada en rocas volcánicas intermedias a silíceas, pertenecientes a la Unidad Portovelo, la cual está en contacto fallado contra rocas metamórficas al Sur.

La Unidad Portovelo está constituida por diferentes tipos de rocas volcánicas como lavas andesíticas y basaltos andesíticos, así como brechas y tobas con cristales intermedios. También se presentan tobas riolíticas y dacíticas. Ver Anexo 1.

### 5.2 Materiales

A continuación, en la Tabla 10, se detalla un listado de los materiales, equipos, programas y herramientas de campo, laboratorio y gabinete que se emplearon en cada una de las fases del Proyecto.

Tabla 10 *Materiales*

<b>MATERIALES</b>			
<b>Materiales de campo</b>	<b>Levantamiento de Información</b>		
	Libreta de campo Cámara fotográfica Fundas para la recolección de muestras Metro	Casco- Chaleco Reflectivo Saquillos Pala Balanza Fichas técnicas	
<b>Materiales de laboratorio</b>	<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Ensayos Minero Metalúrgica</b>
	Porrón de laboratorio Picnómetro Estufa Tamiz 200 Vaso de precipitación Balanza analítica	Muestras de roca 5x5x5 cm Equipo de Compresión uniaxial	Tamices 1" – 3/4" – 1/2" y 3/8", Máquina de los Ángeles. Trituradora de mandíbulas y Pulverizador Balanza analítica Sustancias químicas (Bórax, Nitrato de Plata y Potasio y Floculante) Horno y Recipientes de arcilla. Micro balanza Resultados del Laboratorio de Metalurgia Extractiva EPN
<b>Materiales de gabinete</b>	<b>Propiedades Mineralógicas</b>		
	Lupa 20*20 Microscopio Fichas Técnicas Diagrama de Streckeisen (QAPF) Cámara fotográfica Ácido Clorhídrico		
	<b>Programas</b>	<b>Materiales</b>	
	Paquete de Office 2023. ArcGIS 10.5 AutoCAD 2024 Software METSIM.	Resultados de las fases de campo y laboratorio. Hoja geológica de Zaruma a escala 1:1000000. (2013) Computadora Calculadora Hojas Referencias Bibliográficas Resultados del Laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional	

### 5.3 Procedimiento

La presente investigación se estructuró en tres fases, la cuales se describen a continuación:

- ✓ **Fase de campo:** Posterior a la realización de un diseño de muestreo que se ajustó al volumen de material almacenado, para las muestras provenientes del área minera *Bomba de Pacchapamba Unificada*, se inició con la toma de

muestras del material, las cuales fueron debidamente etiquetadas. Además, esta fase contempló el levantamiento de información de las operaciones que se realizan en la Planta de Beneficio “León”.

- ✓ **Fase de laboratorio:** Previo a la elaboración de los ensayos físico -mecánicos, mineralógicos y mineros metalúrgicos, se realizó la preparación de la muestra, luego se procedió con la limpieza de los equipos para evitar la contaminación de las muestras y finalmente se realizó los ensayos antes mencionados.
- ✓ **Fase de gabinete:** Durante esta etapa, se registraron, tabularon y analizaron todos los datos obtenidos en las fases anteriores, lo que condujo a la creación del documento final.

#### 5.4 Metodología del Primer Objetivo

*“Caracterizar las propiedades físico-mecánicas, mineralógicas y elaborar los ensayos minero metalúrgico del material de la Sociedad Minera la Ponderosa”.*

- **Toma de muestra:**

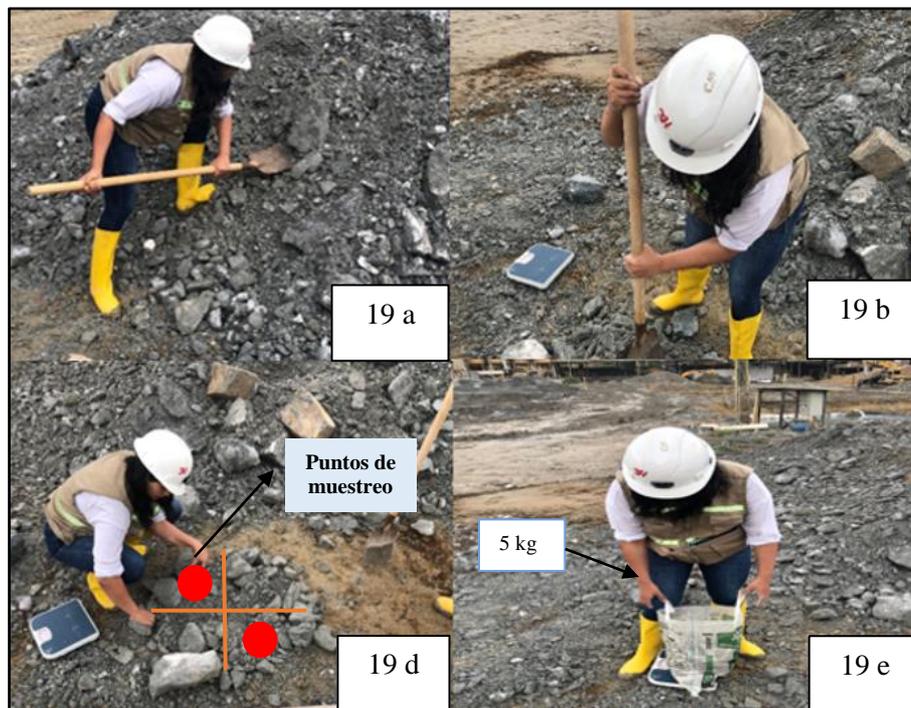
La campaña de muestreo del material procedente del área minera Bomba de Pacchapamba Unificada se realizó en la zona de stock de la planta de beneficio “León”, dicha muestra fue obtenida después de la descarga del material. Para ello se siguió la metodología del muestreo en stock pile. La cantidad de volumen total de la muestra se detalla en el Anexo 2.

En primer lugar, se dividió el cono de manera imaginaria en secciones aproximadas de 1m<sup>2</sup>, como se observa en la figura 18, y se recolectó 5 kilogramos de muestra por cada tonelada almacenada.



**Figura 18** Muestreo en stock pile

Se llevó a cabo un cuarteo manual *in situ*, siguiendo con el protocolo facilitado por Flórez (2019). El material se colocó sobre una superficie de plástico, y luego se procedió a mezclarlo u homogenizarlo con ayuda de una pala, como se observa en la figura 19b. Luego, se dividió en 4 secciones iguales y siguiendo las recomendaciones del autor, se tomó el material de los lados opuestos hasta alcanzar los 5 kilogramos. Este procedimiento se repitió para los 4 conos restantes.



**Figura 19** *Secuencia de pasos para la obtención de la muestra*  
**Nota.** *Considerar el sesgamiento de las partículas y la humedad de la muestra*

Después de la obtención de la muestra se procedió a etiquetar la muestra utilizando la siguiente etiqueta. Ver tabla 11 y Figura 20.

**Tabla 11** *Ficha de etiquetado*

 Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería de Minas Etiqueta de Identificación	
<b>Número de muestra</b>	
<b>Fecha de muestreo</b>	
<b>Hora de muestreo</b>	
<b>Lugar de muestreo</b>	
<b>Responsable de la toma de muestra</b>	
<b>Observaciones</b>	



**Figura 20** Ejemplo de proceso de etiquetado

- **Análisis físico-mecánicos**

Los análisis desarrollados permitieron caracterizar el material proveniente del área minera Bomba Pacchapamba, código 526, el cual se procesa en la planta de Beneficio León. Estos análisis abarcaron la densidad aparente y real, contenido de humedad y, la resistencia a la compresión simple.

Se llevaron a cabo los ensayos en 3 muestras representativas, posterior a la toma de muestra. A continuación, se describen los siguientes ensayos:

- **Densidad Aparente:**

Para la determinación de la densidad aparente en el laboratorio, se siguió con las pautas que indica la norma INEN 857: 2010, en primer lugar, se preparó la muestra, limpiando su superficie con una brocha procurando que no queden residuos de polvo y estos no afecten a su peso, después la muestra fue pesada con ayuda de una balanza electrónica. Seguidamente la muestra se colocó en un recipiente y se llenó de agua hasta cubrir su superficie, dejándola sumergida durante 24 horas. Una vez finalizada las 24 horas, se secó la muestra de manera superficial y se registró su peso. Luego, se sumergió la muestra en un recipiente con agua y se registró su peso sumergido, utilizando un hilo sujeto a la balanza. Posteriormente, la muestra fue colocada en un recipiente y se ingresó en la mufla a 110° C durante 24 horas, tras lo cual se pesó nuevamente la muestra. Finalmente se aplicó la ecuación 2. Ver figura 21.



**Figura 21** Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la densidad aparente

$$\rho_a = \frac{W_{seco}}{W_{sat} - W_{sumergido}} * \rho_w = \frac{gr}{cm^3} \quad (2)$$

**DONDE:**

1.  $\rho_a$  = Densidad aparente
2. W seco = Peso seco
3. W sumergido = Peso sumergido
4.  $\rho_w$  = Densidad del agua

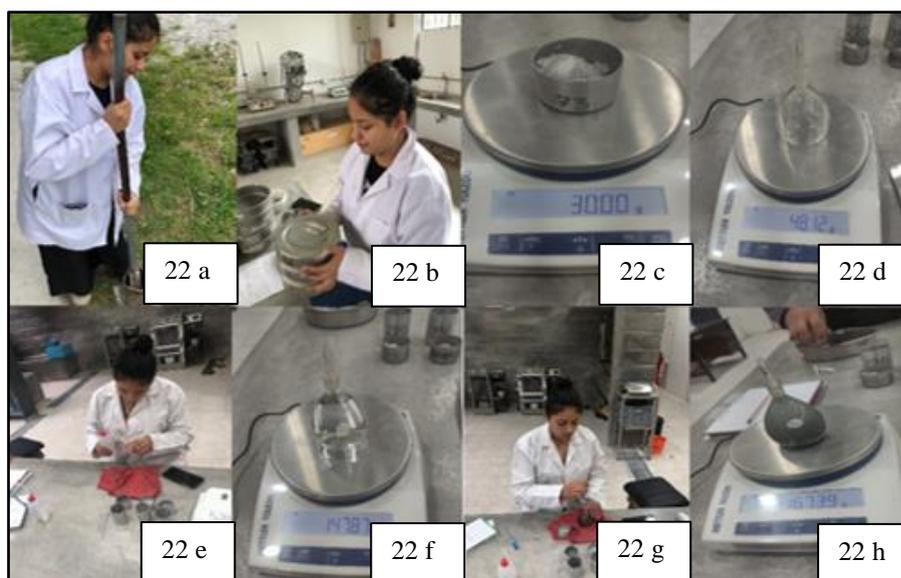
**- Densidad Real:**

Esta propiedad se la determinó, mediante el ensayo del picnómetro, para este propósito primero se preparó la muestra, la cual fue triturada con ayuda de un porrón de laboratorio, seguidamente la muestra fue tamizada con los tamices # 40 y #200 y se recolectó 30 gr de la muestra pasante del tamiz # 200. Luego, se procedió a pesar el picnómetro vacío en la balanza electrónica, después de registrar su peso se llenó con agua destilada y se registró nuevamente el peso del picnómetro, posterior se introdujo el material pulverizado en el picnómetro, ocupando un 1/3 de su capacidad y se registró nuevamente su peso. Una vez el material dentro, se llenó el picnómetro con agua destilada procurando que no se formen burbujas y se registró el peso final. Para concluir se aplicó la ecuación 3. El proceso se detalla en la figura 22.

$$\rho = \frac{W_{pulverizado}}{W_2 + W_{pulverizado} - W_1} = \frac{gr}{cm^3} \quad (3)$$

**DONDE:**

1.  $\rho$ = Densidad real
2. W pulverizado = Peso pulverizado
3. W2= Peso del picnómetro + agua
4. W1= Peso del picnómetro + agua + muestra pulverizada



**Figura 22** Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la densidad

**Tabla 12** Registro de muestras para el ensayo de densidad.

Ensayo: Densidad					
COD	W. recipiente	W. Recipiente + H2O	W recipiente + agregado	Agregado + H2O	Densidad
M-01					
M-02					

✓ **Contenido de humedad**

Para este fin, se inició preparando la muestra, luego se registró su peso, después se colocó la muestra en la mufla por un lapso de 24 horas a 110°C. Una vez se finalizado el tiempo se procedió a pesar la muestra nuevamente y se registró su peso. Finalmente se aplicó la ecuación 4, que sirvió para determinar el contenido de humedad de la muestra.

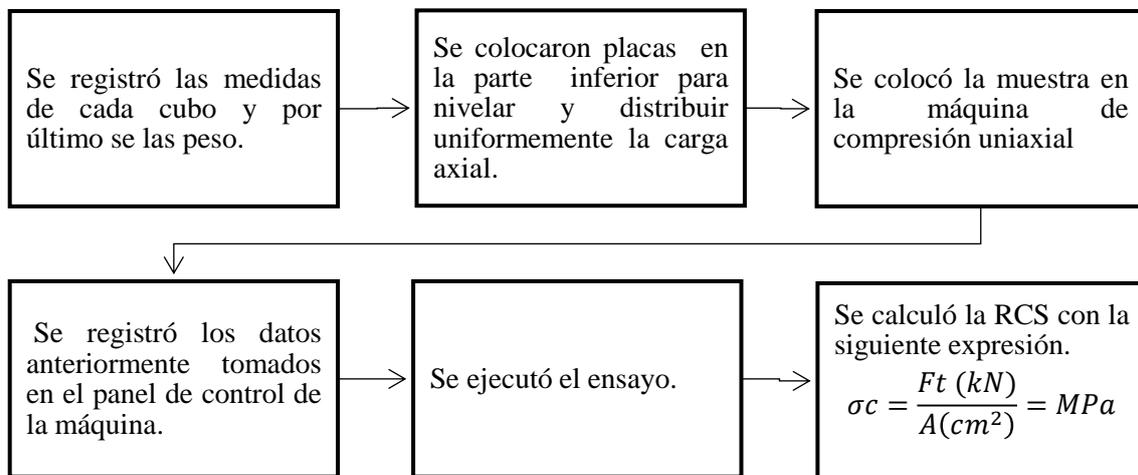
$$w = \frac{W_{\text{mineral}} - W_{\text{mineral seco}}}{W_{\text{mineral}}} \times 100 \quad (4)$$

**Tabla 13** Registro de muestras para el ensayo de contenido de humedad.

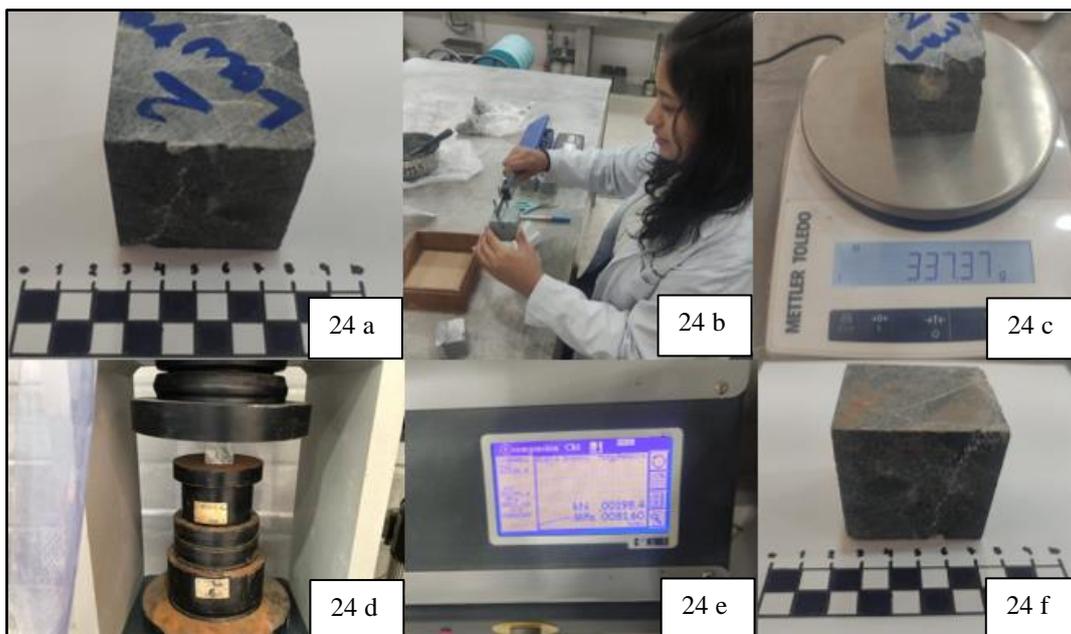
Ensayo: Contenido de humedad			
COD	W. mineral	W. mineral seco	Contenido de humedad
M-01			
M-02			

✓ **Resistencia a la compresión simple:**

Para la realización del ensayo RCS, se mandó a acondicionar las muestras en formas cúbicas de acuerdo a la norma ASTM D 4543, la cual establece que deberán tener medidas de 5cm (5x5x5). Los pasos seguidos se detallan en el siguiente diagrama.



**Figura 23** Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la RCS



**Figura 24** Secuencia de pasos que se siguió para la obtención de la RCS

**Tabla 14** Registro de muestras para el ensayo de densidad.

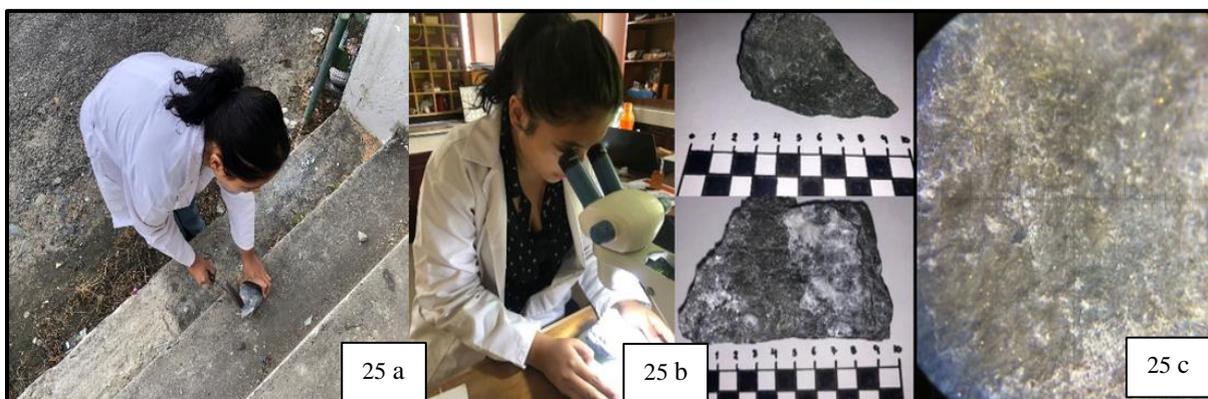
<i>Ensayo: Resistencia a la compresión simple</i>							
COD	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	MASA (gr)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPA)
M-01							
M-02							

✓ **Análisis Mineralógicos**

Con el fin de cumplir con los análisis mineralógicos de manera macroscópica y microscópica se realizó en primer lugar la campaña de muestreo en donde se recolectó dos muestras para el análisis macroscópico y microscópico con Difracción de Rayos X en razón al tonelaje disponible en el momento del muestreo. Por otra parte, para los ensayos de láminas delgadas y secciones pulidas, una muestra, debido a la similitud que presentaba la misma en los análisis de Difracción de Rayos X.

**Descripción macroscópica del material:**

La descripción macroscópica del material del área minera Bomba de Pacchapamba, se realizó en el Laboratorio de Mineralogía de la Carrera de Minas de la Universidad Nacional de Loja. En primer lugar, se procedió a la preparación de muestra, que consistió en limpiar la matriz de roca y con el uso del martillo geológico buscar la cara más representativa de la muestra. Luego, se procedió a identificar los minerales presentes de la roca de manera superficial con el uso de un microscopio. Además, se utilizó el diagrama de Streckeisen (QAPF) como una herramienta para la identificación del tipo roca, donde se estima visualmente los porcentajes de cuarzo, plagioclasa y feldespatos. Para este fin se utilizó la ficha técnica que se detalla en la tabla 15.



**Figura 25** Descripción macroscópica del material de la sociedad minera La Ponderosa

**Tabla 15** Ficha Técnica para el Análisis Mineralógico

 <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Nacional de Loja</b>                      Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables                      Carrera de Ingeniería en Minas                 </div> 			
DATOS GENERALES			
Nº FICHA		TIPO DE MUESTRA	CÓDIGO
RESPONSABLE			LUGAR
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		UBICACIÓN	
		SOCIEDAD MINERA	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA			
<b>Fotografía Macroscópica</b>		TIPO DE ANÁLISIS	
		COLOR	
		TEXTURA	
		ESTRUCTURA	
COMPOSICIÓN			
<b>Minerales Principales</b>		<b>Fotografía Microscópica</b>	
<i>Nombre</i>	<i>Porcentaje</i>		
<b>Minerales Secundarios</b>			
<i>Nombre</i>	<i>Porcentaje</i>		
NOMBRE DE LA ROCA		REACCIÓN EN FRÍO	
CONCLUSIONES			

**Descripción microscópica del material:**

Para mayor confiabilidad de los resultados se optó por contratar los servicios de análisis mineralógicos que presta la Escuela Politécnica Nacional para cuyo propósito se aplicó el ensayo de Difracción de Rayos X, dando uso del difractómetro D8 AVANCE y la aplicación del software propio del equipo Diffrac Plus (EVA Y TOPAS) que permitió la cualificación y semicuantificación de la muestra, respaldado con el informe del laboratorio de Metalurgia Extractiva que entrego la entidad.

De igual manera se optó por contratar los servicios de análisis mineralógicos que presta el Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional, para este fin se realizó una muestra de lámina delgada para observar los minerales traslucidos y una muestra de secciones pulidas para observar los minerales opacos, respaldado con el informe que entrego la entidad.

✓ **Ensayos minero-metalúrgico**

- **Ensayo al fuego (Ley de Au):**

El ensayo, se realizó en dos laboratorios, a fin de contrastar la información, lo que permitió obtener resultados más precisos. Se envió una muestra al laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, y la segunda muestra se la realizó por cuenta propia en el laboratorio de las instalaciones de la Planta de Beneficio Reina del Cisne II, código 390015 ubicada en el sector El Pache, bajo la normativa ASTM E1335, previa autorización de uso de las instalaciones y bajo supervisión del ingeniero jefe de planta cuyo proceso es como se describe a continuación:

La muestra fue triturada y se la sometió a un proceso de cuarteo para obtener una muestra representativa luego se procedió a secar en una bandeja de acero. Después de que la muestra estuvo totalmente seca, se pulverizaron 200 gramos de muestra con una granulometría menor a 200. Seguidamente se procedió a etiquetar la muestra para luego llevarla al área de pesado en donde se realizó una dosificación con 20 gr de muestra, agregando 1 gr de nitrato de potasio, 2 gr de harina la cual ayuda a incrementar el porcentaje de plomo, 120 gr de fundente (flux) y 2 cucharadas de bórax, todas las sustancias mencionadas se homogeneizaron y se colocaron en un crisol de arcilla, el cual se llevó al horno a 800°C por unos 40 minutos hasta alcanzar los 1000 ° C para que se realice el proceso de fundición en el cual se forman dos líquidos (escoria y plomo).

El plomo captura los minerales valiosos, mientras que la escoria sirve como medio para que se realice el proceso. Concluido el proceso de fundición, los líquidos formados se vaciaron en una lingotera previamente calentada, luego se esperó alrededor de 10 minutos que se solidifique la muestra y se procedió a retirar el exceso de escoria utilizando un martillo, obteniendo como resultado el régulo que contiene la perla de Au.

Una vez finalizado todo el proceso mencionado anteriormente, se continuó con la etapa de copelación. Para este fin se ingresó la copela en el horno a 800°C y se esperó que se elimine toda la humedad, con la copela dentro del horno se ingresó el régulo. En este paso la copela absorbió un porcentaje de plomo y el resto se gasificó dando como resultado el doré, que contiene el mineral valioso (Au).

Posteriormente, se retiró el doré de la copela y se procedió a ubicar en un recipiente que contenía ácido nítrico al 20% manteniéndolo a una temperatura de 120°C con el fin que se atacaran las sustancias. Luego que terminó este proceso y se obtuvo el botón de Au, se refinó con ácido puro con el fin que el mineral obtenga una coloración rojiza la cual evidencia 99.99% de pureza del mineral.

Finalmente, se lavó el Au con agua destilada y se secó. Una vez completado todo el proceso, se pesó el botón de Au en la micro balanza, obteniendo como resultado 0.018 mg. Con este resultado se aplicó la ecuación 5. El proceso se detalla en la figura 26.

$$\text{Ley de Au} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Peso obtenido}} * 1000 \quad (5)$$



**Figura 26** Procedimiento para la realización del Ensayo al Fuego para ley de Oro (Au)

- **Ensayo al fuego (Ley de Ag):**

Se envió una muestra al laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional para la realización del ensayo al fuego del mineral plata (Ag) con límite de detección de 0.1 gr/ton como informó dicha entidad.

- **Índice de Abrasividad**

Al mantener una carta de compromiso con el laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA, se llevó a cabo en sus instalaciones el ensayo, siguiendo su protocolo el cual está normado por la norma INEN 861. A continuación, se detalla el proceso seguido:

La muestra fue preparada y triturada con ayuda de un combo de laboratorio, seguidamente se tamizó la muestra en los tamices 1 ½" – 1" – ¾" – ½" y 3/8" y luego se procedió a registrar el peso de la muestra retenida en los tamices 1" – ¾" – ½" y 3/8", la misma que según la norma debe pesar 1200 gr. La muestra retenida en los tamices de 1", ¾", ½" y 3/8" fue colocada dentro de la máquina de los Ángeles junto con 12 esferas de acero que actúan como carga abrasiva y se dio inicio al ensayo a una velocidad de 30 rpm durante 500

vueltas, por un tiempo aproximado de 17 minutos. La muestra se retiró y se tamizó utilizando el #12 y luego se procedió a pesar el material retenido del tamiz #12. Finalmente se aplicó la ecuación 6. Ver figura 27.



**Figura 27** Secuencia de pasos para el ensayo de abrasividad

$$\text{Porcentaje de abrasión} = \frac{A-B}{A} * 100 \quad (6)$$

**DONDE:**

1. A= peso inicial de la muestra
2. B= peso final (retenido en el tamiz #12)

**- Índice de Bond.**

Para mayor confiabilidad de los resultados se optó por contratar los servicios minero - metalúrgicos del departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, donde se determinó el Índice de trabajo (Work Index- Wi) para molienda respaldado con el informe del laboratorio que entrego la entidad.

**5.5 Metodología del Segundo Objetivo**

Describir el proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León”

Para dar cumplimiento al presente objetivo, se procedió a realizar una visita de campo que consistió en la descripción general del área de estudio, para este fin se utilizó la planimetría del lugar que fue facilitada por el técnico del área y ajustada por la autora.

Se desarrolló el diagrama de flujo del proceso de trituración aplicado al material de la Sociedad minera La Ponderosa circunscripto en el área minera Bomba de Pacchapamba

Unificada. Para ello, se realizó un registro fotográfico y una inspección de la infraestructura en general. Con esta información, se definieron los procesos y el grado de reducción del material.

Además, se recopiló los datos técnicos de los equipos utilizados en dicho proceso. Estos datos se detallan en la tabla adjunta.

**Tabla 16** Ficha técnica

 Universidad nacional de Loja Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería de Minas			
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>			
N° FICHA		LUGAR	
UBICACIÓN		RESPONSABLE	
DESCRIPCIÓN GENERAL			
<b>DATOS DEL EQUIPO</b>	PROCESO		
	NOMBRE DEL EQUIPO		
FOTOGRAFÍA	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	MARCA	
		MODELO	-
		SERIE	-
		CAPACIDAD/ POTENCIA	

Luego se procedió a determinar las variables tecnológicas del proceso de trituración, para este fin se utilizó las siguientes ecuaciones:

**Diámetro máximo de alimentación**

Esta variable se la determinó con la ecuación 7.

$$D_{max}=0.8*B \tag{7}$$

**Donde:**

$D_{max}$ : Diámetro máximo de alimentación

B: Ancho de la boca de entrada

**Grado de reducción.**

El grado de reducción, indica el límite máximo de disminución de tamaño de una partícula logrado por un equipo de conminución. Su cálculo se realizó utilizando la ecuación 8.

$$i = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad (8)$$

**Donde:**

$i$  : Grado de reducción

$F_{80}$ : Tamaño del diámetro de alimentación

$P_{80}$ : Tamaño del diámetro de salida

### **Tonelaje (Q).**

Para este cálculo se empleó la expresión de Taggart, la cuál ha sido desarrollada para determinar la capacidad de producción de las trituradoras de mandíbulas, ver ecuación 9.

$$Q = 0.093 * b * d \quad (9)$$

**Donde:**

Q: Capacidad en TPH

b: Ancho de la mandíbula en (cm)

d: Tamaño del material triturado en (cm)

### **Energía de Bond**

Para determinar dicha variable se utilizó la ecuación 1

### **Potencia absorbida:**

Esta variable se la calculó según la ecuación 10.

$$N = W_B * Q; kw \quad (10)$$

**Donde:**

N: Potencia

$W_B$  : Energía de Bond

Q: Tonelaje

### **Consumo Energético.**

Para tener una estimación total del costo energético que produce el proceso de trituración actual, se realizó el cálculo en dependencia de los motores adaptados a cada equipo y el costo por kW/h.

## **5.6 Metodología Tercer Objetivo**

Simular el nuevo proceso de trituración con la aplicación del software METSIM aplicado a la Planta de Beneficio “León”.

En base a la caracterización de las propiedades físico-mecánicas, mineralógicas y elaboración de los ensayos minero metalúrgico del material de la Sociedad Minera la Ponderosa

del área minera Bomba de Pacchapamba Unificada, así como, la descripción del proceso de trituración actual de la Planta de Beneficio “León”, se procedió a realizar la simulación en el **Software METSIM** del nuevo circuito del proceso de trituración, que será aplicado a futuro en las operaciones de la planta. Así mismo, se realizó la cotización correspondiente de los costos asociados de los equipos de trituración.

A continuación, se explican los puntos claves que se tomaron en cuenta:

**Razón de reducción y etapas de reducción.**

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica que se centró en el análisis del grado de reducción en las etapas de trituración, reflejado en la tabla 17, la cual especifica de manera general la razón de reducción de las etapas de trituración.

Seguidamente se analizó el tamaño máximo de alimentación de 400 mm en razón que es el tamaño promedio con que llega a la planta y se analizó a la vez el tamaño producto 19 mm ( $\frac{3}{4}$  in) cuyo procedimiento se detalla en el Anexo 3.

**Tabla 17** Razón de reducción

Razón de reducción	
Etapas	Razón de reducción
Primaria	3:1
	4:1
	5:1
	6:1
	7:1
	8:1
Secundaria	4:1
	5:1
	6:1
	7:1
	8:1

**Nota.** El grado de reducción también dependerá del equipo de trituración. Obtenido de Delgadillo (2024)

En base a la distribución granulometría definida en la gráfica – figura 28, se determinó el porcentaje pasante tanto para el tamaño de alimentación medido y el tamaño del producto deseado de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  in); en razón de que en la etapa posterior a trituración utilizan equipos de molienda conocidos como Trapiches Chilenos o Molinos de Ruedas, del que se recomienda optar por ese tamaño de alimentación para una mejor eficiencia en el grado de reducción.



**Figura 28** Curva Granulométrica asociada al grado de reducción  
**Nota:** Obtenido de Metson Minerals, (2008)

**Circuito de trituración**

Para la elección del circuito de trituración se utilizó la información proporcionada por Blanco (2014) que se detalla en la tabla 18; y, de la que se explica las características tanto del circuito abierto como del circuito cerrado en relación con variables como el control del producto de salida, consumo de energía, abrasión y desgaste que resultaron ser claves para seleccionar el circuito que se simuló en el software METSIM.

**Tabla 18** Análisis para la elección del circuito de trituración

Análisis para la elección del circuito de trituración		
Concepto	Circuito Abierto (CA)	Circuito Cerrado (CC)
Control del producto de salida		
Consumo de energía		
Abrasión y desgaste		
Tipo de circuito		
Adaptado para Trituradoras de Mandíbulas		
Resultados en Software METSIM		

**Nota.** Obtenido de (Blanco, 2014)

- Dimensionamiento de Tolva de Gruesos**

Siuce (2016), sugiere que las tolvas de gruesos generalmente tendrán una forma de paralelepípedo con un plano inclinado, el mismo que está en dependencia del ángulo de reposo del material sumado a un factor de 15. Sobre la base de estos parámetros se diseña una tolva para una capacidad de 150 ton/día, acorde con la producción máxima disponible y establecida

en la capacidad de la planta singularizada en el título minero. Se debe precisar que, al existir espacios vacíos entre la roca fragmentada acumulada, se estableció un factor de 0,4 de espacios vacíos para el dimensionamiento de tolva de gruesos. Cuyo procedimiento se detalla en el Anexo 4.

### Dimensionamiento del Barrote para la Tolva de Gruesos Criba fija

Conforme se describe en la figura 28 el tamaño óptimo máximo de alimentación es de 320 mm que influye en la separación de los barrotes y el espesor de los mismos de 10 mm para mayor resistencia. El porcentaje de área abierta entre barrotes se lo cálculo en base a la ecuación 11 y sirve para medir la eficiencia que tendrán los barrotes como primer clasificador.

$$A_0 = \left( \frac{L_A}{L_A + D_w} \right)^2 * 100 \quad (11)$$

Donde:

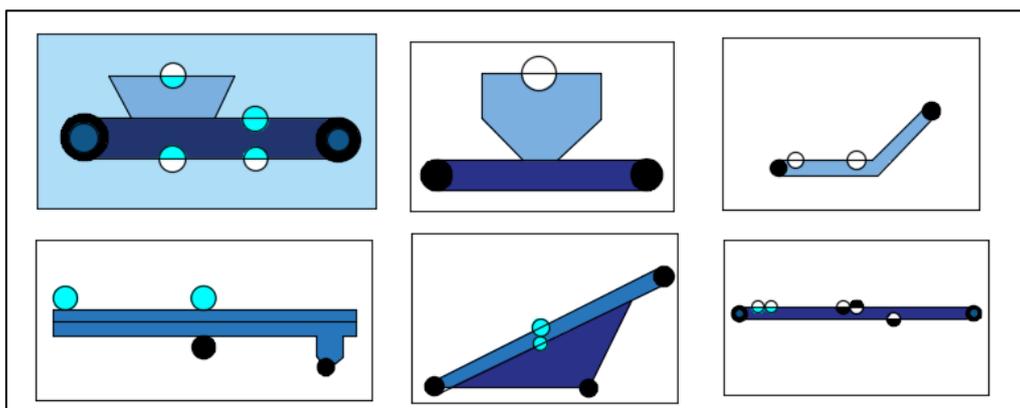
$A_0$  = Área abierta entre barrotes

$L_A$  = Distancia entre barrenos

$D_w$  = Espesor de los barrenos

### Elección del Alimentador

Para la elección del alimentador, en primer lugar, se consideró las opciones disponibles en el Software METSIM y sobre el análisis comparativo entre dos tipos de alimentadores como se denota en la tabla 19, resultó adecuado utilizar como equipo el alimentador de placas. Ver figura 29.



**Figura 29** Alimentador de placas disponible en el Software METSIM

**Tabla 19** *Análisis para la elección del Alimentador*

<b>Análisis para la elección del Alimentador</b>		
<b>Características</b>	<b>Alimentador de Placas</b>	<b>Alimentador vibratorio</b>
Aplicaciones principales	Alimentación primaria Recuperación de grandes volúmenes	Alimentación primaria Recuperación de grandes volúmenes.
Ventajas	Alta resistencia al impacto. Buen control de flujo Buen tratamiento de materiales arcillosos	Alta seguridad de operación Pre-separación de finos Buen control de alimentación.
Desventajas	No clasifica ni separa finos. Alto coste de adquisición.	Resistencia limitada. Menor capacidad con material arcilloso. Elevada potencia instalada.

**Nota.** *Obtenido de (Metson Minerals, 2008)*

### **Capacidad de Alimentación.**

Para el dimensionamiento del alimentador se consideró la metodología establecida por Metson Minerals (2008), que menciona que para una correcta elección del alimentador se realiza el cálculo de la capacidad de acuerdo a la ecuación 12.

$$Q = 60B * D * \rho_s * v * \varphi \quad (12)$$

Donde:

Q = Capacidad de alimentación

B = Anchura de la tolva ( m)

D = Altura de la capa del material ( m)

$\rho_s$  = Densidad Aparente Ton/m<sup>3</sup>

Q = Velocidad del transportador

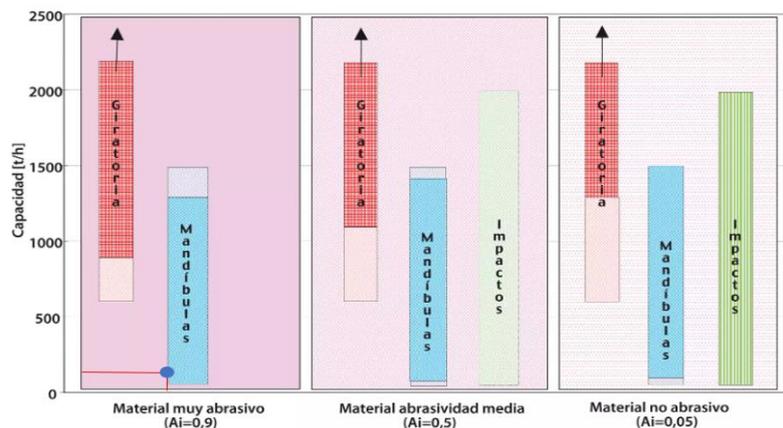
$\varphi$  = Factor de tamaño

En el diseño se considera un ancho de tolva de 1m, la capa del material a transportar se consideró de 0.20 m debido a que es un tamaño relacionado al diámetro del tamaño máximo de alimentación, con una densidad aparente promedia tomada de 3 muestras ensayadas de 2.84 Ton/m<sup>3</sup>. La velocidad del transportador se la obtuvo mediante la interpolación de la tabla detallada en el Anexo 5, la cual relaciona la velocidad del alimentador con el ancho de la tolva. El factor de tamaño se lo obtuvo mediante la información proporcionada por METSO Minerals (2008), en la cual se especifica que para rocas con tamaños superiores a 6” es necesario optar por un coeficiente de 0.6.

### Elección del tipo de trituradora para la primera etapa del proceso de trituración

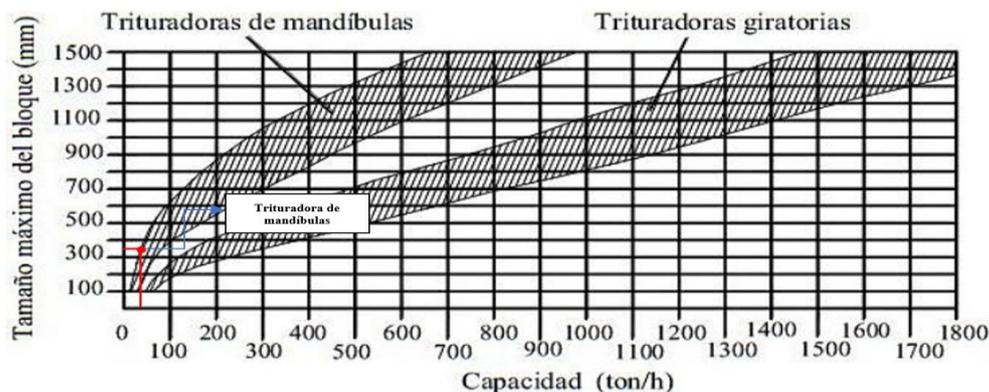
Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección del tipo de trituradora primaria se denotaron en dos gráficas de autoría citada en las figuras 30 y 31. La primera gráfica- figura 30, relaciona la abrasividad de la roca con la capacidad (t/h) de la trituradora. Parámetros que considerar en el diseño para la implementación a futuro del circuito de trituración; que se caracteriza por referir materiales de mena de roca muy abrasiva y una baja capacidad (15 t/h), sobre dichos parámetros se opta por la trituradora de mandíbulas, que se ajusta a estos acondicionamientos.

En segunda instancia, para correlacionar con lo anteriormente mencionado, la segunda gráfica detallada en la figura 31, relaciona el tamaño máximo de bloque con la capacidad (t/h) de las trituradoras de mandíbulas y giratorias; e igual tomando en cuenta la baja capacidad y un tamaño de 320 mm, determina necesaria la implementación a futuro de la trituradora de mandíbulas como la más adecuada para esta operación.



**Figura 30** Gráfica de análisis para la elección del tipo de trituradora en relación con la abrasividad y capacidad en (t/h)

**Nota:** Obtenido de Metso Minerals, (2008)



**Figura 31** Gráfica de análisis para la elección del tipo de trituradora en relación con la capacidad en (ton/h) y el tamaño máximo de alimentación

**Nota:** *Obtenido de (Universidad Politécnica de Cartagena, (2011))*

### **Elección del tipo de trituradora para la segunda etapa del proceso de trituración**

Con el propósito de seleccionar la trituradora adecuada para la segunda etapa, se realizó un análisis comparativo entre tres tipos de trituradoras las cuales son: trituradora de mandíbulas, trituradora de conos y trituradora de impactos. Para ello se tomó en cuenta en las características de material a procesar y las características del equipo, como se detalla en la Tabla 20.

**Tabla 20** *Análisis para la elección del tipo de trituradora secundaria*

<b>Elección del tipo de trituradora secundaria</b>				
<b>Tipo de equipo</b>		Trituradora de mandíbulas	Trituradora de Conos	Trituradora de impactos
<b>Características del material</b>	Abrasividad (CAI)	Material muy abrasivo	Abrasividad Media	No abrasivo
	Resistencia (MPa)	Resistencia Alta	Resistencia Media- Alta	Resistencia Baja
	Fortaleza	Dura a intermedia	Intermedia	Baja
	Presencia de materiales arcillosos	Si	No	Si
<b>Características del equipo</b>	Tonelaje (Ton/hora)	10 a 1500	---	10 a 2000
	Razón de reducción	3:1 y 6:1	3:1 y 4:1	8:1
	Producción de materiales finos	No	Si	Si

**Nota.** *Obtenido de (Metson Minerals, 2008) y Universidad Politécnica de Cartagena, (2011)*

### **Elección del tipo de trituradora de mandíbulas para la primera y segunda etapa del proceso de trituración**

Para seleccionar el tipo de trituradora de mandíbulas tanto para la primera etapa, como la segunda etapa del proceso de trituración. Se realizó un análisis comparativo sobre la base de las características de dos tipos de trituradora, la de doble efecto o blake y la simple efecto o dalton. De igual manera se tomó en cuenta las características del material, como se define en la tabla 21.

**Tabla 21** Análisis para la elección del tipo de trituradora

Elección del tipo de trituradora de Mandíbulas			
Tipo de equipo		Doble Efecto o Blake	Simple Efecto o Dalton
Características del material	Abrasividad (CAI) Dureza	Abrasividad Alta Dureza Alta	Abrasividad Media Dureza Media Alta
	Presencia de materiales arcillosos	Si	Si
Características del equipo	Precio	Blake= 1.25 Dalton	
	Peso	Blake= 1.3 – 1.4 Dalton	
	Capacidad	Dalton = 1.3 Blake	
	Razón de Reducción	Blake = Dalton	
	Desgaste de mandíbulas	Simple Efecto = 2 Doble Efecto	

**Nota.** Obtenido de Yepes (2023) y Universidad Politécnica de Cartagena, (2011)

### Elección del tipo de forros para la primera y segunda etapa de trituración

Con el fin de seleccionar los tipos de forros (Liners) se información ensayada por la Universidad Politécnica de Cartagena tabla 22, que relaciona la dureza del material con el tipo de forro a implementar.

**Tabla 22** Análisis para la elección del tipo de forros

Elección del tipo de forros para la trituración primaria y secundaria				
Tipo de Forros		Dentados en forma de pico	Dentados ondulados	Lisas
Dureza del material	Extremadamente dura	No	No	Si
	Dura	No	Si	No
	Media	Si	No	No

**Nota.** Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena, (2011)

### Simulación del Proceso de Trituración

Para la presente simulación, se llevaron a cabo los siguientes pasos, los cuales se detallan a continuación. Se configuró la sección de trabajo del Software METSIM, enfatizando los ítems que se detallan en la figura 32. Además, se ajustaron las unidades de medida a toneladas métricas por hora.

En presente simulación, se consideró un tonelaje de 15 ton/h por un turno diario de 8 horas y un porcentaje de eficiencia del 80% establecida por la ecuación 13. A razón de que el Software METSIM no considera pérdidas ocasionadas por los diversos factores que afectan el

proceso de trituración como: problemas mecánicos, desgaste del equipo de trituración, pérdidas del material durante el transporte, sesgamiento de material, entre otros. Los cuales están implícitos realmente en cualquier circuito de trituración.

$$Capacidad = \frac{150 \text{ ton/día}}{8 \text{ horas/día}} * 0.8 \quad (13)$$

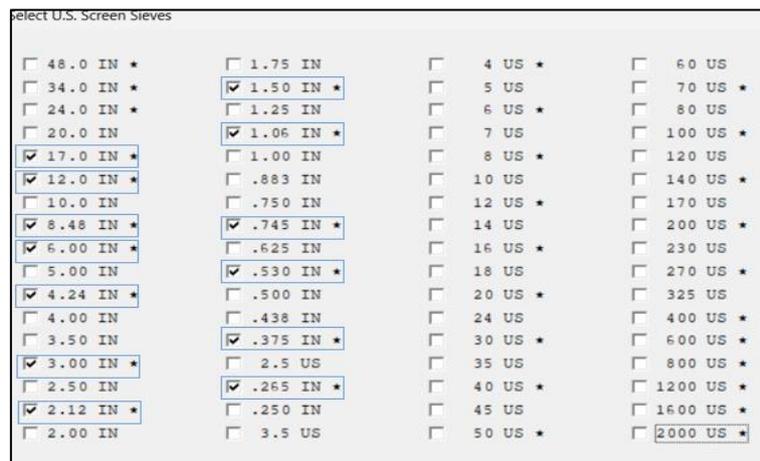
**Figura 32** Parámetros de información del proyecto

Se procedió a seleccionar los elementos que componen el material de la Sociedad Minera la Ponderosa, tomando en cuenta los minerales más representativos de las muestras M-01 y M-02 identificados mediante análisis de Difracción de Rayos X: Cuarzo, Caolinita, Pirita, Calcopirita, y leyes de Oro y Plata.

**Figura 33** a) Selección de elementos, b) Selección de componentes.

Seguidamente se realizó la selección del tipo de malla. El software METSIM ofrece 3 opciones de marcas de mallas en su configuración (ISO, TYLER, US. ESTÁNDAR). Para la presente simulación se utilizó la malla US. ESTANDAR debido a que su estandarización está

bajo la normativa ASTM E11. Las mallas seleccionadas, se detallan en la figura 34, con tamaños que van desde 17 in a 0.265 in. Se eligieron estas mallas debido a que la granulometría del material simulado oscilaba entre las 17 in a 12 in aproximadamente, mientras que el material deseado era de ¾ in de manera aproximada. Las mallas siguientes se activaron para tener mejores resultados en las curvas granulométricas, además el mismo software sugiere tomarlas en consideración.



**Figura 34** Selección del tamaño de mallas bajo la marca US. ESTANDAR

Siguiendo con el proceso, se ingresó los datos correspondientes al porcentaje solidos resultando en 14.774 y el porcentaje de líquidos que estaba en dependencia al % de humedad contenida en la muestra que resultó de 0.226. El software permite ingresar el porcentaje de los minerales de manera fraccionaria como se representa en la figura 35. Para ingresar los datos de manera fraccionaria, se dividió para 1000000, a razón de que la unidad de medida de las leyes brindadas, están en gramos/toneladas (1 Ton= 1000000 g), y los otros componentes se los dividió para 100, debido a que están representados de manera porcentual.

	MT/HR		Wt. Frac.	Mol. Frac.	MT/HR
SOLIDS	14.7735	SiO2	0.7799985	0.9242804	11.523309
SLD-ORG	0	Ag	8.000E-7	5.280E-7	0.0000118
AQUEOUS	0.2265	Al2Si2O9H	0.15	0.0413689	2.216025
ORGANIC	0	Au	6.500E-7	2.350E-7	0.0000096
MOLTEN	0	CuFeS2	0.035	0.0135791	0.5170725
MATTE	0	FeS2	0.035	0.0207707	0.5170725
SLAG	0				
GAS	0				
TOTAL	15				
SOLID	0.9849				

0.8 gr/ton Ag

0.65 gr/ton Au

**Figura 35** Registro del porcentaje de los componentes del material

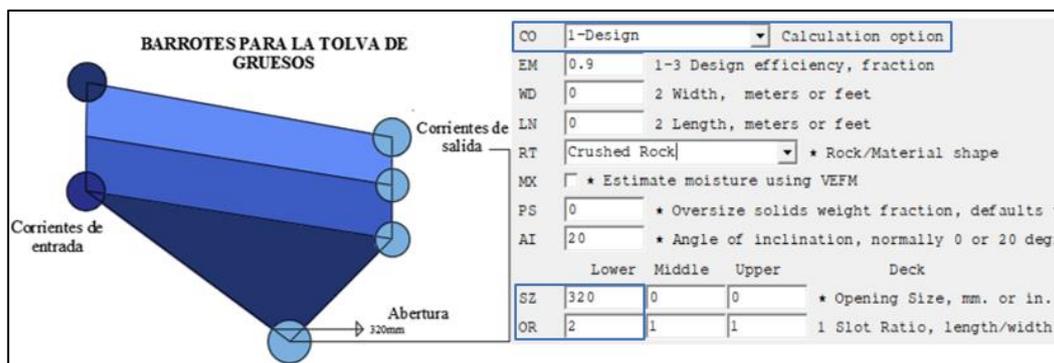
Al tratarse de una proyección a futuro del proceso de trituración y su relación en el software METSIM como diseño, no es necesario llenar todos los campos que requiere cada equipo o ajuste dentro de la interfaz, sino los parámetros básicos que se disponga. Conociendo esto, siguiendo con el ajuste de las mallas y porcentajes pasantes, al no contar con el material para realizar los análisis granulométricos, para las siguientes mallas seleccionadas, se tomó como base teórica los porcentajes pasantes dados por la curva de reducción establecida por METSO Minerals como se observa en la tabla 23 y en el Anexo 6.

**Tabla 23** Porcentaje pasante de las mallas.

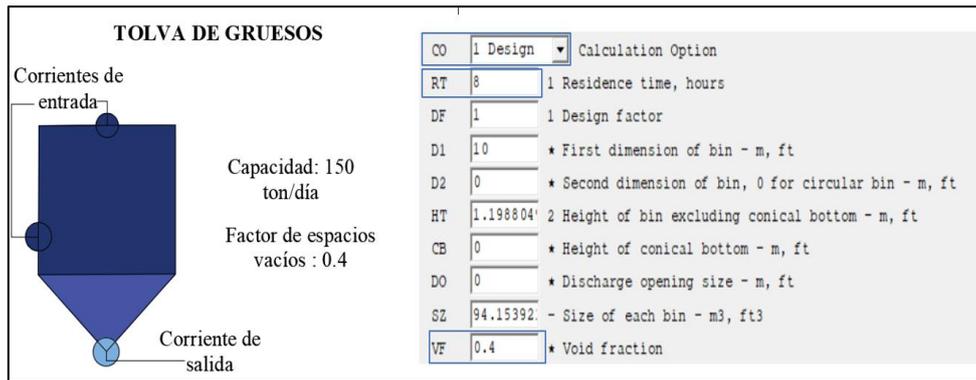
Malla US (in)	Malla (US) mm	%
17	431.8	100
12	304.8	80
8.48	215.39	49.2
6	152.4	34.2
4.24	107.69	24.3
3	76.2	18.2
2.12	53.84	12.4
1.5	38.1	8.6
1.06	26.92	6.8
0.745	19	5.1
0.53	13.462	3.2
0.375	9.525	2.4
0.265	6.731	1.1

Luego se seleccionó los equipos que serán implementados a futuro en el circuito de trituración y posteriormente se ingresó los parámetros que el Software requiere.

Para la primera clasificación por tamaños, se tomó barros con una separación de 320 mm, los mismos que estarán ubicados en la parte superior de la tolva de gruesos. En el diseño de la tolva de gruesos, se registró el tiempo de residencia (RT: 8 horas) y el factor de espacios vacíos (0.4 para gruesos). Ver figura 36 y 37.

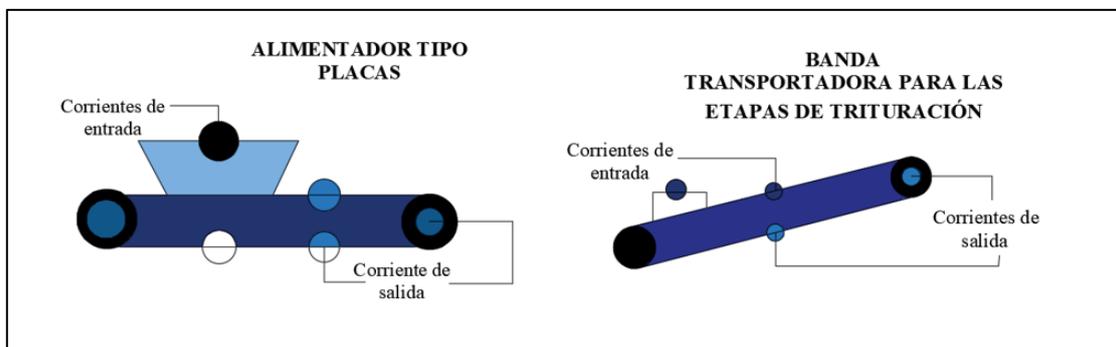


**Figura 36** Parámetros de diseño registrados para la primera clasificación de tamaños



**Figura 37** Parámetros de diseño considerados para la tolva de gruesos

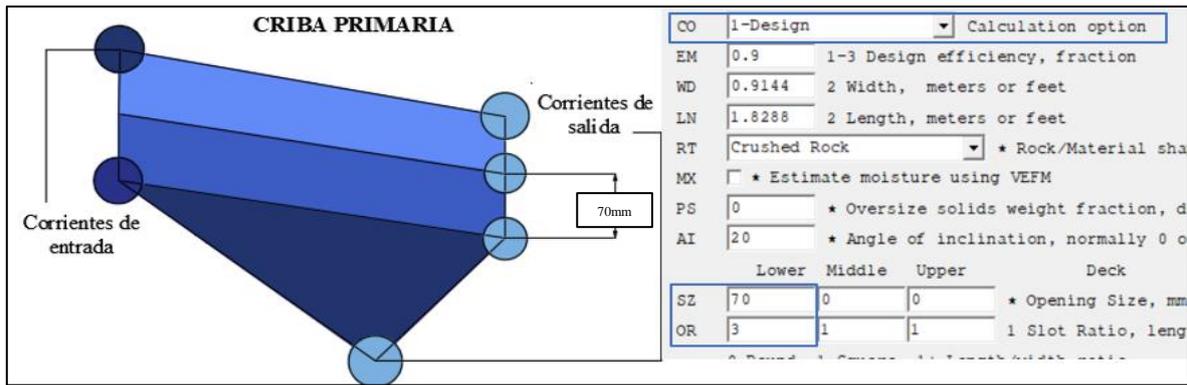
Los equipos cuya función es transportar el material hacia otro equipo dentro del proceso de trituración, no es necesario que se les asigne parámetros. Dentro de estos equipos se encuentra el alimentador de placas que envía el material a la primera criba vibratoria (zaranda 1) y las bandas transportadoras, siendo la primera banda la que moviliza el material retenido en la zaranda 1 hacia la trituración primaria y, la segunda banda que transporta el material pasante de la zaranda 1 y el producto de la trituración primaria hacia la trituración secundaria. Ver figura 38.



**Figura 38** Equipos considerados para la alimentación y transporte del material dentro del software

METSIM

La zaranda 1 que se implementará para el circuito a futuro, es de un piso, la abertura de la malla de la misma, la cual está encargada de realizar la segunda clasificación por tamaños, se la estimó tomando en cuenta el C.S.S (máximo acercamiento de la mandíbula en posición cerrada) de la trituradora primaria de mandíbulas, a razón de que el material pasante de la misma (SZ: 70mm), tiene que cumplir con la granulometría referencial aproximada del producto de la trituradora. Ver figura 39.



**Figura 39** *Parámetros considerados en la zaranda 1*

Si siguiendo con el proceso de diseño dentro del software, los parámetros considerados para la trituración primaria que requiere la interfaz, es la posición de máximo acercamiento de la mandíbula cerrada (CS: 70 mm), la cual fue estimada en base a la razón de reducción necesaria para esta etapa, también se registró la posición de máximo alejamiento cuando la mandíbula se encuentra en posición abierta (OS: 80 mm) y el intervalo entre ambas (TH: 10 mm) y el índice de trabajo de trituración antes determinado (WI: 18). En cambio para la trituración secundaria, se consideraron los mismos parámetros que en la trituración primaria, pero con los valores ajustados esta etapa, la posición de máximo acercamiento de la mandíbula cerrada (CS: 17 mm), la posición de máximo alejamiento cuando la mandíbula se encuentra en posición abierta (OS: 19 mm), la diferencia entre ambas (TH: 2 mm) y el mismo índice de trabajo (Wi: 18)



**Figura 40** *Parámetros de diseño para la primera etapa de trituración*



**Figura 41** *Parámetros de diseño para la segunda etapa de trituración*

Se programó la hoja de cálculo para la simulación en donde se constó los siguientes parámetros y algunas fórmulas entregadas por METSIM en el apéndice 3 de su instructivo.

**Tabla 24** Hoja de cálculo de los Diagramas de flujo en el Software METSIM

<b>Ingreso de Diseño para la hoja de cálculo de los Diagramas de Flujo</b>		
NO	1	Número de hoja de cálculo
SP	Hoja de cálculo Planta León	Descripción
CW	6	Ancho de la columna
L1	Sección	Nivel 1
F1	S	Valor de la función 1
L2	Solido ton/h	Nivel 2
F2	SC VSTR S	Tasa de flujo másico en la corriente S
L3	Liquido ton/h	Nivel 3
F3	LC VSTR S	Tasa de flujo másico del componente C en la corriente S
L4	% solidos	Nivel 4
F4	100*VPCS S	Fracción del peso de sólidos en la corriente S
L5	P80	Nivel 5
F5	0.001*VP80 S	Tamaño de malla en micras que pasa el 80% de sólidos en la corriente S
L6	Pulpa t/h	Nivel 6
F6	VSTR S	Flujo másico en la corriente S

### **Cálculo de la Energía de Bond para las trituradoras de mandíbulas**

Para el cálculo de este parámetro se consideró utilizar la expresión que se denota en la ecuación 1 del documento.

### **Cálculo de la Potencia del Motor para las trituradoras**

Se consideró calcular la potencia en relación con la expresión dada por Fred Chester Bond como se observa en la ecuación 14 y el factor de seguridad que se utilizó se expone en la Tabla 25.

$$P(kW) = W_B \left( \frac{kWh}{T} \right) * Q \left( \frac{t}{h} \right) * F_s \quad (14)$$

**Donde:**

$W_B = \text{Energía de Bond}$

$Q = \text{Tonelaje}$

$F_s = \text{Factor de Seguridad}$

**Tabla 25** *Factor de Seguridad para mayorar los resultados de la Potencia del Motor*

<b>Factor de Seguridad para mayorar los resultados de la Potencia del Motor</b>	
<b>Equipos de Trituración</b>	<b>Factor de Seguridad</b>
Trituradora de Mandíbulas	2
Trituradora Giratoria y Trituradora de Impactos	1,6
Trituradora de conos, cilindros	1,3

**Nota:** *Obtenido de (Blanco, 2014)*

#### **Análisis multicriterio para la elección de las trituradoras**

Se realizó un análisis multicriterio en el que se compararon cinco proveedores diferentes. A cada característica se le asignó un valor, siendo 1 el valor máximo para cada ítem.

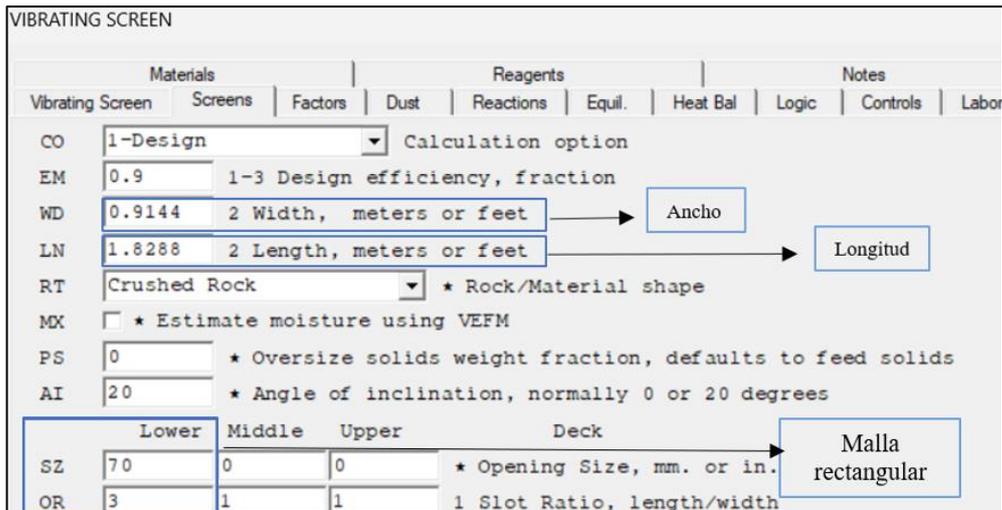
La trituradora que obtuvo el mayor puntaje fue seleccionada para su futura implementación en las operaciones de la Planta de Beneficio León, dicho análisis se realizó tanto para la trituradora de mandíbulas de la primera etapa como la de la segunda etapa. En la tabla 26 se detallan los parámetros que se considerados en cada ámbito: Técnico, Ambiental y Económico.

#### **Selección de los equipos secundarios del proceso de trituración:**

El proceso de selección de los equipos secundarios del proceso de trituración se inició con el cálculo de la criba vibratoria, cuya función es realizar una segunda clasificación. Para este equipo, se consideraron las especificaciones técnicas de ancho y longitud calculadas mediante el Software METSIM como se detalla en la figura 42. Seguidamente, se consultaron en catálogos para encontrar el equipo que mejor se ajustara a dichos parámetros. Para este propósito, se empleó la información citada en la tabla 27.

**Tabla 26** *Análisis Multicriterio para la Elección de las Trituradoras de Mandíbulas tanto para la Primera etapa como a la Segunda etapa*

<b>Análisis Multicriterio para la Elección de las Trituradora de Mandíbulas tanto para la Primera etapa como a la Segunda etapa</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
<b>TÉCNICOS</b>	Proveedor				
	Lugar de fabricación				
	Marca				
	Modelo				
	Capacidad (t/h)				
	Tamaño máximo de alimentación (mm)				
	Tamaño del rango de descarga(mm)				
	Peso (t)				
	Dimensiones				
	Adaptabilidad				
	Revestimientos				
	Resistencia a la corrosión				
<b>AMBIENTALES</b>	Ahorro de energía				
	Control de Ruido Operacional				
	Control de partículas en suspensión				
<b>Económicos</b>	Costo de adquisición				
	Costo de mantenimiento				
	Durabilidad y vida útil				



**Figura 42** Parámetros de diseño calculados en el Software Metsim para la criba vibratoria

**Tabla 27** Características técnicas de la criba vibratoria

Selección de los equipos secundarios del Proceso de Trituración	
Primera Etapa	
Tipo	Características
Clasificador Secundario	Dimensiones
	Pisos
	Tipo de malla
	Abertura de malla (Ancho)
	Abertura de malla (Largo)
	Motor

Para el dimensionamiento de las bandas transportadoras, se consideraron los parámetros calculados por el software METSIM. Posteriormente, se consultaron en catálogos para seleccionar las bandas que mejor se adapten a las especificaciones dadas. Para este fin se utilizó la Tabla 28.

### Evaluación Económica

Con el fin de estimar el costo total de la futura implementación de la propuesta del circuito de trituración, en primer lugar, se analizaron los precios unitarios de todos los equipos mencionados anteriormente, incluyendo los motores para cada equipo y estimando a partir de dichos equipos el consumo energético. Luego, se realizó el cálculo total, cuyos detalles se presenta en la Tabla 29.

En razón a que los equipos se someterán a condiciones de trabajo complejas el desgaste en el tiempo es un factor importante que se consideró, para ello se realizó la depreciación de los mismos

**Tabla 28** Características técnicas de las bandas transportadoras

<b>Selección de los equipos secundarios del Proceso de Trituración</b>		
	<b>Primera Etapa</b>	
	<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Transportador Primario		<b>Ancho</b>
		<b>Longitud</b>
		<b>Velocidad</b>
		<b>Capacidad</b>
		<b>Tensión</b>
		<b>Inclinación</b>
		<b>Motor</b>
	<b>Segunda Etapa</b>	
	<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Transportador Secundario		<b>Ancho</b>
		<b>Longitud</b>
		<b>Velocidad</b>
		<b>Capacidad</b>
		<b>Tensión</b>
		<b>Inclinación</b>
		<b>Motor</b>

**Tabla 29** Evaluación Económica del Circuito de Trituración a Implementar en las Operaciones de la Planta de Beneficio León

<b>Evaluación Económica del Circuito de Trituración a Implementar en las Operaciones de la Planta de Beneficio León</b>				
<b>Nombre del Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>

## 6. Resultados

Los resultados del presente Proyecto de Integración Curricular han sido divididos en función a cada objetivo realizado, los cuales se detallan a continuación.

### 6.1 Resultados del primer objetivo

“Caracterizar las propiedades físico-mecánicas, mineralógicas y elaborar los ensayos minero metalúrgico del material de la Sociedad Minera la Ponderosa”.

#### ✓ Propiedades físicas

Los resultados obtenidos para las propiedades físicas del material de la Sociedad Minera la Ponderosa perteneciente al área minera Bomba de Pacchapamba Unificada se detallan en las Tablas 30 y 31 respectivamente.

**Tabla 30** Resultados del ensayo de densidad real para el material de la Sociedad Minera la Ponderosa

Ensayo: Densidad Real				
COD	W. pulverizado	W. Recipiente + H2O	W recipiente + H2O+ material pulverizado	Densidad Real
M-01	30 gr	147.87 gr	167.39 gr	$2.86 \frac{gr}{cm^3}$
M-02	30 gr	147.87 gr	167.28 gr	$2.83 \frac{gr}{cm^3}$
M-03	30 gr	147.87 gr	168.52 gr	$3.20 \frac{gr}{cm^3}$
<b>Promedio</b>				<b><math>2.96 \frac{gr}{cm^3}</math></b>

**Tabla 31** Resultados del ensayo de contenido de humedad para el material de la Sociedad Minera la Ponderosa

Ensayo: Contenido de humedad			
COD	W. mineral	W. mineral seco	Contenido de humedad
M-01	181.53 gr	180.05 gr	0.81 %
M-02	317.35 gr	312.38 gr	1.56 %
M-03	181.12 gr	180.09 gr	2.81 %
<b>Promedio</b>			<b>1.51 %</b>

La información descrita en la tabla 30 indica las densidades obtenidas de tres muestras ensayadas. Se obtuvieron los siguientes datos de densidad: 2,86 gr/cm<sup>3</sup> para la muestra M-01, 2,83 gr/cm<sup>3</sup> para la muestra M-02 y 3,2 gr/cm<sup>3</sup> para la muestra M-03, dando un promedio total de densidad para el material del área minera Bomba de Pacchapamba de 2,96 gr/cm<sup>3</sup>.

De la misma manera la información proporcionada por la tabla 31 evidencia que el resultado promedio del ensayo contenido de humedad mismo que es 1.51%.

#### ✓ Resistencia a la Compresión Simple

Se determinó para la muestra M-01 una resistencia a la compresión simple de 78.79 MPa con una fuerza aplicada de 190.7 KN por un tiempo aproximado de 7 min.

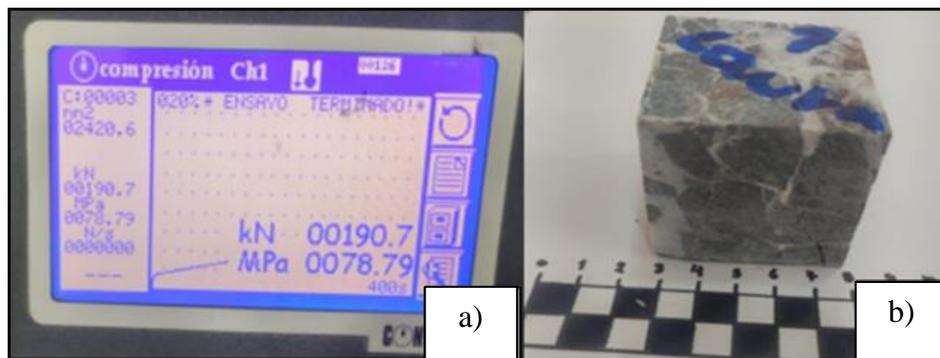
Para la muestra M-02 se aplicó una fuerza de 198.4 KN por un tiempo de 8 min dando como resultado una resistencia de 81.66 Mpa. Finalmente, para la muestra M-03 se determinó una resistencia de 129.70 MPa, aplicando una fuerza de 319.1 KN por 10 min.

Se promedió los resultados de las 3 muestras ensayadas, obteniendo una media de 96.71 MPa. El coeficiente del material es de 9.7 aproximadamente 10 categorizándola como altamente resistente. Como se observa en la Tabla 32 y Figuras 43- 44 y 45

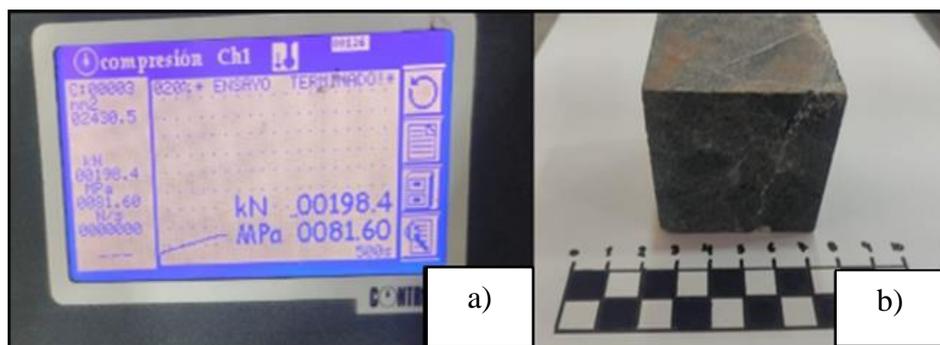
Los cálculos para la obtención de las propiedades físico-mecánicas se detallan en el Anexo 7.

**Tabla 32** Resultados de la resistencia a la compresión simple para el material de la Sociedad Minera la Ponderosa.

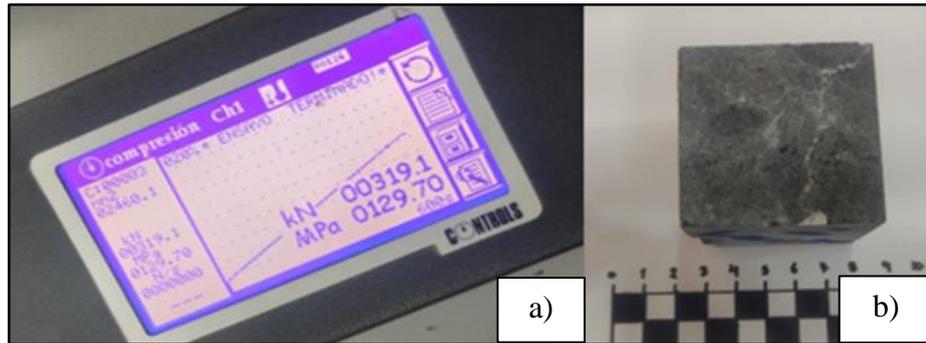
Resultados: Resistencia a la Compresión Simple							
COD	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (gr)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
M-01	49.53	48.94	49.25	305.12	2.42	190.7	78.79
M-02	49.4	49.18	48.75	319.73	2.43	198.4	81.66
M-03	49.67	49.53	49.91	329.49	2.54	319.1	129.70
						<b>Promedio</b>	96.71 MPa



**Figura 43** a) Caja de control máquina de compresión uniaxial b) muestra 3



**Figura 44** a) Caja de control máquina de compresión uniaxial b) muestra 2



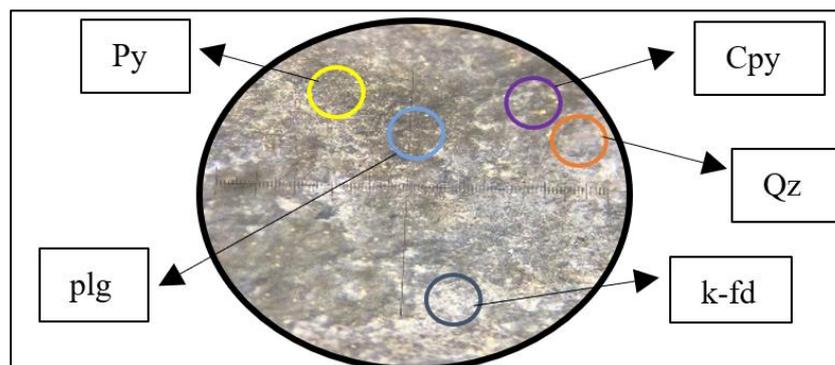
**Figura 45** a) Caja de control máquina de compresión uniaxial b) muestra 3

### ✓ Análisis Mineralógicos

#### – Descripción macroscópica de la roca

La descripción macroscópica del material de la Sociedad Minera la Ponderosa perteneciente al área minera Bomba de Pacchapamba, dio como resultados los siguientes.

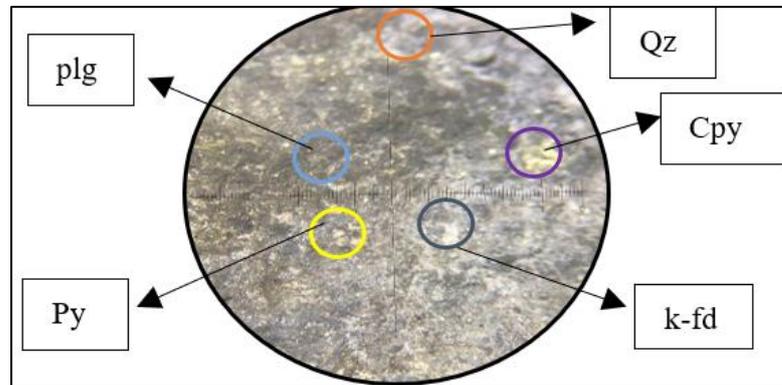
La muestra M-01, presentó una textura afanítica, evidenciada por la ausencia visual de cristales, característico de rocas tipo Andesitas, con un color gris verdoso oscuro. Según el análisis microscópico, la composición la muestra M-01, relevó en primera instancia, minerales principales como: plagioclasas (plg) con un 55%, seguidas de feldespatos con un 30% y cuarzo (Qz) un 10%. Además, se identificó minerales secundarios presentes en la matriz de la roca, incluyendo: 4% de calcopirita (Cpy) y 1% pirita (Py). Posteriormente, con ayuda del diagrama de Streckeisen (QAPF), en una hoja de Excel (2023) se ingresó los porcentajes de los minerales principales, esto reveló que la roca es tipo Andesita, además la matriz presentó una reacción en frío con ácido clorhídrico, lo cual evidenció la presencia de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Ver figura 46 y Anexo 8.



**Figura 46** Muestra M-01 visualizada en el microscópico

La muestra M-02, presentó al igual que la muestra M-01 una textura afanítica, con un color gris verdoso oscuro.

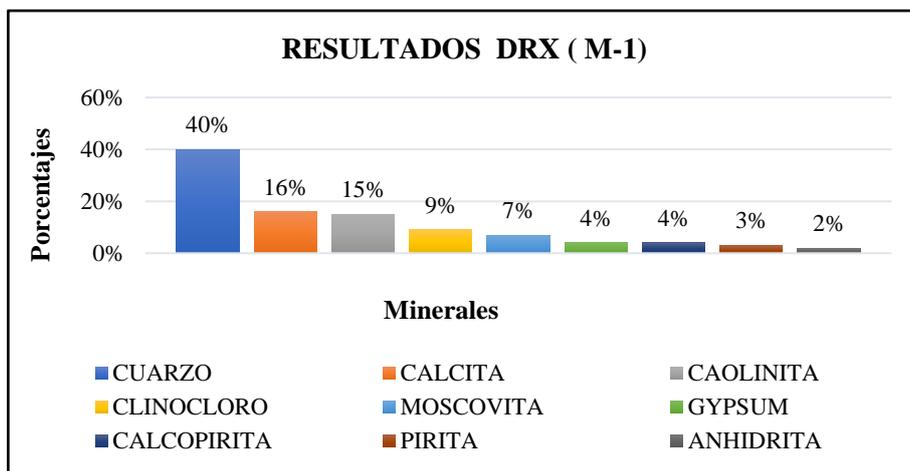
En base al análisis microscópico, la muestra M-02 está compuesta principalmente por plagioclasas (60%), seguidas de feldespatos (20%) y cuarzo (15%). Además, se identificaron minerales secundarios como calcopirita (2%) y pirita (3%). El uso del diagrama de Streckeisen (QAPE) reveló que la roca es de tipo ígnea extrusiva denominada Andesita, al igual que la muestra M-01. Ver figura 47 y Anexo 9.



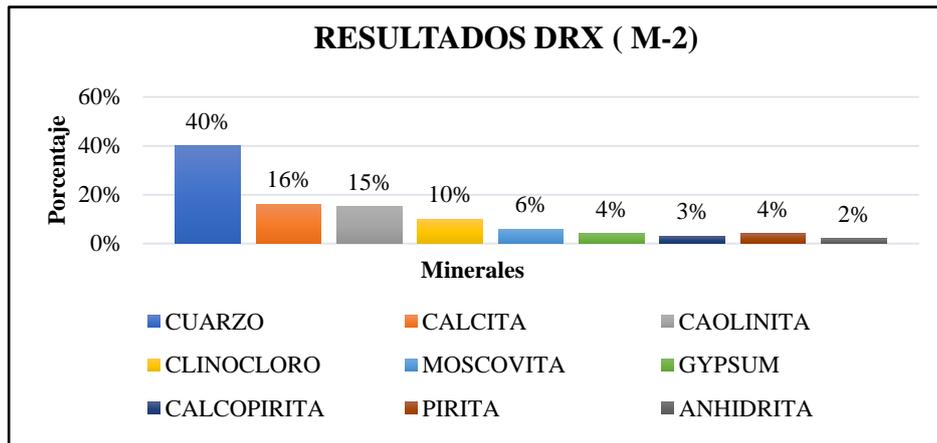
**Figura 47** Muestra M-02 visualizada en el microscópico

**- Descripción microscópica DRX**

Los análisis de Difracción de Rayos X, presentados por el laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional revelaron la composición mineralógica de las muestras M-01 y M-02 según se detalla en las figuras 48 y 49. La información está respaldada por el informe que entregó la entidad. Ver Anexo 10.



**Figura 48** Resultados DRX (M-1) elaborados por el Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.



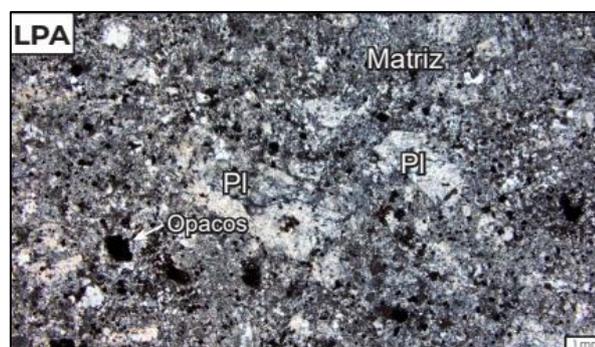
**Figura 49** Resultados DRX (M-2) elaborados por el Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.

**- Descripción microscópica por Lámina delgada**

Según el informe presentado por el Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional reveló que, tras la realización del análisis de láminas delgadas, la muestra M-01 presentó un porcentaje del 37% de cuarzo, mismo que está distribuido como fenocristales a un 6% y en la matriz un 31%, el cual es producto de la silicificación de la roca. Ver figura 50 y 51.

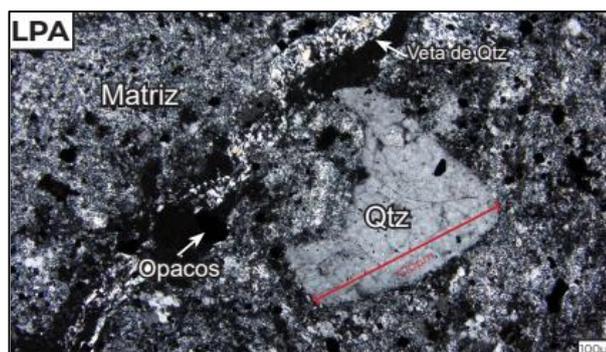
El porcentaje de plagioclasas en la muestra M-01 representa un 54%, que se divide en dos contextos distintos: el primero se presenta en forma de cristales alterándose a arcillas con un 24%, y el segundo se presenta en la matriz a un 30% en forma de microcristales junto al cuarzo. Ver figura 51.

De la misma manera la muestra M-01 presentó minerales opacos a un 7%, asociados directamente con los cristales de pirita. Para concluir se identificó la presencia en trazas de arcillas. Ver figura 52.



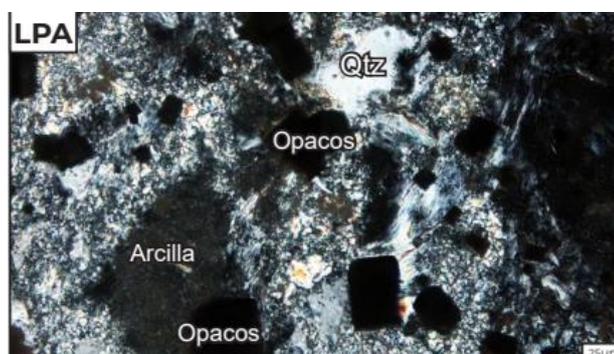
**Figura 50** Lámina delgada con luz polarizada para la muestra M-01

*Nota.* Se aprecia la textura generalizada de la roca. Se puede observar cristales anhedrales de plagioclasa rodeados por una matriz plagioclasa y cuarzo. EL cuarzo que aparece en la matriz es producto de la silicificación de la roca.



**Figura 51** Lámina delgada con luz polarizada para la muestra M-01

*Nota.* Se aprecia un cristal de cuarzo rodeado por la matriz de la roca. Se observa una veta de cuarzo cortando la muestra y encuentran rodeados por la matriz de la roca cristales opacos diseminados en toda la muestra.



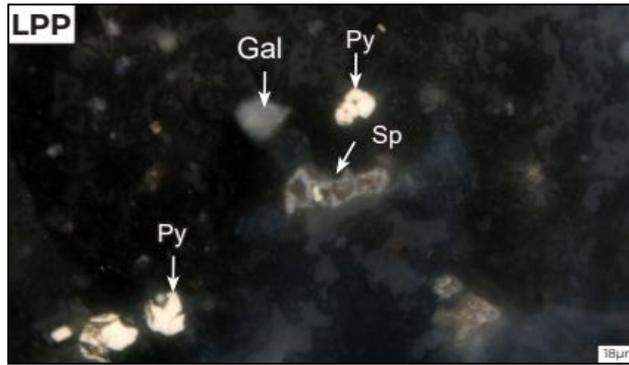
**Figura 52** Lámina delgada con luz polarizada para la muestra M-01

*Nota.* Se aprecia los cristales opacos con hábito perfectamente cúbico diseminados en la matriz de la roca. Se observa unos restos de arcilla en la matriz.

- **Descripción microscópica Sección Pulida.**

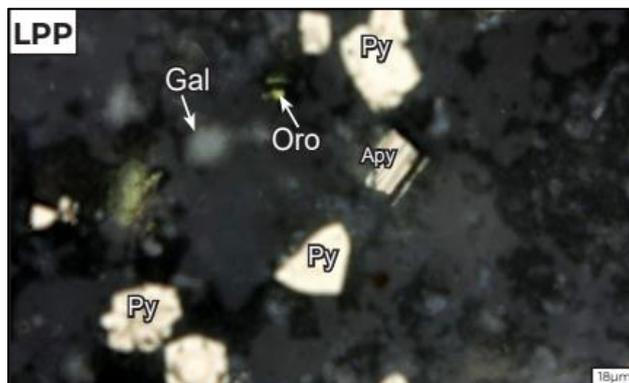
Según el informe presentando por el Departamento de Geología indica que la sección pulida de la muestra M-02 fue realizada en la parte silicificada de color gris, ya que usualmente suelen tener el mayor contenido de mineralización.

La muestra analizada reveló la presencia de varios minerales significativos. La pirita, un sulfuro de hierro, se encontró dispersa por toda la muestra en concentraciones altas, como se ilustra en la figura 53. La galena, sulfuro de plomo, fue identificada en concentraciones trazas y se asocia frecuentemente con la pirita, según se observa en la figura 53. Además, se detectó arsenopirita en concentraciones bajas, evidenciada en la figura 54. La esfalerita, sulfuro de zinc, también se encontró en concentraciones trazas, visible en la figura 54. Finalmente, trazas de oro fueron identificadas, destacadas en la figura 54. La información es respalda por el informe que entrego dicha entidad. Ver Anexo 11.



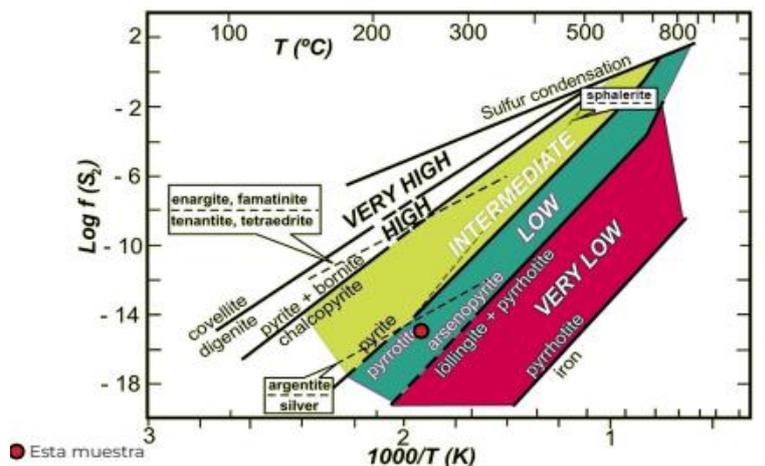
**Figura 53** Sección pulida con luz polarizada para la muestra M-01

*Nota.* Se aprecia un pequeño cristal de esfalerita con rojizos internos rojizos



**Figura 54** Sección pulida con luz polarizada para la muestra M-01

*Nota.* Se aprecian unas muy pequeñas trazas de oro y alrededor cristales de arsenopirita, pirita y galena.



**Figura 55** Estado de sulfuración para la muestra M-01

*Nota.* En el análisis de secciones pulidas se evidenció presencia de varios minerales. Se observó que la secuencia paragenética pasa desde cristales de esfalerita, pirita y galena, por lo cual se sugiere que se trata de un depósito de baja sulfuración.

### Tipo de roca y estado de sulfuración

De acuerdo con la descripción macroscópica, la roca analizada es de tipo ígnea extrusiva que caracteriza una Andesita y la descripción microscópica releva que el estado de sulfuración es bajo, característico de la presencia de sulfuros de hierro y arsénico.

#### ✓ Ensayo minero metalúrgico

##### - Ensayo a fuego

Los resultados presentados por el laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional indicaron que, tras la realización del ensayo al fuego para oro y plata con límites de detección de 0.1 gr/ton para los dos minerales, reveló que la muestra M-1 contiene una ley de oro de 0.4 gr/ton y de plata de 0.8 gr/ton. Ver Anexo 12.

Tras la elaboración del ensayo al fuego en las instalaciones de la Planta de Beneficio Reina del Cisne II, se aplicó la ecuación 5, dando como resultado lo siguiente:

$$\text{Ley de Au} = \frac{0.018 \text{ mg}}{20 \text{ gr}} * 1000$$

$$\text{Ley de Au} = 0.9 \frac{\text{gr}}{\text{ton}}$$

Después de la realización de los ensayos en los dos laboratorios, se promedió las leyes de oro y plata para el material de la Sociedad Minera La Ponderosa, área minera Bomba de Pacchapamba Unifica, como se detalla en la tabla 33.

**Tabla 33** Resultado de leyes de Oro (Au) y Plata (Ag)

Código	Ley de Oro	Ley de Plata
M-01	0.4 gr/ ton	0.8 gr/ ton
M-02	0.9 gr/ ton	-----
<b>Promedio</b>	<b>0.65 gr/ ton Au</b>	<b>0.8 gr/ ton Ag</b>

**Nota.** Se realizó un único ensayo para la detección de ley de Ag, por ende, no se promedió en el cálculo.

##### - Índice de Abrasividad

La abrasividad de las rocas es un factor fundamental para medir el desgaste en los equipos de trituración. Dado que no se contaba con el equipo disponible para la realización del índice de abrasividad o también conocido como el Índice de Cerchar, se realizó el procedimiento en la máquina de Los Ángeles. Donde se obtuvo un resultado de 37,65% de abrasividad presente en la muestra M-01 como se detalla en la Tabla 34 y en el Anexo 13.

Según Minusio (2019) en su informe geológico y geotécnico, indica que la abrasividad en las rocas está relacionada con el porcentaje de cuarzo presente en ella. Citando esta

información, también se consideró el porcentaje cuarzo presente, el cual fue determinado mediante el análisis de láminas delgadas para la muestra M-0,1 en donde se obtuvo un porcentaje de 37% de Qz.

**Tabla 34** Resultados: Ensayo de Abrasividad

<b>Resultados: Abrasividad-Máquina de los Ángeles</b>				
Tamices Pasantes	Tamices Retenidos	Masa Inicial	Masa Final	%
1 ½"	1"	1,252.86		
1"	¾"	1,251.42		
¾"	½"	1,250.38		
½"	3/8"	1,250.38		
Total		5,005.28	3,121.00	37.65%

Para clasificar la abrasividad de la muestra M-01, se estableció una correlación entre el porcentaje obtenido mediante la máquina de Los Ángeles y los valores del Índice de Cerchar, según la tabla proporcionada por Sánchez et al., (2019), que se detalla en la tabla 36.

En este análisis, se consideró que el 100% de abrasividad en la máquina de Los Ángeles, corresponde a una abrasividad extremadamente alta, mientras que, en el Índice de Cerchar, la clasificación que va en el rango de 4-6, indica que la roca es extremadamente abrasiva. De este modo, la correlación entre ambos parámetros quedó definida como se detalla en la tabla 35.

**Tabla 35** Correlación para el Ensayo de Abrasividad

Máquina de los Ángeles	Índice de Cerchar
100	4-6
37,65	Limité superior = 6
	x

$$x = \frac{37,65 \cdot 6}{100} = 2.26 \quad (15)$$

Los resultados indican que un 37.65% de abrasividad en la máquina de Los Ángeles equivale a un 2.26% en el Índice de Cerchar, conforme lo establece la ecuación 15. Clasificándola como una roca muy abrasiva.

Por otra parte, según la información proporcionada Correa y Rueda (2022) en la cual menciona que, Plinninger en el año 2002 propuso el Índice de Abrasividad de la Roca, RIA (Rock Abrasivity Index, RAI), el cual representa una modificación del contenido equivalente de cuarzo, EQC, y es aplicable tanto para rocas resistentes, como para rocas no resistente

Dicho índice se lo calculó en dependencia a la resistencia de la roca y al contenido de cuarzo presente en ella, de acuerdo con la ecuación 16.

$$RAI = EQC * \sigma_c \quad (16)$$

$$RAI = 0.37 * 96.71 \text{ Mpa}$$

$$RAI = 35.78$$

A partir de la obtención del Índice de Abrasividad de la Roca (RAI), se recalculó el Índice de Abrasividad Cerchar (CAI), mediante la ecuación 17, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos al principio, y verificar la clasificación de la abrasividad que presenta la roca de estudio.

$$CAI = 0.9 \sqrt[3]{RAI} \quad (17)$$

$$CAI = 0.9 \sqrt[3]{35.78}$$

$$CAI = 2.97$$

**Tabla 36** Clasificación de la abrasividad de las rocas según el índice CAI

Abrasividad de las Rocas	
Clasificación	CAI
No abrasiva	0.0 – 0.3
Muy ligeramente abrasiva	0.3-0.5
Ligeramente Abrasiva	0.5-1.0
Abrasividad media	1.0-2.0
Muy abrasiva	2.0-4.0
Extremadamente abrasiva	4.0-6.0

**Nota.** Obtenido de (Sánchez et al., 2019)

Finalmente, se deduce que las menas objeto del presente estudio perteneciente a la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unifica se clasifica como muy abrasiva según los CAI obtenidos, el mismo que influye directamente en el desgaste de los equipos.

#### ✓ Índice de Bond

Los resultados presentados por el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional indicaron que, tras la realización del ensayo de Work Index para molienda a malla 150 micras, la muestra M-01 perteneciente a la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada, presentó el valor 22.47 kWh/tc. Ver Anexo 14.

Debido a que el presente estudio está enfocado únicamente en el proceso de trituración y el equipo necesario para llevar a cabo la determinación del Índice de Trabajo en Trituración no se encuentra disponible en el país, se optó por realizar el índice de trabajo en molienda.

Sin embargo, al aplicar el Índice de Trabajo de Bond de molienda en el proceso de trituración, se tiende a sobrestimar la energía necesaria para fracturar el material. Según la información proporcionada por el Dr. Delgadillo (2024), basada en la experiencia adquirida en los procesos de trituración y molienda, da mención a que la sobrestimación del  $w_i$  está en un rango de 10- 30%.

En base a esto, se multiplicó por el factor de disminución de 0.8, considerado un 20% del porcentaje de sobrestimación del  $w_i$ . De esta manera, el resultado obtenido se observa en la ecuación 18.

$$W_i = 22,47 * 0.80$$

$$W_i = 17.98 \frac{Kwh}{tonedala\ corta} \quad (18)$$

**Tabla 37** Resumen de la Caracterización del Material perteneciente de la Sociedad Minera la Ponderosa

<b>Resumen de la Caracterización del Material perteneciente de la Sociedad Minera la Ponderosa</b>	
<b>Parámetros</b>	
<b>Nombre de la Roca</b>	Andesita
<b>Propiedades Mineralógicas</b>	
<b>Minerales Translucidos</b>	37% de Cuarzo y 54% de Plagioclasas
<b>Minerales Opacos</b>	7% de minerales opacos (Pirita, Galena, Arsenopirita y Esfalerita)
<b>Minerales en General</b>	Calcita, Caolinita, Clinocloro, Moscovita, Yeso y Anhidrita
<b>Estado de Sulfuración</b>	Bajo debido a la presencia de sulfuro de hierro y de arsénico
<b>Propiedades Físicas / Mecánicas</b>	
<b>Densidad</b>	2.96 gr/cm <sup>3</sup> ≈ Roca Compacta
<b>Contenido de Humedad</b>	1.51 % ≈ Bajo contenido de humedad
<b>Resistencia a la Compresión Simple</b>	96.71 MPa ≈ Altamente Resistente
<b>Coefficiente de Fortaleza</b>	10 ≈ Altamente Resistente
<b>Ensayos Minero Metalúrgicos</b>	
<b>Índice de Abrasividad CIA</b>	2.62 ≈ Muy Abrasiva
<b>Índice de Trabajo</b>	18 kWh/tc
<b>Ley de Au y Ag</b>	0.65 gr/ton de Au y 0.8 gr/ton de Ag

## 6.2 Resultados del segundo objetivo:

### Describir el proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León”

La Planta de beneficio “León”, es una instalación de alquiler, que presta sus servicios a titulares mineros que deseen obtener el mineral de interés, siendo este sometido a procesos de trituración para la reducción del tamaño. Tiene un área de 12379 m<sup>2</sup> que se divide en tres infraestructuras fundamentales, las cuales son: área administrativa, área de procesamiento y concentración mineral, y relaveras.

#### 6.2.1 *Infraestructura Administrativa*

**Garita de Control:** Cumple la función de albergar a un guardia, el cual realiza el control y registro de las personas, vehículos o insumos, los cuales ingresan y salen de la planta. Consta con su debido sistema de comunicación y equipos de protección personal. Las dimensiones son de 2.5 m x 3.0 m, adecuadas para que se ejecuten las labores antes mencionadas de mejor manera.

**Oficina Administrativa:** Es una infraestructura de dos pisos, en la cual, la planta baja es utilizada como oficina administrativa y sala de reuniones. Mientras que, en la planta alta, se encuentran dos dormitorios para el personal que hace uso de los servicios de la planta.

**Comedor, cocina y vestidores:** El área de 96 m<sup>2</sup>, se encuentra adyacente de la infraestructura de oficina y está subdividida en un comedor, cocina y dos dormitorios que sirven como vestidores y, alojamiento para el personal de cocina y administrador.

**Área de electricidad:** Esta infraestructura, está ubicada a 3 m, en donde están instalados los transformadores eléctricos de alta tensión.

**Bodegas:** Junto a la zona de elución y cianuración, la planta de beneficio “León”, consta con 6 bodegas que almacenan: materiales, cianuro, cal, gas industrial y oxígeno, desechos peligrosos y, combustibles y aceites.



Figura 56 Infraestructura Planta de Beneficio " León"



**Figura 57** Infraestructura Planta de Beneficio " León"

### 6.2.2 Área de Procesamiento

**Zona de Stock:** La planta de beneficio “León”, brinda un área determinada para cada titular minero que hace uso de sus instalaciones. En el caso de la Sociedad Minera La Ponderosa, la planta les proporcionó un área de 150 m<sup>2</sup>. Se determinó un volumen de 225 m<sup>3</sup> y una capacidad de 755 Ton para el material de dicha área minera. De los cuales, no son utilizados en su totalidad, si no que solo hacen uso 5.68 m<sup>3</sup>, almacenando 84 Ton aproximadamente que se procesan en una semana aproximadamente. Ver Anexo 15.



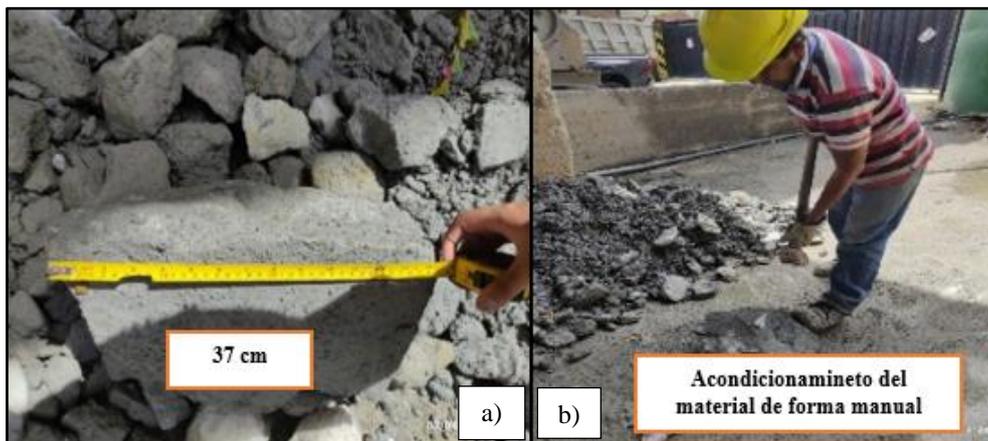
**Figura 58** Zona de Stock para la Sociedad Minera la Ponderosa

**Área de Trituración:** La instalación, consta de 3 plataformas con el suficiente espacio para almacenar el material del titular minero, que vaya a procesar en un tiempo establecido. Abarca un área total de 464 m<sup>2</sup>, en donde están instaladas 5 trituradoras (2 trituradores en la plataforma 1, una trituradora en la plataforma 2 y 2 trituradoras en la plataforma 3). La Sociedad Minera la Ponderosa hace uso de la plataforma 2, que abarca un área de 154.94 m<sup>2</sup> y consta de trituradora de mandíbulas.



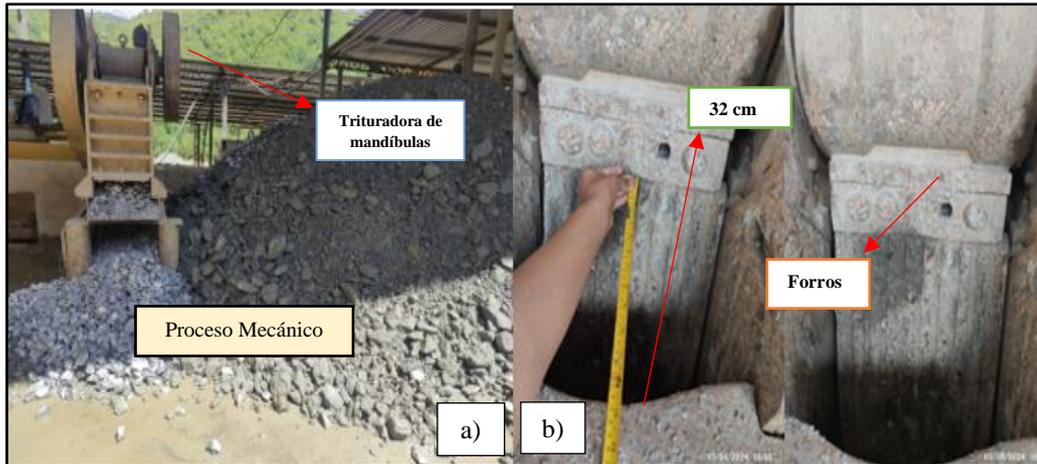
**Figura 59** Área de Trituración – Plataforma 2 materia perteneciente a la sociedad minera la ponderosa.

**Proceso de trituración:** El proceso implica la fragmentación primaria del material en dos etapas: una manual, donde se utiliza un combo para acondicionar los pedazos de roca de tamaños superiores a 30 cm como se observa en la figura 60.



**Figura 60** a) material con un tamaño superior a 30 cm b) acondicionamiento del material de manera manual

Seguida por una fase mecánica en la que se emplea una trituradora de mandíbulas tipo blake y sus especificaciones técnicas proporcionadas por el técnico del área se detallan en el anexo 16, la cual no presenta un flujo continuo de material debido a que se alimenta de forma manual con ayuda de una pala, según los datos tomados en campo esta trituradora reduce en intervalos de 8-6 cm.



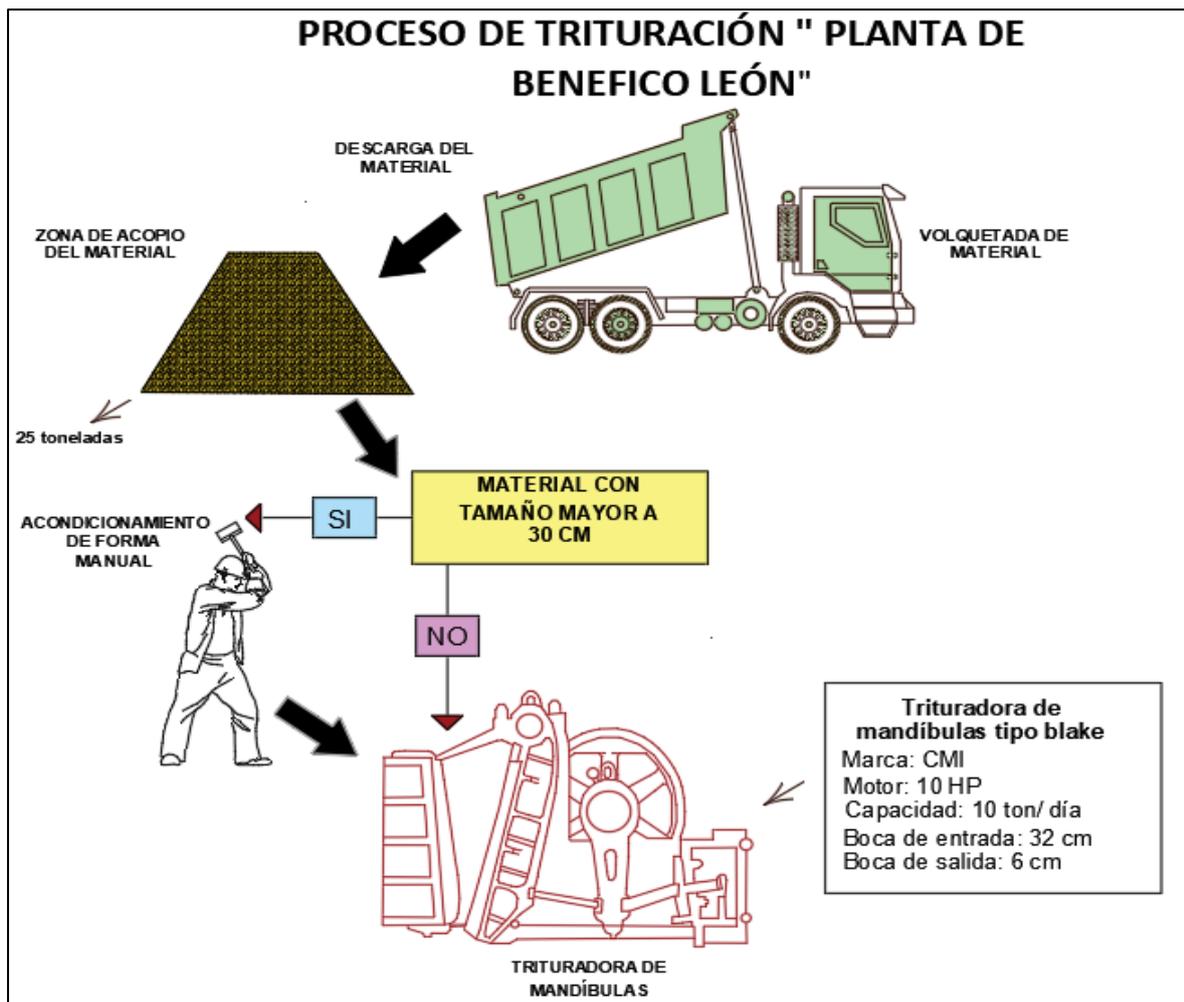
**Figura 61** a) Área de trituración – proceso mecánico b) trituradora de mandíbulas

La boca de entrada de la trituradora de mandíbulas mide 32 cm como se observa en la figura 61 a y el set (salida) es de 6 cm. Los forros están formados por aleaciones de acero al manganeso los cuales no tiene un cambio continuo y se denotan bastante estropeados. La trituradora trabaja con un motor de 10 HP, su capacidad al día es de 10 Ton/día aproximadamente.

Las variables calculadas teóricamente que presenta la trituradora son : Relación de reducción 5:1, sin considerar el tamaño máximo de alimentación que es 25,6 cm, para el tonelaje, se la calculó según Taggart obteniendo un flujo de 76.18tph, ajustado a un tonelaje real de 51.4 tph de acuerdo a los siguientes coeficientes: factor de dureza de la roca ( $k_c:0.9$ ), coeficiente de humedad ( $k_m:1$ , al tratarse de una trituración primaria) y el factor de alimentación ( $k_f: 0.75$ , al tratarse de una alimentación manual).

El tonelaje real calculado teóricamente, es asumiendo un flujo continuo, el cual, en realidad, solo se opera hasta 10 tpd. Se determinó una velocidad angular de 172.56 rpm y la potencia necesaria según Lewenson de 7.14 kW, equivalente a 9.96HP. La energía necesaria en relación a la tercera ley de bond es de 0.38 kWh/ ton y la potencia en relación a la energía y al tonelaje real es de 19,53 kW. Ver Anexo 17.

El diagrama de flujo para el proceso de trituración queda definido como se observa en la figura 62.



**Figura 62** Diagrama de flujo- Proceso de Trituración Actual

### Evaluación Económica

#### - Consumo de energía:

La energía eléctrica para la Planta de Beneficio León, que se emplea para el alumbrado de las infraestructuras y funcionamiento de maquinaria-equipos, es suministrada por la Corporación Nacional de Electricidad CNEL de Portovelo, por intermedio de la Subestación El Pache; dispone de dos transformadores eléctricos trifásicos de 300 KVA, y 100 KVA; en la planta se tiene un consumo nominal del 70% entre potencia efectivamente consumida y la potencia nominal de los motores.

El tipo de energía que se encuentra instalada en la planta de beneficio corresponde a 110V para iluminación y 220V a 440V para el funcionamiento de la maquinaria.

El área de trituración cuenta con 5 motores de 10 HP, distribuidos en las 3 plataformas de trituración para las 5 trituradoras instaladas. A razón de que en la etapa de trituración no se opera con un flujo continuo, se realizó una estimación de consumo energético en dos etapas. Para la primera etapa se consideró un tiempo de uso de 8 horas diaria por cada trituradora en

los 20 primeros días del mes y un consumo nominal de los motores del 70% esta información fue proporcionada por el técnico del área, dando como resultado un consumo total de 4175.90 kW. Para la segunda etapa se consideró el uso de dos equipos de trituración, dado que la planta es de alquiler y no todos los días del mes está operando al 100%. En esta etapa, el consumo de energía fue de 835.18 kW durante 8 horas diarias, teniendo en consideración que el consumo nominal es del 70%.

De esta manera, el consumo energético en el área de trituración es de 5,011.10 kW /mes con un costo total de 451 \$. Ver Anexo 18.

#### - Equipos de Trituración

El circuito de trituración actual de la Planta de Beneficio “León”, ocupa 5 trituradoras marcas CMI modelo 320\*400 y un motor marca WEG 10 HP, el costo calculado aproximado de dicho circuito en referencia a los precios actuales y al estado de la maquinaria es de 44,851.00 como se detalla en la tabla 38.

**Tabla 38** Evaluación Económica del Circuito de Trituración Actual de la Planta de Beneficio León

<b>Evaluación Económica del Circuito de Trituración Actual de la Planta de Beneficio León</b>						
<b>Equipos del Proceso de Trituración</b>						
<b>Nombre del Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>			<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Trituradora de Mandíbulas	5	Marca CMI	modelo	320*400	7,500.00	37,500.00
<b>Subtotal</b>						37,500.00
<b>Motores para los equipos del Proceso de Trituración</b>						
Motor	5	Marca WEG trifásico 1750 rpm cerrado 10 HP 220 V			950.00	4,700.00
<b>Subtotal</b>						4,700.00
<b>Repuestos para las Trituradoras</b>						
Forros Dentados	5	Forros hechos con acero al manganeso para la trituradora primaria			520.00	2,600.00
<b>Subtotal</b>						2,600.00
<b>Consumo Energético</b>						
<b>Subtotal</b>						451.00
<b>Total</b>						44,851.00

**Nota:** Se realizó un cálculo aproximado en referencia a los precios actuales de los equipos de trituración y el precio actual de kilovatio/hora para sector industrial

**Descripción general de las actividades que se realizan en la Planta de beneficio “León” después del proceso de trituración.**

Tras la trituración primaria, el material se transporta de manera manual con ayuda de una pala a los molinos chilenos de tres ruedas para realizar el proceso de molienda. Seguidamente las arenas gruesas generadas en el proceso de molienda, se las recupera por medio de concentración gravimétrica y las arenas finas se las traslada a través de canalones que poseen una inclinación promedio de 8° - 10° hacia los tanques de decantación.

Con la implementación de una bomba centrífuga, las arenas finas se dirigen a los tanques de lixiviación para que se realice el proceso de lixiviación por carbón activado. Tras la ejecución de las etapas anteriormente mencionadas, se procede a la cosecha del carbón y, si el titular lo desea, a su fundición y refinación.

La descripción de todos los procesos se detalla en los Anexos 19 y 20 y los diagramas de flujo en el Anexo 21.

### **6.3 Resultados del tercer objetivo**

#### Simular el nuevo proceso de trituración con la aplicación del software METSIM aplicado a la Planta de Beneficio “León”.

La Planta de beneficio León actualmente tiene una capacidad de producción de  $\pm 80 - 50\text{ton/ día}$ , según la información proporcionada por el técnico del área. Para la presente simulación del proceso de trituración, se aumentó la capacidad a 150 ton/día, a razón de que es la capacidad máxima establecida por derecho de titular minero. Dando como resultado un total de 15 ton/hora por un turno de 8 horas/día, considerando un factor de eficiencia de 0.8 del proceso de trituración.

#### **Etapas de Trituración**

Para la presente simulación, se propuso reducir el material de mina que llega a la planta promedio de 400 mm, sin embargo se estimó 320 mm, debido a que se considera el 80% de este tamaño promedio, a  $\frac{3}{4}$  de pulgada (19 mm). Se determinó una razón de reducción de 20, la cual fue distribuida en dos etapas de trituración (Primaria: 5: 1 y Secundaria: 4:1).

#### **Circuito de trituración**

Actualmente en la Planta de Beneficio “León”, desarrollan el proceso de trituración mediante un circuito abierto (alimentación manual + fragmentador).

Se realizó dos simulaciones en el Software METSIM, el primero se basó en el desarrollo de un circuito cerrado y el segundo en un circuito abierto. Los resultados a fines a los circuitos se detallan en las curvas granulométricas obtenidas.

Mediante el desarrollo del análisis multicriterio denotado en la tabla 39, y de la simulación en el software METSIM se determinó que un circuito abierto, es el más adecuado

en cuanto al uso de trituradoras de mandíbulas en la etapa primaria y secundaria. Asimismo, debido al espacio disponible y a la reducción de costos iniciales, se optó por dicha alternativa.

El circuito cerrado no fue seleccionado debido a que en el momento de realizar la simulación dinámica en el software METSIM y colocar 3 controladores (Controlador Dinámico, Controlador de % de Carga Circulante y Controlador de Salida ton/hora), se obtuvo un porcentaje de carga circulante en la criba secundaria de 213.33 % y según Blanco (2014) menciona que el porcentaje en circuitos cerrados de trituración secundaria no puede sobrepasar de 40 – 150%, además se calculó en el software un tonelaje de  $\pm 31$  ton/ hora de salida aumentando la capacidad de la simulación y no cumpliendo con los balances máxicos establecidos. Asimismo, es fundamental mencionar que un equipo de clasificación mal colocado puede inferir directamente en el aumento del porcentaje de carga circulante y generar productos con partículas de tamaño que no se encuentren dentro del rango establecido en la granulometría del proceso de trituración. Ver Anexos 22 y 23.

**Tabla 39** *Análisis multicriterio para la elección del circuito de trituración*

<b>Análisis multicriterio para la elección del circuito de trituración</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Circuito Abierto (CA)</b>	<b>Circuito Cerrado (CC)</b>
Control del producto de salida	No tiene, lo realiza el fragmentador.	Si tiene, lo realiza el clasificador.
Consumo de energía	Más elevado	Inferior
Abrasión y desgaste	Mayor en el fragmentador	Menos en el fragmentador
Tipo de circuito	Sencillo, más económico de nueva instalación y mayor consumo por unidad de producto	Más complejo. Mayor inversión y, normalmente, menos gastos de funcionamiento
Adaptado para Trituradoras de Mandíbulas	Si	No
Resultados en Software METSIM	Si	No (existe sobre carga de material)

### **Tolva de gruesos para la Planta de Beneficio León**

La capacidad establecida para la tolva de grueso es de 150 ton/día, con una inclinación de 55° considerando el ángulo de reposo del material de estudio de 40°, el cual fue medido en campo y en comparación con la tabla 40 referente a los valores típicos del ángulo de fricción interna para roca fragmentada ígnea (valores entre 40°-50°).

El factor de espacios vacío para gruesos es de 0.4, el tamaño máximo de alimentación es de 320 mm o 12, 59 in y el volumen total de la tolva es de 88 m<sup>3</sup>. Se determinó un

espaciamiento entre barros de 320 mm y un porcentaje de eficiencia de acuerdo con el área libre de 94%. Ver Anexo 24.

**Tabla 40** Clasificación de la abrasividad de las rocas según el índice CAI

Ángulo de Fricción típico para materiales sólidos		
Tipo	Descripción	Ángulo de fricción
Roca fracturada	Metamórfico	35° - 45°
	Ígneo	40° - 50°
Compactado	Sedimentario duro (conglomerado, arenisca)	35°-45°
Suelo sin cohesión	Muy suelto/ suelto	30-34°

**Nota.** Obtenido de (Borselli, 2023, p. 24)

El alimentador seleccionado para la presente simulación es de placas marca JIN PENG modelo GBH100-1.6. Esta elección se debe a que dicho equipo se adapta perfectamente a las características del material a procesar, el cual es abrasivo y presenta en su composición material arcilloso. La capacidad calculada es de  $22 \text{ m}^3/\text{h}$  (su equivalente 61.34 a  $\text{Ton}/\text{h}$ ). Las especificaciones técnicas se detallan en el Anexo 25.

#### **Elección de las trituradoras para el circuito a implementar**

En base al desarrollo del análisis técnico, económico y ambiental entre 5 proveedores diferentes, la empresa representante de la marca ZGN obtuvo el mayor puntaje debido a que resulta óptimo su elección tanto en términos ambientales, pues los equipos brindan un ahorro energético del 15% - 30%, controla las partículas en suspensión y minimiza el ruido generado por estas trituradoras. En términos económicos, es accesible a un bajo costo adquisitivo y técnicamente se adapta rápidamente a los parámetros requeridos por el Software METSIM.

Para la etapa de trituración primaria se seleccionó una trituradora de mandíbulas, marca ZGM, modelo PE400x600 con un set ajustado a 70 mm, la misma que es de tipo blake con forros dentados ondulados cuya estructura está hecha de acero al manganeso. La trituradora fue evaluada de acuerdo con las características del material a procesar y la capacidad (ton/h). Considerando la gran cantidad de material de desgaste, los forros dentados ondulados son adecuados para la primera etapa de reducción. La potencia de la trituradora es de 15 HP (considerando la potencia establecida por METSIM de 7.5 HP multiplicada por el factor de seguridad 2).

En la segunda etapa de trituración, el tipo de trituradora a implementar es de mandíbulas, marca ZGM, modelo PEX250x400 con un set ajustado a 17 mm. De igual manera es de tipo blake, pero los forros son dentados en forma de pico de acero al manganeso. Los criterios para la elección de este tipo de trituradora se basaron en las características del material

(abrasividad media y presencia de minerales arcillosos), en cambio el tipo de forros, además de las características antes mencionadas, también por la presencia de material fino y el tamaño de la trituradora. La potencia de la trituradora es de 30 HP (considerando la potencia establecida por METSIM de 15 HP multiplicada por el factor de seguridad 2).

Las especificaciones técnicas de las trituradoras a implementar se denotan en el Anexo 25, el cálculo de la energía de Bond y potencia para las trituradoras en dependencia a los resultados obtenidos en el software METSIM se encuentran en el Anexo 26 y el análisis multicriterio para dicha elección se detalla en el Anexo 27.

### **Elección del equipo de clasificación secundario**

Para la clasificación secundaria, al tratarse de un proceso automatizado, se optó por la selección de una criba vibratoria marca ZGM, modelo 2YS1237, la cual estará ubicada seguidamente del alimentador, con la finalidad de que el material que cumple con la granulometría adecuada pase directamente a la etapa de trituración secundaria. El tipo de malla es rectangular a razón de que, en la primera etapa de trituración, no se logra una esfericidad homogénea, por lo que la abertura de malla fue establecida de acuerdo al tamaño granulométrico del producto de la trituración primaria. La potencia del motor para la criba fue brindada por el mismo software, el cual estableció un valor referencial para dar cumplimiento al proceso de conminución de acuerdo al flujo establecido. Las especificaciones de la misma, se denota en la siguiente tabla:

**Tabla 41** *Especificaciones del equipo de clasificación secundaria en la primera etapa de conminución*

<b>Selección de los equipos secundarios del Proceso de Trituración</b>			
<b>Primera Etapa</b>			
	<b>Tipo</b>	<b>Características</b>	
Clasificador Secundario	Criba vibratoria	<b>Dimensiones de la estructura</b>	1200 x 2200 mm
		<b>Pisos</b>	1
		<b>Dimensiones de la malla</b>	915 x 1800 mm
		<b>Tipo de malla</b>	Rectangular
		<b>Abertura de malla (largo)</b>	210 mm
		<b>Abertura de malla (Ancho)</b>	70 mm
		<b>Motor</b>	11 kW≈15 HP

### Elección de las bandas transportadoras

El material de las bandas transportadoras es de caucho reforzado con cables de acero. La longitud e inclinación de las mismas fueron ajustadas de acuerdo área disponible para la implementación a futuro del circuito de trituración. El software METSIM, para dar cumplimiento a los balances másicos y al flujo de trabajo, brindó valores óptimos en cuanto a la tensión, ancho, velocidad y potencia de las bandas transportadoras, que se detallan en las tablas 42 y 43.

**Tabla 42** Especificaciones de los transportadores en la primera etapa de trituración.

Selección de los equipos secundarios del Proceso de Trituración			
Primera Etapa			
	Tipo	Características	
		Transportador Primario	Banda transportadora de caucho reforzado con cables de acero N° 3
		<b>Longitud</b>	10 m
		<b>Velocidad</b>	0.5 m/seg
		<b>Capacidad</b>	17.44 TPH
		<b>Tensión</b>	11.53 kN/m
		<b>Inclinación</b>	0 - 35° (15°)
		<b>Motor</b>	1.5 HP

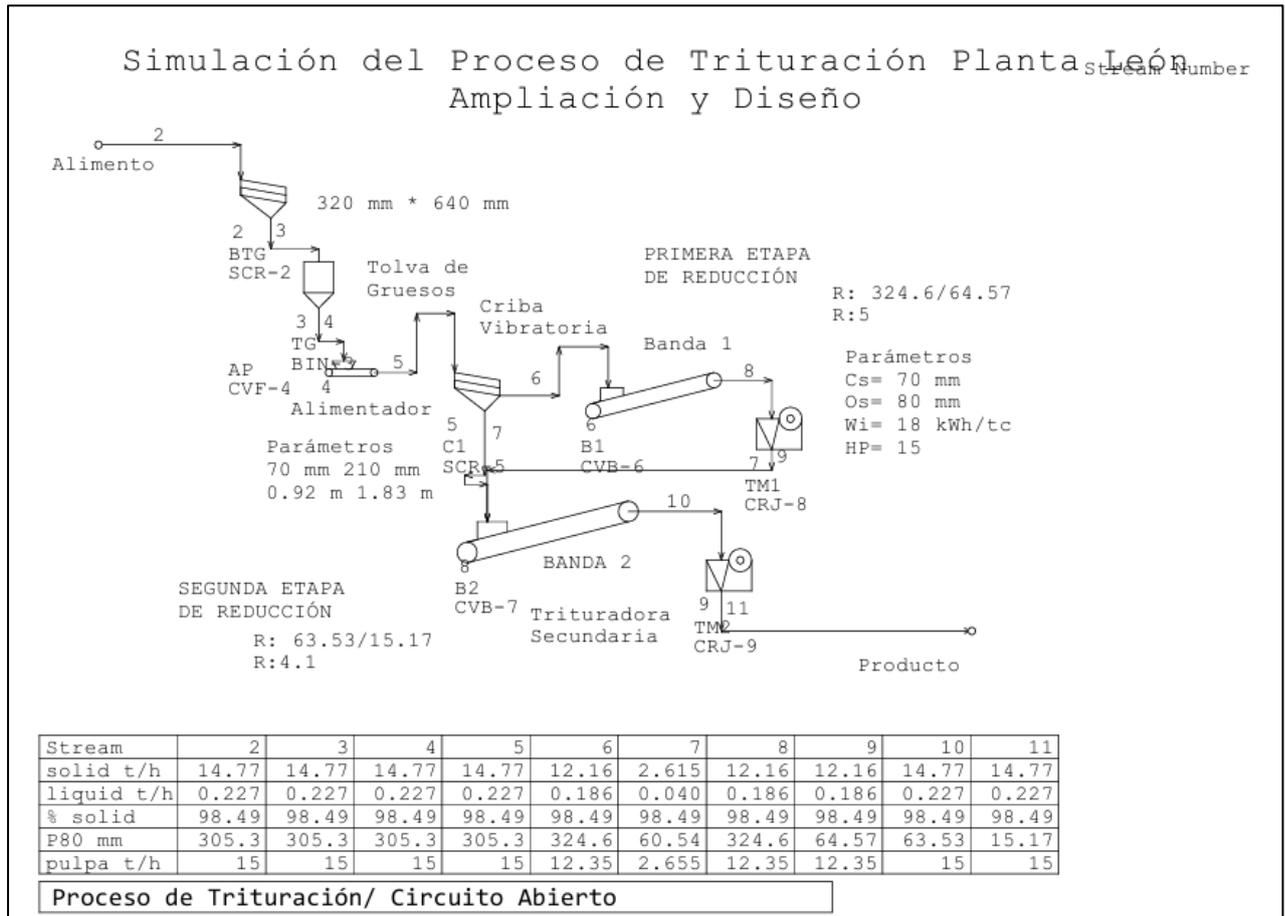
**Tabla 43** Especificaciones de los transportadores en la segunda etapa de trituración.

Segunda Etapa			
	Tipo	Características	
		Transportador Secundario	Banda transportadora de caucho reforzado con cables de acero N°6
		<b>Longitud</b>	17 m
		<b>Velocidad</b>	0.5 m/seg
		<b>Capacidad</b>	17.44 TPH
		<b>Tensión</b>	12.65 kN/m
		<b>Inclinación</b>	0 - 35° (4°)
		<b>Motor</b>	1.5 HP

**Nota:** La marca de las bandas transportadoras es igual al de los equipos de trituración y cribado (ZGN), la misma que es adaptada a las especificaciones técnicas del software METSIM y ajustada al espacio disponible en la planta de beneficio “León”.

Los cálculos para el dimensionamiento de las bandas transportadoras a implementar, realizados por el software METSIM, se detallan en el Anexo 28.

## Simulación del circuito abierto del Proceso de Trituración



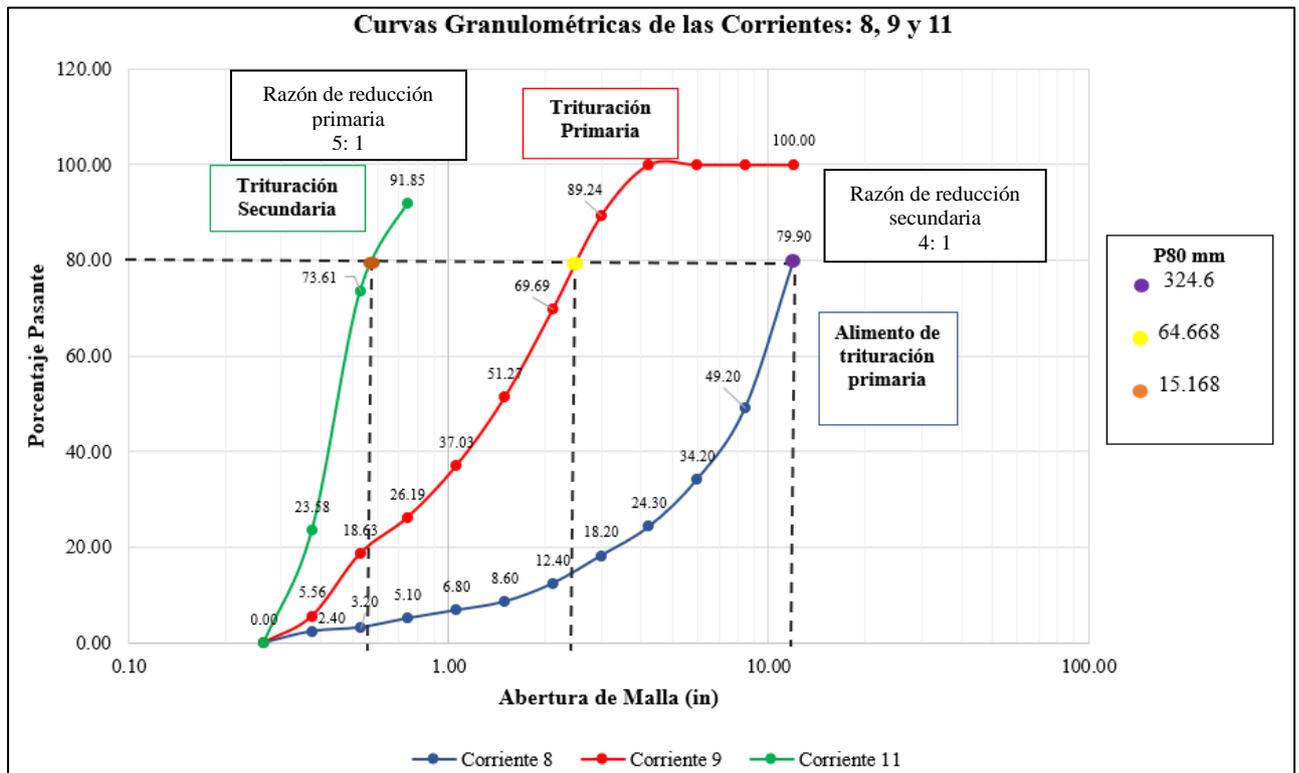
**Figura 63** Simulación del Proceso de Trituración en el Software METSIM con el propósito de ampliar y diseñar.

A partir de la simulación, para establecer si se la ejecutó de manera correcta, se analizaron los balances másicos en las 11 corrientes de flujo, siendo la primera corriente la sección y la última la corriente del producto de la trituración secundaria. Los resultados brindados a partir de la simulación del circuito de trituración abierto son:

**Tabla 44** Balances de masa y tamaño de reducción  $P_{80}$  en todas las corrientes de la simulación

Corriente	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Sólido (t/h)</b>	14.77	14.77	14.77	14.77	12.16	2.615	12.16	12.16	14.77	14.77
<b>Líquido (t/h)</b>	0.227	0.227	0.227	0.227	0.186	0.040	0.186	0.186	0.227	0.227
<b>%Sólidos</b>	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49
<b><math>P_{80}</math> (mm)</b>	305.3	305.3	305.3	305.3	324.6	60.54	324.6	64.57	63.53	15.17
<b>Pulpa (t/h)</b>	15	15	15	15	12.35	2.655	12.35	12.35	15	15

El grado de reducción entre la segunda corriente, producto de la trituración primaria y secundaria, se denota en la siguiente gráfica:



**Figura 64** Curvas Granulométricas de las Corrientes: 8, 9 y 11

De acuerdo al análisis granulométrico en la corriente 8 (alimento para la trituradora primaria), corriente 9 (producto de la trituración primaria) y corriente 11 (producto de la trituración secundaria), el  $P_{80}$  (mm) determinado es:

- **Corriente 8:** 324.6mm
- **Corriente 9:** 64.6 mm
- **Corriente 11:** 15.2 mm

Denotando así, el grado de reducción brindado por la simulación.

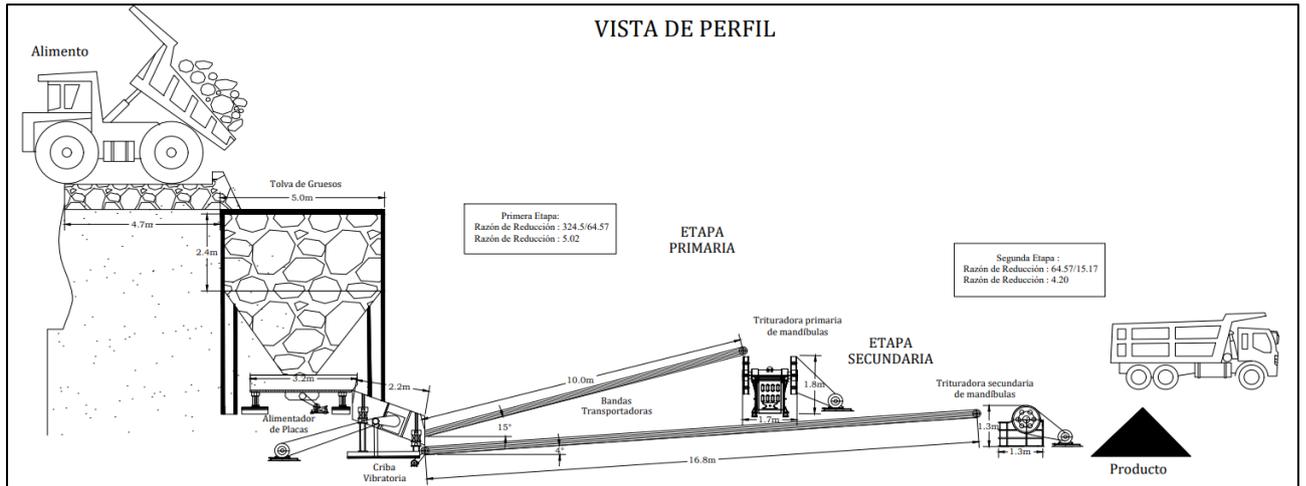
### Evaluación Económica

La depreciación de los equipos se la realizó por un tiempo de vida de 10 años debido a que el desgaste no producirá netamente en la infraestructura de la maquinaria sino en los revestimientos, mallas, material de la banda, entre otros. Para el presente estudio, además de los equipos, se depreció los liners de las trituradoras a un tiempo de 6 meses debido a las características del material y al régimen de pequeña minera. El costo energético asciende a \$ 746.20 debido a que se calculó teóricamente y se consideró 0.09 ctv. precio actual del kWh, en base a los motores de cada equipo y con un factor nominal de eficiencia del 70%.

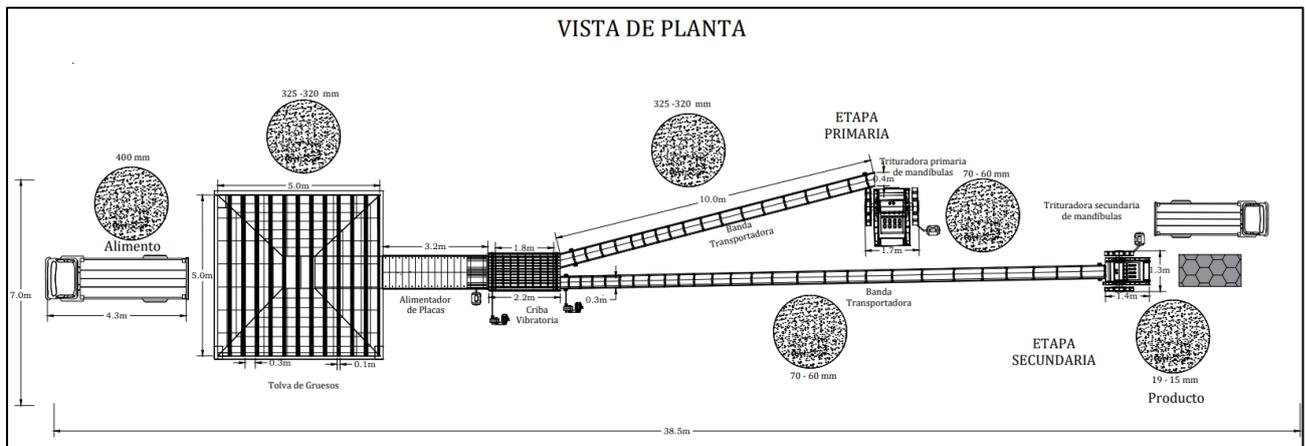
**Tabla 45** Evaluación Económica del Circuito de Trituración a Implementar en las Operaciones de la Planta de Beneficio León

<b>Evaluación Económica del Circuito de Trituración a Implementar en las Operaciones de la Planta de Beneficio León</b>				
<b>Equipos del Proceso de Trituración</b>				
<b>Nombre del Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Tolva de Gruesos	1	Elaborada en Acero al Manganeso (Ensamblada en Ecuador)	865.00	865.00
Alimentador de Placas	1	Modelo GBH100-1.6, capacidad 22m <sup>3</sup> /h	3.500.00	3.500.00
Criba Vibratoria	1	Marca ZGN, Modelo 2YS1237	7.800.00	7.800.00
Banda Transportadora N°3 10 m	1	Marca ZGN, Modelo N°3	3.100.00	3.100.00
Trituradora de Mandíbulas Primaria	1	Marca ZGN, Modelo PE400*600	10.000.00	10.000.00
Banda Transportadora N°6 17 m	1	Marca ZGN, Modelo N°6	3.900.00	3.900.00
Trituradora de Mandíbulas Secundaria	1	Marca ZGN, Modelo PEX250*400	10.300.00	10.300.00
		Costo total del envío a Guayaquil Ecuador		12,200.00
		<b>Subtotal</b>		51665.00
<b>Motores para los equipos del Proceso de Trituración</b>				
Motor	2	Marca WEG trifásico 1750 rpm cerrado 15 HP 110/220 V	1.020	2.040
Motor	1	Marca WEG trifásico 1750 rpm cerrado 30 HP 110/220 V	2.975	2.975
Motor	1	Marca WEG trifásico 1730 rpm cerrado 1.5 HP 110/220 V	178.5	178.5
Motor	1	Marca WEG trifásico 1730 rpm cerrado 3 HP 110/220 V	467.5	467.5
		<b>Subtotal</b>		5837.50
<b>Repuestos para las Trituradoras</b>				
Forros Dentados	2	Forros hechos con acero al manganeso para la trituradora primaria	525.00	1050.00
Forros Dentados en forma de pico	2	Forros hechos con acero al manganeso para la trituradora secundaria	550.00	1100.00
		<b>Subtotal</b>		2150.00
		<b>Total</b>		59652.50

La evaluación económica a detalle se denota en el Anexo 29, el diagrama de flujo y el plano final de la propuesta del proceso de trituración a partir de los resultados obtenidos en el Software METSIM se especifican en los Anexos 30 y 31.



**Figura 65** Vista de Perfil Propuesta del Proceso de Trituración aplicado en la Operaciones de la Planta de Beneficio “León”



**Figura 66** Vista de Planta Propuesta del Proceso de Trituración aplicado en la Operaciones de la Planta de Beneficio “León”

La evaluación económica a detalle se denota en el Anexo 29, el diagrama de flujo y el plano final de la propuesta del proceso de trituración a partir de los resultados obtenidos en el Software METSIM se especifican en los Anexos 30 y 31

## 7. Discusión

El propósito de esta discusión es establecer fundamentos teóricos que permitan comparar los resultados obtenidos en la presente investigación, la cual está inmersa en utilizar alternativas prácticas que permitan mejorar la eficiencia del proceso de trituración, empezado desde la caracterización del material y culminando con la interpretación de los resultados obtenidos mediante la simulación en el Software METSIM, dicho programa fue seleccionado en base a los resultados que ofrece en cuanto a las curvas granulométricas y el control de la carga circulante, ya que realiza simulaciones tanto estáticas como dinámicas. A comparación con otros softwares de simulación de Plantas de Procesamiento de Minerales, cuya interfaz solo permite simulaciones estáticas y no proporcionan control de la carga circulante en los circuitos cerrados.

De acuerdo con Escobar y Patiño (2010), en su trabajo investigativo titulado “Estudio Geológico y Plan de Seguridad Minera, en el Área Minera Bomba Pacchapamba Unificada, Empresa Minera Excelmoro S.A Cantón Portovelo, Provincia de El Oro”, infieren que la caracterización mineralógica de las vetas presentes en el área está constituida por minerales de cuarzo, calcita, esfalerita, calcopirita, pirita, arsenopirita, galena y oro. La roca de caja presentó una densidad  $2.6 \text{ gr/cm}^3$ , una resistencia de 110 MPa (coeficiente de fortaleza 11). De manera semejante la roca del presente estudio perteneciente a la sociedad Minera la Ponderosa que es cotitular minero del área minera Bomba de Pacchapamba Unificada, la cual fue caracterizada a partir del stock de la Planta de Beneficio “León”, presentó adicionalmente mineral de arcilla (caolinita) y propiedades físico-mecánicas similares, clasificando la roca como altamente resistente.

La máquina de los ángeles es utilizada para medir la abrasión en materiales áridos y pétreos, sin embargo, METSO (2008) en su manual de “Trituración y Cribado”, realizó ensayos con la misma máquina para materiales de minería metálica con la finalidad de planificar el proceso de trituración y estimar la vida útil de las piezas de desgaste. En cambio, Heino (2011) en su libro “Rock Excavation Handbook”, estableció valores comunes del índice de abrasividad Cerchar para varios tipos de roca, como se denota en la tabla 46, el valor para la Andesita está en un rango desde 1.8-3.5. En base a lo anteriormente mencionado, la abrasión se la determinó mediante el uso de la máquina de los Ángeles y se correlacionó con los valores bibliográficos del índice de CAI y RAI, dando como resultado un valor dentro de los rangos establecidos por Heino, catalogándola como una roca muy abrasiva.

**Tabla 46** Valores típicos del Índice de Abrasividad CERCHAR (CAI) para algunos tipos de rocas ígneas

<b>CERCHAR Abrasivity Index CAI for some common rock types</b>	
<b>Rock Type</b>	<b>CAI</b>
Basalt	1.7-5.2
Andesite	1.8 – 3.5
Granite	3.7 – 6.2

*Nota. Obtenido de* Heinio (2011)

El índice de trabajo calculado para trituración, se lo estimó multiplicando un factor de disminución del 20%, en razón de que el wi proporcionado fue para molienda. Según el Portal Minero (2006) en su libro “Manual General de Minería y Metalurgia”, brindó algunos valores referenciales del índice de trabajo de Bond en trituración para diferentes tipos de roca. En contraste con lo anteriormente mencionado, al aplicar el factor de disminución, el resultado del wi tuvo un valor similar al valor bibliográfico proporcionado en la siguiente tabla:

**Tabla 47** Valores obtenidos del índice de trabajo de Bond para el proceso de trituración

<b>Trituración /Índice de trabajo de Bond</b>	
<b>Sólidos</b>	<b>Wi (kWh/ton corta)</b>
Andesita	18.25
Baritina	7.73
Basalto	17.10
Caliza	12.74

*Nota. Obtenido de* Portal Minero (2006)

Las trituradoras de mandíbulas de 320 x 400 mm, que operan actualmente en la Planta de Beneficio “León”, teóricamente pueden trabajar con un caudal de 51.4 toneladas por hora, con una razón de reducción de 4:1 considerando el tamaño máximo de alimentación, a una potencia de 19.53 kW sin considerar el factor de seguridad para trituradora de mandíbulas de 2. Los forros de la trituradora son de tipo dentados y para el cambio de los mismos, no se encuentra implícito un tiempo establecido. Sumergiéndose a la realidad, las trituradoras solo operan para una capacidad de 10 toneladas al día con un motor ajustado de 10 HP (7.45 kW) y su razón de reducción es de 5:1.

La tasa de reducción global calculada es de 20, por lo que la trituración debería estar dividida en dos etapas, trituración primaria y trituración secundaria, las cuales están constituidas por trituradoras de mandíbulas debido a las características del mineral, además se evaluó la implementación de forros dentados y el cambio de los mismos que, deberán ser cada 6 meses.

El análisis económico indica que el costo total del circuito actual de trituración de la Planta de Beneficio “León”, calculado de manera teórica en base a la cantidad de trituradoras de mandíbulas marca CMI y a sus motores marca WEG de 10 HP, es de \$ 44,851.00, considerando un costo unitario de energía de \$451.00. En contraste, el costo total asociado con la implementación a futuro de nuevo circuito de trituración asciende a \$ 59,652.50 con una diferencia de \$14801.50.

Conforme lo establece Pastor (2022), en su proyecto investigativo titulado “Optimización del Proceso de Conminución en la Planta de Beneficio PROMINE, Camilo Ponce Enríquez – Azuay”, el uso de softwares de simulación de los procesos de conminución, son una herramienta informática que permiten mejorar los procesos de fragmentación a través del control de las variables operacionales. Otros autores como Nassi y Chanduví (2022), en su proyecto denominado “Modelamiento y Simulación del proceso de recuperación de oro bajo el entorno de METSIM de la Unidad Minera Inmaculada- Ayacucho”; señalaron que, mediante el modelado matemático y la simulación del proceso de beneficio para la recuperación de oro, los resultados brindados por el software METSIM se aproximan considerablemente a la realidad en términos de distribución granulométrica y balances de masas.

Del mismo modo Bustamante Rúa et al., (2016), en su artículo científico cuyo tema es “Simulación de Plantas de Procesamiento de Minerales a través de MODSIM”, establecen que el problema principal al cual las plantas de tratamiento y beneficio de minerales está ligado a la falta de eficiencia de cada uno de los equipos que integran el proceso de conminución; y se debe en gran parte a la toma de decisiones incorrectas al momento de diseñar la planta. Por otro lado, infieren que el uso de herramientas como el software MODSIM adquiere un alto grado de importancia para dar solución a los problemas de eficiencia y operación, además se estima, antes de la implementación de la planta, si los circuitos de trituración y molienda son eficientes en el cálculo de balances de masa, distribución granulométrica, grado de reducción y control de la carga circulante.

El presente proyecto investigativo, incluye el uso de herramientas de apoyo como el Software METSIM, que permite evaluar la eficiencia del circuito de trituración antes de su ejecución. Además, establece la correcta aplicación de equipos de cribado los cuales están netamente ligados al control de carga circulante y, por otra parte, se asume que el uso de dichos Softwares se convierte en una alternativa para enfatizar el uso nuevas tecnologías en la ingeniería y automatización.

## 8. Conclusiones

1. La roca de estudio fue clasificada como ígnea extrusiva, con el nombre de Andesita, sus propiedades físicas son: Densidad de  $2.96 \text{ gr/cm}^3$ , un bajo contenido de humedad de 1.51% y geomecánicamente catalogada como altamente resistente, valorada con un coeficiente de fortaleza de 10 según la escala de Protodyakonov y clasificada como una roca muy abrasiva. Además, se obtuvo un índice de Bond para trituración de 18 kWh/ton aproximadamente.
2. La caracterización mineralógica reveló que el material de estudio contiene minerales de cuarzo, clinocloro, calcita, moscovita, gypsu, anhidrita, caolinita, calcopirita y pirita. La sección pulida utilizada para minerales opacos mostró asociaciones minerales de pirita, galena, esfalerita, arsenopirita y oro en pequeñas trazas visible a  $18\mu\text{m}$ , infiriendo que se trata de un depósito de baja sulfuración. Las leyes estimadas son de 0.65 gr/ton de Au y 0.8 gr/ton de Ag.
3. El proceso de trituración inicia con el acondicionamiento del material mediante el uso de un combo para aquel material que supere el tamaño de 30 cm. Las trituradoras trabajan de manera intermitente con un motor de 10HP y una capacidad de  $\pm 10$  toneladas al día con un grado de reducción de 5:1 sin considerar el tamaño máximo de alimentación teórico de las trituradoras.
4. El consumo energético se considera como un consumo integral de la operación de la planta de beneficio estimado un costo aproximado mensual del proceso de trituración de \$451.
5. Se determinó que la tasa de reducción global es de 20, definida por dos etapas de trituración (ajustado a 5:1 para la primaria y 4:1 para la secundaria). Se evaluó la implementación de un circuito abierto, debido a la carga circulante (213%) que se produjo al implementar una criba terciaria y un circuito cerrado en la segunda etapa de trituración.
6. Los equipos implícitos considerados para la automatización del circuito de trituración a implementar son: Una tolva de gruesos de 150 ton/día, un alimentador de placas con una capacidad de 61.34 ton/h y una potencia de 2.2 kW. Como equipo clasificador secundario, se propuso la implementación de una criba vibratoria con una malla rectangular de 70 x 210 mm y una potencia de 11 kW. Finalmente se evaluó la implementación de 2 bandas transportadoras con una potencia de 1.5 HP.

7. Se consideró la implementación de una trituradora de mandíbulas tipo Blake tanto para la primera etapa como para la segunda etapa, ambas de marca ZGN, el modelo de la primaria es una PE 400x600 con un set ajustado de 70 mm, potencia de 15 HP y forros dentados ondulados de acero al manganeso. La trituradora secundaria es un modelo PEX 250x400 con un set ajustado a 17 mm, potencia de 30 HP y forros dentados en forma de pico de acero al manganeso. Los P80 obtenidos en las corrientes, 9 (trituration primaria) y 11 (trituration secundaria) son: 64.6 mm y 15.2 mm respectivamente.
8. El costo total estimado de los equipos evaluados para la implementación del circuito de trituración a futuro en la Planta de Beneficio “León”, es de 59652.5 USD y el consumo energético calculado teóricamente asciende a \$ 746.20.

## **9. Recomendaciones**

1. La caracterización del mineral es importante para la selección de los equipos de trituración, abarcar la utilización de otro tipo de equipos como son las trituradoras de conos y de impactos en base a la mineralogía, abrasión, fortaleza e índice de bond, garantiza un mejor rendimiento del proceso de trituración.
2. En el diseño y construcción de plantas de beneficios la data establecida en la presente investigación.
3. Se recomienda la aplicación de softwares de simulación y nuevas tecnologías en la definición de los procesos de molienda, cianuración y flotación, así como procesos de automatización y control.
4. Evaluar la implementación de un circuito cerrado configurando las variables tecnológicas de las cribas y trituradoras, para reducir la carga circulante en el proceso de trituración primaria a secundaria.

## 10. Bibliografía

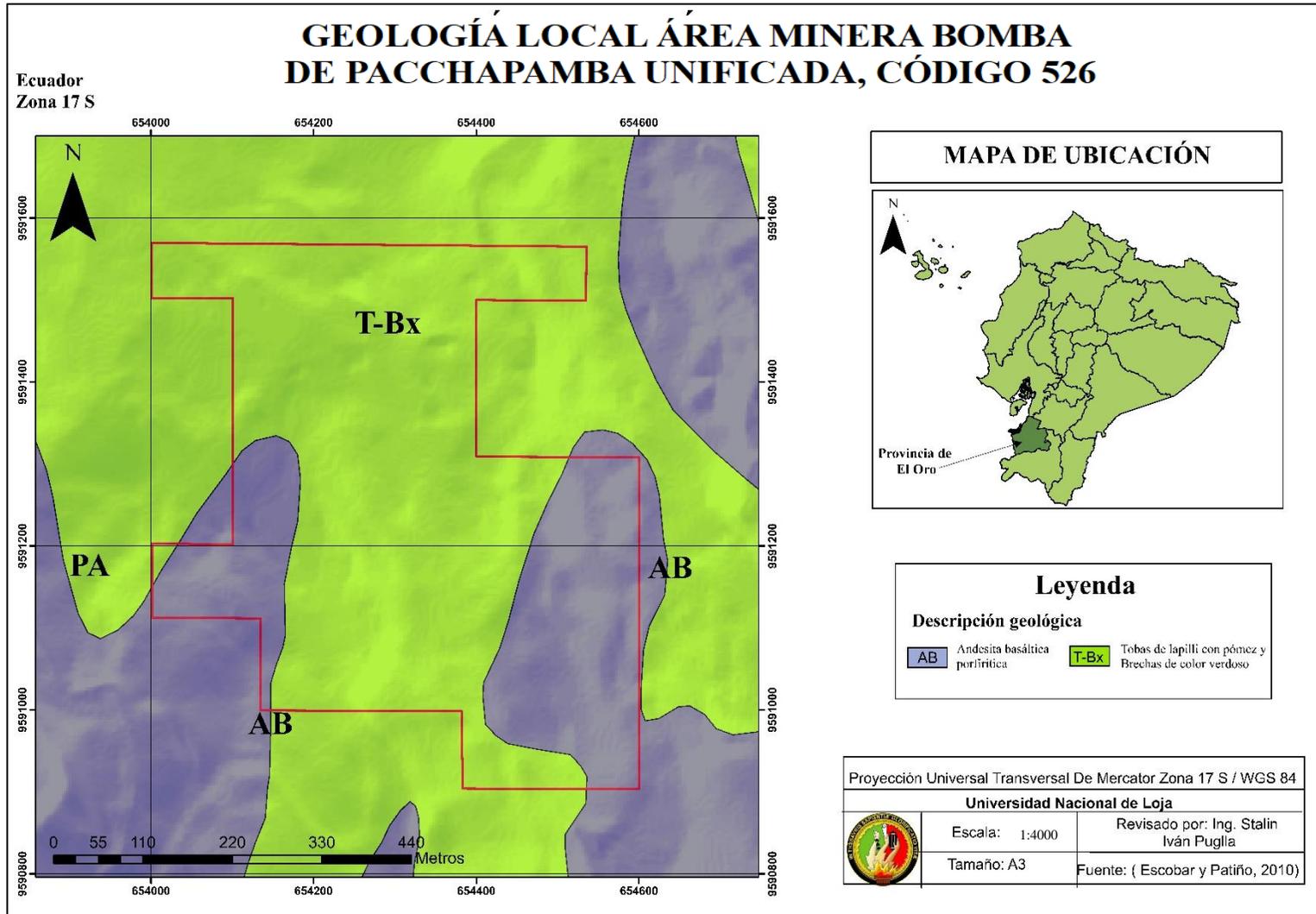
- Apaza, L. (2017). *Ensayo de Abrasión de los Ángeles*.
- Betancourth, D. G., Fernando Gómez Químico, J. C., César Mosquera Físico, J., auxiliar, P., & Tirado -Mejía Física, L. (2010). *Análisis por Difracción de rayos X de Rocas provenientes de Región Esmeraldífera*. *Scientia et Technica Año XVI*, 44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4587146>
- Blanco, E. (2014). *Introducción a la Mineralurgia* (Vol. 1).
- Bonilla, R. (2009). *Tesis Metalogenia del distrito minero Zaruma-Portovelo república del ecuador*. Universidad de Buenos Aires.
- Borselli, L. (2023). *Geotecnia*. [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)
- Bustamante Rúa, M. O., Daza Aragón, A. J., Bustamante Baena, P., & Barros Daza, M. J. (2016). *Simulación de plantas de procesamiento de minerales a través de MODSIM®*. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 39, 33–37. <https://doi.org/10.15446/rbct.n39.50451>
- Calviño, C. (2009, April 16). *Trituración del Mineral*. <https://www.monografias.com/trabajos69/trituracion-mineral/trituracion-mineral>
- Correa Álvaro, & Rueda Jorge. (2022). *Estudio de la abrasividad de las rocas y su incidencia en la perforación y consumo de brocas*.
- Daswell. (s.f.). *Trituradora de Impacto de Alta Calidad | DASWELL*. Retrieved May 15, 2024, from <https://daswell.com/es/crusher-machine/impact-crusher/>
- Delaune, E., & Costa, D. (2021). *Boletín del Sector Minero*.
- Delgadillo, J. (2024). *Cálculos de Balances de Masa*.
- Delgado, S., Calleja, L., Rodríguez, R., Setien, A., & Argandoña, V. (2016). *Revisión crítica de los ensayos de abrasividad en las rocas y su influencia en las características petrográficas*.
- Encalada. (2023). *Desarrollo de software académico para simulación de procesos metalúrgicos*. *Escuela Politécnica Nacional*
- Escobar, J., & Patiño, Y. (2010). *Estudio geológico y plan de seguridad, en el área bomba de Pacchapamba Unificada, cantón Portovelo, Provincia de El Oro*.
- Flórez, A. (2019). *Procedimiento para la preparación de muestras de suelos por cuarteo* [https://www.academia.edu/39737666/PROCEDIMIENTOS\\_PARA\\_LA\\_PREPARACION\\_DE\\_MUESTRAS\\_DE\\_SUELOS\\_POR\\_CUARTEO](https://www.academia.edu/39737666/PROCEDIMIENTOS_PARA_LA_PREPARACION_DE_MUESTRAS_DE_SUELOS_POR_CUARTEO)
- Gad Municipal del Cantón Portovelo. (2023). *GAD MUNICIPAL PORTOVELO*.

- Heinio, M. (2011). *Rock Excavation Handbbook*.
- INGEMMET. (2013). *Ensayo al Fuego*.
- INIGEMM. (2013). Hoja geológica Zaruma - escala 1 100.000. In 2013.
- Jacome, H. (2014). *Mejoramiento de control para el funcionamiento de los motores de la trituradora de piedra marca MINYU con potencia de 500 kW localizada en la ciudad de Chaguarpamba, Provincia de Loja*.
- Jinpeg. (2024). *Alimentador de Placas*.
- Lambert, A. (2006). *Manual de Muestreo Para la Exploración, Minería Subterránea y Rajo Abierto*. 59.
- López, A., & Casado, L. (2007). *Selección práctica y aplicaciones de los equipos de trituración (Vol.1)*
- METSIM. (2024, 9 julio). *Download - METSIM*. <https://metsim.com/resources/>
- METSIM INTERNATIONAL. (2024). Value Functions and Molecular Weights [Software]. En *Apéndice 3* (2024.04).
- Metson Corporation. (2011). *Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales* (Corporación Metso, Ed.; 1st ed.).
- Metson Minerals. (2008). *Manual de Trituración y Cribado* (Corporación Metso, Ed.; 3rd ed.).  
[https://www.academia.edu/26051679/Manual\\_de\\_Trituraci%C3%B3n\\_y\\_Cribado](https://www.academia.edu/26051679/Manual_de_Trituraci%C3%B3n_y_Cribado)
- Minusio. (2019). *Informe geológico, geotécnico e hidrogeológico*.  
[https://andeslab.org/iba/iba-15-05-2019/A-Informes/03\\_6198.1-R-03-Informegeolgico\\_VP15.05.2019.pdf](https://andeslab.org/iba/iba-15-05-2019/A-Informes/03_6198.1-R-03-Informegeolgico_VP15.05.2019.pdf)
- Montero, R. G. A. (2009). *METSIM el simulador de procesos de metalurgia extractiva*
- Ortiz, I. (2005). *Atlas Ilustrado de los Minerales* (1st ed.). Suaeta.
- Pástor, C. (2022). *Optimización del proceso de conminución en la planta de beneficio PROMINE, Camilo Pince Enríquez-Azuay*.
- Portal Minero. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*.
- Riera, D. (2022). *Determinación del Índice de Moliendabilidad en materiales metálicos y no metálicos mediante la implementación de un molino de Bond*.
- Rolando, I., Maita, R., Franco, M., Alumnos, F., Arroyo, Mejía, M., Romel -Ávila, R., Kevin, H., Herrera, A.-A., Galindo, K. A.-G., Galindo, A. K.-G., & Kelly, A. (2016). *UNIVERSIDAD PERUANA UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES LOS ANDES*.  
<https://es.scribd.com/document/317981375/Trituradora-de-Impacto-Dinamica>

- Sánchez, N., Calleja, L., Rodríguez, A., Setien, A., & V.G, de A. (2019). *Revisión crítica de los ensayos de abrasividad en las rocas y de la influencia de las características petrográficas.*
- Siuce, R. (2016). *Diseño de Tolvas.*
- Stalin Pilatasig. (s.f.). *Laminas delgadas.*
- Universidad de Granada. (2010, febrero 13). *Propiedades de las Rocas de Construcción y Ornamentación.*
- Universidad Politécnica de Cartagena. (s.f). *Cribado*
- Universidad Politécnica de Cartagena. (2011). *Tecnología Mineralurgia.*
- Yepes, V. (2022). *Capacidad de producción de una machacadora de mandíbulas. Fórmula de Gieskieng.* <https://victoryepes.blogs.upv.es/2022/12/01/capacidad-de-produccion-de-una-machacadora-de-mandibulas-formula-de-gieskieng/>
- ZGN. (2024). *Cotización Equipos de Trituración.*

## 11. Anexos

**Anexo 1** Mapa geológico local del Área Minera Bomba de Pacchapamba Unificada, código 526.



**Anexo 2 Cálculo del volumen del STOCK para realizar la campaña de muestreo**

VOLUMEN REAL DE LA ZONA DE STOCK		
FOTOGRAFÍA		
	<b>Datos</b> Diámetro: 4.1 m Radio: 2.05 m Ángulo de fricción: 40°	<b>Volumen</b> $Volumen = \frac{H}{4} * \frac{\pi}{4} * D^2$ $Volumen = \frac{1.72}{4} * \frac{\pi}{4} * 4.1m^2$ $Volumen = 5.68m^3$
	<b>Altura:</b> $H = Tan(\beta) * R$ $H = Tan(40) * 2.05 m$ $H = 1.72 m$	<b>Tonelaje</b> $Q = 5.68m^3 * 2.96 \frac{Ton}{m^3}$ $Q = 16.8 Ton$ $Q Total = 16.8 Ton * 5 conos$ $Q Total = 84 Ton$
		

Anexo 3 Cálculo de la Razón de Reducción para las etapas de Trituración.

RAZÓN DE REDUCCIÓN	
<b>Datos</b>	
Tamaño máximo de alimentación: 320 mm (12. 6in)	
Tamaño deseado: 19 mm (¾ in)	
Procedimiento	
<b>Grado de reducción</b>	<b>Propuesta 1</b>
$i = \frac{F80}{P80} = \frac{320mm}{19mm} = 16.81 \approx 17$	$\text{Razón de reducción}_{Total} = \sqrt{16.81}$ $\text{Razón de reducción}_{Total} = 4.1 \approx 4$ $\text{Razón de reducción}_{Total} = 4 * 4 = 16$ <p>No cumple con la razón de reducción</p>
	<b>Etapas</b>
	Primaria: Razón de reducción 4: 1 Secundaria: Razón de reducción 4:1
<b>Propuesta 2</b>	$\text{Razón de reducción}_{Total} = R_1 * R_2$ $\text{Razón de reducción}_{Total} = 5 * 4$ $\text{Razón de reducción}_{Total} = 20 \approx 2 \text{ etapas}$
	<b>Etapas</b>
	Primaria: Razón de reducción 5:1 Secundaria: Razón de reducción 4:1
	<b>Tamaño de Pasante en la primera etapa</b>
	$Feed = 322 \text{ mm}$ $Razón de reducción = 5$ $Producto = \frac{Feed}{Razón de Reducción} = \frac{320mm}{5}$ $Producto = 64 \text{ mm}$
	<b>Tamaño de Pasante en la segunda etapa</b>
	$Feed = 64 \text{ mm}$ $Razón de reducción = 4$ $Producto = \frac{Feed}{Razón de Reducción} = \frac{64 \text{ mm}}{4}$ $Producto = 16 \text{ mm}$
<b>Nota:</b>	Se trabajo con la propuesta 2 a razón de que se necesita sobrestimar dichos cálculos para evitar problemas a futuro en el grado de reducción.

**Anexo 4** Cálculo para el dimensionamiento de la Tolva de Gruesos para la Planta de Beneficio “León”

<b>CÁLCULO DE TOLVA DE GRUESOS PARA LA PLANTA DE BENEFICIO “LEÓN”</b>	
<b>Datos:</b> Capacidad de tolva húmedo= 150 ton/día Densidad= 2.96 ton/m <sup>3</sup> Contenido de humedad = 1.51 % Angulo de reposo del material= 35° Factor de espacios vacíos= 0.4 Tamaño máximo de alimentación= 400mm*0.8= 320 mm	<b>Lados de la tolva:</b> A= 5 B= 5 C= 2.4 D= 1 E= 1 H= 2.7
<b>Desidad Corregida</b>	<b>Volumen de la tolva húmedo</b>
$\rho_c = (1 - f_{ev}) * \rho$ $\rho_c = (1 - 0.4) * 2.96$ $\rho_c = 1.78 \text{ ton/m}^3$	$V = \frac{\text{Tonelaje}}{\text{Densidad Corregida}}$ $V = \frac{150 \text{ ton}}{1.78 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}$ $V = 84.45 \approx 85 \text{ m}^3$
<b>Inclinación de la Tolva</b>	<b>Contenido Seco</b>
$\beta = \alpha + 15$ $\beta = 40 + 15$ $\beta = 55^\circ$	$\text{Contenido Seco} = 100\% - \text{Cotenido H.}$ $\text{Contenido Seco} = 100\% - 1.51\%$ $\text{Contenido Seco} = 98.49 \approx 0.9848$
<b>Toneladas Secas</b>	<b>Volumen tolva en Seco</b>
$\text{Toneladas Secas} = \text{Ton Húmedas} * \text{ConSeco}$ $\text{Toneladas Secas} = 150 * 0.9849$ $\text{Toneladas Secas} = 147.74 \text{ ton}$	$V = \frac{\text{Tonelaje}}{\text{Densidad Corregida}}$ $V = \frac{147.74 \text{ ton}}{1.78 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}$ $V = 83.18$
<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>
$\text{Área}_1 = A * B$ $\text{Área} = 5 * 5$ $\text{Área} = 25 \text{ m}^2$	$\text{Área}_2 = D * E$ $\text{Área}_2 = 1 * 1$ $\text{Área}_2 = 1 \text{ m}^2$
<b>Volumen 1</b>	<b>Volumen 2</b>
$\text{Volumen}_1 = A * B * C$ $\text{Volumen}_1 = 5 * 5 * 2.4$ $\text{Volumen}_1 = 60 \text{ m}^3$	$\text{Volumen}_2 = \frac{1}{3} (H(A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2}))$ $\text{Volumen}_2 = 27.9 \text{ m}^3$ $\text{Volumen}_{total} = 88 \text{ m}^3$

<b>Cálculo de los Barrotos</b>	
<p style="text-align: center;"><b>Porcentaje del Área abierta</b></p> $A_0 = \left( \frac{L_A}{L_A + D_w} \right)^2 * 100$ <p>Donde:</p> <p><math>A_0 =</math> Área abierta entre barrotos</p> <p><math>L_A =</math> Distancia entre barrenos</p> <p><math>D_w =</math> Espesor de los barrenos</p>	$A_0 = \left( \frac{320}{320 + 10} \right)^2 * 100$ $A_0 = 94.031 \%$

**Anexo 5** Cálculo para la estimación de la Capacidad del Alimentador de Placas

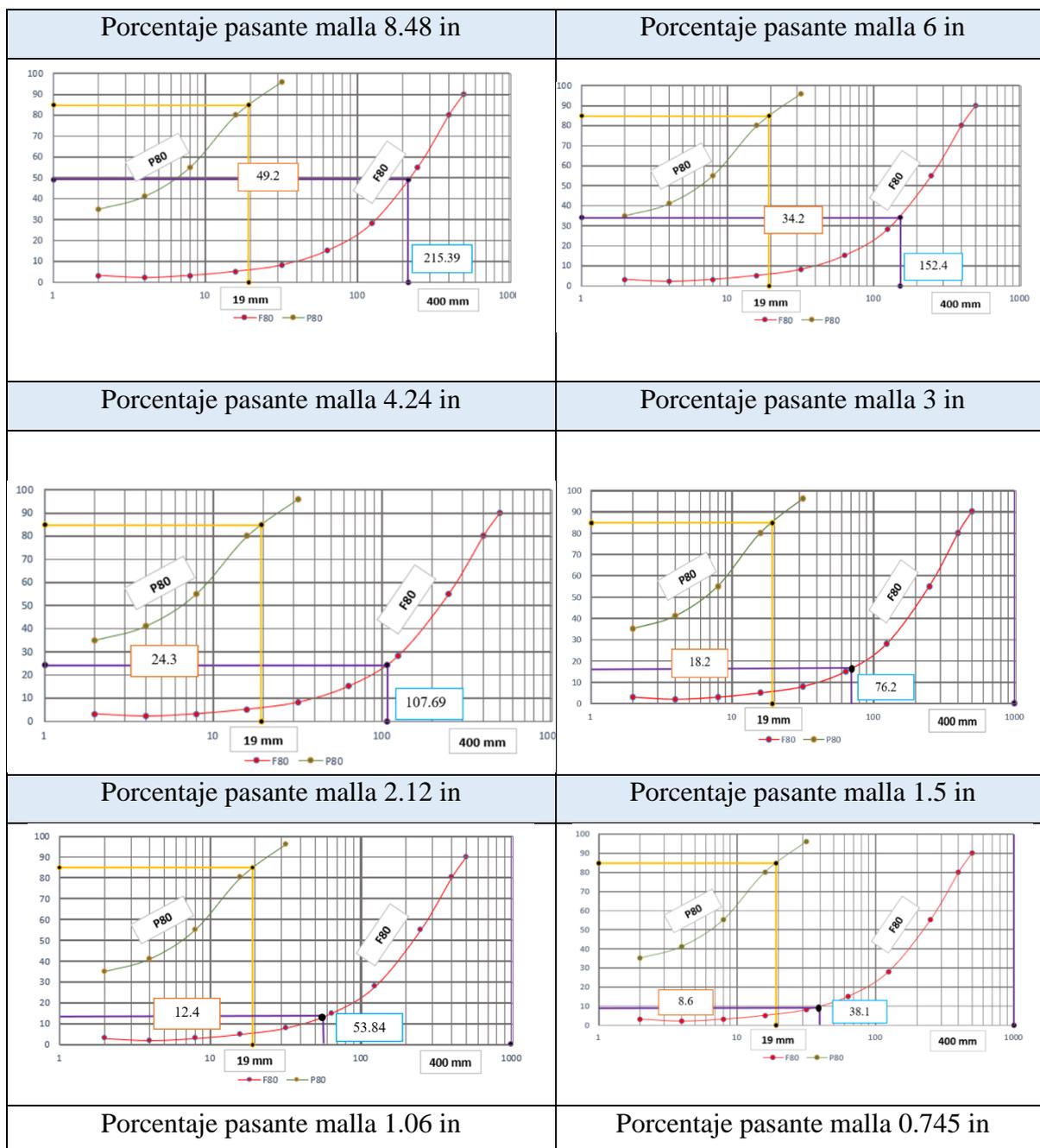
<b>Ensayo: Densidad Aparente</b>					
COD	W. seco	W. saturado	W. sumergido	$p_w$	Densidad Aparente
M-01	180.05 gr	182.11 gr	114.18 gr	$0.9986 \frac{gr}{cm^3}$	$2.65 \frac{gr}{cm^3}$
M-02	312.38gr	314.73gr	202.06gr	$0.9986 \frac{gr}{cm^3}$	$2.77 \frac{gr}{cm^3}$
M-03	180.09 gr	181.11gr	123.32gr	$0.9986 \frac{gr}{cm^3}$	$3.20 \frac{gr}{cm^3}$
<b>Promedio</b>					$2.87 \frac{gr}{cm^3}$

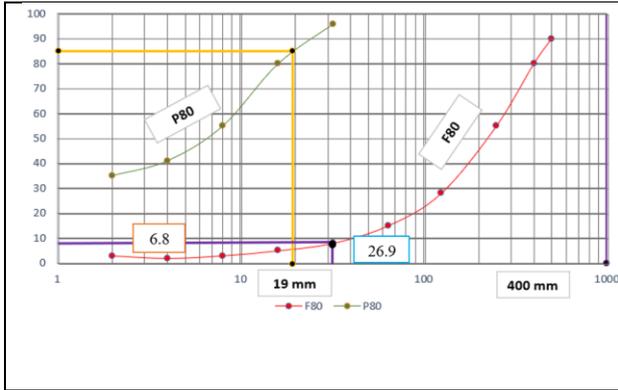
<b>Cálculo para la estimación de la capacidad del Alimentador</b>	
<p><b>Capacidad de Alimentación</b></p> $Q = 60B * D * \rho_s * v * \varphi$ <p><math>B = 1</math> m</p> <p><math>D = 0.2</math> m (promedio)</p> <p><math>\rho_s = 2.87</math> Ton/m<sup>3</sup></p> <p><math>v = 1</math> m/ min</p> <p><math>\varphi = 0.6</math></p>	$Q = 60B * D * \rho_s * v * \varphi$ $Q = 60(1) * 0.2 * 2.87 * 1 * 0.6$ $Q = 61.34 \frac{Ton}{h}$ $Q = 21.6 \approx 22 \frac{m^3}{h}$

<b>Factor de tamaño de acuerdo a METSOM MINERALS (2008)</b>	
Para arena	1
Roca triturada hasta 6"	0.8 – 0.9
Tamaños superiores a 6"	0.6

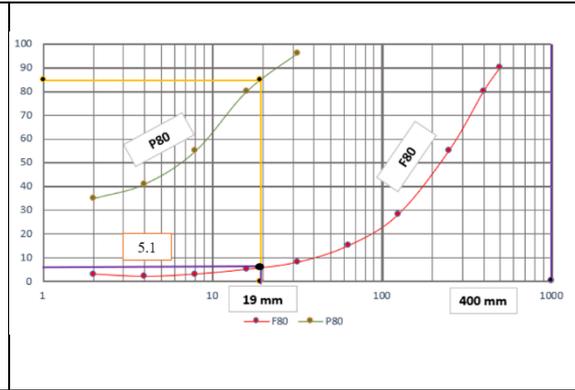
Velocidad de la cadena m/min	Anchura de la cadena							
	750 mm		1000mm		1200mm		1500mm	
	t/h	m3/h	t/h	m3/h	t/h	m3/h	t/h	m3/h
1	29.77	18.58	62.23	38.73	64.97	40.55	98.34	61.2
2	49.14	30.72	86.2	53.7	93.37	58.26	128.71	80.24
3	64	40	107	67	150	93	240	150
5	107	67	178	111	248	155	400	250

**Anexo 6** Estimación del porcentaje pasante de las mallas implementadas em el Software METSIM

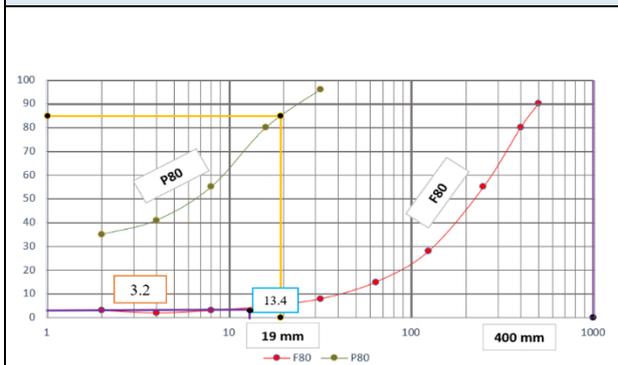




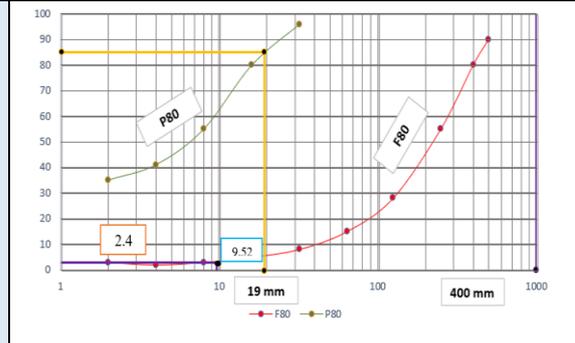
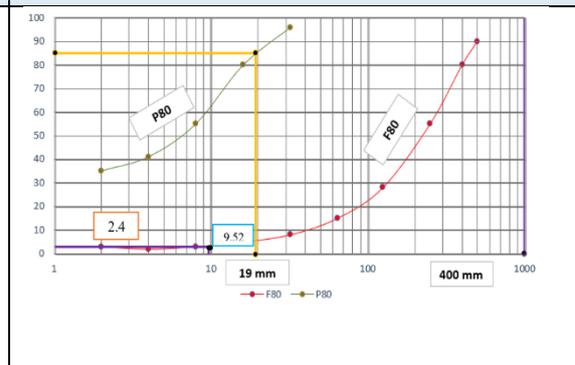
Porcentaje pasante malla 0.53 in



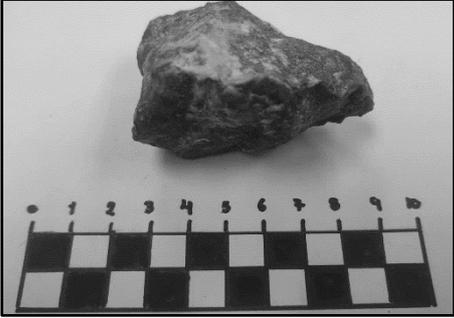
Porcentaje pasante malla 0.375 in

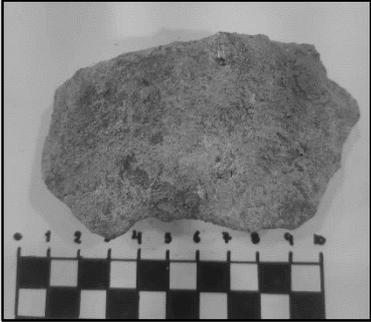


Porcentaje pasante malla 0.265 in



**Anexo 7 Cálculos para la obtención de las propiedades físico- mecánicas**

<b>MUESTRA # 1</b>	
<b>FOTOGRAFÍA</b>	<b>DATOS</b>
	$W_{\text{mineral}} : 181.53 \text{ gr}$ $W_{\text{seco}} : 180.05 \text{ gr}$ $W_{\text{saturada}} : 182.11 \text{ gr}$ $W_{\text{sumergido}} : 114.18 \text{ gr}$
	$W_1 : 167.39 \text{ gr}$ $W_2 : 147.87 \text{ gr}$ $\rho_w : 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $W_{\text{pulverizado}} : 30 \text{ gr}$
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
<b>Densidad Aparente</b>	<b>Densidad Real</b>
$\rho_a = \frac{W_{\text{seco}}}{W_{\text{saturada}} - W_{\text{sumergido}}} * \rho_w$ $\rho_a = \frac{180.05}{182.11 \text{ gr} - 114.18 \text{ gr}} * 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $\rho_a = 2.65 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$	$\rho_r = \frac{W_{\text{pulverizada}}}{W_2 + W_{\text{pulverizada}} - W_1} * \rho_w$ $\rho_r = \frac{30 \text{ gr}}{147.87 \text{ gr} + 30 \text{ gr} - 167.39 \text{ gr}} * 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $\rho_r = 2.86 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Porosidad</b>
$w = \frac{W_{\text{mineral}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{mineral}}} * 100$ $w = \frac{181.53 \text{ gr} - 180.05 \text{ gr}}{181.53 \text{ gr}} * 100$ $w = 0.81\%$	$n = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) * 100$ $n = \left(1 - \frac{2.65}{2.86}\right) * 100$ $n = 7.34\%$

MUESTRA # 2	
FOTOGRAFÍA	DATOS
	$W_{\text{mineral}} : 317.35 \text{ gr}$ $W_{\text{seco}} : 312.38 \text{ gr}$ $W_{\text{saturada}} : 314.73 \text{ gr}$ $W_{\text{sumergido}} : 202.06 \text{ gr}$
	$W_1 : 167.28 \text{ gr}$ $W_2 : 147.87 \text{ gr}$ $\rho_w : 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $W_{\text{pulverizado}} : 30 \text{ gr}$
PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad Aparente	Densidad Real
$\rho_a = \frac{W_{\text{seco}}}{W_{\text{saturada}} - W_{\text{sumergido}}} * \rho_w$ $\rho_a = \frac{312.38 \text{ gr}}{314.73 \text{ gr} - 202.06 \text{ gr}} * 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $\rho_a = 2.77 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$	$\rho_r = \frac{W_{\text{pulverizada}}}{W_2 + W_{\text{pulverizada}} - W_1} * \rho_w$ $\rho_r = \frac{30 \text{ gr}}{147.87 \text{ gr} + 30 \text{ gr} - 167.28 \text{ gr}} * 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $\rho_r = 2.83 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$
Contenido de Humedad	Porosidad
$w = \frac{W_{\text{mineral}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{mineral}}} * 100$ $w = \frac{317.35 - 312.38 \text{ gr}}{317.35 \text{ gr}} * 100$ $w = 1.56\%$	$n = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) * 100$ $n = \left(1 - \frac{2.77}{2.83}\right) * 100$ $n = 2.12\%$

MUESTRA # 3		
FOTOGRAFÍA	DATOS	
	$W_{\text{mineral}} : 181.12 \text{ gr}$ $W_{\text{seco}} : 180.09 \text{ gr}$ $W_{\text{saturada}} : 181.11 \text{ gr}$ $W_{\text{sumergido}} : 123.32 \text{ gr}$	$W_1 : 168.52 \text{ gr}$ $W_2 : 147.87 \text{ gr}$ $\rho_W : 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $W_{\text{pulverizado}} : 30 \text{ gr}$
PROPIEDADES FÍSICAS		
Desidad Aparente	Densidad Real	
$\rho_a = \frac{W_{\text{seco}}}{W_{\text{saturada}} - W_{\text{sumergido}}} * \rho_W$ $\rho_a = \frac{180.09 \text{ gr}}{181.11 \text{ gr} - 123.32} * 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $\rho_a = 3.11 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$	$\rho_r = \frac{W_{\text{pulverizada}}}{W_2 + W_{\text{pulverizada}} - W_1} * \rho_W$ $\rho_r = \frac{30 \text{ gr}}{147.87 \text{ gr} + 30 \text{ gr} - 168.52 \text{ gr}} * 0.9986 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $\rho_r = 3.20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$	
Contenido de Humedad	Porosidad	
$w = \frac{W_{\text{mineral}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{mineral}}} * 100$ $w = \frac{181.12 - 180.09 \text{ gr}}{181.12 \text{ gr}} * 100$ $w = 0.57 \%$	$n = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) * 100$ $n = \left(1 - \frac{3.11}{3.20}\right) * 100$ $n = 2.81 \%$	

**PROPIEDADES MECÁNICAS: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**

**MUESTRA # 1**



**Datos:**

**Lado 1:** 49.53 mm

**Lado 2:** 48.94 mm

**Lado 3:** 49.25 mm

**Peso:** 305.12 gr

**Fuerza:** 190.7 kN

**Área:** 2042mm<sup>2</sup>

$$\sigma_c = \frac{Ft \text{ (kN)}}{A(\text{cm}^2)} = \text{MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{190.7 \text{ kN}}{2.42 \text{ cm}^2} = \text{MPa}$$

**$\sigma_c = 78.79\text{MPa}$**

**MUESTRA # 2**



**Datos:**

**Lado 1:** 49.4 mm

**Lado 2:** 49.18 mm

**Lado 3:** 48.75 mm

**Peso:** 319.13 gr

**Fuerza:** 198.4 kN

**Área:** 2043mm<sup>2</sup>

$$\sigma_c = \frac{Ft \text{ (kN)}}{A(\text{cm}^2)} = \text{MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{198.4 \text{ kN}}{2.43 \text{ cm}^2} = \text{MPa}$$

**$\sigma_c = 81.60\text{MPa}$**

**MUESTRA # 3**



**Datos:**

**Lado 1:** 49.67 mm

**Lado 2:** 49.53 mm

**Lado 3:** 49.91 mm

**Peso:** 329.49 gr

**Fuerza:** 319.1 kN

**Área:** 2054mm<sup>2</sup>

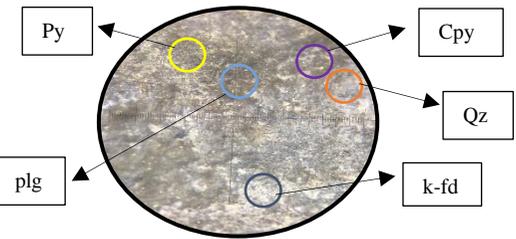
$$\sigma_c = \frac{Ft \text{ (kN)}}{A(\text{cm}^2)} = \text{MPa}$$

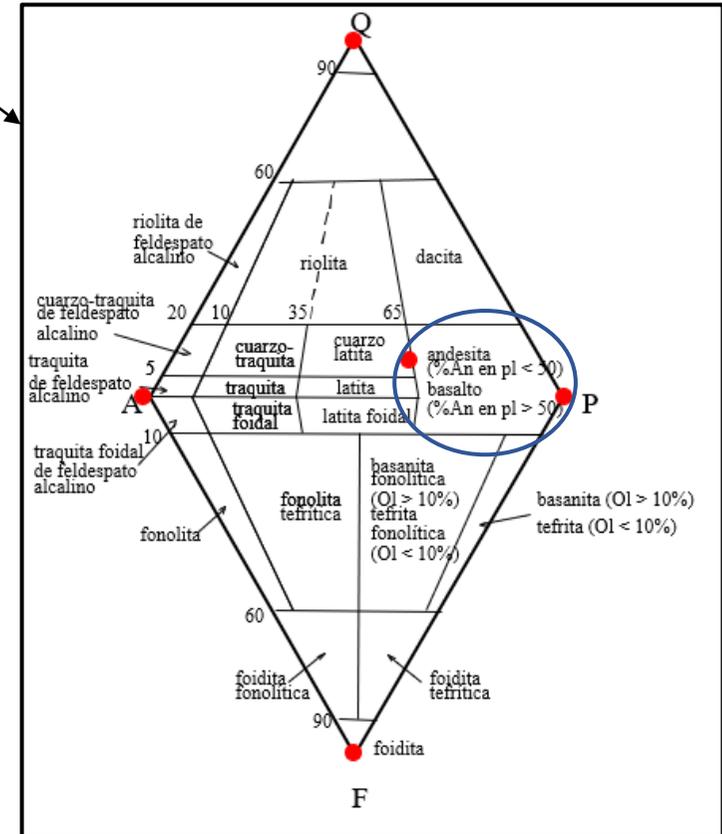
$$\sigma_c = \frac{329.49 \text{ kN}}{2.54 \text{ cm}^2} = \text{MPa}$$

**$\sigma_c = 129.70\text{MPa}$**

Anexo 8 Ficha técnica de M-01 del material de la Sociedad Minera la Ponderosa

DIAGRAMA DE STRECKEINSEN

 Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Minerales no Renovables Carrera de Ingeniería en Minas 			
DATOS GENERALES			
Nº FICHA	#1	TIPO DE MUESTRA	Mineralógica
RESPONSABLE	Laura Jiménez	LUGAR	Laboratorio de Mineralógica de la UNL
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	UBICACIÓN	Planta de Beneficio "León"	
	SOCIEDAD MINERA	Minera la Ponderosa	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA			
Fotografía Macroscópica		TIPO DE ANÁLISIS	Binocular
		COLOR	Gris Verdoso Oscuro
		TEXTURA	Afanítica
		ESTRUCTURA	-----
COMPOSICIÓN			
Minerales Principales		Fotografía Microscópica	
Nombre	Porcentaje		
Cuarzo (Qz)	10		
Feldespatos (k-fd)	30		
Plagioclasas (plg)	55		
Minerales Secundarios			
Nombre	Porcentaje		
Galena (gn)	-		
Biotita (bio)	-		
Pirita (py)	1%		
Calcopirita (cpy)	4%		
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		
REACCIÓN EN FRÍO	Con el Ácido Clorhídrico		
NOMBRE DE LA ROCA	Andesita		
CONCLUSIONES	Por medio del diagrama STRECKEINSEN, al considerar los porcentajes de minerales principales, se llegó a la conclusión de que la roca es de tipo Andesita. Además, según la descripción geológica de la región, las andesitas son comunes.		



Reacción al ácido clorhídrico

Anexo 9 Ficha técnica de M-02 del material de la Sociedad Minera la Ponderosa

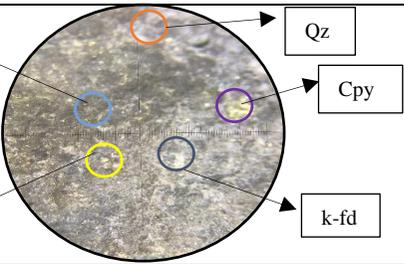
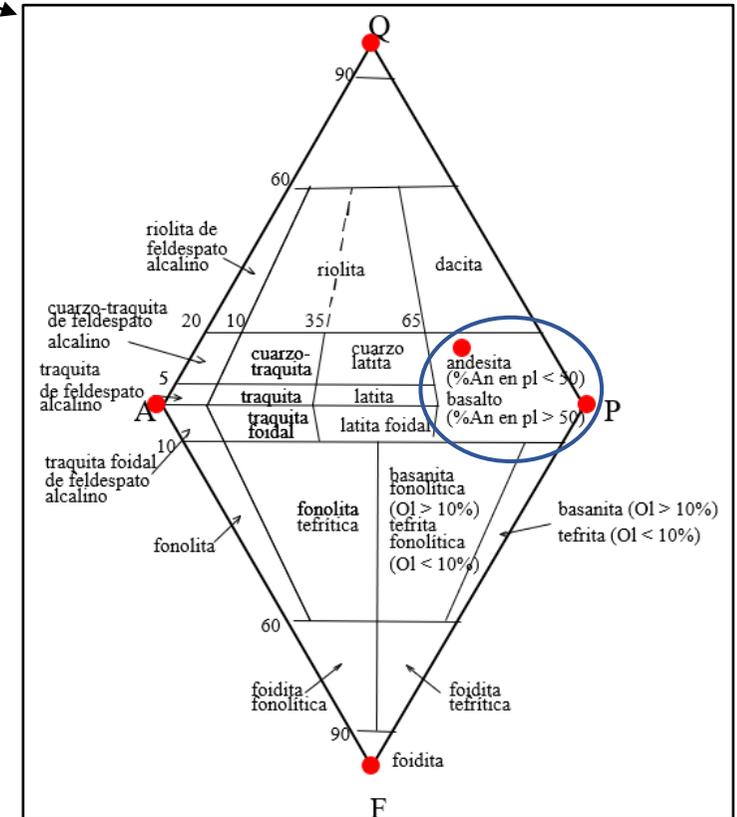
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Minerales no Renovables		Carrera de Ingeniería en Minas	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Nº FICHA	#1	TIPO DE MUESTRA	Mineralógica	CÓDIGO	001
RESPONSABLE	Laura Jiménez		LUGAR	Laboratorio de Mineralógica de la UNL	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	UBICACIÓN	Planta de Beneficio "León"			
	SOCIEDAD MINERA	Minera la Ponderosa			
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>					
<b>Fotografía Macroscópica</b>		TIPO DE ANÁLISIS	Binocular		
		COLOR	Gris Verdoso Oscuro		
		TEXTURA	Afanítica		
		ESTRUCTURA	-----		
<b>COMPOSICIÓN</b>					
<b>Minerales Principales</b>		<b>Fotografía Microscópica</b> 			
Nombre	Porcentaje				
Cuarzo (Qz)	15				
Feldespatos (k-fd)	20				
Plagioclasas (plg)	60				
<b>Minerales Secundarios</b>					
Nombre	Porcentaje				
Galena (gn)	-				
Biotita (bio)	-				
Pirita (py)	3%				
Calcopirita (cpy)	2%				
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>				
REACCIÓN EN FRÍO	Con el Ácido Clorhídrico				
NOMBRE DE LA ROCA	Andesita				
CONCLUSIONES	Tras examinar los porcentajes de los minerales principales con la ayuda del diagrama STRECKEINSEN, se determinó que la roca corresponde a una Andesita. Además, la hoja de geología local señala la presencia habitual de este tipo de formaciones.				

DIAGRAMA DE STRECKEINSEN



**Anexo 10** Resultados de los análisis de Difracción de Rayos X para las muestras M-01 y M-02 pertenecientes de la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



**Resultados Análisis de Difracción de Rayos X**

Solicitante : Srta. Laura Aracely Jiménez.  
 No. Referencia : ST - 8747  
 Fecha : 07 - 05 - 2024  
 Muestras recibidas : Una muestra sólida denominada: Sociedad Minera La Poderosa. Planta de Beneficio León (Código registrado según cliente).  
 Ensayo 1 : M1.  
 Ensayo 2 : M2.

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en la muestra se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Mineral	Fórmula	Ensayo 1 Contenido (%)	Ensayo 2 Contenido (%)
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	40	40
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	16	16
Caolinita	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	15	15
Clinocloro	(Mg,Fe) <sub>2</sub> Al(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	9	10
Moscovita	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	7	6
Gypsum	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	4	4
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	4	3
Pirita	FeS <sub>2</sub>	3	4
Anhidrita	CaSO <sub>4</sub>	2	2

**NOTA:** El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida. Las muestras presentan material amorfo no identificado por esta técnica de análisis.

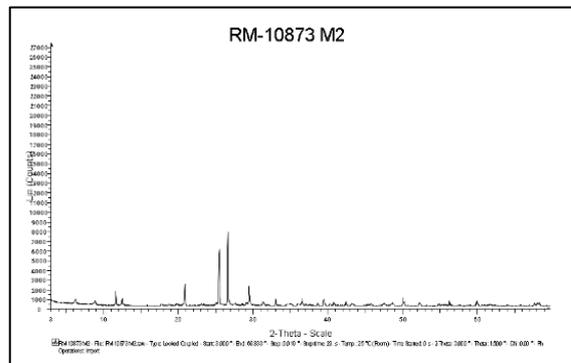
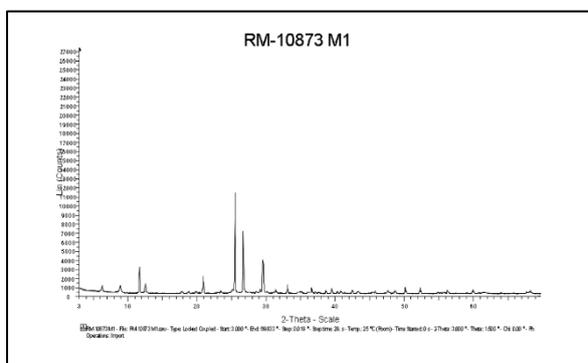


Ing. Diana Endara PhD.  
Jefa de Departamento



MSc. Evelyn Criollo  
Jefa de Laboratorio

Pasaje Andalucía 134 E12A y Mena Casmaño – Teléfono (593-2) 3 938 780 / 2 976 300 – Casilla 17-01-2759  
E-mail: [diana.endara@epn.edu.ec](mailto:diana.endara@epn.edu.ec) - Quito-Ecuador



**Anexo 11 Informe de los Resultados de los análisis de Láminas delgadas y Secciones Pulidas para las muestras M-01 y M-02 pertenecientes de la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada.**

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA		ANÁLISIS PETROGRÁFICO	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA			
<b>CÓDIGO:</b> M1 <b>Color:</b> Gris <b>Textura:</b> N/A <b>Estructura:</b> Masiva <b>Magnetismo:</b> No presenta <b>Observación:</b> La muestra exhibe una composición de cuarzo, plagioclasas y fragmentos de roca. No se reporta presencia de carbonatos según la prueba con ácido clorhídrico. La muestra contiene sulfuros metálicos como pirita y galena. Se observan varias familias de finas vetillas, algunas de cuarzo y otras de yeso y anhidrita. Además, la muestra presenta signos de silicificación que han afectado la matriz de la roca.		 Chip de lámina delgada	
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
<b>Míneral:</b> Cuarzo		%	6%
LUZ POLARIZADA PLANA		LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
<b>Color:</b> Incoloro <b>Pleocroísmo:</b> No presenta <b>Relieve:</b> Bajo <b>Forma:</b> Anhedrales		<b>Color de interferencia:</b> Grises de 1er orden <b>Birrefringencia:</b> Baja <b>Maclas/zonación:</b> No presenta <b>Angulo de extinción:</b> N/A	
<b>Clivaje:</b> No presenta <b>Observación:</b> Se presenta como fenocristales, en vetillas y como producto de la silicificación de la roca.			
<b>Míneral:</b> Plagioclasa		%	24%
LUZ POLARIZADA PLANA		LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
<b>Color:</b> Incoloro <b>Pleocroísmo:</b> No presenta <b>Relieve:</b> Bajo <b>Forma:</b> Subhedrales a euhedrales		<b>Color de interferencia:</b> Grises de 1er orden <b>Birrefringencia:</b> Baja <b>Maclas/zonación:</b> Polisintéticas y zonación. <b>Angulo de extinción:</b> N/A	
<b>Clivaje:</b> No presenta <b>Observación:</b> Se observan cristales alterándose a arcillas.			
<b>Míneral:</b> Lepidolita		%	traza
LUZ POLARIZADA PLANA		LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
<b>Color:</b> Incoloro <b>Pleocroísmo:</b> No presenta <b>Relieve:</b> Media <b>Forma:</b> Anhedrales. a subhedrales		<b>Color de interferencia:</b> 2do orden <b>Birrefringencia:</b> Media <b>Maclas/zonación:</b> No presenta <b>Angulo de extinción:</b> N/A	
<b>Clivaje:</b> No presenta <b>Observación:</b> Aparece en forma de micas, pero con colores de interferencia de segundo orden.			



Mineral: Opacos	%	7%
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
<b>Color:</b> Negro	<b>Color de interferencia:</b> N/a	
<b>Pleocroísmo:</b> N/a	<b>Birrefringencia:</b> N/a	
<b>Relieve:</b> N/a	<b>Maclas/zonación:</b> N/a	
<b>Forma:</b> Euhedrales	<b>Angulo de extinción:</b> N/a	
<b>Clivaje:</b> N/a		
<b>Observación:</b> Se los asocia directamente con los cristales de pirita observados en muestra de mano debido a su forma perfectamente cúbica.		

MATRIZ

Mineral: Plagioclasa	%	30%
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
<b>Color:</b> Incoloro	<b>Color de interferencia:</b> Grises de 1er orden	
<b>Pleocroísmo:</b> No presenta	<b>Birrefringencia:</b> Baja	
<b>Relieve:</b> Bajo	<b>Maclas/zonación:</b> No presenta	
<b>Forma:</b> Anhedrales a subhedrales	<b>Angulo de extinción:</b> N/A	
<b>Clivaje:</b> No presenta		
<b>Observación:</b> Aparecen en la matriz en forma de microcristales, aparecen junto al cuarzo. Parte de estos cristales se encuentran con bajo grado de alteración a arcillas y en algunos casos a micas.		

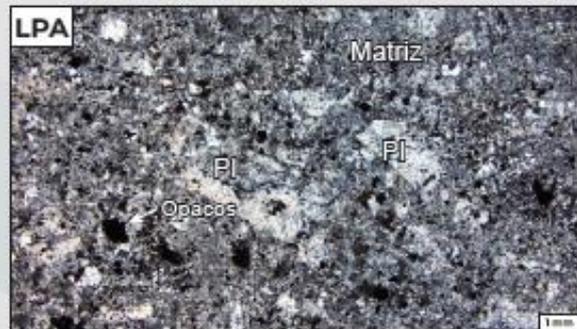
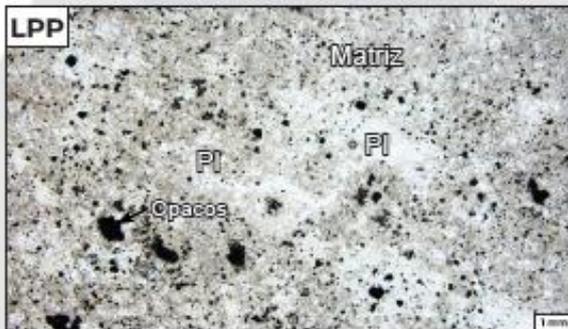
Mineral: Cuarzo	%	31%
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
<b>Color:</b> Incoloro	<b>Color de interferencia:</b> Grises de 1er orden	
<b>Pleocroísmo:</b> No presenta	<b>Birrefringencia:</b> Baja	
<b>Relieve:</b> Bajo	<b>Maclas/zonación:</b> No presenta	
<b>Forma:</b> Anhedrales	<b>Angulo de extinción:</b> N/A	
<b>Clivaje:</b> N/A		
<b>Observación:</b> Al igual que las plagioclasas aparecen en forma de microcristales <20 µm. Se sugiere que aparecen por silicificación, por lo cual el cuarzo presente en la muestra es de origen secundario.		

OTROS COMPONENTES

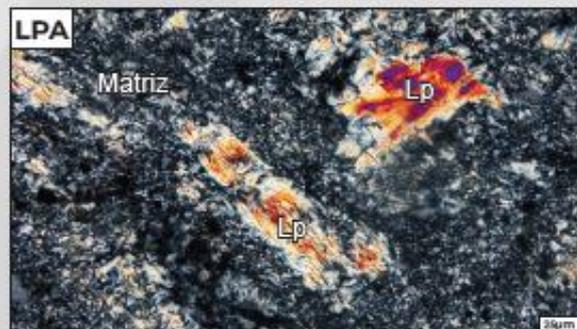
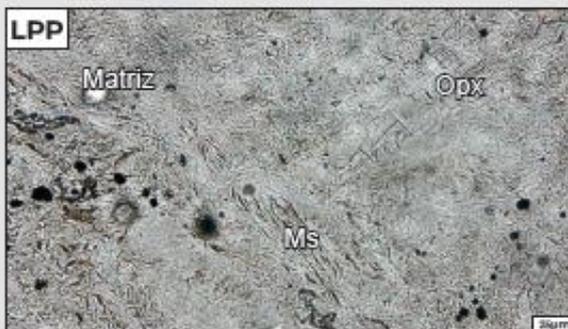
Mineral: Arcillas	%	Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
<b>Color:</b> Incoloro	<b>Color de interferencia:</b> 1er y 2do orden	
<b>Pleocroísmo:</b> No presenta	<b>Birrefringencia:</b> Baja a media.	
<b>Relieve:</b> Media	<b>Maclas/zonación:</b> No presenta	
<b>Forma:</b> Anhedrales.	<b>Angulo de extinción:</b> N/A	
<b>Clivaje:</b> No presenta		
<b>Observación:</b> Aparecen trazas de alteración de plagioclasas.		



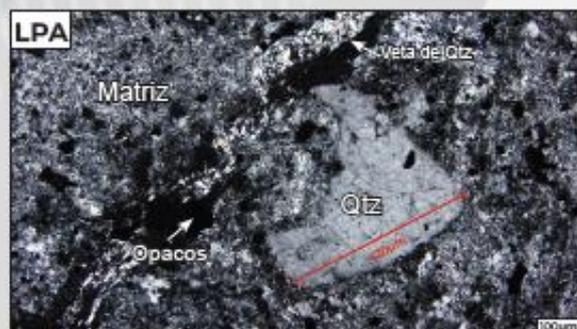
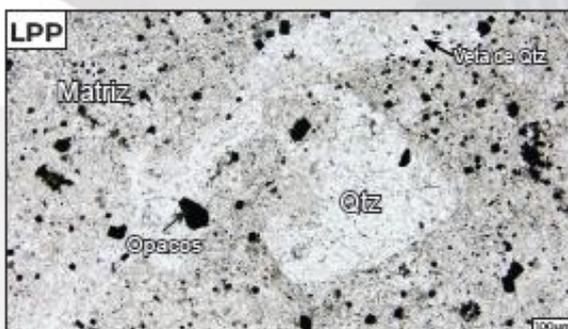
<b>Mineral:</b> Anhidrita	% 2%
<b>LUZ POLARIZADA PLANA</b>	<b>LUZ POLARIZADA ANALIZADA</b>
<b>Color:</b> Incoloro	<b>Color de interferencia:</b> 1er y 2do orden
<b>Pleocroísmo:</b> No presenta	<b>Birrefringencia:</b> Baja a media.
<b>Relieve:</b> Media - bajo	<b>Maclas/zonación:</b> No presenta
<b>Forma:</b> Anhedrales.	<b>Angulo de extinción:</b> N/A
<b>Clivaje:</b> Aproximadamente 90°.	
<b>Observación:</b> Aparecen en forma de finas vetillas, algunas mezcladas con cuarzo.	



**Descripción:** Se aprecia la textura generalizada de la roca. Se puede observar cristales anhedrales de plagioclasa rodeados por una matriz plagioclasa y cuarzo. EL cuarzo que aparece en la matriz es producto de la silificación de la roca.



**Descripción:** Se aprecian cristales mica (lepidolita) el cual conserva la clara exfoliación de de sus planos de clivaje. Estos cristales se encuentran rodeados por la matriz de la roca.



**Descripción:** Se aprecia un cristal de cuarzo rodeado por la matriz de la roca. Se observa una veta de cuarzo cortando la muestra y cristales opacos diseminados en toda la muestra.



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**CÓDIGO:** M2

**Color:** Blanco y gris

**Textura:** N/A

**Estructura:** Masiva

**Magnetismo:** No presenta

**Observación:** La muestra representa una fracción de una veta de cuarzo con finas láminas mineralizadas, donde se concentran minerales metálicos como la pirita. La mayor cantidad de pirita se encuentra en las zonas diseminadas que están silicificadas. En general, la muestra contiene sulfuros diseminados. La sección pulida de esta muestra fue realizada en la parte silicificada de color gris, ya que usualmente suelen tener el mayor contenido de mineralización.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Míneral: Pirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
<b>Forma:</b> Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	<b>Anisotropía:</b> Isotrópico
<b>Reflectancia:</b> Muy alta	<b>Reflecciones internas:</b> No presenta
<b>Color:</b> Blanco amarillento	<b>Maclas:</b> No presenta
<b>Bireflectancia:</b> No presenta	<b>Dureza:</b> Fuerte
<b>Pleocroísmo:</b> No presenta	
<b>Clivaje:</b> No presenta	
<b>Observación:</b> Se presentan diseminados en toda la muestra, presentan asociaciones directas con cristales de galena con lentes de x40 y x65.	

Míneral: Galena	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
<b>Forma:</b> Euhedrales	<b>Anisotropía:</b> Isotrópico
<b>Reflectancia:</b> Alta	<b>Reflecciones internas:</b> No presenta
<b>Color:</b> Gris	<b>Maclas:</b> No presenta
<b>Bireflectancia:</b> No presenta	<b>Dureza:</b> Suave
<b>Pleocroísmo:</b> No presenta	
<b>Clivaje:</b> No presenta.	
<b>Observación:</b> Se presentan asociados junto con la pirita a mayores aumentos. Debido a su tamaño no presentan su característico habido de hoyos triangulares.	

Míneral: Esfalerita	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
<b>Forma:</b> Anhedrales	<b>Anisotropía:</b> Isotrópico
<b>Reflectancia:</b> Baja	<b>Reflecciones internas:</b> Marrón, acarameladas
<b>Color:</b> Gris oscuro	<b>Maclas:</b> No presenta
<b>Bireflectancia:</b> No presenta	<b>Dureza:</b> Suave
<b>Pleocroísmo:</b> No presenta	
<b>Clivaje:</b> No presenta	
<b>Observación:</b> Son observables solo con lentes de x40 y x65. Presentan sus característicos reflejos internos acaramelados.	



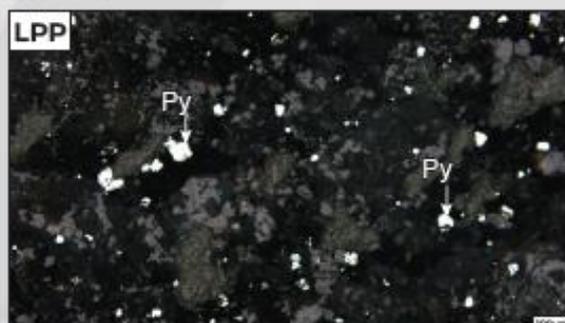
<b>Mineral:</b> Arsenopirita	<b>Concentración:</b> Baja
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
<b>Forma:</b> Euhedrales <b>Reflectancia:</b> Baja <b>Color:</b> Gris <b>Bireflectancia:</b> Si presenta <b>Pleocroísmo:</b> En tonos grises	<b>Anisotropía:</b> Fuerte <b>Reflecciones internas:</b> No presenta <b>Maclas:</b> Lamelares <b>Dureza:</b> Fuerte
<b>Clivaje:</b> No presenta	
<b>Observación:</b> Se presentan asociados junto con la pirita, presenta extinción al girar la platina.	

<b>Mineral:</b> Oro	<b>Concentración:</b> Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
<b>Forma:</b> Euhedrales <b>Reflectancia:</b> Muy alta <b>Color:</b> Amarillo intenso <b>Bireflectancia:</b> No presenta <b>Pleocroísmo:</b> No presenta	<b>Anisotropía:</b> Isotrópico <b>Reflecciones internas:</b> No presenta <b>Maclas:</b> No presenta <b>Dureza:</b> Suave
<b>Clivaje:</b> No presenta	
<b>Observación:</b> Son observables tamaños muy pequeños que solo pueden ser observados con lentes de x40 a x65. Se sugiere usar lentes y aceite de inmersión en conjunto para su visualización.	

MICROFOTOGRAFÍAS



**Descripción:** Se aprecian cristales de pirita diseminada en toda la muestra.



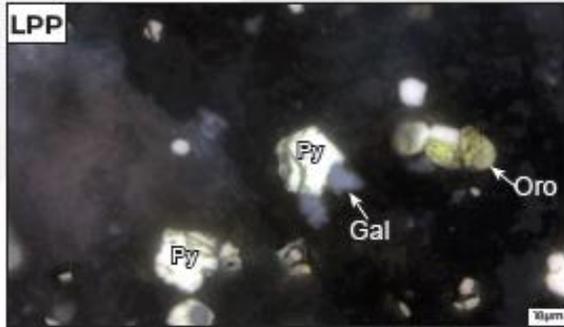
**Descripción:** Cristales de pirita. Algunos cristales presentan hábito perfectamente cúbico.



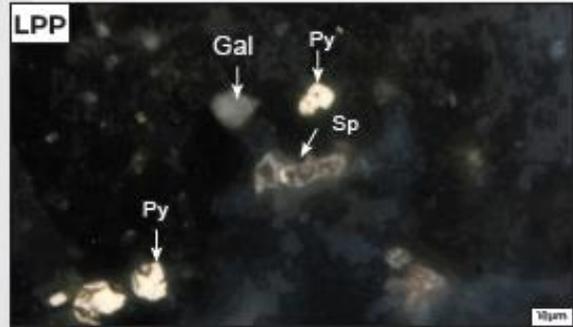
**Descripción:** Se aprecian cristales de oro y al centro un cristal de oro con alta reflectancia.



**Descripción:** Se observan asociaciones de pirita y arsenopirita. Se observa un pequeño cristal de galena y uno de oro con pirita.



**Descripción:** Se aprecia un cristal de oro junto a pirita. Aparece trazas de galena junto a un cristal de pirita.



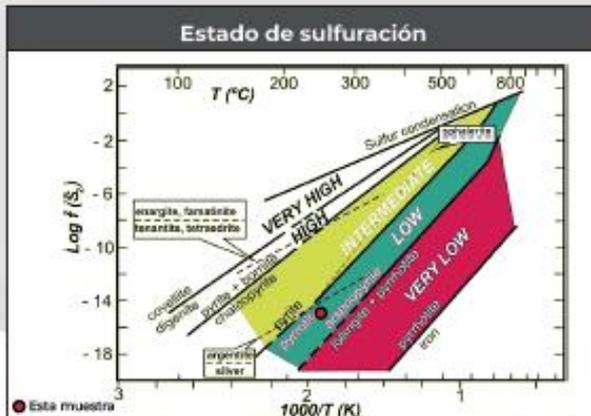
**Descripción:** Se aprecia un pequeño cristal de esfalerita con reflejos internos rojizos.



**Descripción:** Se observa un mezcla de cristales de pirita con arsenopirita.



**Descripción:** Se aprecian unas muy pequeñas trazas de oro y alrededor de cristales de arsenopirita, pirita y galena.



**Resumen**

El análisis de la sección pulida se evidenció presencia de varios minerales:

En base a las observaciones realizadas se pudo observar que la secuencia paragenética pasa desde cristales de esfalerita, pirita y galena, por lo cual se sugiere que se trata de un depósito de baja sulfuración.

Firma de elaboración



Elaborado por:

Mgs B. Stalin Pilatasig  
INGENIERO GEÓLOGO  
Analista de Laboratorios 2  
Fecha: 19 de junio de 2024

**Anexo 12** Informe de los *Resultados del Ensayo a Fuego* para la muestra M-1 de la Sociedad Minera la Poderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



**Resultados de análisis**

Solicitante : Laura Araceli Jiménez  
No. Referencia : ST - 8747  
Fecha : 10/05/2024  
Muestra recibida : Planta de Beneficio "León"  
Sociedad Minera la Poderosa  
Portovelo  
Método de análisis : Ensayo al fuego

**Resultados**

Código de la muestra	Oro (g/ton)	Plata (g/ton)
M1	0,4	0,8

Límite de detección oro (Au) = 0,1 g/ton  
Límite de detección plata (Ag) = 0,1 g/ton



Ing. Diana Endara D. PhD.  
Jefe de Departamento



MSc. Evelyn Criollo T.  
Jefe de Laboratorio

**Anexo 13** Informe de los Resultados del Ensayo de Abrasión en la máquina de los Ángeles para la muestra M-1 perteneciente a la Sociedad Minera la Ponderosa área minera Bomba de Pacchapamba Unificada



**ESTSUELCON CIA. LTDA.**  
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

**ENSAYO DE ABRASIÓN INEN 861**

<b>SIMULACION DEL PROCESO DE TRITURACION CON LA APLICACION DEL SOFTWARE METSIM EN LAS OPERACIONES DE LA PLANTA DE BENEFICIO LEON CON EL MATERIAL DE LA SOCIEDAD MINERA LA PONDEROSA, CODIGO 390190 PROVINCIA DEL ORO, CANTON PORTOVELO, SECTOR EL SALADO</b>			
PROYECTO:	MATERIAL DE LA SOCIEDAD MINERA LA PONDEROSA, CODIGO 390190 PROVINCIA DEL ORO, CANTON PORTOVELO, SECTOR EL SALADO		
OBRA:	ENSAYO MINERO METALURGICO	MUESTRA:	M1-ABRASIVIDAD
UBICACION:	SECTOR EL SALADO, CANTON PORTOVEL	PROF:	STOCK
FECHA:	ABRIL 2024	OPERADOR:	D.O.

**ENSAYO DE ABRASIÓN MÉTODO B**

TAMBE PASA	TAMBE REST.	MASA IN.	MASA FINAL	%
1 1/2"	1"	1,252.86		
1"	3/4"	1,251.42		
3/4"	1/2"	1,250.62		
1/2"	3/8"	1,250.38		
SUMA		5,005.28	3,121.00	37.65%
ESPECIF.:		50.00%	CUMPLE	SI

Numero de esferas:	11	Masa carga abrasiva	4,500.00 gr.
Porcentaje de Abrasion:			37.65 %

Valor de abrasión en % $V = (A - B) / Ax100$	Desgaste a la Abrasión Máximo Porcentaje 50%
---	---

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Verifique la autenticidad por:  
VULTAIRE OVIDIO  
CASTILLO JARAMILLO

Ing. Ovidio Castillo Jaramillo  
LABORATORIO

## Anexo 14 Informe de los Resultados del ensayo Índice de trabajo (Work Index Wi)



### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



#### Resultado de Análisis

<b>Solicitante</b>	:	Laura Aracely Jiménez
<b>No. Referencia</b>	:	ST- 8747
<b>Fecha</b>	:	05 - 06 – 2024
<b>Muestra Recibida</b>	:	Muestra sólida denominada: Sociedad Minera La Poderosa. Planta de Beneficio León.
<b>Método de análisis</b>	:	Determinación del índice de trabajo para molienda (Índice de Bond- Work Index- Wi)

Por solicitud de Laura Aracely Jiménez, el Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) realizó la determinación del Índice de trabajo (Work Index-Wi) de una muestra mineral. Estos ensayos se registraron con Solicitud de Trabajo ST-8747 y en el presente informe se reportan los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

#### Muestra recibida.

El DEMEX recibió una muestra mineral de 50 kg, la misma que a partir de este momento se la denominará "Sociedad Minera La Poderosa. Planta de Beneficio León" (nombre registrado según el cliente).

#### Preparación de la muestra.

La muestra "Sociedad Minera La Poderosa. Planta de Beneficio León", fue secada por 24 h a una temperatura inferior de 60°C, posteriormente fue sometida a un proceso de reducción de tamaño (en trituradora de mandíbula primaria y secundaria). Se trituró el material de manera que el 100% pasó la malla 6 (3350  $\mu\text{m}$ ). Luego, se pesaron 5 kg de material, se homogenizaron y cuartearon a fin de obtener porciones de 250 g aproximadamente.

#### Metodología

Se midió en una probeta 700  $\text{cm}^3$  de material. El peso de este volumen corresponde a la Carga Total (CT). Se seleccionó como tamiz de referencia el de malla 100 (150  $\mu\text{m}$ ) para la determinación del Wi, según el diagrama presentado en la Figura 1, el equipo utilizado se muestra en la Figura 2.

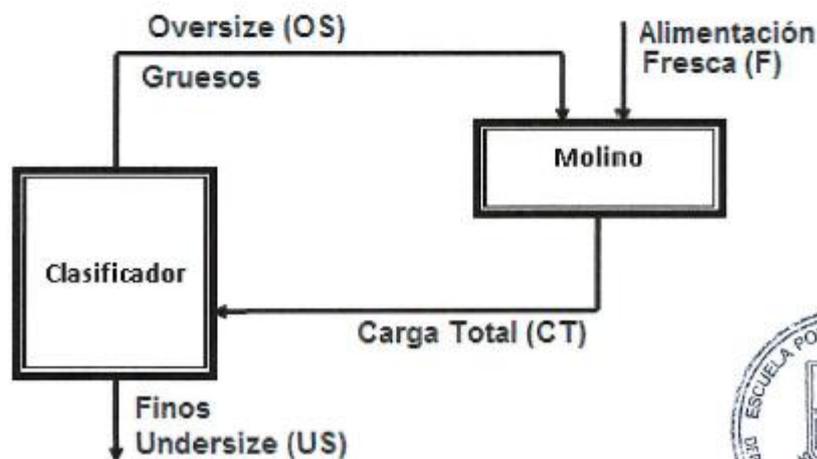


Figura 1. Diagrama del proceso utilizado





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



**Resultados**

Después de haber realizado los ensayos respectivos para la muestra "Sociedad Minera La Poderosa, Planta de Beneficio León" se determinó el siguiente valor del índice de trabajo (Work Index-Wi):

**Wi=22,47 (Kwh/ tonelada corta)**

La hoja de cálculos para la determinación de este valor se presenta como Anexo 3 de este informe.

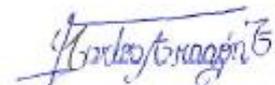
A pedido del cliente se presenta en el Anexo 4 un resumen de los modelos de conminución.

Con nuestros sentimientos de consideración y estima,

Atentamente,

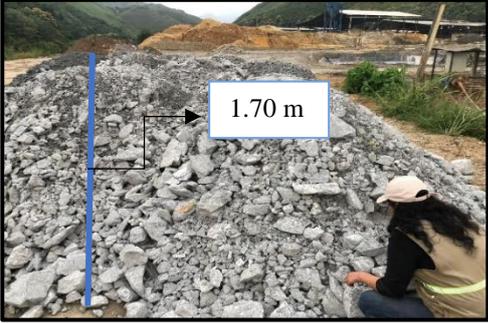
  
Ing. Diana Endara D. PhD.  
**Jefe de Departamento**



  
Ing. Carlos Aragón T. PhD.  
**Profesor Responsable**

  
MSc. Evelyn Criollo T.  
**Jefe de Laboratorio**

**Anexo 15** Cálculo del Volumen Proyectado de la Zona de Stock.

VOLUMEN PROYECTADO DE LA ZONA DE STOCK		
FOTOGRAFÍA	PROCEDIMIENTO	
	<b>Datos</b>	<b>Volumen</b>
	A: 10 m B: 15 m H: 1.7 m	$V = 10m * 15m * 1.7 m$ $V = 255 m^3$
	<b>Área:</b>	<b>Tonelaje</b>
	$Area = 5m * 15m$ $Area = 150 m^2$	$Q = 255m^3 * 2.96 \frac{Ton}{m^3}$ <b><math>Q = 754.80 Ton</math></b>
		

**Anexo 16** Ficha técnica equipos del proceso de trituración

		Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería de Minas			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS					
Nº FICHA	# 1	LUGAR	Planta de Beneficio León		
UBICACIÓN	Sector el Salado		RESPONSABLE	Laura Jiménez	
DESCRIPCIÓN GENERAL					
DATOS DEL EQUIPO	PROCESO			Trituración	
	NOMBRE DEL EQUIPO			Trituradora de mandíbulas tipo Blake	
FOTOGRAFÍA		<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	MARCA	CMI	
			CAPACIDAD	10 ton/ día	
			DIMENSIONES	320 mm * 400 mm -	
			Tamaño del producto	60 – 80 mm	



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Nº FICHA	# 2	LUGAR	Planta de Beneficio León	
UBICACIÓN	Sector el Salado		RESPONSABLE	Laura Jiménez
<b>DESCRIPCION GENERAL</b>				
<b>DATOS DEL EQUIPO</b>	PROCESO		<b>Trituración</b>	
	NOMBRE DEL EQUIPO		<b>Motor</b>	
FOTOGRAFÍA		<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	MARCA	WEG
			POTENCIA	10 HP
			SERIE	100856310



Anexo 17 Cálculo de las variables operacionales de la Trituradora de Mandíbulas

VARIABLES OPERACIONALES DE LA TRITURADORA DE MANDÍBULAS			
	<p><b><u>Diámetro máximo de alimentación</u></b></p>	$D_{\max}=0.8 \cdot B$ $D_{\max}=0.8 \cdot 32 \text{ cm}$ $D_{\max}=25.6 \text{ cm}$	
	<p><b><u>Grado de reducción.</u></b></p>	$i = \frac{F80}{P80}$ $i = \frac{30}{6}$ $i = 5$	$i = \frac{F80}{P80}$ $i = \frac{25.6}{6}$ $i = 4.2 \approx 4$
	<p><b><u>Relación de reducción</u></b></p>	<p>5: 1</p>	<p>4: 1</p>
VARIABLES TEÓRICAS PARA EL PROCESO DE TRITURACIÓN			
<p><b><u>Tonelaje (Q).</u></b> <b><u>Expresión Taggart</u></b></p>	$Q = 0.093 \cdot b \cdot d$ $Q = 0.093 \cdot 32 \text{ cm} \cdot 25.6 \text{ cm}$ $Q = 76.18 \text{ tph}$	<p><b><u>Tonelaje Real</u></b></p> $Tr = Q \cdot kc \cdot km \cdot kf$ $Tr = 76.18 \text{ TPH} \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot 0.75$ $Tr = 51.42 \text{ tph}$	
<p><b><u>Velocidad Angular</u></b></p>	$n = 665 \cdot \sqrt{\frac{tg(\alpha)}{3}}$	$n = 665 \cdot \sqrt{\frac{tg(22^\circ)}{6 \text{ cm}}}$ $n = 172.56 \text{ rpm}$	
<p><b><u>Potencia de Leweson</u></b></p>	$N = \frac{n \cdot b \cdot (D^2 - d^2)}{0.34} ; CV$	$= \frac{172.56 \text{ rpm} \cdot 0.32 \text{ m} \cdot ((0.25 \text{ m})^2 - (0.06 \text{ m})^2)}{0.34}$ $N = 9.57 CV \approx 7.14 \text{ kW}$	

<b>Energía de Bond</b>	$W_B = 10 * W_i \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$	$W_B = 10 * 17.98 \left( \frac{1}{\sqrt{60000}} - \frac{1}{\sqrt{256000}} \right)$ $W_B = 0.38 \text{ Kwh/ton}$
<b>Potencia absorbida:</b>	$N = W_B * Q; \text{ kw}$	$N = 19.53 \text{ kW}$

### Anexo 18 Cálculo del consumo energético del Área de Trituración

Consumo energético en el Área de trituración	
	Datos
	<p>Potencia: 10 HP</p> <p>Unidades: 5 Unidades</p> <p>Conversión: 1HP= 0.746 kW.</p> <p>Factor nominal = 70% ≈ 0.7</p> <p>Tiempo de uso: 8 horas/ diarias y 20 días/mes (capacidad máxima)</p> <p>Tiempo de uso: 8 horas/ diarias y 10 días/mes (capacidad mínima)</p> 
<b>Potencia del Motor en Kw</b>	<b>Ajuste por el factor nominal de la Planta</b>
$10 \text{ HP} = \frac{0.746 \text{ KW}}{1 \text{ HP}} = 7.46 \text{ Kw}$	$7.46 \text{ Kw} \times 0.7 = 5.219 \text{ Kw}$
<b>Consumo de energía para una trituradora</b>	<b>Consumo de energía en el proceso de trituración (Capacidad máxima)</b>
$\text{Consumo de energía} = 5.219 \text{ kw} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}}$ $\text{Consumo de energía} = 835.18 \text{ Kw}$	$\text{Consumo de energía} = 835.18 \text{ Kw} * 5 \text{ unidades}$ $\text{Consumo de energía} = 4175.90 \text{ Kw}$
<b>Consumo de energía para una trituradora</b>	<b>Consumo de energía en el proceso de trituración (Capacidad mínima)</b>
$\text{Consumo de energía} = 5.219 \text{ kw} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 10 \frac{\text{día}}{\text{mes}}$ $\text{Consumo de energía} = 417.59 \text{ Kw}$	$\text{Consumo de energía} = 417.52 \text{ Kw} * 2 \text{ unidades}$ $\text{Consumo de energía} = 835.18 \text{ Kw}$

<b>Consumo de energía en el proceso de trituración total:</b>	<p><i>Total: 4175.90 KW + 835.18 KW</i></p> <p><i>Total: 5011.10 Kw/ mes</i></p>

CÁLCULO DE CONSUMO ELÉCTRICO ÁREA TRITURACIÓN PLANTA DE BENEFICIO LEÓN						
	Carga	Potencia (kW)	Promedio horas de funcionamiento diarias	Consumo diario kW	Consumo mensual kW	Consumo anual kW
E T A P A 1	Equipo 1	5.21990	8	41.76	835.18	10,022.21
	Equipo 2	5.21990	8	41.76	835.18	10,022.21
	Equipo 3	5.21990	8	41.76	835.18	10,022.21
	Equipo 4	5.21990	8	41.76	835.18	10,022.21
	Equipo 5	5.21990	8	41.76	835.18	10,022.21
E T A P A 2	Equipo 1	5.21990	8	41.76	417.59	5,011.10
	Equipo 2	5.21990	8	41.76	417.59	5,011.10
TOTAL				292.31	5,011.10	60,133.25
Potencia Motriz		7.457 kW		Costo Total		
Eficiencia al 70%		0.7		Precio kWh	0.09\$	Factura kW
Etapa 1		20 días laborables		Días Facturados	30	Impuesto sobre Electricidad
Etapa 2		10 días laborables		Total		\$451.00

**Anexo 19** Descripción de las áreas complementarias posteriores al proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León”

DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS COMPLEMENTARIAS POSTERIORES AL PROCESO DE TRITURACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO “LEÓN”				
Tipo de Área	Área	Descripción	Coordenadas	Registro Fotográfico
Operativa	Molienda	El área de molienda, se encuentra distribuida para los 3 galpones de trituración y almacenamiento de material. Se encuentran instalados 3 molinos chilenos para el galpón 1, 2 molinos para el galpón 2 y finalmente 3 molinos chilenos para el ultimo galpón. Dando un total de 8 molinos chilenos de 3 ruedas.	X 650913.8	
			Y 9585881.9	
Operativa	Lixiviación	Esta área consta de 11 tanques de agitación con una capacidad promedio de 25m3, motores eléctricos marca WEG de 20 HP y bombas de agua eléctricas de 10 HP.	X 650899.7	
			Y 9585892.4	

Operativa	Desorción o Elución	En esta área están instaladas dos torres de acero inoxidable de 2 toneladas de capacidad.	X 650900.469	
			Y 9585902.352	
Operativa	Fundición – Refinación	Consta de un horno de fundición de 2 HP y una campana de refinación de 6 pulgadas de capacidad.	X 650900.469	
			Y 9585902.352	

	Relaves	La planta de beneficio “León”, tiene establecida un área para los relaves, la misma que está dividida en 3 piscinas de relaves para el material proveniente de la cianuración, con una capacidad promedio de 1000 m3 y 2 piscinas de relaves para el material del proceso de molienda, con capacidad promedio de 1150 m3. Dando un volumen total aproximado en material de relave de 5400 m3.	X 650839.877	
			Y 9585886.737	

**Anexo 20** Descripción de los procesos que se realizan en la Plata de Beneficio León

<b><u>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS QUE SE REALIZAN EN LA PLATA DE BENEFICIO LEÓN</u></b>				
Etapa	Proceso	Descripción	Registro Fotográfico	
Concentración gravimétrica	Molienda	El objetivo principal de esta etapa, es reducir el material proveniente de la fase de trituración hasta la malla 60 (equivalente a 250 micras). La alimentación de los molinos es manual y el proceso de molienda es por vía húmeda obteniéndose una pulpa. Adyacente a ellos, están construidos los canalones de 0.5 m de ancho y 6-10 m de largo con una inclinación de 8-10°, en los cuales se colocan bayetas de tela para recuperar gravimétricamente, partículas de oro libre seguidamente el material que no recupero por gravimetría se desplaza a los tanques de decantación cuya capacidad es de 10m3 con una inclinación 1-3°.	 Molinos de tres ruedas	

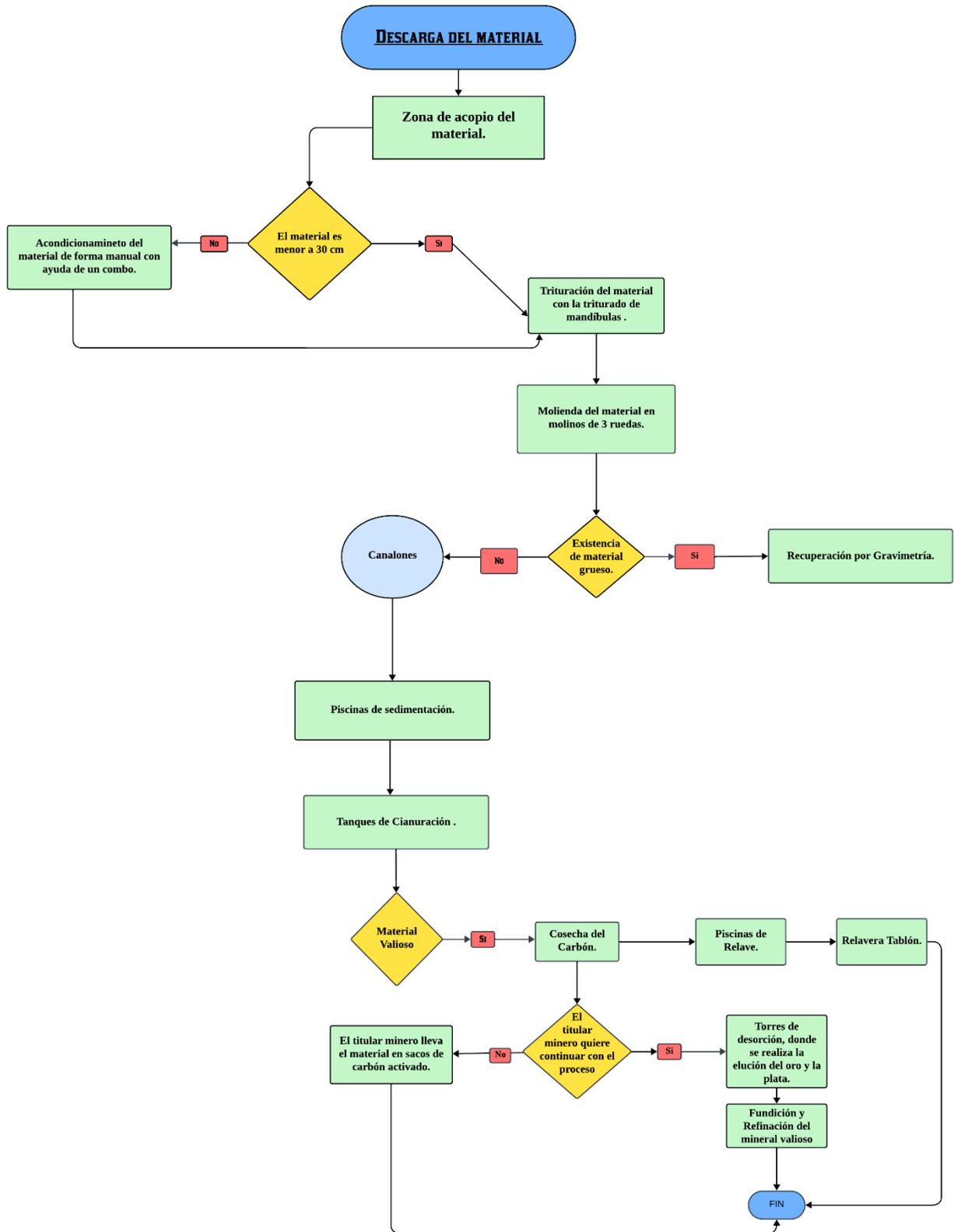
	Gravimetría	<p>La Sociedad Minera La Ponderosa, como se mencionó anteriormente, hace uso del galpón dos, con dos molinos chilenos cuya capacidad son de 10tpd y tienen un motor WEG de 20HP.</p>	
Beneficio del material	Lixiviación (Cianuración)	<p>En el proceso de beneficio mineral se realiza por el método de cianuración, la pulpa que procedente de la molienda, es transportada hasta los tanques de cianuración por una bomba de sólidos y de agua a presión, empleando una relación sólido-líquido 1:3, en donde permanece en los tanques por un tiempo de 24 horas, y se agrega Cal para controlar el pH y cianuro de sodio para disolver el oro.</p> <p>Posteriormente al tiempo establecido, se agrega en forma de granel el carbón activado, el cual permite la absorción de minerales valiosos, para que finalmente se realice la cosecha de carbón mediante un trommel y pase al proceso de desorción.</p>	
	Elución	<p>Mediante la aplicación de un circuito cerrado, el carbón cosechado se coloca en las torres y se disuelve el oro y la plata utilizando una solución de cianuro de sodio y soda cáustica. Esta solución es calentada en un caldero a 95°C, que posteriormente circula por las torres de desorción. También, se hace uso de una celda electrolítica, donde se hace circular 500 amperios y 4 voltios, en donde el oro y la plata se precipitan en cátodos.</p>	

Fundición y Refinación

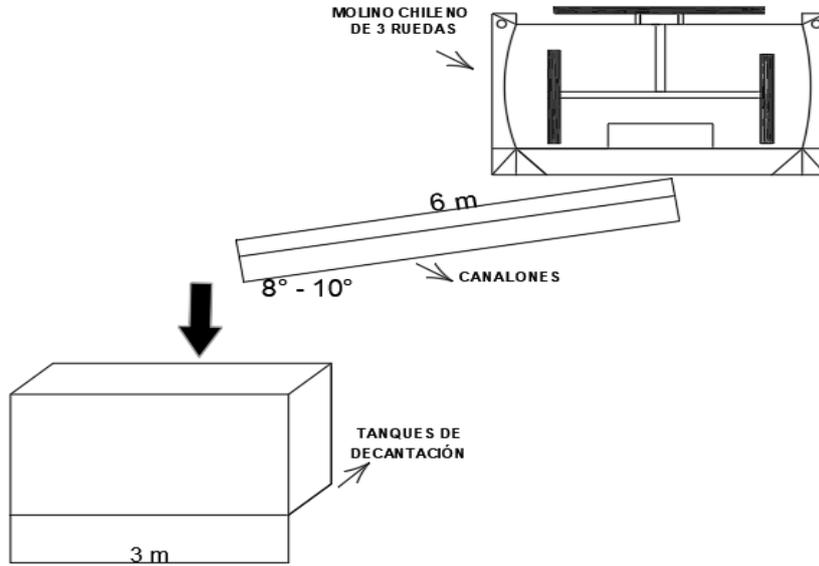
Para la obtención de la barra dore, el mineral de acero cargado de oro y plata es secado, y se funde con bórax y carbonato. En la refinación, se adiciona ácido nítrico, dando como resultado escoria y oro, el mismo que es colocado en una lingotera para obtener el oro fino.



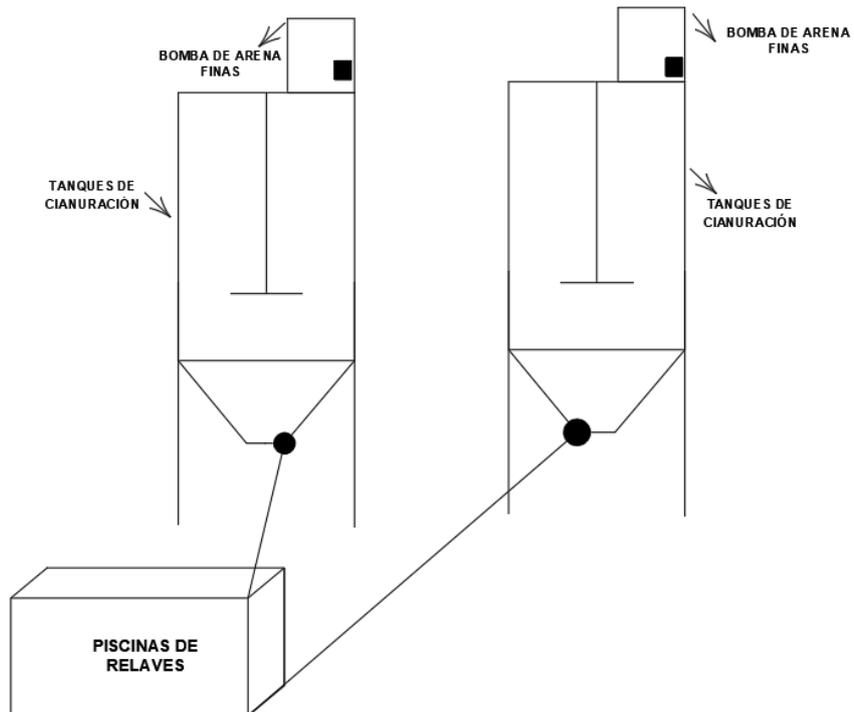
Anexo 21 Diagrama de flujo Planta de Beneficio León



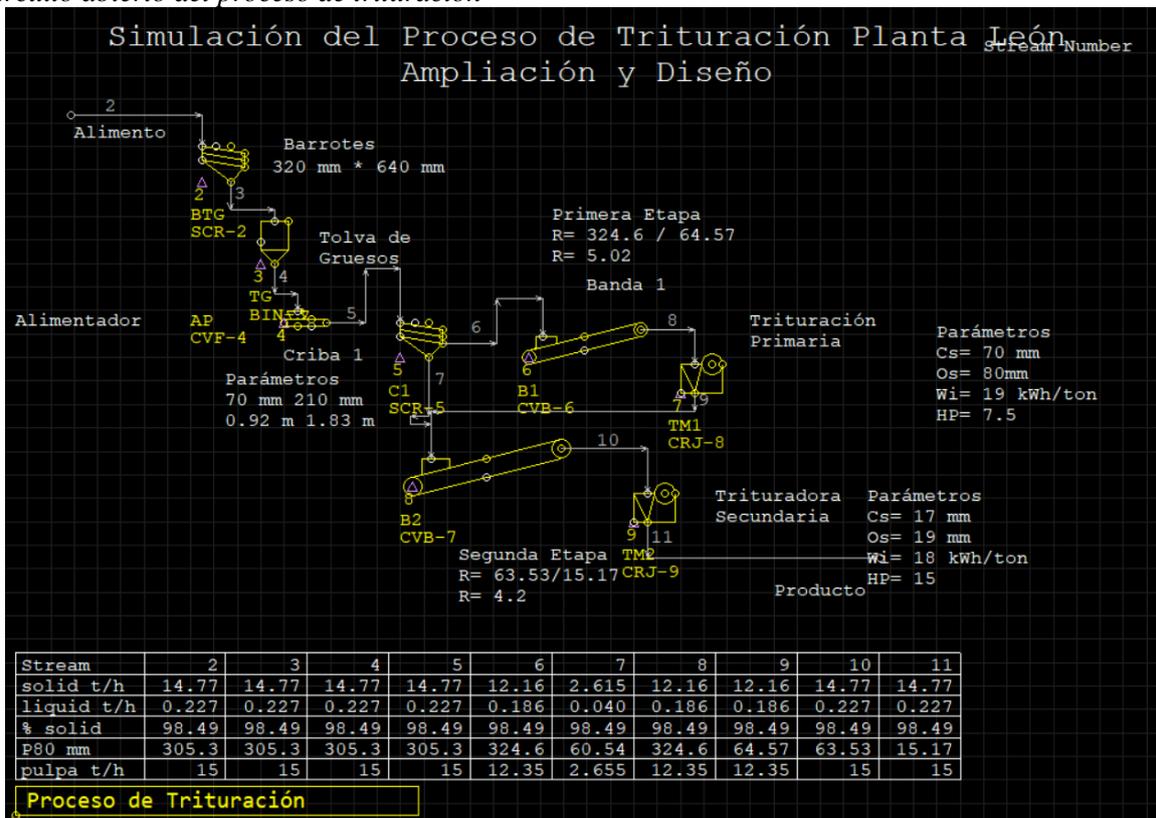
## PROCESO DE MOLIENDA " PLANTA DE BENEFICO LEÓN"



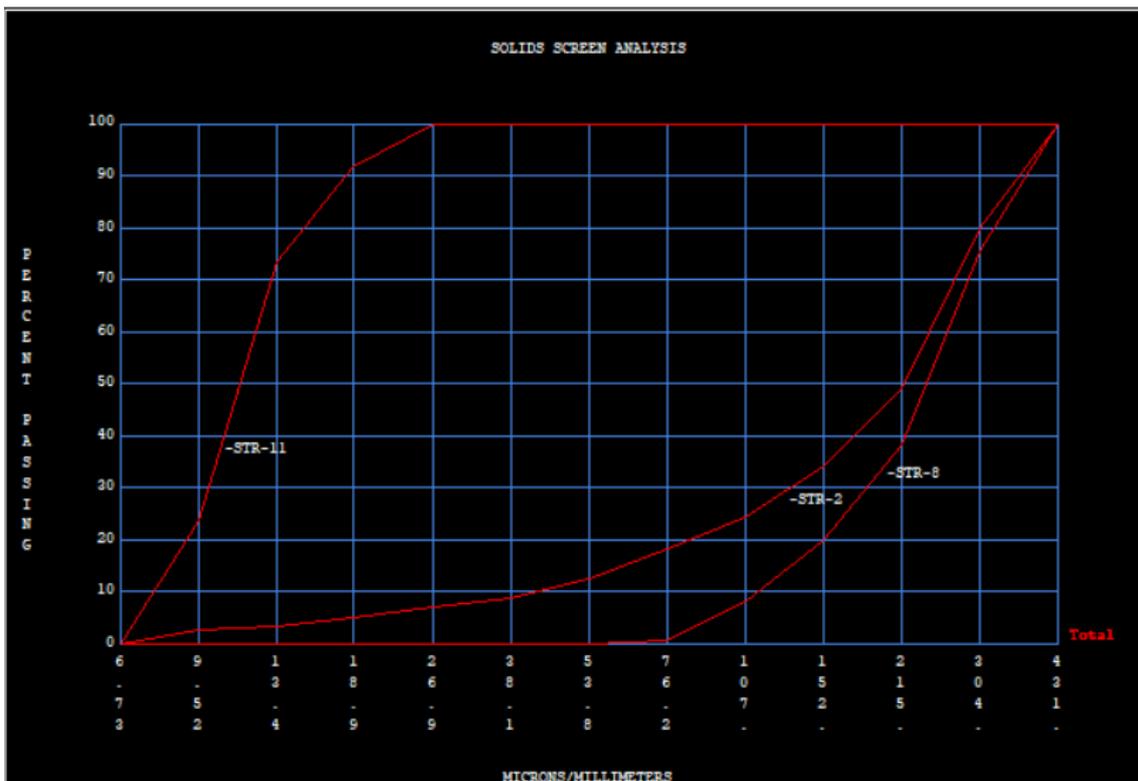
## PROCESO DE LIXIVIACION " PLANTA DE BENEFICO LEÓN"



**Anexo 22** Resultados de la simulación del Software METSIM para propuesta de la implantación del circuito abierto del proceso de trituración

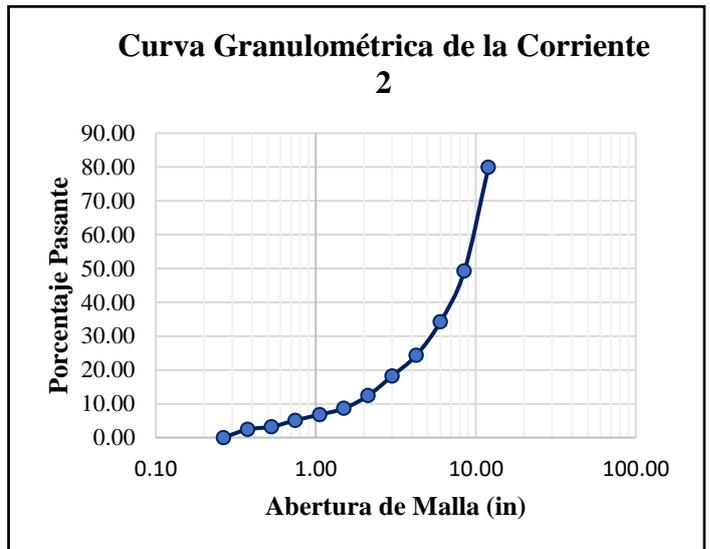


**Curvas Granulométricas de las Corrientes 2, 8 y 11**

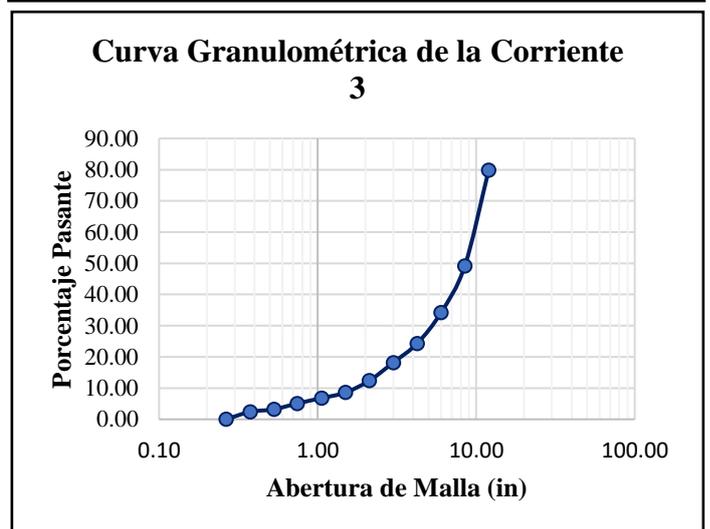


## Curvas Granulométricas y porcentaje pasante de las todas las corrientes 2-11 del circuito abierto

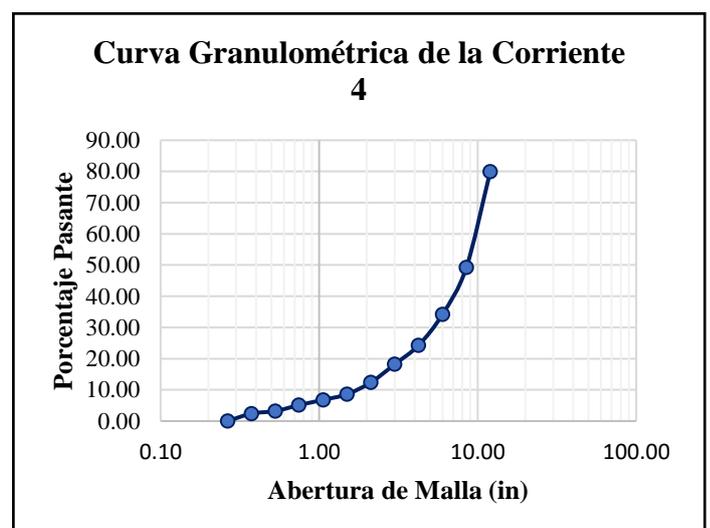
Corriente 2				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	305334			
Mallas (in)	μm	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	20.101	79.90
8.48	215392	4.5353	30.699	49.20
6.00	152400	2.216	15.00	34.20
4.24	107696	1.4626	9.900	24.30
3.00	76200	0.9012	6.100	18.20
2.12	53848	0.8569	5.800	12.40
1.50	38100	0.5614	3.800	8.60
1.06	26924	0.2659	1.800	6.80
0.745	18923	0.2511	1.700	5.10
0.53	13462	0.2807	1.900	3.20
0.375	9525	0.1182	0.800	2.40
0.265	6731	0.3546	2.400	0.00



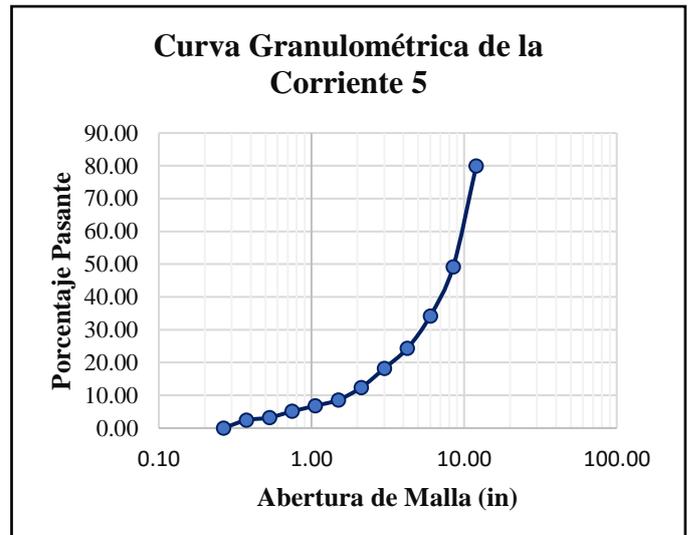
Corriente 3				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	305334			
Mallas (in)	μm	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	20.101	79.90
8.48	215392	4.5353	30.699	49.20
6.00	152400	2.216	15.00	34.20
4.24	107696	1.4626	9.900	24.30
3.00	76200	0.9012	6.100	18.20
2.12	53848	0.8569	5.800	12.40
1.50	38100	0.5614	3.800	8.60
1.06	26924	0.2659	1.800	6.80
0.745	18923	0.2511	1.700	5.10
0.53	13462	0.2807	1.900	3.20
0.375	9525	0.1182	0.800	2.40
0.265	6731	0.3546	2.400	0.00



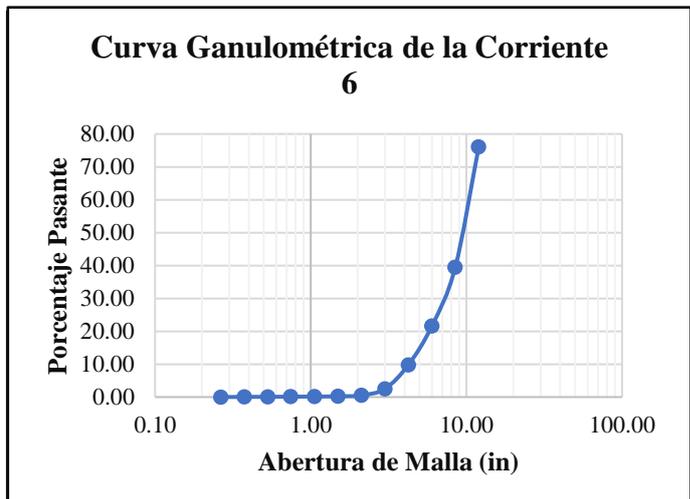
Corriente 4				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	305334			
Mallas (in)	μm	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	20.101	79.90
8.48	215392	4.5353	30.699	49.20
6.00	152400	2.216	15.00	34.20
4.24	107696	1.4626	9.900	24.30
3.00	76200	0.9012	6.100	18.20
2.12	53848	0.8569	5.800	12.40
1.50	38100	0.5614	3.800	8.60
1.06	26924	0.2659	1.800	6.80
0.745	18923	0.2511	1.700	5.10
0.53	13462	0.2807	1.900	3.20
0.375	9525	0.1182	0.800	2.40
0.265	6731	0.3546	2.400	0.00



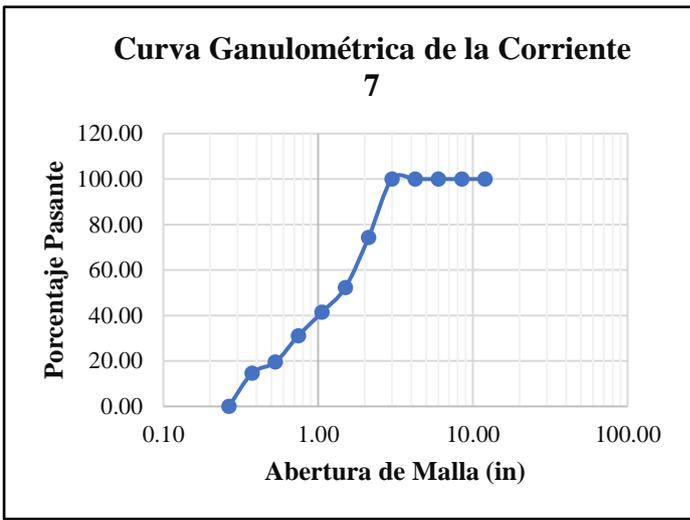
Corriente 5				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	305334			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	20.101	79.90
8.48	215392	4.5353	30.699	49.20
6.00	152400	2.2160	15.000	34.20
4.24	107696	1.4626	9.900	24.30
3.00	76200	0.9012	6.100	18.20
2.12	53848	0.8569	5.800	12.40
1.50	38100	0.5614	3.800	8.60
1.06	26924	0.2659	1.800	6.80
0.745	18923	0.2511	1.700	5.10
0.53	13462	0.2807	1.900	3.20
0.375	9525	0.1182	0.800	2.40
0.265	6731	0.3546	2.400	0.00



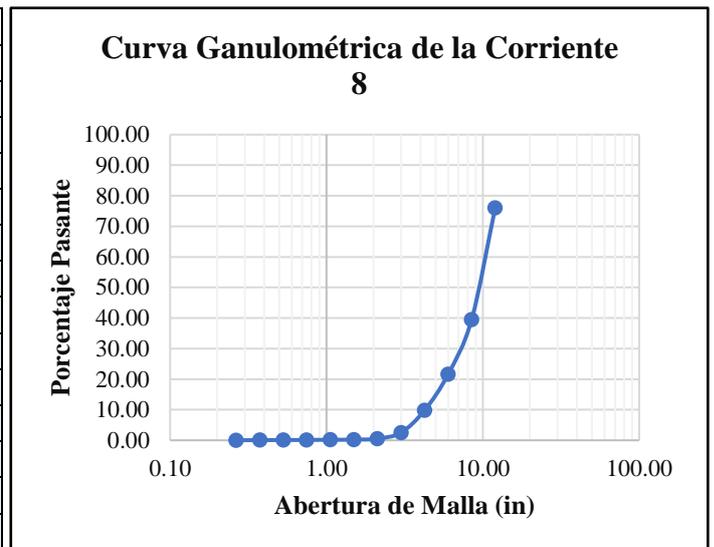
Corriente 6				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	322827			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	23.951	76.05
8.48	215392	4.5353	36.579	39.47
6.00	152400	2.2160	17.873	21.60
4.24	107696	1.4626	11.796	9.80
3.00	76200	0.9012	7.268	2.53
2.12	53848	0.2478	1.998	0.53
1.50	38100	0.0380	0.306	0.23
1.06	26924	0.0076	0.061	0.17
0.745	18923	0.0054	0.043	0.12
0.53	13462	0.0057	0.046	0.08
0.375	9525	0.0024	0.019	0.06
0.265	6731	0.0071	0.057	0.00



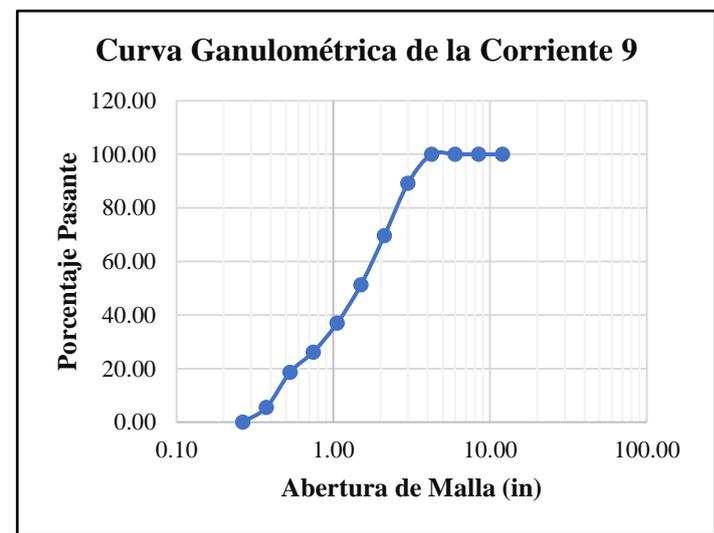
Corriente 7				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	58126			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	0.0000	0.0000	100.00
8.48	215392	0.0000	0.0000	100.00
6.00	152400	0.0000	0.0000	100.00
4.24	107696	0.0000	0.0000	100.00
3.00	76200	0.0000	0.0000	100.00
2.12	53848	0.6091	25.647	74.35
1.50	38100	0.5234	22.0380	52.31
1.06	26924	0.2584	10.879	41.44
0.745	18923	0.2458	10.348	31.09
0.53	13462	0.2750	11.580	19.51
0.375	9525	0.1158	4.877	14.63
0.265	6731	0.3475	14.631	0.00



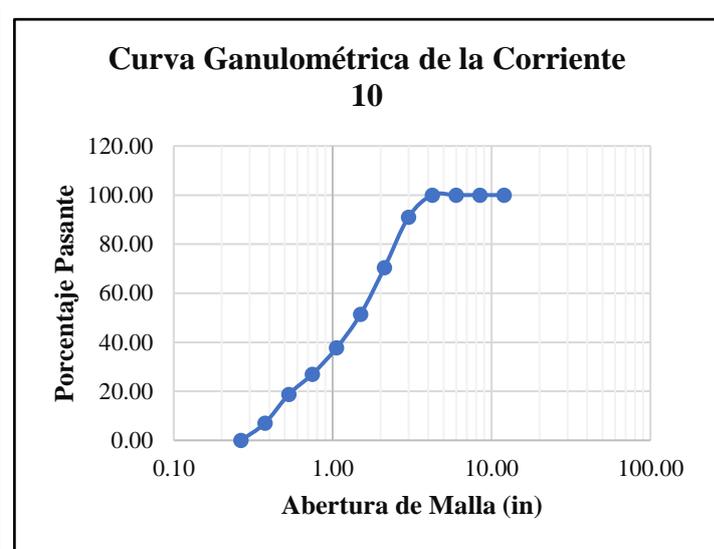
<b>Corriente 8</b> Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	324649			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	23.951	76.05
8.48	215392	4.5353	36.579	39.47
6.00	152400	2.2160	17.873	21.60
4.24	107696	1.4626	11.796	9.80
3.00	76200	0.9012	7.268	2.53
2.12	53848	0.2478	1.998	0.53
1.50	38100	0.0380	0.306	0.23
1.06	26924	0.0076	0.061	0.17
0.745	18923	0.0054	0.043	0.12
0.53	13462	0.0057	0.046	0.08
0.375	9525	0.0024	0.019	0.06
0.265	6731	0.0071	0.056	0.00



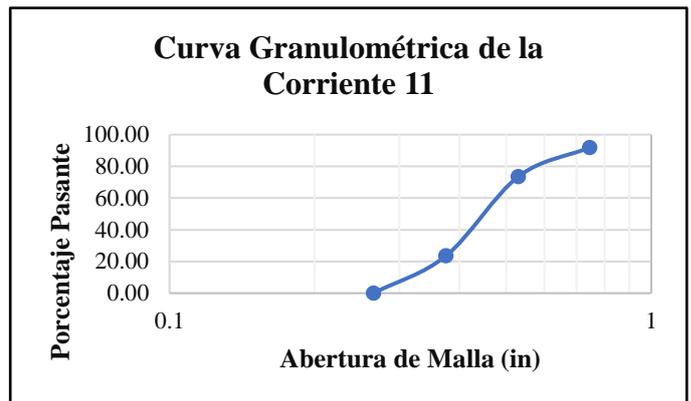
<b>Corriente 9</b> Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	64667			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	0.0000	0.0000	100.00
8.48	215392	0.0000	0.0000	100.00
6.00	152400	0.0000	0.0000	100.00
4.24	107696	0.0000	0.0000	100.00
3.00	76200	1.3339	10.758	89.24
2.12	53848	2.4245	19.554	69.69
1.50	38100	2.2830	18.414	51.27
1.06	26924	1.7662	14.245	37.03
0.745	18923	1.3443	10.843	26.19
0.53	13462	0.9365	7.553	18.63
0.375	9525	1.6214	13.077	5.56
0.265	6731	0.6887	5.555	0.00



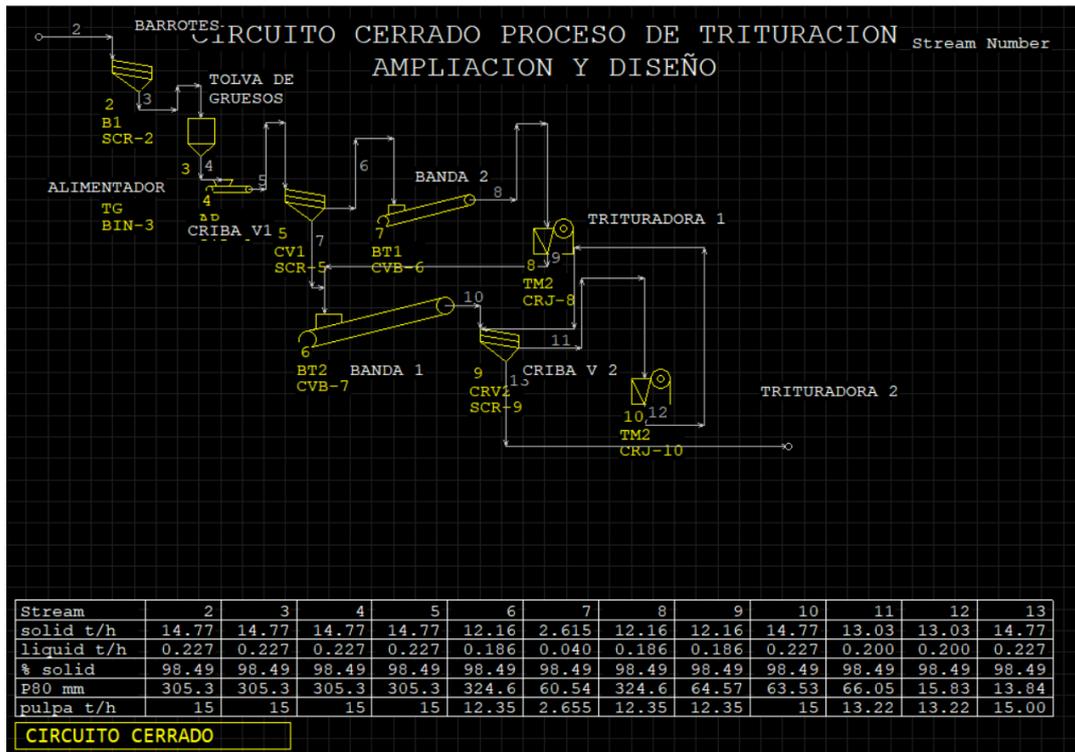
<b>Corriente 10</b> Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	63526			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	0.0000	0.0000	100.00
8.48	215392	0.0000	0.0000	100.00
6.00	152400	0.0000	0.0000	100.00
4.24	107696	0.0000	0.0000	100.00
3.00	76200	1.3339	9.029	90.97
2.12	53848	3.0336	20.534	70.44
1.50	38100	2.8064	18.996	51.44
1.06	26924	2.0245	13.763	37.74
0.745	18923	1.5901	10.763	26.97
0.53	13462	1.2115	8.201	18.77
0.375	9525	1.7372	11.759	7.01
0.265	6731	1.0362	7.014	0.00



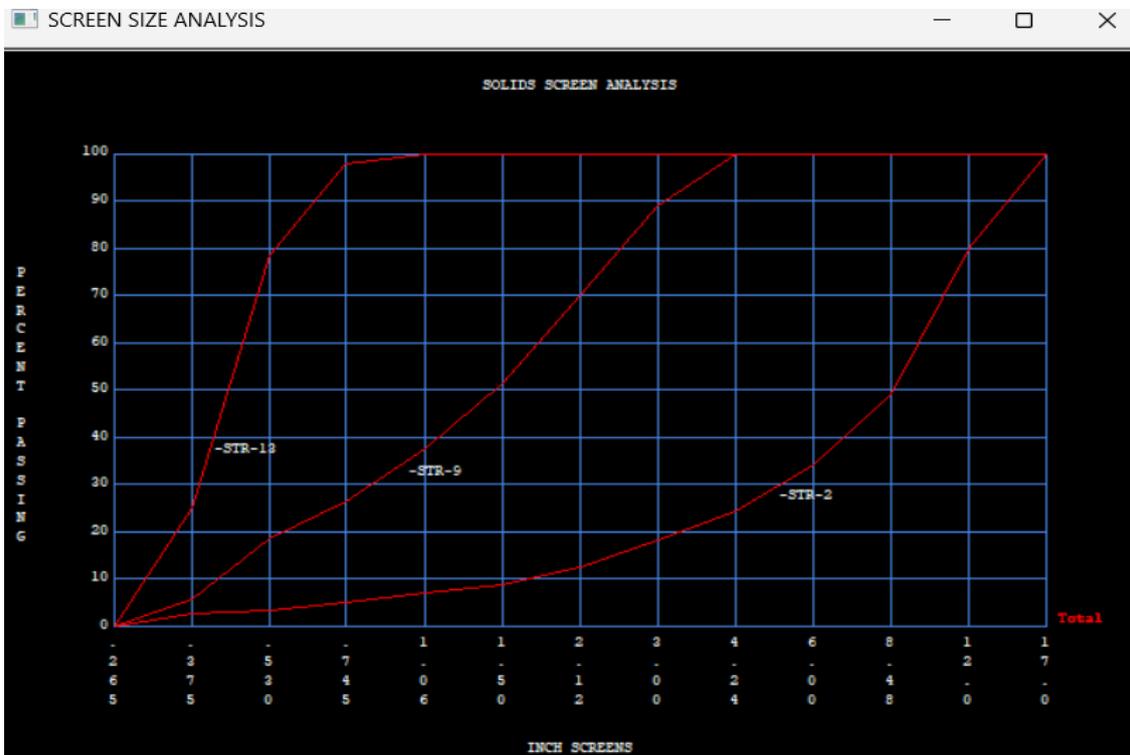
<b>Corriente 11</b>		Datos proporcionados por el Software METSIM			
P80	15168				
Mallas (in)	μm	MT/HR	% RET	% PAS	
0.745	18923	1.2039	8.149	91.85	
0.53	13462	2.6948	18.241	73.61	
0.375	9525	7.3909	50.028	23.58	
0.265	6731	3.4839	23.582	0.00	



**Anexo 23** Resultados de la simulación del Software METSIM para propuesta de la implantación del circuito cerrado del proceso de trituración



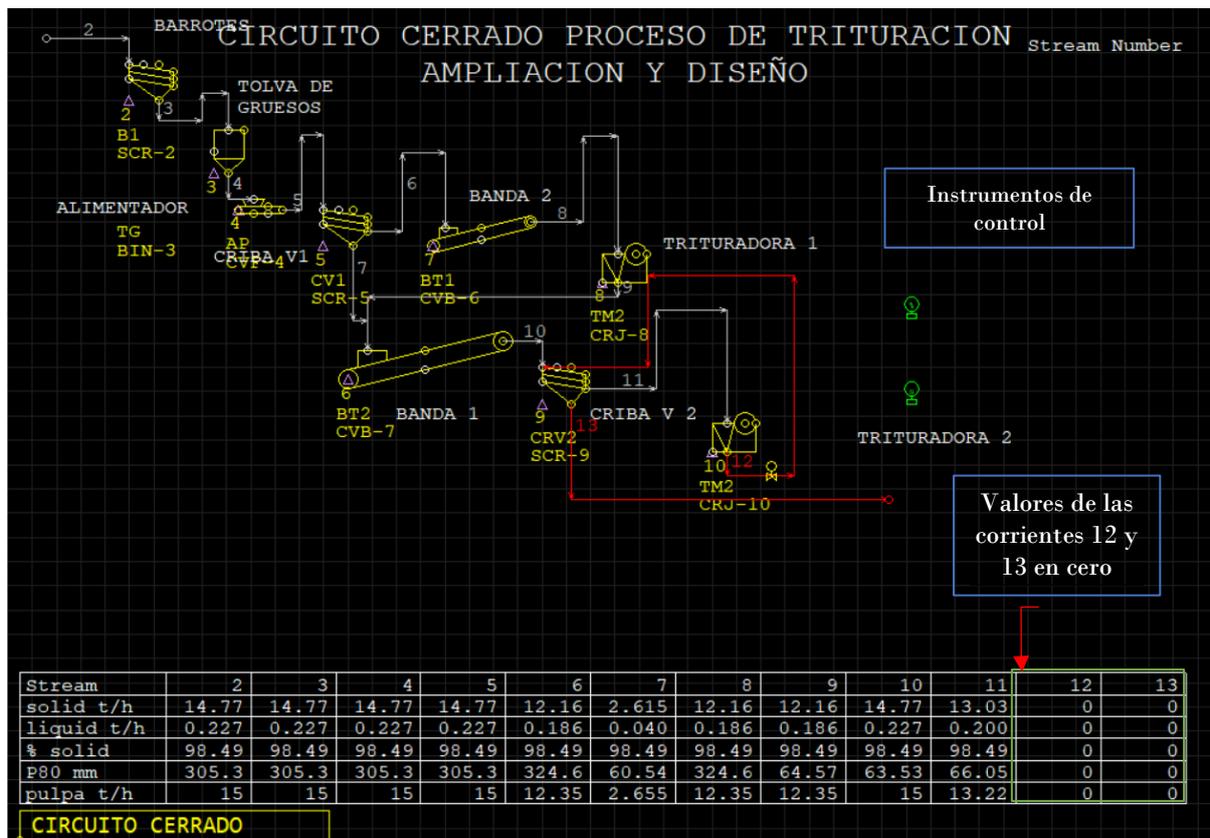
**Curvas Granulométricas de las Corrientes 2, 9 y 13**



### Balances de masa y tamaño de reducción P80 en todas las corrientes de la simulación

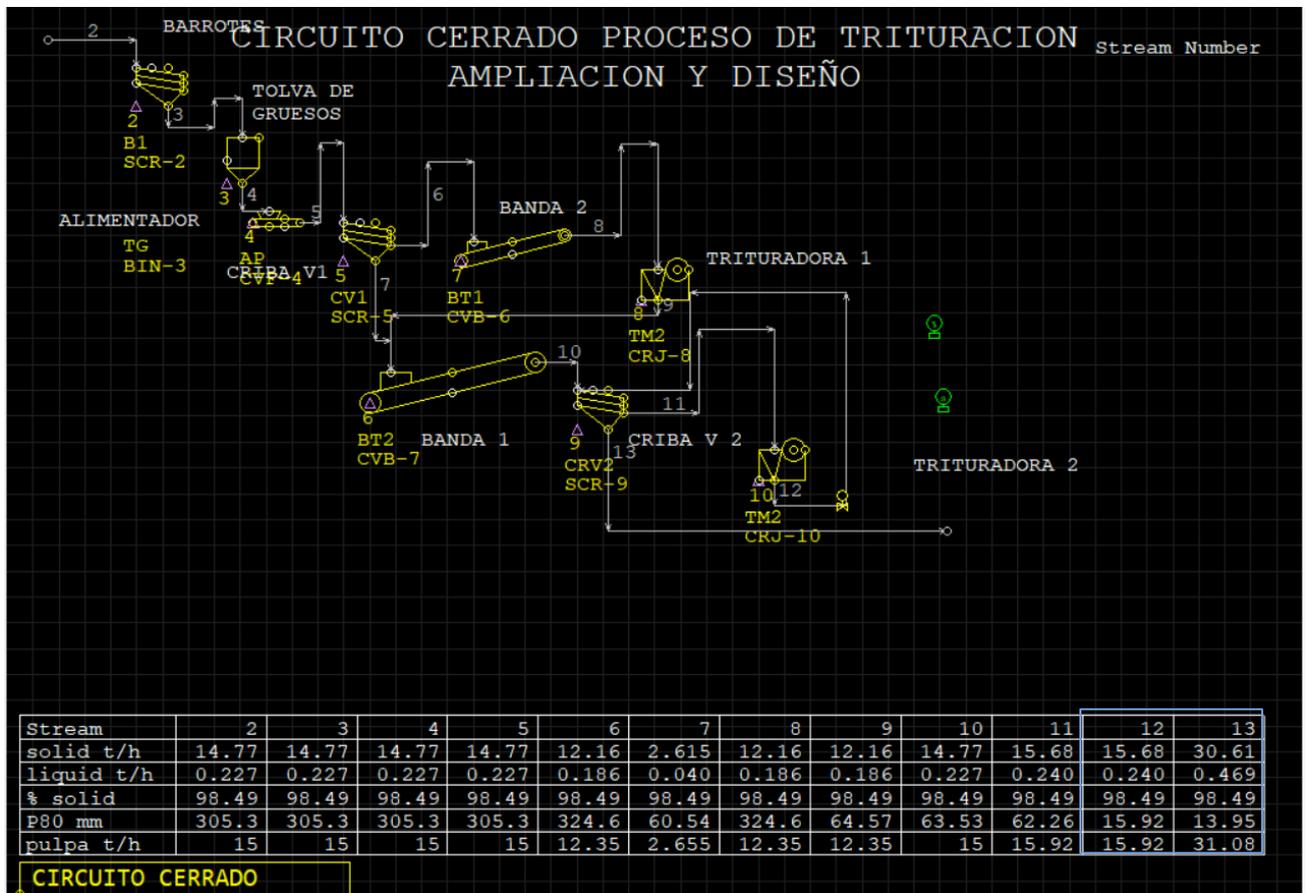
Corriente	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sólido (t/h)	14.77	14.77	14.44	12.16	2.615	12.16	12.16	12.16	14.17	13.03	13.03	17.77
Líquido (t/h)	0.227	0.227	0.227	0.227	0.186	0.040	0.186	0.186	0.227	0.200	0.200	0.227
%Sólidos	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49
P80 (mm)	305.3	305.3	305.3	305.3	354.6	60.54	324.6	64.57	63.53	66.05	15.03	13.84
Pulpa (t/h)	15	15	15	15	12.35	2.655	12.35	12.35	15	13.22	13.22	15.00

### Simulación Dinámica de la carga circulante aplicada en las corrientes 12 y 13

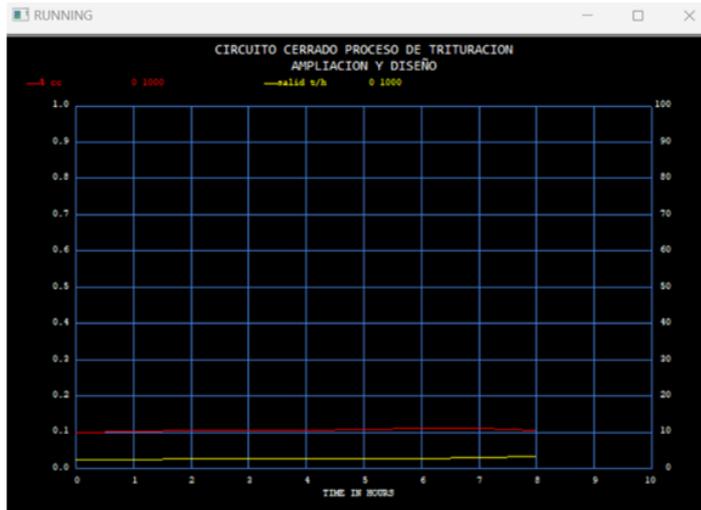


**Balances de masa y tamaño de reducción P80 en todas las corrientes de la simulación con  
incrementó de CC en las corrientes 12 y 13**

Corriente	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Sólido (t/h)</b>	14.77	14.77	14.77	14.77	12.16	2.615	12.16	12.6	14.77	15.68	15.68	30.61
<b>Líquido (t/h)</b>	0.227	0.227	0.227	0.227	0.186	0.04	0.186	0.186	0.227	0.240	0.240	0.469
<b>%Sólidos</b>	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49	98.49
<b>P80 (mm)</b>	305.3	305.3	305.3	305.3	324.6	60.54	324.6	64.57	63.53	62.26	15.92	13.95
<b>Pulpa (t/h)</b>	15	15	15	15	12.35	2.655	12.35	12.35	15	15.92	15.92	31.08



## Cálculo de la carga circulante en las corrientes 12 y 13



INST	LABE	VALU
2	% cc	213.33333
3	sal	30.6113

Stream 12  
Trituradora de Mnadibulas Secundaria

Output Level: 0, Design Factor: 0, Maximum Flow: 0  
 Box Number: 0, Variables: 1 2 3

12, Label: 0, SI, LI, SSA, OK, Cancel

	MI/HR		Wt. Frac.	Mol. Frac.	MI/HR		Wt. Frac.	Mol. Frac.	MI/HR
SOLIDS	15.679	SiO2	0.7799985	0.9242804	12.229597	H 1	0.0023426	0.0460583	0.0367304
SLD-ORG	0	Ag	8.000E-7	5.280E-7	0.0000125	O 8	0.4990619	0.6181576	7.8247922
AQUEOUS	0.2403826	Al2Si2O9H	0.15	0.0413689	2.3518499	Al 13	0.0313542	0.0230291	0.4916026
ORGANIC	0	Au	6.500E-7	2.350E-7	0.0000101	Si 14	0.3972397	0.2802923	6.2283216
MOLTEN	0	CuFeS2	0.035	0.0135791	0.5487649	S 16	0.0309383	0.0191217	0.4850831
MATTE	0	FeS2	0.035	0.0207707	0.5487649	Fe 26	0.0269432	0.0095608	0.4224431
SLAG	0					Cu 29	0.0121183	0.0037795	0.1900036
GAS	0					Ag 47	8.000E-7	1.470E-7	0.0000125
TOTAL	15.919382					Au 79	6.500E-7	6.540E-8	0.0000101
% SOLID	0.9849								

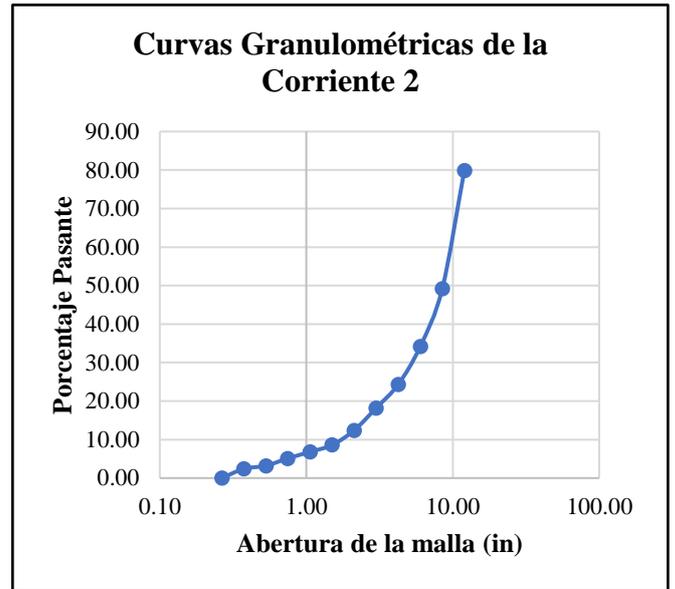
Stream 13  
Producto

Output Level: 0, Design Factor: 0, Maximum Flow: 0  
 Box Number: 0, Variables: 1 2 3

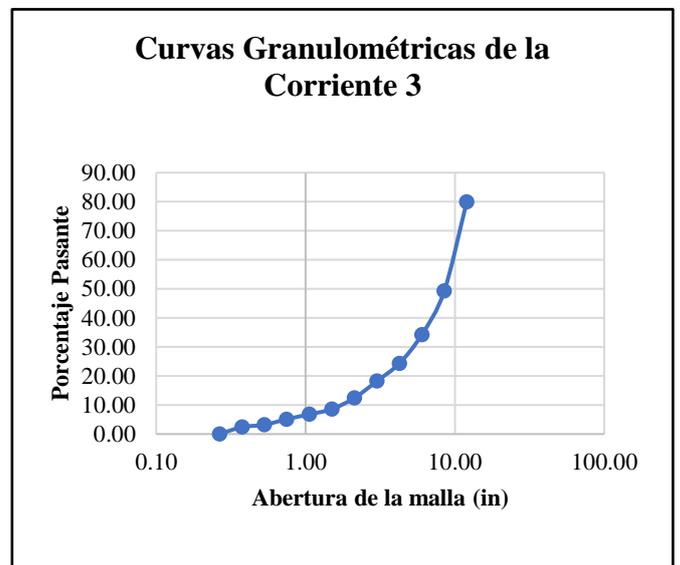
13, Label: 0, SI, LI, SSA, OK, Cancel

	MI/HR		Wt. Frac.	Mol. Frac.	MI/HR		Wt. Frac.	Mol. Frac.	MI/HR
SOLIDS	30.6113	SiO2	0.7799985	0.9242804	23.87677	H 1	0.0023426	0.0460583	0.0717115
SLD-ORG	0	Ag	8.000E-7	5.280E-7	0.0000244	O 8	0.4990619	0.6181576	15.276936
AQUEOUS	0.4693173	Al2Si2O9H	0.15	0.0413689	4.5916951	Al 13	0.0313542	0.0230291	0.9597932
ORGANIC	0	Au	6.500E-7	2.350E-7	0.0000198	Si 14	0.3972397	0.2802923	12.160025
MOLTEN	0	CuFeS2	0.035	0.0135791	1.0713955	S 16	0.0309383	0.0191217	0.9470645
MATTE	0	FeS2	0.035	0.0207707	1.0713955	Fe 26	0.0269432	0.0095608	0.8247678
SLAG	0					Cu 29	0.0121183	0.0037795	0.3709586
GAS	0					Ag 47	8.000E-7	1.470E-7	0.0000244
TOTAL	31.080618					Au 79	6.500E-7	6.540E-8	0.0000198

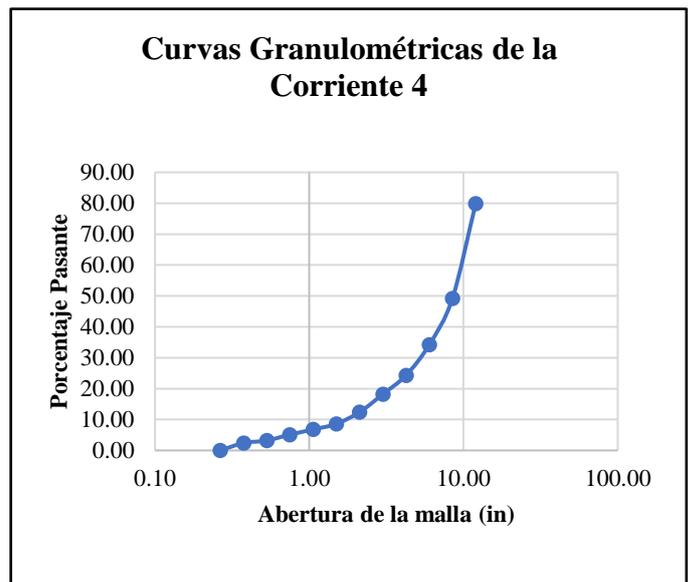
<b>Corriente 2</b>		Datos proporcionados por el Software METSIM		
P80	305334			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9996	20.101	79.90
8.48	215392	4.5353	30.699	49.20
6.00	152400	2.2160	15.00	34.20
4.24	107696	1.4626	9.900	24.30
3.00	76200	0.9012	6.100	18.20
2.12	53848	0.8569	5.800	12.40
1.50	38100	0.5614	3.800	8.60
1.06	26924	0.2659	1.800	6.80
0.745	18923	0.2511	1.700	5.10
0.53	13462	0.2807	1.900	3.20
0.375	9525	0.1182	0.800	2.40
0.265	6731	0.3546	2.400	0.00
<b>Total</b>		14.8035		



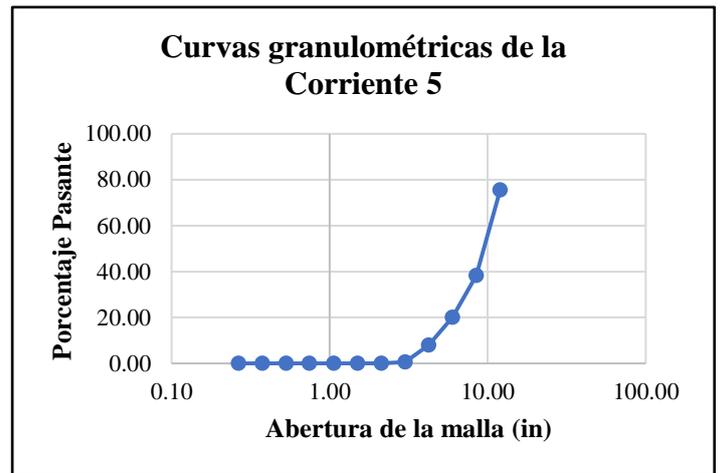
<b>Corriente 3</b>		Datos proporcionados por el Software METSIM		
P80	305334			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9996	20.101	79.90
8.48	215392	4.5353	30.699	49.20
6.00	152400	2.2160	15.00	34.20
4.24	107696	1.4626	9.900	24.30
3.00	76200	0.9012	6.100	18.20
2.12	53848	0.8569	5.800	12.40
1.50	38100	0.5614	3.800	8.60
1.06	26924	0.2659	1.800	6.80
0.745	18923	0.2511	1.700	5.10
0.53	13462	0.2807	1.900	3.20
0.375	9525	0.1182	0.800	2.40
0.265	6731	0.3546	2.400	0.00
<b>Total</b>		14.8035		



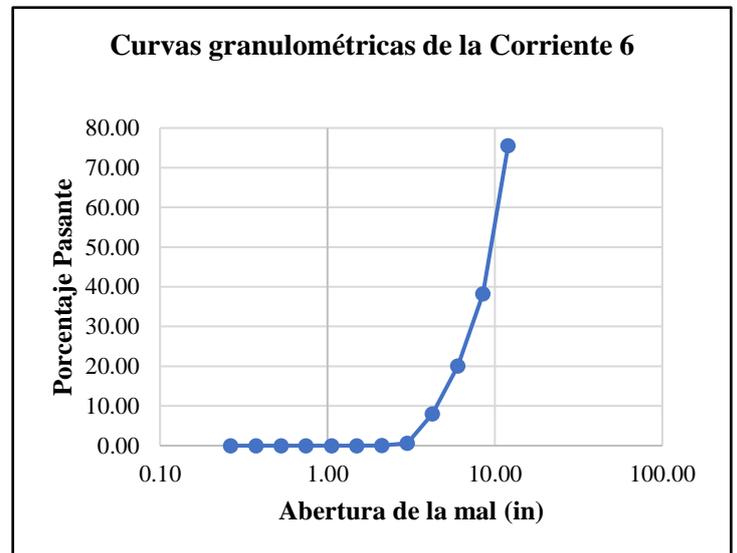
<b>Corriente 4</b>		Datos proporcionados por el Software METSIM		
P80	305334			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9996	20.101	79.90
8.48	215392	4.5353	30.699	49.20
6.00	152400	2.2160	15.00	34.20
4.24	107696	1.4626	9.900	24.30
3.00	76200	0.9012	6.100	18.20
2.12	53848	0.8569	5.800	12.40
1.50	38100	0.5614	3.800	8.60
1.06	26924	0.2659	1.800	6.80
0.745	18923	0.2511	1.700	5.10
0.53	13462	0.2807	1.900	3.20
0.375	9525	0.1182	0.800	2.40
0.265	6731	0.3546	2.400	0.00
<b>Total</b>		14.8035		



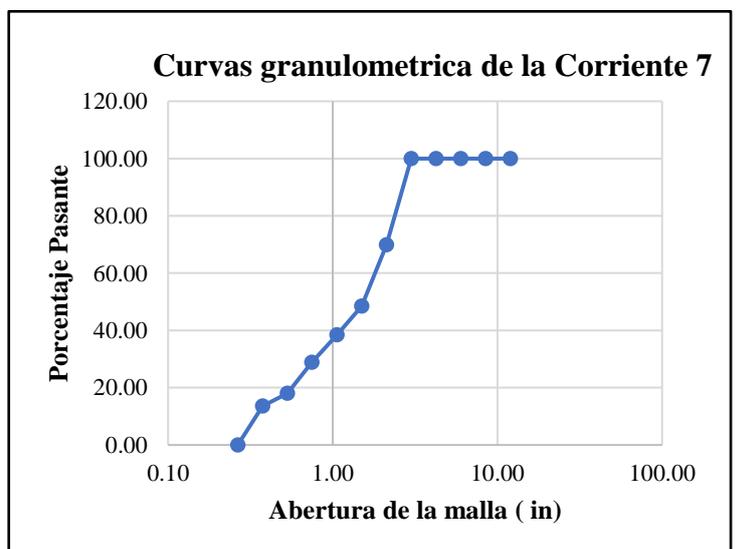
Corriente 5				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	305334			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	24.424	75.58
8.48	215392	4.5353	37.301	38.27
6.00	152400	2.2160	18.226	20.05
4.24	107696	1.4626	12.029	8.02
3.00	76200	0.9012	7.412	0.61
2.12	53848	0.0675	0.555	0.05
1.50	38100	0.006	0.050	0.00
1.06	26924	0.0004	0.003	0.00
0.745	18923	0.0000	0.0000	0.00
0.53	13462	0.0000	0.0000	0.00
0.375	9525	0.0000	0.0000	0.00
0.265	6731	0.0000	0.0000	0.00
<b>Total</b>		12.1586		



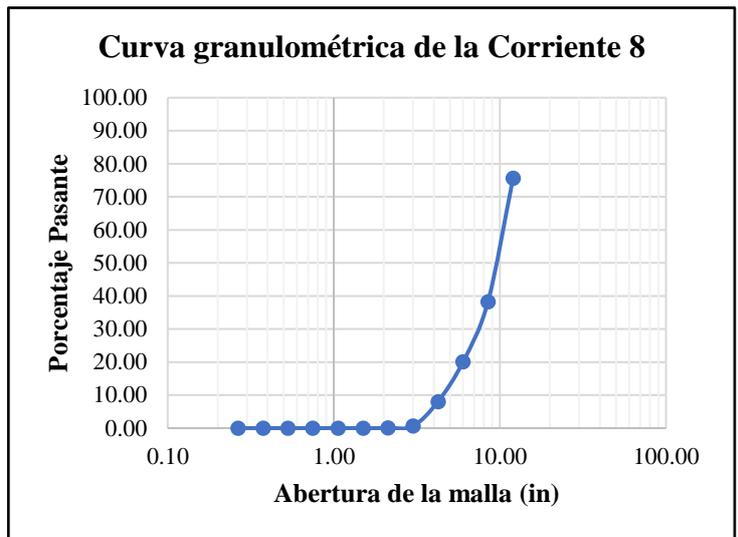
Corriente 6				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	324649			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	24.424	75.58
8.48	215392	4.5353	37.301	38.27
6.00	152400	2.2160	18.226	20.05
4.24	107696	1.4626	12.029	8.02
3.00	76200	0.9012	7.412	0.61
2.12	53848	0.0675	0.555	0.05
1.50	38100	0.006	0.050	0.00
1.06	26924	0.0004	0.003	0.00
0.745	18923	0.0000	0.0000	0.00
0.53	13462	0.0000	0.0000	0.00
0.375	9525	0.0000	0.0000	0.00
0.265	6731	0.0000	0.0000	0.00
<b>Total</b>		12.1586		



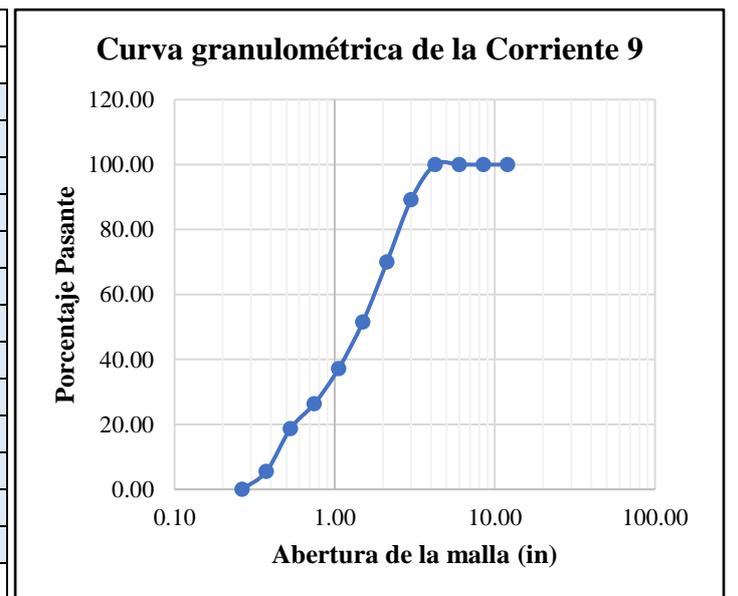
Corriente 7				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	60543			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	0.000	0.000	100.00
8.48	215392	0.000	0.000	100.00
6.00	152400	0.000	0.000	100.00
4.24	107696	0.000	0.000	100.00
3.00	76200	0.000	0.000	100.00
2.12	53848	0.7894	30.189	69.81
1.50	38100	0.5554	21.239	48.57
1.06	26924	0.2655	10.155	38.42
0.745	18923	0.2511	9.603	28.81
0.53	13462	0.2807	10.735	18.08
0.375	9525	0.1182	4.5200	13.56
0.265	6731	0.3546	13.560	0.00
<b>Total</b>		2.615		



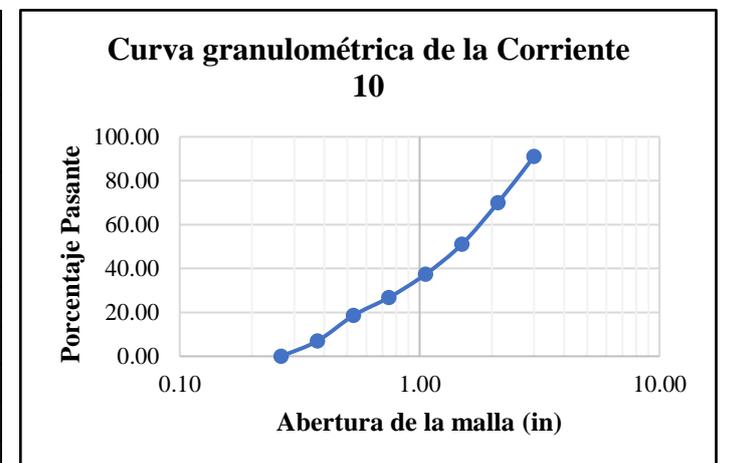
Corriente 8				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	324649			
Mallas (in)	µm	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	2.9696	24.424	75.58
8.48	215392	4.5353	37.301	38.27
6.00	152400	2.2160	18.226	20.05
4.24	107696	1.4626	12.029	0.61
3.00	76200	0.9012	7.412	0.05
2.12	53848	0.0675	0.555	0.00
1.50	38100	0.0060	0.050	0.05
1.06	26924	0.0004	0.003	0.00
0.745	18923	0.0000	0.000	0.00
0.53	13462	0.0000	0.000	0.00
0.375	9525	0.0000	0.000	0.00
0.265	6731	0.0000	0.000	0.00
<b>Total</b>		12.1586		



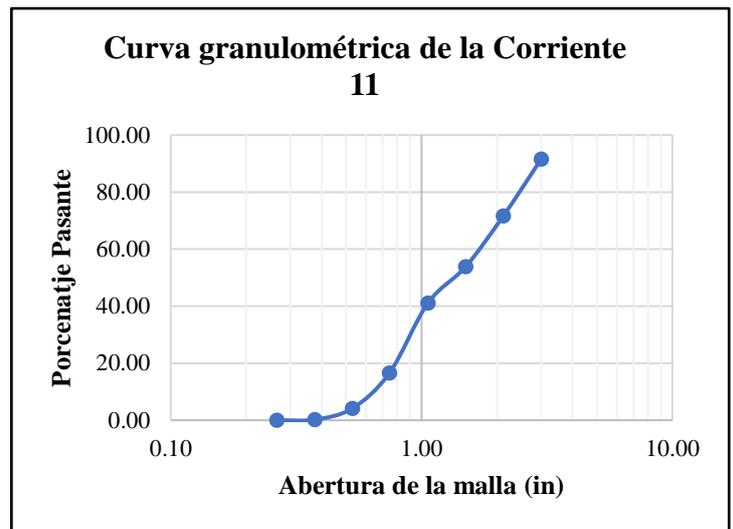
Corriente 9				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	64570			
Mallas (in)	µm	MT/HR	% RET	% PAS
12.00	304800	0.0000	0.000	100.00
8.48	215392	0.0000	0.000	100.00
6.00	152400	0.0000	0.000	100.00
4.24	107696	0.0000	0.000	100.00
3.00	76200	1.3210	10.865	89.14
2.12	53848	2.3285	19.151	69.98
1.50	38100	2.2388	18.336	51.57
1.06	26924	1.7431	14.336	37.23
0.745	18923	1.3665	10.910	26.32
0.53	13462	0.9221	7.584	18.74
0.375	9525	1.6035	13.188	5.55
0.265	6731	0.6752	5.553	0.00
<b>Total</b>		12.1987		



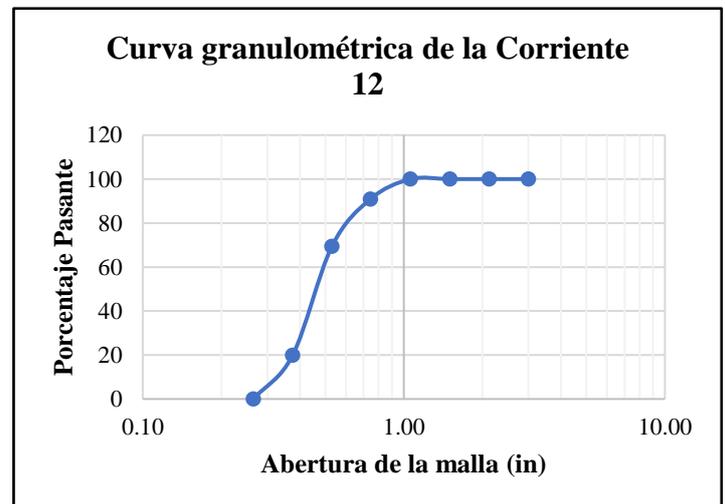
Corriente 10				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	63526			
Mallas (in)	µm	MT/HR	% RET	% PAS
3.00	76200	1.2100	8.942	91.06
2.12	53848	3.1179	21.105	69.95
1.50	38100	2.7942	18.913	51.04
1.06	26924	2.0087	13.596	37.44
0.745	18923	1.5776	10.679	26.77
0.53	13462	1.2028	8.141	18.62
0.375	9525	1.7217	11.654	6.97
0.265	6731	1.0267	6.970	0.00
<b>Total</b>		14.6596		



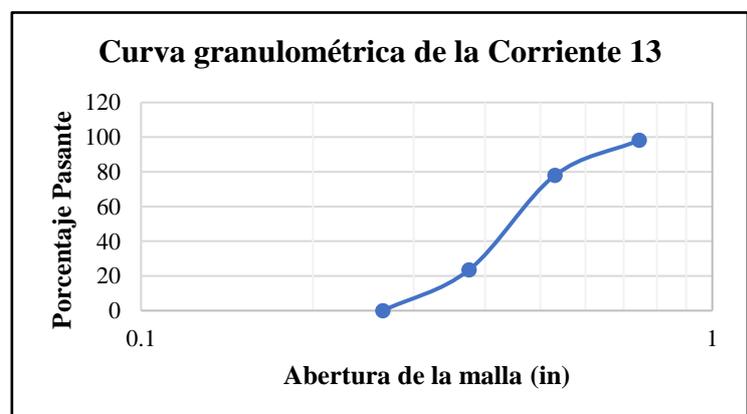
<b>Corriente 11</b>				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	62257			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
3.00	76200	1.3210	8.942	91.57
2.12	53848	3.1179	21.105	71.69
1.50	38100	2.7942	18.913	53.87
1.06	26924	2.0087	13.596	41.06
0.745	18923	3.8404	10.679	16.56
0.53	13462	1.9413	8.141	4.18
0.375	9525	0.6209	11.654	0.22
0.265	6731	0.0347	6.970	0.00
<b>Total</b>		15.6791		



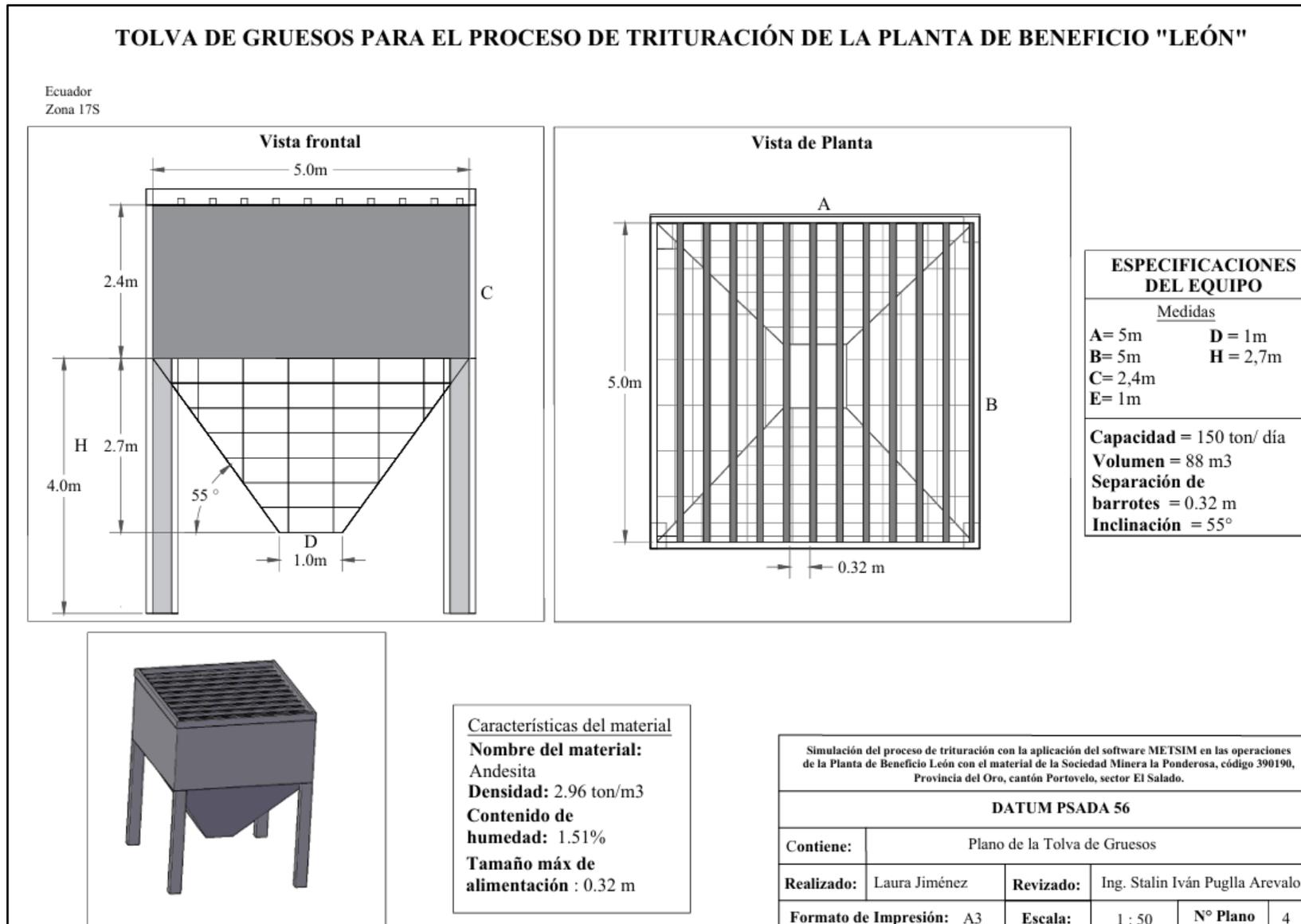
<b>Corriente 12</b>				
Datos proporcionados por el Software METSIM				
P80	15924			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
3.00	76200	0.0000	0.0000	100.00
2.12	53848	0.0000	0.0000	100.00
1.50	38100	0.0000	0.0000	100.00
1.06	26924	0.0000	0.0000	100.00
0.745	18923	1.4244	9.084	90.92
0.53	13462	3.3776	21.542	69.37
0.375	9525	7.7598	49.492	19.88
0.265	6731	3.1172	19.882	0.00
<b>Total</b>		15.6790		



<b>Corriente 13</b>				
P80	13946			
Mallas (in)	$\mu\text{m}$	MT/HR	% RET	% PAS
0.745	18923	0.559	1.825	98.18
0.53	13462	6.208	20.280	77.90
0.375	9525	16.662	54.429	23.47
0.265	6731	7.183	23.466	0.00
<b>Total</b>		30.6120		



Anexo 24 \_Plano de la Tolva de Gruesos para el proceso de trituración de la Planta de Beneficio "León"



**Anexo 25** Especificaciones Técnicas de los equipos a implementar en el Proceso de Trituración y cálculo de las variables tecnológicas de las trituradoras a implementar

Especificaciones Técnicas de los equipos a implementar en el Proceso de Trituración				
Equipos	Fotografía	Especificaciones		Precio (USD)
<b>Alimentador de Placas</b>		Marca	Jinpeg	3.500.00
		Modelo	GBH100-1.6	
		Capacidad m <sup>3</sup> /h	22-131	
		Anchura (mm)	1000	
		Velocidad (m/s)	0.025-1.5	
		Peso (Kg)	3561	
		Motor Kw	2.37	
Fuente:	Obtenido de: (Jinpeg, 2024)	Dimensiones de la estructura	3240*3026*1235	
<b>Criba Vibratoria</b>		Marca	ZGN	7,800.00
		Modelo	2YS1237	
		Capacidad (t/h)	15-90	
		Dimensiones de la estructura	1200 x 2200 mm	
		Pisos	1	
		Dimensiones de la malla	915 x 1800 mm	
		Tipo de malla	Rectangular	
		Abertura de malla (largo)	210 mm	
		Abertura de malla (Ancho)	70 mm	
Fuente:	Obtenido de: (ZGN, 2024)	Motor	11 kW≈15 HP	

### Especificaciones Técnicas de los equipos a implementar en el Proceso de Trituración

Equipos	Fotografía	Especificaciones		Precio (USD)
<b>Trituradora De Mandíbulas Primaria</b>		Marca	ZGN	10,000.00
		Modelo	PE 400*600	
		Capacidad (t/h)	15-60	
		Dimensiones	1700*1800*1800	
		Tamaño de alimentación	400*600	
		Tamaño máx. de alimentación	350	
		Tamaño de producto (mm) ajustable	40-100	
		Motor	15 HP	
Fuente:	Obtenido de: (ZGN, 2024)	Revestimientos	Forros dentados elaborados con acero al manganeso	525.00\$
<b>Trituradora De Mandíbulas Secundaria</b>		Marca	ZGN	10,30.00
		Modelo	PEX 250*400	
		Capacidad (t/h)	5-30	
		Dimensiones	1400*1400*1300	
		Tamaño de alimentación	250*400	
		Tamaño máx. de alimentación	200	
		Tamaño de producto (mm) ajustable	15mm-50mm	
		Motor	30 HP	
Fuente:	Obtenido de: (ZGN, 2024)	Revestimientos	Forros dentados en forma de pico elaborados con acero al manganeso	525.00\$

<b>Especificaciones Técnicas de las Bandas Transportadoras</b>				
<b>Primera Etapa</b>				
Transportador Primario	Tipo	Características		
	Banda transportadora de caucho reforzado con cables de acero N°3	Ancho	300 mm	
		Longitud	10 m	
		Velocidad	0.5 m/seg	
		Capacidad	17.44 TPH	
		Tensión	11.53 kN/m	
		Inclinación	0 - 35°	
		Motor	1.5 HP	
Obtenido de: (ZGN, 2024)		Precio	3.100.00	
<b>Segunda Etapa</b>				
Transportador Secundario	Tipo	Características		
	Banda transportadora de caucho reforzado con cables de acero N°6	Ancho	300 mm	
		Longitud	17 m	
		Velocidad	0.5 m/seg	
		Capacidad	17.44 TPH	
		Tensión	12.65 kN/m	
		Inclinación	0 - 35°	
		Motor	1.5 HP	
Obtenido de: (ZGN, 2024)		Precio	3.900.00	

<b>Especificaciones Técnicas de los motores a implementar en el Proceso de Trituración</b>					
Equipos	Fotografía	Potencia/Costo			
Motores		Motor 15 Hp	1020\$		
		Motor 30 HP	2975\$		
		Motor 1.5 Hp	178.5\$		
		Motor 3 Hp	467.5\$		
		Especificaciones			
		Revoluciones	Baja (1730 -1750 rpm)		
		Tipo	Cerraos (Por las partículas en suspensión)		
		Marca	WEG		

**Anexo 26** Cálculo de la Energía de Bond y Potencia para las trituradoras a implementar a futuro.

Dimensionamiento de las Trituradoras/ Energía de Bond	
Trituradora de Mandíbulas Primaria	
<p>Datos:</p> $Wi = 17.98 \frac{kWh}{tc}$ <p>Alimentación= 324.6mm <math>\approx</math> 324600 <math>\mu m</math></p> <p>Producto= 64.57 mm <math>\approx</math> 64570 <math>\mu m</math></p> <p>FS= 2 para estimar la potencia en trituración</p>	$W_b = 10 wi \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$ $W_b = 10 (17.98) \left( \frac{1}{\sqrt{64570}} - \frac{1}{\sqrt{324600}} \right)$ $W_b = 10 (17.98) \left( \frac{1}{\sqrt{64000}} - \frac{1}{\sqrt{320000}} \right)$ $W_b = 0.391 \left( \frac{kWh}{ton} \right)$
Trituradora de Mandíbulas Secundaria	
$Wi = 17.98 \frac{kWh}{tc}$ $Q = 15 \frac{ton}{hora}$ <p>Alimentación= 64 mm <math>\approx</math> 64570 <math>\mu m</math></p> <p>Producto= 19 mm <math>\approx</math> 19000 <math>\mu m</math></p> <p>Producto Metsim <math>\approx</math> 15.17 <math>\approx</math> 15170</p> <p>FS= 2 para estimar la potencia en trituración</p>	$W_b = 10 wi \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$ $W_b = 10 (17.98) \left( \frac{1}{\sqrt{15170}} - \frac{1}{\sqrt{64570}} \right)$ $W_b = 0.75 \left( \frac{kWh}{ton} \right)$

Dimensionamiento de las Trituradoras/ Potencia	
Capacidad en Ton/hora	
Capacidad= 150 ton / día $Q = \frac{150 \text{ ton/día}}{8 \text{ horas/día}} = 18.75 \text{ ton /día} * 0.8 \approx 15 \frac{\text{ton}}{\text{hora}}$	
Trituradora de Mandíbulas Primaria	
Datos: $Wi = 17.98 \frac{\text{kWh}}{\text{tc}}$ $Q = 15 \frac{\text{ton}}{\text{hora}}$ Alimentación= 324.6mm $\approx 324600 \mu\text{m}$ Producto= 64.57 mm $\approx 64570 \mu\text{m}$ FS= 2 para estimar la potencia en trituración	$P = 10 wi \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) * Q$ $P = 10 (17.98) \left( \frac{1}{\sqrt{64570}} - \frac{1}{\sqrt{324600}} \right) * 15$ $P = 5.879 \text{ kW}$
	Potencia en HP 1HP= 0.747 kW $P = \frac{5.879 \text{ kW}}{0.747}$ $P = 7.87 \text{ HP} \approx 7.5 \text{ METSIM}$
	Factor de Seguridad
	Potencia en HP $P = 7.87 \text{ HP} * 2$ $P = 15.74 \text{ HP} \approx 15 \text{ HP}$
Trituradora de Mandíbulas Secundaria	
$Wi = 17.98 \frac{\text{kWh}}{\text{tc}}$ $Q = 15 \frac{\text{ton}}{\text{hora}}$ Alimentación= 64 mm $\approx 64570 \mu\text{m}$ Producto= 19 mm $\approx 19000 \mu\text{m}$ Producto METSIM $\approx 15.17 \approx 15170$ FS= 2 para estimar la potencia en trituración	$P = 10 wi \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) * Q$ $P = 10 (17.98) \left( \frac{1}{\sqrt{15170}} - \frac{1}{\sqrt{64570}} \right) * 15$ $P = 11.28 \text{ kW}$
	Potencia en HP 1HP= 0.747 kW $P = \frac{11.28 \text{ kW}}{0.747}$ $P = 15.10 \text{ HP} \approx 15 \text{ METSIM}$
	Factor de Seguridad
	Potencia en HP $P = 15 \text{ HP} * 2$ $P = 30 \text{ HP}$

**Anexo 27** Análisis Multicriterio para la Elección de la Trituradora de Mandíbulas para la Primera Etapa de Trituración

<b>Análisis Multicriterio para la Elección de la Trituradora de Mandíbulas para la Primera Etapa de Trituración</b>						
<b>Consideraciones</b>	<b>Trituradora 1</b>	<b>Trituradora 2</b>	<b>Trituradora 3</b>	<b>Trituradora 4</b>	<b>Trituradora 5</b>	
<b>Técnico</b>	<b>Proveedor</b>	Jiaozou Zhongxin Maquinaria Industrial Pesada	Meka	Henan ZGN Industrial Techonology	DMT	AIMX GROUP
	<b>Lugar de Fabricación</b>	China	Turquía	China	Estados Unidos	China
	<b>Marca</b>	Zhongxin	Meka	Henan ZGM	DMT	AIMIX
	<b>Modelo</b>	PE 400*600	MJ60	PE-400x600	2155B	APJ-4060E
	<b>Capacidad (t/h)</b>	16-60	20-80	15-60	90-400	16-60
	<b>Tamaño de alimentación (mm)</b>	400*600	610*380	400*600	530-1400	400*600
	<b>Tamaño máximo de alimentación (mm)</b>	340	No especifica	350	427	340
	<b>Tamaño del rango de descarga (mm)</b>	40-100	40-150	40-100	40-130	40-100
	<b>Peso (t)</b>	6.65	6	7	16.5	6.7

	<b>Dimensiones (L*W*H) (mm)</b>	1797*1716*1581	No especifica	1700*1700*1600	No especifica	1565*1732-1568
	<b>Adaptabilidad</b>	Si es adaptable	No especifica	Si es adaptable	Si es adaptable	Si es Adaptable
	<b>Revestimientos</b>	No especifica	No especifica	Dentados	Dentados	Lisos y Dentados
	<b>Resistencia a la corrosión</b>	No especifica	No especifica	Si	Si	No específica
<b>Ambiental</b>	<b>Ahorro de Energía</b>	Si (no especifica el %)	No especifica	15 - 30 %	Si (no especifica el %)	Si (no especifica el %)
	<b>Control de Ruido Operacional</b>	Si	No especifica	Si	Si	Si
	<b>Control de partículas en suspensión</b>	Si	No especifica	Si	Si	Si
<b>Económico</b>	<b>Co de adquisición</b>	No especifica	No especifica	Asequible	Asequible	Asequible
	<b>Costo de mantenimiento</b>	Fácil Mantenimiento (Bajo)	No especifica	Bajo costo de mantenimiento	Bajo costo de mantenimiento	Fácil Mantenimiento (Bajo)
	<b>Durabilidad y vida útil</b>	Larga	No especifica	Larga	Moderada	Moderada

**Sumatoria de la Elección de la Trituradora de Mandíbulas para la Primera Etapa de Trituración**

<b>Consideraciones</b>		<b>Trituradora 1</b>	<b>Trituradora 2</b>	<b>Trituradora 3</b>	<b>Trituradora 4</b>	<b>Trituradora 5</b>
<b>Técnico</b>	<b>Proveedor</b>	Jiaozou Zhongxin Maquinaria Industrial Pesada	Meka	Henan ZGN Industrial Techonology	DMT	AIMX GROUP
	<b>Lugar de Fabricación</b>	China	Turquía	China	Estados Unidos	China
	<b>Marca</b>	Zhongxin	Meka	Henan ZGM	DMT	AIMIX
	<b>Modelo</b>	PE 400*600	MJ60	PE-400x600	2155B	APJ-4060E
	<b>Capacidad (t/h)</b>	1	1	1	0.75	1
	<b>Tamaño de alimentación (mm)</b>	1	0.75	1	0.75	1
	<b>Tamaño máximo de alimentación (mm)</b>	1	0	1	1	1
	<b>Tamaño del rango de descarga (mm)</b>	1	1	1	1	1
	<b>Peso (t)</b>	1	1	1	0	1
	<b>Dimensiones (L*W*H) (mm)</b>	1	0	1	1	1
	<b>Adaptabilidad</b>	1	0	1	1	1

	<b>Revestimientos</b>	1	0	1	1	1
	<b>Resistencia a la corrosión</b>	0	0	1	1	0
<b>Ambiental</b>	<b>Ahorro de Energía</b>	0	0	1	0.5	0.5
	<b>Control de Ruido Operacional</b>	0.5	0	1	1	1
	<b>Control de partículas en suspensión</b>	1	0	1	1	1
<b>Económico</b>	<b>Costo de adquisición</b>	0	0	1	1	1
	<b>Costo de mantenimiento</b>	1	0	1	1	1
	<b>Durabilidad y vida útil</b>	1	0	1	0.75	0.75
	<b>Total</b>	11.5	3.75	15	12.75	13.25

Análisis Multicriterio para la Elección de la Trituradora de Mandíbulas para la Primera Etapa de Trituración						
Consideraciones	Trituradora 1	Trituradora 2	Trituradora 3	Trituradora 4	Trituradora 5	
Técnico	Proveedor	Jiaozou Zhongxin Maquinaria Industrial Pesada	Henan Daswell Machinery Co., Ltd.	Henan ZGN Industrial Technology	Zhengzhou General Mining Machinery Co.,Ltd	Vanguard
	Lugar de Fabricación	China	China	China	Zhengzhou	China
	Marca	Zhongxin	Daswell	Henan ZGM	PEX 250 * 750	Vanguard
	Modelo	PE 250-400	PE 250-400	PEX 250 * 400	PEX 250 * 750	PEW 200*1300
	Capacidad (t/h)	5 ton - 20 ton	5 ton - 25 ton	5 - 30 ton	15 - 30 ton	12 ton - 35 ton
	Tamaño de alimentación (mm)	250*400	250*400	250*400	250 * 700	200*1300
	Tamaño máximo de alimentación (mm)	210	210	200	210	180
	Tamaño del rango de descarga (mm)	20 mm - 60 mm	15mm - 80 mm	15mm - 50mm	25-60 mm	10 mm - 30 mm
	Peso (t)	6.65	2.8	3	No especifica	7.5
	Dimensiones (L*W*H) (mm)	1180*1087*1245	1400*1315**1380	1400-1300*1300	1667*1545*1020	1320*2150*1175
	Adaptabilidad	Si es adaptable	Si es adaptable	Si es adaptable	Si es adaptable	Si es adaptable
	revestimientos		No específica	Dentados	No especifica	Dentados

		No específica				
	Resistencia a la corrosión	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Ambiental</b>	Ahorro de Energía	No específica	No específica	15 - 30%	Si (no específica el %)	No específica
	Control de Ruido Operacional	Produce poco ruido	No específica	Produce poco ruido	No específica	No específica
	Control de partículas en suspensión	Produce poco polvo	No específica	Produce poco ruido	No específica	No específica
<b>Económico</b>	Costo de adquisición	Costos bajos	Costos bajos	Costos bajos	Costos bajos	Costos bajos
	Costo de mantenimiento	Fácil Mantenimiento (Mantenimiento Conveniente)	Fácil Mantenimiento	Fácil mantenimiento	Fácil Mantenimiento	Fácil Mantenimiento
	Durabilidad y vida útil	No específica	Moderada	Larga	No específica	Larga

Sumatoria para la Elección de la Trituradora de Mandíbulas para la Primera Etapa de Trituración						
Consideraciones		Trituradora 1	Trituradora 2	Trituradora 3	Trituradora 4	Trituradora 5
Técnico	Proveedor	Jiaozou Zhongxin Maquinaria Industrial Pesada	Henan Daswell Machinery Co., Ltd.	Henan ZGN Industrial Technology	Zhengzhou General Mining Machinery Co.,Ltd	Vanguard
	Lugar de Fabricación	China	China	China	Zhengzhou	China
	Marca	Zhongxin	Daswell	Henan ZGM	PEX 250 * 750	Vanguard
	Modelo	PE 250-400	PE 250-400	PEX 250 * 400	PEX 250 * 750	PEW 200*1300
	Capacidad (t/h)	1	1	1	0.75	1
	Tamaño de alimentación (mm)	1	0.75	1	0.75	1
	Tamaño máximo de alimentación (mm)	1	0	1	1	1
	Tamaño del rango de descarga (mm)	1	1	1	1	1
	Peso (t)	1	1	1	0	1
	Dimensiones (L*W*H) (mm)	1	0	1	1	1
	Adaptabilidad	1	0	1	1	1
	Revestimientos	1	0	1	1	1

	Resistencia a la corrosión	0	0	1	1	0
<b>Ambiental</b>	Ahorro de Energía	0	0	1	0.5	0.5
	Control de Ruido Operacional	0.5	0	1	1	1
	Control de partículas en suspensión	1	0	1	1	1
<b>Económico</b>	Costo de adquisición	0	0	1	1	1
	Costo de mantenimiento	1	0	1	1	1
	Durabilidad y vida útil	1	0	1	0.75	0.75
	Total	11.75	3.75	15	12.75	13.25

**Anexo 28** *Cálculo de las bandas para el proceso de trituración brindado por el Software METSIM*

Simulación del Proceso de Trituración Planta León Ampliación y Diseño												
DESIGN FOR CONVEYOR NO. 6												
BULK DENSITY	1348.79	KG/M3	OPERATING LOAD	12.35	MTPH							
MATERIAL WEIGHT	8.57	KG/M	DESIGN LOAD	15.43	MTPH							
ANGLE OF REPOSE	20.00	DEG	BELT CAPACITY	17.44	MTPH							
MATERIAL VELOCITY	0.00	M/SEC	PERCENT LOADING	70.78	%							
IDLER SPACING	1.83	METERS	HORIZONTAL DIST	30.48	METERS							
IDLER ANGLE	35.00	DEG	VERTICAL LIFT	6.10	METERS							
IDLER DIAMETER	101.60	MM	CONVEYOR LENGTH	31.08	METERS							
IDLER CLASS	14.00	CEMA	BELT LENGTH	64.08	METERS							
IDLER FRICTION	33.57	N/M	BELT SPEED	0.50	M/SEC							
MAXIMUM KY	0.0350		BELT WIDTH	300.00	MM							
MAXIMUM KX	0.3893		BELT WEIGHT	4.46	KG/M							
OPERATING TEMP	15.00	DEG C	TAKEUP TYPE	0.00								
TEMP FACTOR KT	1.00		TAKEUP WEIGHT	381.31	KG							
SKIRTBOARD LENGTH	0.00	METERS	ANGLE OF WRAP	180.00	DEG							
SKIRTBOARD FRICT	0.2500		DRIVE PUL SURFACE	1.00								
NO. OF SCRAPERS	0.00		CW FACTOR	0.4993								
NUMBER OF PLOWS	0.00		MAX BELT TENSION	11.53	kN/M							
TRIPPER	0.00											
CALCULATED MOTOR HORSEPOWER												
BELT HP	DR.EFF	DRIVE HP	FACTOR	MOTOR HP	BELT KW	DRIVE KW	MOTOR KW					
1.18	0.9000	1.31	1.0000	1.50	0.88	0.98	1.12					
MINIMUM BELT TENSION FOR SAG <2.0% TO= 1462												
TENSION	OPERATING	CONNECTED	STARTUP	DESIGN								
T1	2635	3354	5031	5031								
T2	878	1117	1675	1675								
TE	1758	2237	3356	3356								
BELT TENSIONS AT DESIGN LOAD												
STA	STAT	---LOCATION---	PULL	PULL	PULL	-----	TENSION	COMPONENTS	-----			
NO.	TYPE	HORIZ	VERTL	DIA.	WRAP	WGHT	IDLR	BELT	MATL	LIFT	ACSS	PULL
1	TAIL	0.0	0.0	610	180	85	182	49	94	779	2	890
2	HEAD	30.5	6.1	610	180	87	7	21	0	-267	0	0
PULLEY RESULTANT LOADS												
PUL	INPUT	OUTPUT	RESULT	ANGLE	HORIZ	VERT	---SHAFT	DIAMETER	BASED ON---			
NO.	TENS	TENS	LOAD	HORIZ	COMP	COMP	BEND	DEFL	B/T	TOR	DES	
1	1461	2351	3739	359	3738	-89	42	40	0	0	42	
2	3458	1700	5391	200	-5058	-1866	0	44	52	46	53	
				SKIRTBOARD		0						
				MATR ACCEL		2						
				PLOWS		0						
				TRIPPER		0						
				SCRAPER		0						
				ACCESS		2	0					
				PULLEYS		890	0					

Simulación del Proceso de Trituración Planta León  
Ampliación y Diseño

DESIGN FOR CONVEYOR NO. 7

BULK DENSITY	1348.79 KG/M3	OPERATING LOAD	15.00 MTPH
MATERIAL WEIGHT	10.42 KG/M	DESIGN LOAD	18.75 MTPH
ANGLE OF REPOSE	20.00 DEG	BELT CAPACITY	17.44 MTPH
MATERIAL VELOCITY	0.00 M/SEC	PERCENT LOADING	86.00 %
IDLER SPACING	1.83 METERS	HORIZONTAL DIST	30.48 METERS
IDLER ANGLE	35.00 DEG	VERTICAL LIFT	6.10 METERS
IDLER DIAMETER	101.60 MM	CONVEYOR LENGTH	31.08 METERS
IDLER CLASS	14.00 CEMA	BELT LENGTH	64.08 METERS
IDLER FRICTION	33.57 N/M	BELT SPEED	0.50 M/SEC
MAXIMUM KY	0.0350	BELT WIDTH	300.00 MM
MAXIMUM KX	0.3901	BELT WEIGHT	4.46 KG/M
OPERATING TEMP	15.00 DEG C	TAKEUP TYPE	0.00
TEMP FACTOR KT	1.00	TAKEUP WEIGHT	422.54 KG
SKIRTBOARD LENGTH	0.00 METERS	ANGLE OF WRAP	180.00 DEG
SKIRTBOARD FRICT	0.2500	DRIVE PUL SURFACE	1.00
NO. OF SCRAPERS	0.00	CW FACTOR	0.4993
NUMBER OF PLOWS	0.00	MAX BELT TENSION	12.65 kN/M
TRIPPER	0.00		

CALCULATED MOTOR HORSEPOWER

BELT HP	DR.EFF	DRIVE HP	FACTOR	MOTOR HP	BELT KW	DRIVE KW	MOTOR KW
1.27	0.9000	1.41	1.0000	1.50	0.94	1.05	1.12

MINIMUM BELT TENSION FOR SAG <2.0% T0= 1669

TENSION	OPERATING	CONNECTED	STARTUP	DESIGN
T1	2832	3354	5031	5031
T2	943	1117	1675	1675
TE	1889	2237	3356	3356

BELT TENSIONS AT DESIGN LOAD

STA NO.	STAT TYPE	---LOCATION---		PULL DIA.	PULL WRAP	PULL WGHT	----- TENSION COMPONENTS -----					
		HORIZ	VERTL				IDLR	BELT	MATL	LIFT	ACSS	PULL
1	TAIL	0.0	0.0	610	180	86	182	49	115	890	3	890
2	HEAD	30.5	6.1	610	180	88	7	21	0	-267	0	0

PULLEY RESULTANT LOADS

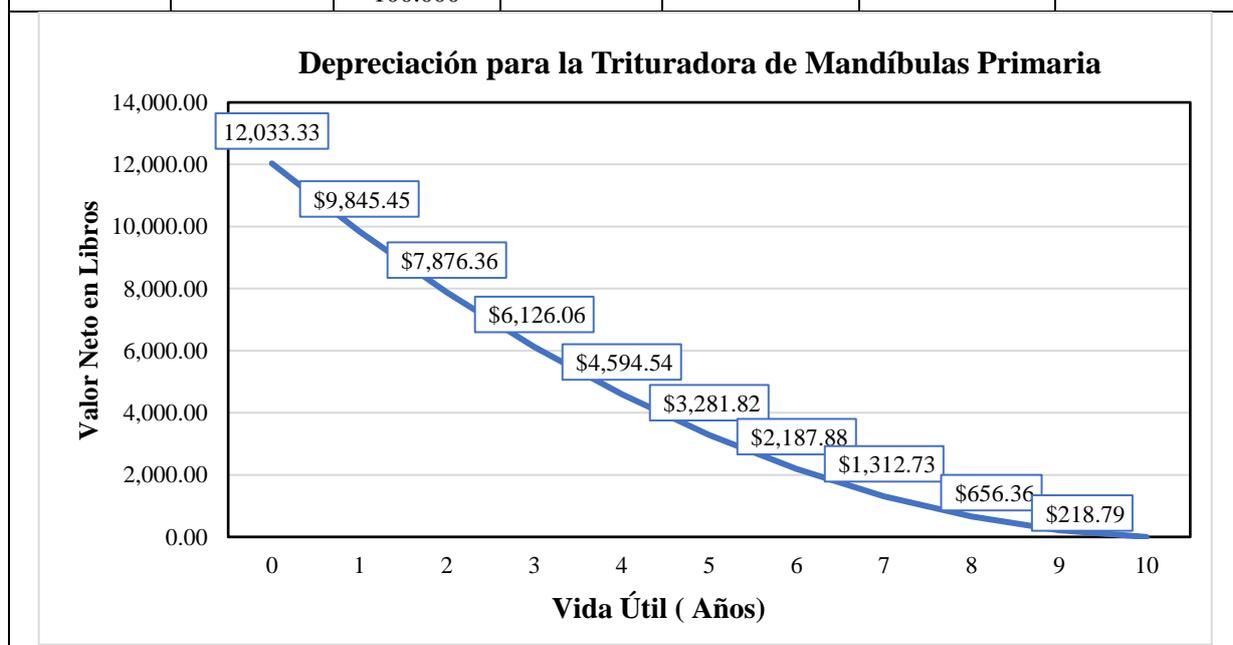
PUL NO.	INPUT TENS	OUTPUT TENS	RESULT LOAD	ANGLE HORIZ	HORIZ COMP	VERT COMP	---SHAFT DIAMETER BASED ON---				
							BEND	DEFL	B/T	TOR	DES
1	1668	2558	4144	360	4144	-16	43	41	0	0	44
2	3796	1907	5933	200	-5592	-1981	0	45	53	46	54

SKIRTBOARD	0
MATR ACCEL	3
PLOWS	0
TRIPPER	0
SCRAPER	0
ACCESS	3 0
PULLEYS	890 0

**Anexo 29** Evaluación económica del circuito de trituración a implementar en las operaciones de la planta de beneficio león

<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN A IMPLEMENTAR EN LAS OPERACIONES DE LA PLANTA DE BENEFICIO LEÓN</b>					
<b>Equipos del Proceso de Trituración</b>					
<b>Nombre del Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio + Envío</b>	<b>Precio Total</b>
Tolva de Gruesos	1	Elaborada en Acero al Manganeso (Ensamblada en Ecuador)	865.00	865.00	865.00
Alimentador de Placas	1	Modelo GBH100-1.6, capacidad 22m <sup>3</sup> /h	3.500.00	5.533.33	5.533.33
Criba Vibratoria	1	Marca ZGN, Modelo 2YS1237	7.800.00	9.833.33	9.833.33
Banda Transportadora N°3 10 m	1	Marca ZGN, Modelo N°3	3.100.00	5.133.33	5.133.33
Trituradora de Mandíbulas Primaria	1	Marca ZGN, Modelo PE400*600	10.000.00	12.033.33	12.033.33
Banda Transportadora N°6 17 m	1	Marca ZGN, Modelo N°6	3.900.00	5.933.33	5.933.33
Trituradora de Mandíbulas Secundaria	1	Marca ZGN, Modelo PEX250*400	10.300.00	12.333.33	12.333.33
Costo total del envío a Guayaquil Ecuador				12,200.00	
<b>Subtotal</b>					<b>51665.00</b>
<b>Motores para los equipos del Proceso de Trituración</b>					
Motor	2	Marca WEG trifásico 1750 rpm cerrado 15 HP 110/220 V	1.020	1.020	2.040
Motor	1	Marca WEG trifásico 1750 rpm cerrado 30 HP 110/220 V	2.975	2.975	2.975
Motor	1	Marca WEG trifásico 1730 rpm cerrado 1.5 HP 110/220 V	178.5	178.5	178.5
Motor	1	Marca WEG trifásico 1730 rpm cerrado 3 HP 110/220 V	467.5	467.5	467.5
<b>Subtotal</b>					<b>5837.50</b>
<b>Repuestos para las Trituradoras</b>					
Forros Dentados	2	Forros hechos con acero al manganeso para la trituradora primaria	525.00	525.00	1050.00
Forros Dentados en forma de pico	2	Forros hechos con acero al manganeso para la trituradora secundaria	550.00	550.00	1100.00
<b>Subtotal</b>					<b>2150.00</b>
<b>Total</b>					<b>59652.50</b>

DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN						
TRITURADORA DE MANDÍBULAS PRIMARIA						
Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
0						12,033.33
1	0.18	18.182	\$ 12,033.33	\$ 2,187.88	\$ 2,187.88	\$ 9,845.45
2	0.16	16.364	\$ 12,033.33	\$ 1,969.09	\$ 4,156.97	\$ 7,876.36
3	0.15	14.545	\$ 12,033.33	\$ 1,750.30	\$ 5,907.27	\$ 6,126.06
4	0.13	12.727	\$ 12,033.33	\$ 1,531.51	\$ 7,438.79	\$ 4,594.54
5	0.11	10.909	\$ 12,033.33	\$ 1,312.73	\$ 8,751.51	\$ 3,281.82
6	0.09	9.091	\$ 12,033.33	\$ 1,093.94	\$ 9,845.45	\$ 2,187.88
7	0.07	7.273	\$ 12,033.33	\$ 875.15	\$ 10,720.60	\$ 1,312.73
8	0.05	5.455	\$ 12,033.33	\$ 656.36	\$ 11,376.97	\$ 656.36
9	0.04	3.636	\$ 12,033.33	\$ 437.58	\$ 11,814.54	\$ 218.79
10	0.02	1.818	\$ 12,033.33	\$ 218.79	\$ 12,033.33	\$ -0.00
		100.000				

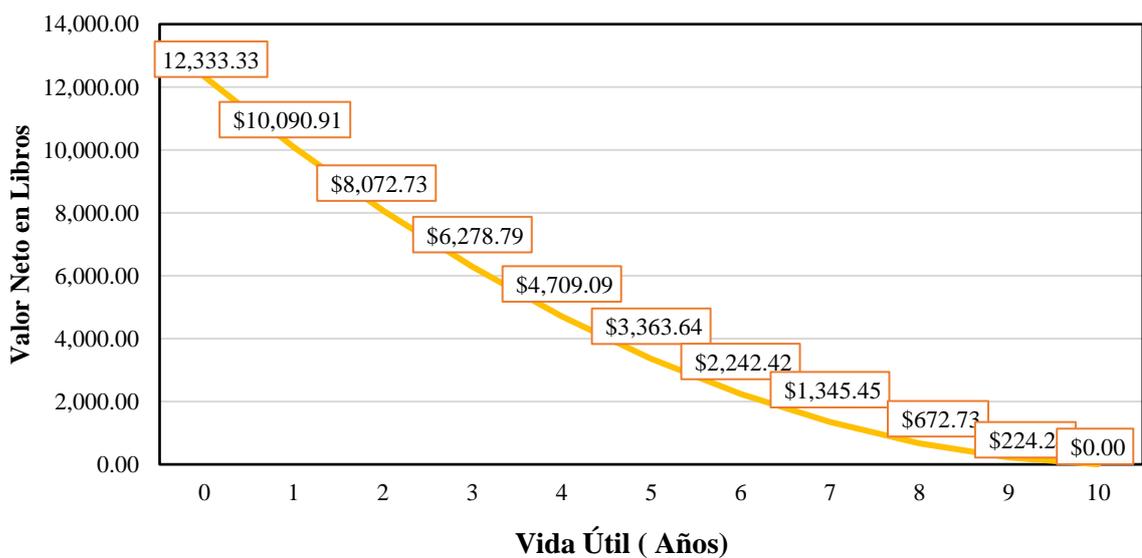


**DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN**

**TRITURADORA DE MANDÍBULAS SECUNDARIA**

<b>Año</b>	<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Activo</b>	<b>Cuota Depreciación</b>	<b>Depreciación Acumulada</b>	<b>Valor Neto en Libros</b>
0						12,333.33
1	0.18	18.182	\$ 12,333.33	\$ 2,242.42	\$ 2,242.42	\$ 10,090.91
2	0.16	16.364	\$ 12,333.33	\$ 2,018.18	\$ 4,260.60	\$ 8,072.73
3	0.15	14.545	\$ 12,333.33	\$ 1,793.94	\$ 6,054.54	\$ 6,278.79
4	0.13	12.727	\$ 12,333.33	\$ 1,569.70	\$ 7,624.24	\$ 4,709.09
5	0.11	10.909	\$ 12,333.33	\$ 1,345.45	\$ 8,969.69	\$ 3,363.64
6	0.09	9.091	\$ 12,333.33	\$ 1,121.21	\$ 10,090.91	\$ 2,242.42
7	0.07	7.273	\$ 12,333.33	\$ 896.97	\$ 10,987.88	\$ 1,345.45
8	0.05	5.455	\$ 12,333.33	\$ 672.73	\$ 11,660.60	\$ 672.73
9	0.04	3.636	\$ 12,333.33	\$ 448.48	\$ 12,109.09	\$ 224.24
10	0.02	1.818	\$ 12,333.33	\$ 224.24	\$ 12,333.33	\$ 0.00
		100.000				

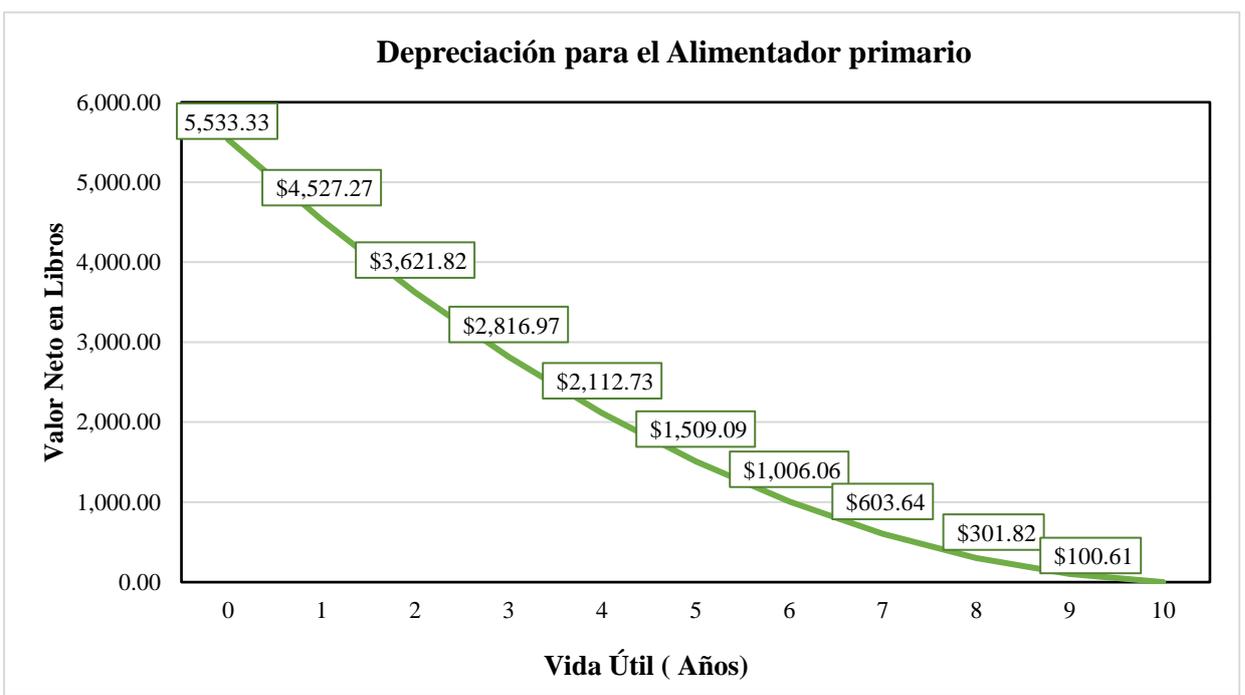
**Depreciación para la Trituradora de Mandíbulas Secundaria**



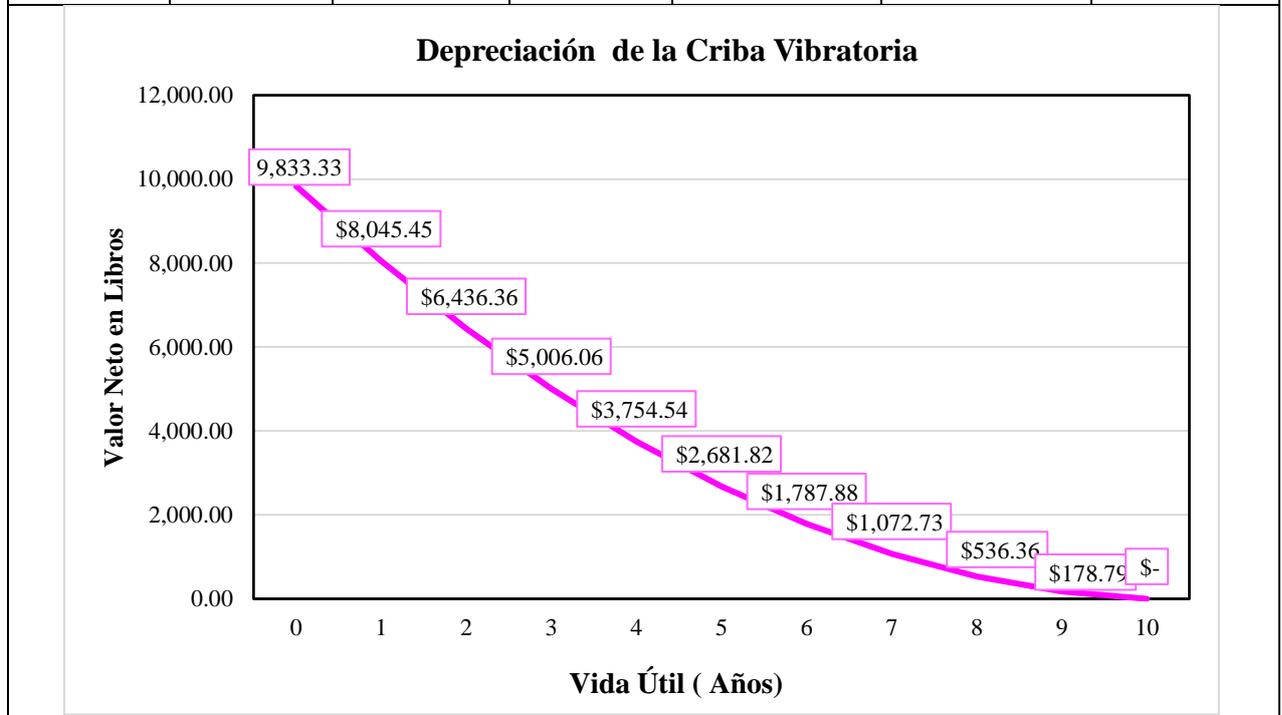
**DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN**

**ALIMENTADOR DE PLACAS**

<b>Año</b>	<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Activo</b>	<b>Cuota Depreciación</b>	<b>Depreciación Acumulada</b>	<b>Valor Neto en Libros</b>
0						5,533.33
1	0.18	18.182	\$ 5,533.33	\$ 1,006.06	\$ 1,006.06	\$ 4,527.27
2	0.16	16.364	\$ 5,533.33	\$ 905.45	\$ 1,911.51	\$ 3,621.82
3	0.15	14.545	\$ 5,533.33	\$ 804.85	\$ 2,716.36	\$ 2,816.97
4	0.13	12.727	\$ 5,533.33	\$ 704.24	\$ 3,420.60	\$ 2,112.73
5	0.11	10.909	\$ 5,533.33	\$ 603.64	\$ 4,024.24	\$ 1,509.09
6	0.09	9.091	\$ 5,533.33	\$ 503.03	\$ 4,527.27	\$ 1,006.06
7	0.07	7.273	\$ 5,533.33	\$ 402.42	\$ 4,929.69	\$ 603.64
8	0.05	5.455	\$ 5,533.33	\$ 301.82	\$ 5,231.51	\$ 301.82
9	0.04	3.636	\$ 5,533.33	\$ 201.21	\$ 5,432.72	\$ 100.61
10	0.02	1.818	\$ 5,533.33	\$ 100.61	\$ 5,533.33	\$ -0.00
		100.000				



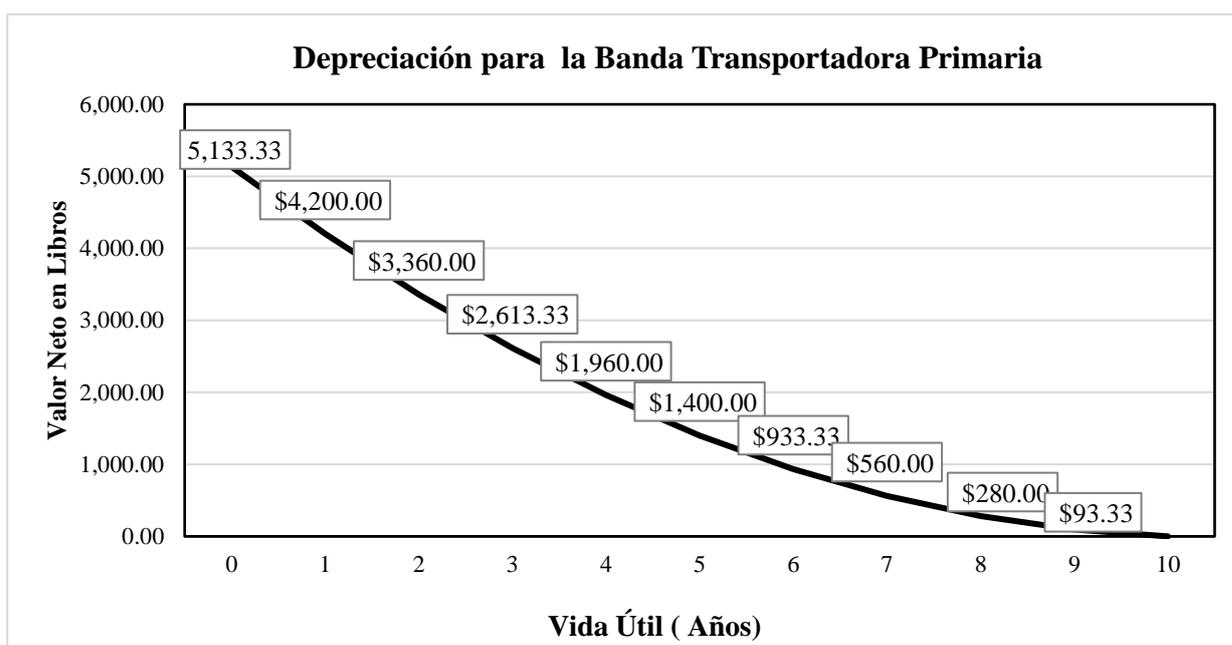
DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN						
CRIBA VIBRATORIA						
Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
0						9,833.33
1	0.18	18.182	\$ 9,833.33	\$ 1,787.88	\$ 1,787.88	\$ 8,045.45
2	0.16	16.364	\$ 9,833.33	\$ 1,609.09	\$ 3,396.97	\$ 6,436.36
3	0.15	14.545	\$ 9,833.33	\$ 1,430.30	\$ 4,827.27	\$ 5,006.06
4	0.13	12.727	\$ 9,833.33	\$ 1,251.51	\$ 6,078.79	\$ 3,754.54
5	0.11	10.909	\$ 9,833.33	\$ 1,072.73	\$ 7,151.51	\$ 2,681.82
6	0.09	9.091	\$ 9,833.33	\$ 893.94	\$ 8,045.45	\$ 1,787.88
7	0.07	7.273	\$ 9,833.33	\$ 715.15	\$ 8,760.60	\$ 1,072.73
8	0.05	5.455	\$ 9,833.33	\$ 536.36	\$ 9,296.97	\$ 536.36
9	0.04	3.636	\$ 9,833.33	\$ 357.58	\$ 9,654.54	\$ 178.79
10	0.02	1.818	\$ 9,833.33	\$ 178.79	\$ 9,833.33	\$ -
		100.000				



**DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN**

**BANDA TRANSPORTADORA 10 metros**

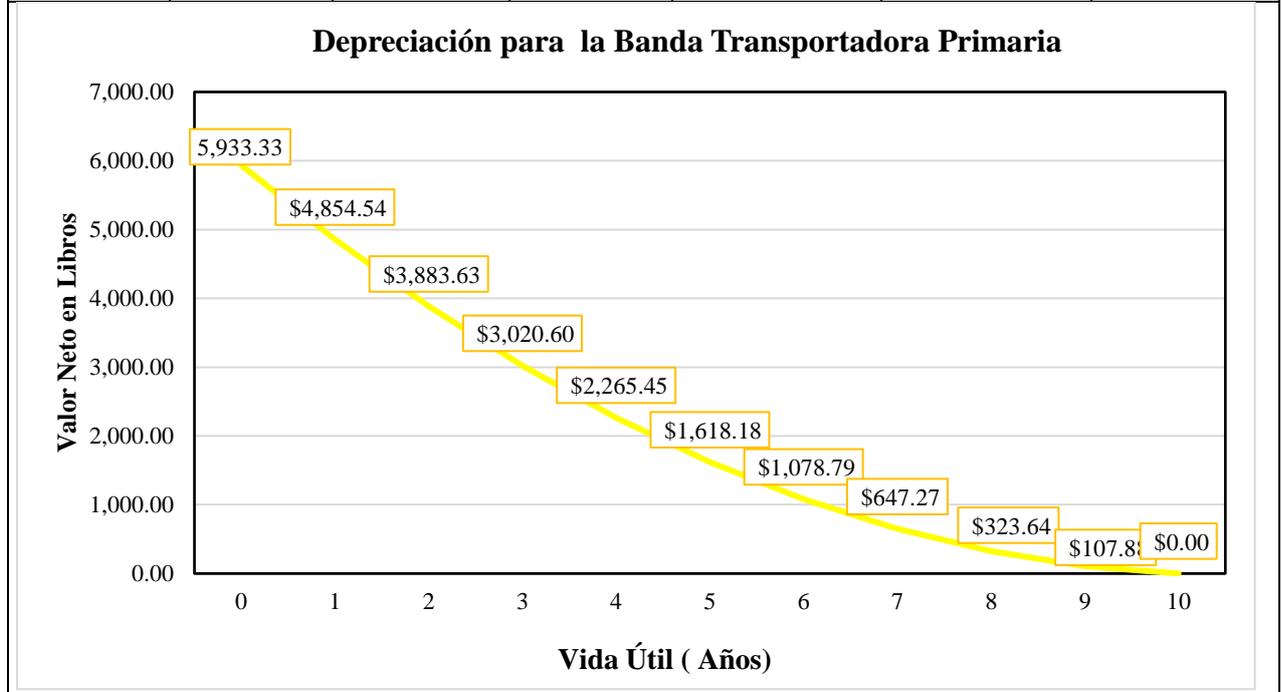
<b>Año</b>	<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Activo</b>	<b>Cuota Depreciación</b>	<b>Depreciación Acumulada</b>	<b>Valor Neto en Libros</b>
0						5,133.33
1	0.18	18.182	\$ 5,133.33	\$ 933.33	\$ 933.33	\$ 4,200.00
2	0.16	16.364	\$ 5,133.33	\$ 840.00	\$ 1,773.33	\$ 3,360.00
3	0.15	14.545	\$ 5,133.33	\$ 746.67	\$ 2,520.00	\$ 2,613.33
4	0.13	12.727	\$ 5,133.33	\$ 653.33	\$ 3,173.33	\$ 1,960.00
5	0.11	10.909	\$ 5,133.33	\$ 560.00	\$ 3,733.33	\$ 1,400.00
6	0.09	9.091	\$ 5,133.33	\$ 466.67	\$ 4,200.00	\$ 933.33
7	0.07	7.273	\$ 5,133.33	\$ 373.33	\$ 4,573.33	\$ 560.00
8	0.05	5.455	\$ 5,133.33	\$ 280.00	\$ 4,853.33	\$ 280.00
9	0.04	3.636	\$ 5,133.33	\$ 186.67	\$ 5,040.00	\$ 93.33
10	0.02	1.818	\$ 5,133.33	\$ 93.33	\$ 5,133.33	\$ -0.00
		100.000				



**DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN**

**BANDA TRANSPORTADORA 17 metros**

<b>Año</b>	<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Activo</b>	<b>Cuota Depreciación</b>	<b>Depreciación Acumulada</b>	<b>Valor Neto en Libros</b>
0						5,933.33
1	0.18	18.182	\$ 5,933.33	\$ 1,078.79	\$ 1,078.79	\$ 4,854.54
2	0.16	16.364	\$ 5,933.33	\$ 970.91	\$ 2,049.70	\$ 3,883.63
3	0.15	14.545	\$ 5,933.33	\$ 863.03	\$ 2,912.73	\$ 3,020.60
4	0.13	12.727	\$ 5,933.33	\$ 755.15	\$ 3,667.88	\$ 2,265.45
5	0.11	10.909	\$ 5,933.33	\$ 647.27	\$ 4,315.15	\$ 1,618.18
6	0.09	9.091	\$ 5,933.33	\$ 539.39	\$ 4,854.54	\$ 1,078.79
7	0.07	7.273	\$ 5,933.33	\$ 431.51	\$ 5,286.06	\$ 647.27
8	0.05	5.455	\$ 5,933.33	\$ 323.64	\$ 5,609.69	\$ 323.64
9	0.04	3.636	\$ 5,933.33	\$ 215.76	\$ 5,825.45	\$ 107.88
10	0.02	1.818	\$ 5,933.33	\$ 107.88	\$ 5,933.33	\$ 0.00
		100.000				

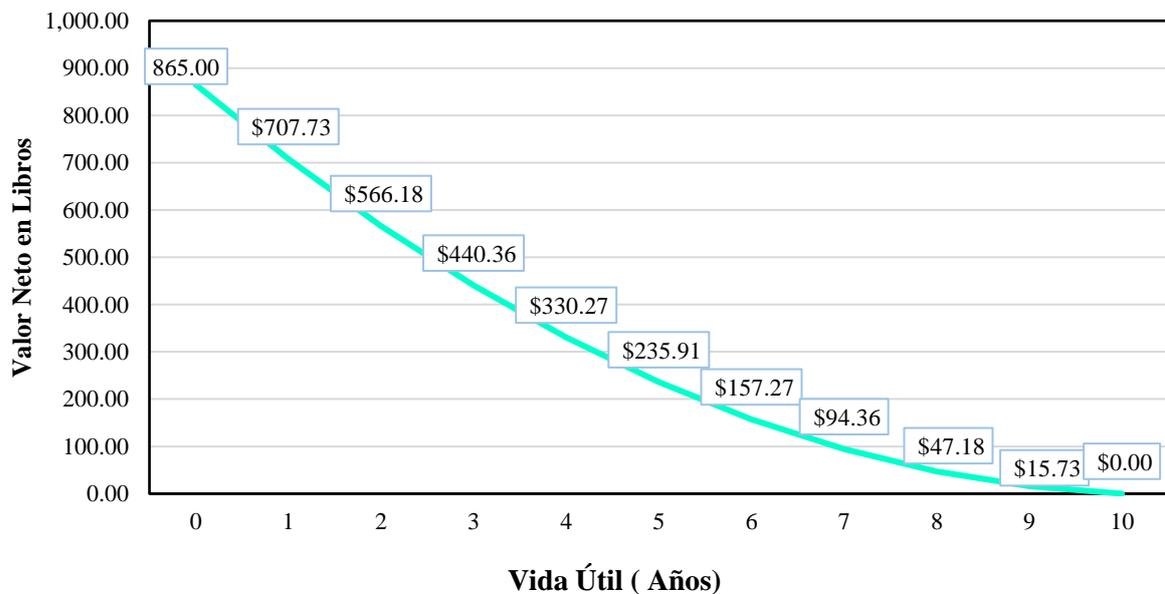


**DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN**

**TOLVA DE GRUESOS**

<b>Año</b>	<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Activo</b>	<b>Cuota Depreciación</b>	<b>Depreciación Acumulada</b>	<b>Valor Neto en Libros</b>
0						865.00
1	0.18	18.182	\$ 865.00	\$ 157.27	\$ 157.27	\$ 707.73
2	0.16	16.364	\$ 865.00	\$ 141.55	\$ 298.82	\$ 566.18
3	0.15	14.545	\$ 865.00	\$ 125.82	\$ 424.64	\$ 440.36
4	0.13	12.727	\$ 865.00	\$ 110.09	\$ 534.73	\$ 330.27
5	0.11	10.909	\$ 865.00	\$ 94.36	\$ 629.09	\$ 235.91
6	0.09	9.091	\$ 865.00	\$ 78.64	\$ 707.73	\$ 157.27
7	0.07	7.273	\$ 865.00	\$ 62.91	\$ 770.64	\$ 94.36
8	0.05	5.455	\$ 865.00	\$ 47.18	\$ 817.82	\$ 47.18
9	0.04	3.636	\$ 865.00	\$ 31.45	\$ 849.27	\$ 15.73
10	0.02	1.818	\$ 865.00	\$ 15.73	\$ 865.00	\$ 0.00

**Depreciación para la Tolva de Gruesos**

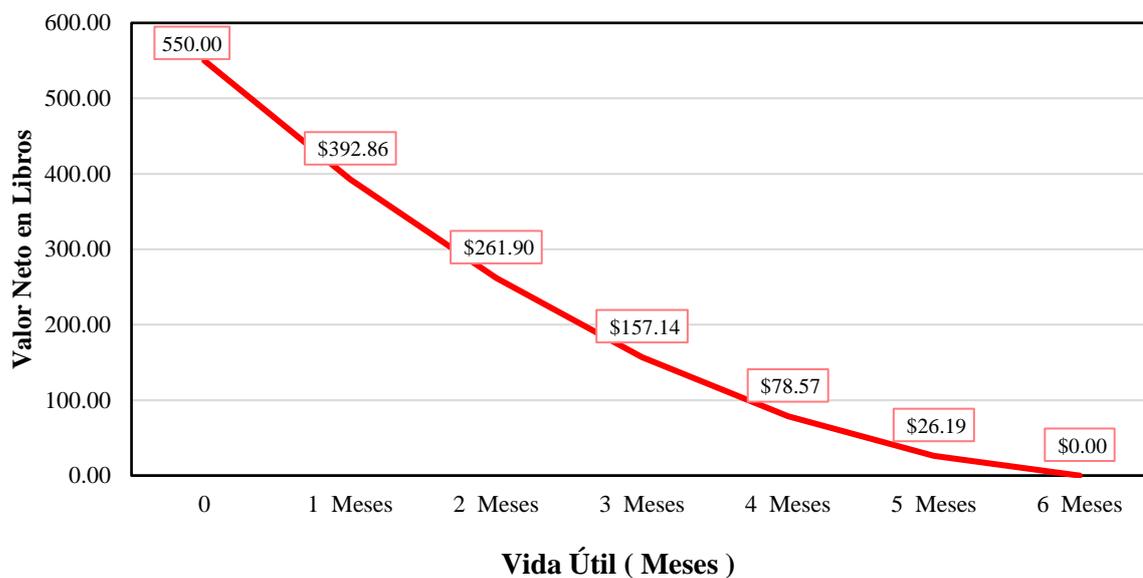


**DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN**

**FORROS EN FORMA DE PICO DE LA TRITURADORA SECUNDARIA**

Año	Factor	Porcentaje	Valor Activo	Cuota Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor Neto en Libros
0						550.00
1	0.286	28.571	\$ 550.00	\$ 157.14	\$ 157.14	\$ 392.86
2	0.238	23.810	\$ 550.00	\$ 130.95	\$ 288.10	\$ 261.90
3	0.190	19.048	\$ 550.00	\$ 104.76	\$ 392.86	\$ 157.14
4	0.143	14.286	\$ 550.00	\$ 78.57	\$ 471.43	\$ 78.57
5	0.095	9.524	\$ 550.00	\$ 52.38	\$ 523.81	\$ 26.19
6	0.048	4.762	\$ 550.00	\$ 26.19	\$ 550.00	\$ 0.00
		100.000				

**Depreciación para los forros de Trituradora Secundaria**

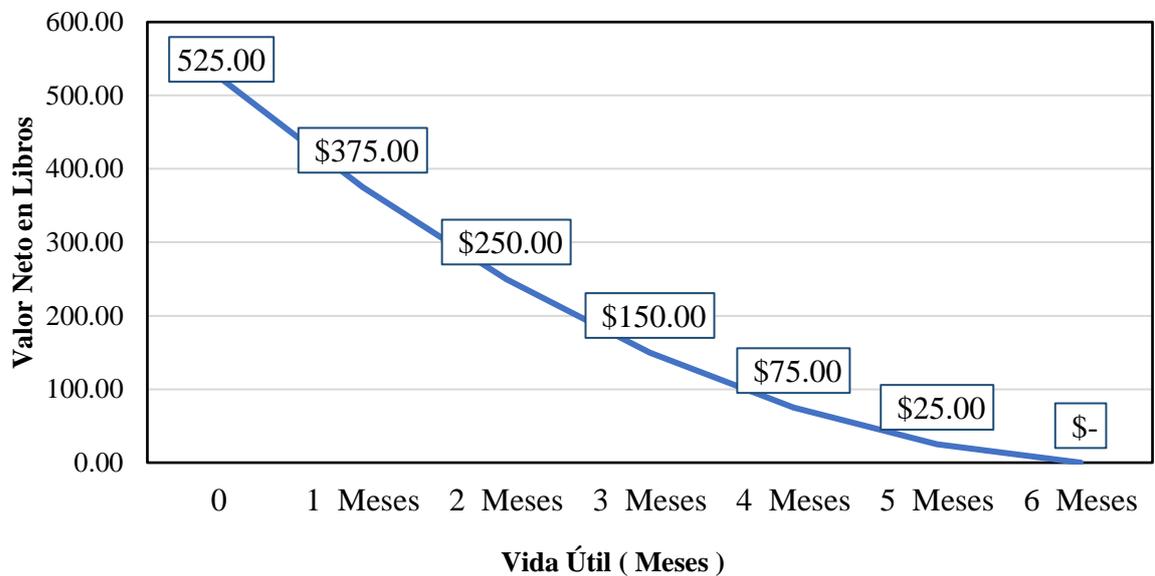


**DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN**

**FORROS DENTADOS PARA DE LA TRITURADORA PRIMARIA**

<b>Año</b>	<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Activo</b>	<b>Cuota Depreciación</b>	<b>Depreciación Acumulada</b>	<b>Valor Neto en Libros</b>
<b>Meses</b>	<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Activo</b>	<b>Cuota Depreciación</b>	<b>Depreciación Acumulada</b>	<b>Valor Neto en Libros</b>
0						525.00
1	0.286	28.571	\$ 525.00	\$ 150.00	\$ 150.00	\$ 375.00
2	0.238	23.810	\$ 525.00	\$ 125.00	\$ 275.00	\$ 250.00
3	0.190	19.048	\$ 525.00	\$ 100.00	\$ 375.00	\$ 150.00
4	0.143	14.286	\$ 525.00	\$ 75.00	\$ 450.00	\$ 75.00
5	0.095	9.524	\$ 525.00	\$ 50.00	\$ 500.00	\$ 25.00
6	0.048	4.762	\$ 525.00	\$ 25.00	\$ 525.00	\$ -
		100.000				

**Depreciación para los forros de la trituradora primaria**



Carga	Potencia (kW)	Promedio horas diarias en funcionamiento	Consumo Diario (kW)	Consumo Mensual (kW)	Consumo Anual (kW)	Consumo Nominal 70%
Equipo 1	2.37	8	18.96	568.80	6.825.60	398.16
Equipo 2	11.18550	8	89.48	2.684.52	32.214.24	1879.16
Equipo 3	1.12	8	8.96	268.80	3.225.60	188.16
Equipo 4	11.18550	8	89.48	2.684.52	32.214.24	1879.16
Equipo 5	1.12	8	8.96	268.80	3.225.60	188.16
Equipo 6	22.371	8	178.97	5.369.04	142.133.76	3758.33
Total			394.82	11.844.48	142.133.76	8291.136
Costo Mensual						
Precio kWh	\$0.09		Factura kW	\$746.20		
Días Facturados	30		Impuesto sobre Electricidad	\$0.00		
Impuesto sobre Electricidad	0.0%		Total		\$746.20	

**Anexo 30** *Diagrama de flujo final de la propuesta del proceso de trituración aplicado en las operaciones de la Planta de Beneficio “León”.*

**Anexo 31** *Plano final de la propuesta del proceso de trituración aplicado en las operaciones de la Planta de Beneficio “León”.*

**Anexo 32** *Mapa de ubicación de la Planta de Tratamiento y Beneficio “León”.*

**Anexo 33** *Mapa de ubicación de la concesión minera “Bomba de Pacchapamba Unificada”.*

**Anexo 34** *Mapa geológico regional del área minera “Bomba de Pacchapamba Unificada”.*

**Anexo 35** *Mapa geológico local del área minera “Bomba de Pacchapamba Unificada”.*

**Anexo 36** *Planimetría de la Planta de Beneficio “León”.*

**Anexo 37** *Plano de la tolva de gruesos para el proceso de trituración de la Planta de Beneficio “León”.*

**Anexo 38** *Diagrama de flujo del proceso actual que desarrolla la Planta de Beneficio “León”.*

**Anexo 39** *Diagrama de Flujo del Circuito Cerrado del Proceso de Trituración – Simulación Dinámica.*

**Anexo 40** *Diagrama de Flujo del Circuito Abierto del Proceso de Trituración – Simulación Estática*

## **Están Ubicados en la Carpeta de Archivos**

Loja, 24 de julio del 2024

### CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, **Andrea Ivanova Carrión Jaramillo**, con cédula **1104691108**, con el “**Certificate of Proficiency in English**” otorgado por Fine Tuned English.

#### CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente estudio investigativo denominado **"Simulación del proceso de trituración con la aplicación del software METSIM en las operaciones de la Planta de Beneficio León con el material de la Sociedad Minera la Ponderosa, código 390190, Provincia del Oro, cantón Portovelo, sector El Salado."** de autoría de **Laura Araceli Jimenez Chocho**, portador de la cédula de identidad número **1721413308**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Minas de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja. Dicho estudio se encontró bajo la dirección del **Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Minas.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que este creyera conveniente.



**Andrea Ivanova Carrión Jaramillo**  
**C.I.: 1104691108**