



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**EVALUACIÓN DEL CIRCUITO DE CONMINUCIÓN, LLEVADO
EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA
“OROCONCENT S.A.”, UBICADA EN EL SECTOR EL TABLÓN
DEL CANTÓN PORTOVELO EN LA PROVINCIA DEL ORO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR:

MAURICIO ALDAIR SAMANIEGO ZABALA

Macas – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**EVALUACIÓN DEL CIRCUITO DE CONMINUCIÓN, LLEVADO
EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA
“OROCONCENT S.A.”, UBICADA EN EL SECTOR EL TABLÓN
DEL CANTÓN PORTOVELO EN LA PROVINCIA DEL ORO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR: MAURICIO ALDAIR SAMANIEGO ZABALA

DIRECTOR: Ing. GREGORY GUILLERMO CUESTA ANDRADE M.Sc.

Macas – Ecuador

2022

©2022, Mauricio Aldair Samaniego Zabala

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, MAURICIO ALDAIR SAMANIEGO ZABALA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 03 de marzo de 2022



Mauricio Aldair Samaniego Zabala

1400645808

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **EVALUACIÓN DEL CIRCUITO DE CONMINUCIÓN, LLEVADO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA “OROCONCENT S.A.”, UBICADA EN EL SECTOR EL TABLÓN DEL CANTÓN PORTOVELO EN LA PROVINCIA DEL ORO**, realizado por el señor: Mauricio Aldair Samaniego Aldair , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Mejía Flores Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MARCO ANTONIO MEJIA FLORES	2022-03-03
Ing. Gregory Guillermo Cuesta Andrade M.Sc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 Firmado electrónicamente por: GREGORY GUILLERMO CUESTA ANDRADE	2022-03-03
Ing. Eduardo Santiago Cazar Rivera Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: EDUARDO SANTIAGO CAZAR RIVERA	2022-03-03

DEDICATORIA

A Dios, por haberme llenado por su gracia de salud y vida, logrando llegar a culminar con éxitos mi vida profesional y dándome la fuerza para seguir adelante. A mis padres Jenny Zabala y Marcelo Samaniego, que son mis pilares fundamentales en mi crecimiento tanto espiritual como personal, por apoyarme cuando más lo necesitaba, seres que no quisieron verme rendir y con sus consejos y enseñanzas he logrado llegar a este punto de mi vida. A mis hermanos que me han ofrecido el apoyo y su amor brindado para poder salir adelante.

Mauricio

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi alma mater, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a las autoridades y docentes de la extensión Morona Santiago, en especial a los que fueron parte de mi crecimiento personal como académico, por permitirme llenar de conocimientos para mi futuro profesional en base a sus capacidades para así cumplir mis metas y ser una persona para cumplir con su capacidad laboral y personal. A mi director y maestro de tesis, Ingeniero Gregory Cuesta, por ser la persona que confió en mí para llevar a cabo este proyecto, tanto como prácticas preprofesionales como el trabajo de integración curricular. A la empresa OROCONCENT S.A. quienes me abrieron la puerta para poder formar parte de su inmenso equipo de trabajo, me brindaron su conocimiento para poder llevar a cabo esta tarea de elaboración del proyecto de integración curricular, al Ingeniero Juan Diego Varela, gerente de la empresa que siempre estaba pendiente y apoyándonos para poder llevar de la mejor manera nuestro crecimiento como profesional y personal. A mis padres y familiares quienes me brindaron su apoyo incondicional para poder sobrellevar esta carga. A mis amigos y compañeros, que han estado en el recorrer de mi vida y carrera profesional, brindándome su cariño y apoyo, y todas esas otras personas que han formado parte de este proyecto de vida que me he ido formando.

Mauricio

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>.....	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>.....	4
1.4. Antecedentes.....	4
1.5. Generalidades.....	6
1.5.1. <i>Ubicación</i>.....	6
1.5.2. <i>Vías de acceso</i>.....	6
1.5.3. <i>Clima</i>.....	7
1.5.4. <i>Morfología</i>.....	7

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	8
2.1. Geología regional.....	8
2.1.1. <i>Litología</i>.....	8
2.1.1.1. <i>Zona Zaruma – Portovelo</i>.....	10
2.2. Geología Local.....	10
2.2.1. <i>Tipo de yacimiento</i>.....	10
2.2.2. <i>Mineralización</i>.....	11
2.2.2.1. <i>Pirita (Piritización)</i>.....	11
2.2.2.2. <i>Cuarzo (Silicificación)</i>.....	12

2.2.2.3.	<i>Propilitización</i>	12
2.2.2.4.	<i>Argilitización</i>	12
2.3.	Bases Teóricas	12
2.3.1.	<i>Conminución</i>	12
2.3.2.	<i>Principios de la conminución</i>	13
2.3.3.	<i>Mecanismos de conminución</i>	14
2.3.3.1.	<i>Fractura</i>	15
2.3.3.2.	<i>Astillamiento</i>	15
2.3.3.3.	<i>Abrasión</i>	15
2.3.4.	<i>El procesamiento de minerales y sus etapas</i>	16
2.3.5.	<i>Tratamiento mecánico de minerales</i>	16
2.4.	Trituración	18
2.4.1.	<i>Trituradoras primarias</i>	18
2.4.1.1.	<i>Trituradoras de quijadas o mandíbulas</i>	18
2.4.2.	<i>Trituradoras secundarias y terciarias</i>	19
2.4.2.1.	<i>Trituradora giratoria</i>	19
2.4.2.2.	<i>Trituradora de cono</i>	20
2.4.3.	<i>Propósito del chancado</i>	21
2.4.4.	<i>Circuitos de Trituración Primaria</i>	21
2.5.	Molienda	23
2.5.1.	<i>Principales tipos de molinos</i>	25
2.5.1.1.	<i>Molino de barras</i>	25
2.5.1.2.	<i>Molino de bolas</i>	25
2.5.1.3.	<i>Molino semiautógeno (SAG o AG)</i>	26
2.5.2.	<i>Dimensionamiento de molinos</i>	27
2.5.3.	<i>Variables de la molienda de minerales</i>	28
2.5.4.	<i>Tiempo de molienda</i>	28
2.6.	Hidrociclones	28
2.7.	Diagramas de una planta de beneficio de mineral	30
2.7.1.	<i>Diagramas por vía seca y húmeda</i>	30
2.7.2.	<i>Fragmentación definida en función del tipo de circuito empleado</i>	30
2.8.	Equipos adicionales para el proceso de conminución	31
2.8.1.	<i>Balanza digital</i>	31
2.8.2.	<i>Balanza de Marcy</i>	31
2.8.3.	<i>Tamizadora</i>	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	34
3.1.	Proceso actual de conminución de la planta de beneficio de la empresa “OROCONCENT SA”	34
3.1.1.	<i>Materiales</i>	34
3.1.2.	<i>Sector de análisis</i>	35
3.1.3.	<i>Variables</i>	35
3.1.4.	<i>Elaboración del circuito de Trituración y Molienda</i>	35
3.1.4.1.	<i>Visita en planta</i>	35
3.1.4.2.	<i>Diseño del circuito</i>	35
3.2.	Revisión de los parámetros operacionales de las trituradoras, zarandas vibratorias y molinos	36
3.2.1.	<i>Circuito de trituración (C1)</i>	36
3.2.1.1.	<i>Trituradora de mandíbula primaria (TMP-C1)</i>	36
3.2.1.2.	<i>Zaranda Vibratoria (ZV-C1)</i>	37
3.2.1.3.	<i>Trituración de mandíbula Secundaria (TMS-C1)</i>	37
3.2.1.4.	<i>Molino 6' x 12' (MB-C1)</i>	37
3.3.	Evaluación de la distribución de las mallas en los circuitos de trituración y molienda	38
3.3.1.	<i>Muestra</i>	38
3.3.2.	<i>Muestreo</i>	38
3.3.3.	<i>Equipos para cálculos de las muestras</i>	39
3.3.3.1.	<i>Balanza Marcy</i>	39
3.3.3.2.	<i>Vibro tamiz (Endecotts)</i>	39
3.3.4.	<i>Puntos de toma de muestras (Circuito de trituración y molienda)</i>	40
3.3.4.1.	<i>Puntos de toma de muestras circuito de trituración</i>	40
3.3.4.2.	<i>Puntos de toma de muestras circuito de molienda</i>	40
3.3.5.	<i>Mallas para el circuito de trituración.</i>	41
3.3.6.	<i>Procedimiento Planta de beneficio OROCONCEN S.A.</i>	41
3.3.6.1.	<i>Trituración</i>	41
3.3.6.2.	<i>Molienda</i>	42
3.3.7.	<i>Preparación de la muestra para Laboratorio de Minas - ESPOCH</i>	43
3.3.7.1.	<i>Procedimiento laboratorio minas</i>	43
3.3.8.	<i>Análisis granulométrico valorado</i>	44
3.3.9.	<i>Densidad de pulpa</i>	44

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	46
4.1.	Análisis del proceso actual de conminución en la planta de beneficio	46
4.1.1.	<i>Diagrama del circuito de trituración</i>	46
4.1.1.1.	<i>Circuito de Trituración vista superior</i>	46
4.1.1.2.	<i>Circuito de Trituración vista lateral</i>	47
4.1.2.	<i>Diagrama del circuito de molienda</i>	48
4.1.3.	<i>Diagrama del proceso de conminución del circuito</i>	49
4.2.	Parámetros operacionales trituradoras, zarandas vibratorias y molinos	50
4.2.1.	<i>Características y datos de placa de los equipos del proceso de trituración</i>	50
4.2.1.1.	<i>Trituradora de mandíbula Primaria (TMP-C1)</i>	50
4.2.1.2.	<i>Zaranda Vibratoria (ZV-C1)</i>	50
4.2.1.3.	<i>Trituradora de mandíbula 2 (TMP2-C1)</i>	51
4.2.2.	<i>Características y datos de placa de los equipos del proceso de molienda</i>	51
4.2.2.1.	<i>Molino 6'x12' (MB-C1)</i>	51
4.2.2.2.	<i>Molino 5'x10' (MBR-C1)</i>	51
4.3.	Evaluación la distribución de las mallas para su Trituración y Molienda	52
4.3.1.	<i>Evaluación de la distribución de tamaño de partículas en la Trituración</i>	52
4.3.1.1.	<i>Trituradora primaria</i>	52
4.3.1.2.	<i>Trituradora secundaria</i>	55
4.3.1.3.	<i>Clasificadora granulométrica</i>	59
4.3.2.	<i>Evaluación de la distribución de las mallas para su molienda</i>	59
4.3.2.1.	<i>Análisis granulométrico por medio de densidad de pulpa</i>	60
4.3.2.2.	<i>Análisis de laboratorio (ESPOCH) – Granulometría</i>	61
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Principios de conminución.....	14
Tabla 1-3:	Distribución de las fases de trabajo.....	34
Tabla 2-3:	Mallas utilizadas en la planta de beneficio.....	41
Tabla 3-3:	Distribución granulométrica	44
Tabla 4-3:	Formato de la toma de densidades de pulpa.....	45
Tabla 1-4:	Datos de placas de motores trituradora de mandíbula primaria C1	50
Tabla 2-4:	Características de trituradora de mandíbula primaria C1	50
Tabla 3-4:	Datos de placa del motor de la zaranda vibratoria.....	50
Tabla 4-4:	Datos de placas de motores Trituradora de mandíbula secundaria C1	51
Tabla 5-4:	Característica de la Trituradora de mandíbula secundaria C1	51
Tabla 6-4:	Datos de la placa del motor del molino 6'x12'.....	51
Tabla 7-4:	Datos de la placa del motor del molino 6'x10' - Remolienda	51
Tabla 8-4:	Distribución granulométrica de la alimentación a la trituradora primaria C1.....	52
Tabla 9-4:	Cálculo del F80.....	53
Tabla 10-4:	Distribución granulométrica de la descarga de la trituradora primaria C1	54
Tabla 11-4:	Cálculo del P80.....	55
Tabla 12-4:	Alimentación Trituradora de mandíbula 2 C1	56
Tabla 13-4:	Cálculo del F80.....	57
Tabla 14-4:	Distribución granulométrica de descarga	57
Tabla 15-4:	Cálculo del P80.....	58
Tabla 16-4:	Densidades de pulpa y porcentaje de mineral pasante por malla - 200.....	60
Tabla 17-4:	Promedio de su densidades y porcentaje de mineral pasante	60
Tabla 18-4:	Alimentación molino 6'x12'	61
Tabla 19-4:	Cálculo del F80.....	61
Tabla 20-4:	Distribución granulométrica, descarga del molino 6'x12'.....	62
Tabla 21-4:	Cálculo del P80.....	63
Tabla 22-4:	Distribución granulométrica (<i>Underflow</i>).....	64
Tabla 23-4:	Cálculo del D23	65
Tabla 24-4:	Cálculo del F80.....	66
Tabla 25-4:	Distribución granulométrica (Remolienda).....	66
Tabla 26-4:	Cálculo del P80.....	67
Tabla 27-4:	Distribución granulométrica (<i>Overflow</i>)	68
Tabla 28-4:	Cálculo del P80.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Problemas de humedad.....	2
Figura 2-1:	Molino de bolas, Planta de beneficio OROCONCEN S.A.	5
Figura 3-1:	Mapa de ubicación de la empresa OROCONCENT S.A.	6
Figura 4-1:	Mapa de la vía de acceso a la empresa OROCONCENT S.A.....	6
Figura 1-2:	Geología regional del área suroeste del Ecuador	8
Figura 2-2:	Grado de liberación de especies valiosas.....	16
Figura 3-2:	Circuitos para tratamiento mineral (abierto y cerrado)	17
Figura 4-2:	Partes de chancadora de mandíbula.....	19
Figura 5-2:	Esquema de una trituradora giratoria.....	20
Figura 6-2:	Esquema de una trituradora de cono.....	21
Figura 7-2:	Diagrama de obtención P80 y F80.....	22
Figura 8-2:	Esquema de las partes de un molino de bolas.....	24
Figura 9-2:	Esquema de un molino de barras, con descarga periférica.....	25
Figura 10-2:	Esquema general de un molino de bolas.....	26
Figura 11-2:	Esquema de un circuito cerrado de molienda	27
Figura 12-2:	Corte esquemático de un hidrociclón.....	29
Figura 13-2:	Diagrama de instalación por vía seca	30
Figura 14-2:	Diagrama de instalación por vía húmeda.....	30
Figura 15-2:	Diagrama de un circuito abierto y cerrado.....	31
Figura 16-2:	Balanza digital.....	31
Figura 17-2:	Balanza de Marcy	32
Figura 18-2:	Tamizadora.....	33
Figura 1-3:	Programa utilizado para diseñar los diagramas de conminución	36
Figura 2-3:	Trituradora de mandíbula primaria C1 y su placa.....	36
Figura 3-3:	Tamiz vibratorio de 2" de malla	37
Figura 4-3:	Trituradora de mandíbulas primaria 2 C1 y su placa	37
Figura 5-3:	Molino de bolas 6'x12' y placa del motor de funcionamiento	38
Figura 6-3:	Balanza de Marcy	39
Figura 7-3:	Vibro tamiz Marca ENDECOTTS.....	39
Figura 8-3:	Análisis de mallas del circuito de trituración.....	42
Figura 9-3:	Toma de datos de densidades	42
Figura 10-3:	Preparación de la muestra para análisis	43
Figura 11-3:	Análisis granulométrico en el laboratorio de Minas - ESPOCH.....	44
Figura 1-4:	Vista superior del circuito de trituración	46
Figura 2-4:	Diagrama del circuito de trituración (vista lateral)	47

Figura 3-4:	Vista superior del circuito de molienda	48
Figura 4-4:	<i>Flow Sheet</i> del circuito de conminución de la empresa OROCONCEN S.A.....	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Mecanismos de chancado o trituración	15
Gráfico 2-2:	Operación de conminución	16
Gráfico 3-2:	Molienda dentro de proceso minero.....	23
Gráfico 1-3:	Puntos de toma de muestra (trituración)	40
Gráfico 2-3:	Puntos de toma de muestra (molienda)	40
Gráfico 1-4:	Curva granulométrica de la alimentación.....	53
Gráfico 2-4:	Curva granulométrica descarga de la trituradora primaria	54
Gráfico 3-4:	Curva granulométrica de alimentación trituradora secundaria	56
Gráfico 4-4:	Curva granulométrica de descarga de la trituradora secundaria	58
Gráfico 5-4:	Curva granulométrica de la descarga del molino 6x12	63
Gráfico 6-4:	Curva granulométrica del <i>UNDERFLOW</i>	65
Gráfico 7-4:	Curva granulométrica de la remolienda	67
Gráfico 8-4:	Curva granulométrica del <i>OVERFLOW</i>	69

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** MAPA DE UBICACIÓN DE LA EMPRESA OROCONCENT S.A.
- ANEXO B:** MAPA DE LA VÍA DE ACCESO HACIA LA EMPRESA OROCONCENT.S.A.
- ANEXO C:** MAQUINARIA UTILIZADA EN LA CONMINUCIÓN
- ANEXO D:** ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE CONMINUCIÓN
- ANEXO E:** ELABORACIÓN DE LAS MALLAS PARA TOMA DE MUESTRAS DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN
- ANEXO F:** ANÁLISIS DE MALLA DE TRITURACIÓN
- ANEXO G:** TOMA DE DATOS DE SU MOLIENDA
- ANEXO H:** TOMA DE DATOS DE SUS DENSIDADES DE PULPA Y ANALISIS DE MALLA -200
- ANEXO I:** PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ANALIZAR EN EL LABORATORIO DE MINAS
- ANEXO J:** PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS TOMADAS DE LOS DIFERENTES PUNTOS DEL CIRCUITO DE MOLIENDA
- ANEXO K:** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
- ANEXO L:** ANÁLISIS Y TABULACIÓN DE DATOS MEDIANTE EXCEL

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una evaluación del circuito de conminución llevado a cabo en la empresa “OROCONCENT S.A.”. Se realizó un análisis del proceso actual de conminución en la planta de beneficio. Luego, una revisión de los parámetros operacionales de las trituradoras, zarandas vibratorias y molinos y la evaluación de la distribución de sus partículas en las mallas tanto en trituración como su molienda. Se elaboró *FlowSheet* (diagrama de flujo) del sistema con ayuda del programa de ilustración llamado *Adobe Illustrator CS6* con la finalidad de comprender el proceso del circuito de conminución. Se realizaron tablas de datos, tanto de las placas de los equipos, como de sus motores. El análisis de granulometrías se realizó, tanto en la empresa OROCONCENT, como en el laboratorio de Minas de la ESPOCH sede Morona Santiago, para comparar datos. En la primera etapa de reducción del mineral, los resultados de reducción fueron del 90% del mineral; mientras, con el análisis de densidad de pulpa en el punto de su *overflow*, que es el mineral depositado en el tanque de cianuración, se obtuvo un 77% del mineral en su granulometría inferior a una malla 200; y, por otro lado, el análisis de distribución granulométrica realizado en el laboratorio de minas de la ESPOCH, fue que, en su punto de descarga al tanque de cianuración fue de 57.66% del mineral, con un tamaño de partícula de malla 120. Se concluye que, el mineral entregado por el circuito de reducción de tamaño de la empresa OROCONCENT no corresponde al tamaño de partícula idóneo, acorde con el porcentaje de alimentación requerido F80 (para la tolva de finos). Se recomienda implementar separadores de malla 120, para separar las partículas gruesas.

Palabras Clave: <CONMINUCIÓN>, <CIRCUITO>, <TAMICES>, <FLOWSHEET>, <PARTÍCULAS>.

Inés Zapata

Firmado digitalmente por Inés Zapata
DN: cn=Inés Zapata, gn=Inés Zapata, c=ES,
Spain, l=ES, Spain, o=ESPOCH, ou=DBRA,
e=ines.zapata@esPOCH.edu.ec
Motivo: Aprobé este documento
Ubicación:
Fecha: 2022-03-22 17:25:05:00



0509-DBRA-UPT-2022

ABSTRACT

The main objective of the present research work was to do an assessment about comminution circuit in the company "OROCONCENT S.A." First, it carried out an analysis of the current process of comminution in the processing plant. After that, a review of the operational parameters of the crushers, vibrating screens and mills, and the evaluation of the distribution of their particles in the meshes in crushing and grinding were made. It elaborated a flowsheet of the system with the help of the illustration program called Adobe Illustrator CS6 in order to understand the process of the comminution circuit, besides data tables for circuit boards and their engines. Later, it made the granulometry analysis to compare data at OROCONCENT Company, and the ESPOCH Mining Laboratory, Morona Santiago. In the first stage of ore reduction: the reduction results were 90% meanwhile, with the pulp density analysis at the point of its overflow when the ore is deposited in the cyanidation tank, obtaining 77% in its smaller granulometry than a 200 mesh. On the other hand, the granulometry distribution analysis carried out in the ESPOCH mining laboratory showed that: the ore at its point of discharge to the cyanidation tank was 57.66% with a particle size of 120 meshes. It concludes that the ore size from reduction circuit delivered by the OROCONCENT Company does not correspond to the ideal particle size according to the required feed percentage F80 (for the fine ore hopper). It is recommends to implement 120 mesh separators to divide coarse particles.

Keywords: <COMMINUTION>, <CIRCUIT>, <SIEVES>, <FLOWSHEET>, <PARTICLES>.

LEONARDO
MAURICIO
MARTINEZ PAREDES



Firmado digitalmente por
LEONARDO MAURICIO
MARTINEZ PAREDES
Fecha: 2022.03.23 17:32:17
-05'00'

INTRODUCCIÓN

Mario R. de Nigris y Octavio Puche Riart (2013, p. 2), nombran en su artículo “Molinos mineros de Tradición Andina” que la minería metálica que existe en el Ecuador desde la época precolombina, en la cultura Jama, ubicado en el Ecuador al noroccidente, se han encontrado vestigios de hornos cerámicos y metalúrgicos. Por lo tanto, esto es evidencia de la utilización de equipos y maquinarias utilizadas para la reducción de tamaño de los minerales y su evolución en el tiempo, además, de la significancia de la tecnología española en el desarrollo de la minería.

Parisaca et. al (2015, p. ii), nombra que la industria minera enfrenta una urgente necesidad de mejorar y aumentar la eficiencia de sus operaciones en diversos sectores, ya que la actividad ocupa un lugar alto en costos de energía, costos de fabricación y mantenimiento de su maquinaria. y las demás actividades que representa. En este contexto, el proceso de molienda juega un papel importante, tanto en términos de costes operativos totales como en la eficiencia global del proceso, por lo que se ha realizado un gran esfuerzo para intentar su optimización técnica y económica. la eficiencia de esta importante operación única, teniendo en cuenta el funcionamiento general de los equipos industriales de molienda (chancadoras y molinos) y sus respectivos clasificadores (tamizadores), de acuerdo con las necesidades del medio escolar. En las diferentes etapas de molienda y concentración del mineral, el tamaño de las partículas constituye una de las variables más relevantes para la actividad, ya que de él depende una mayor o menor liberación de mineral. La actividad mineral a lo largo de los pasos de trituración/tamizado, molienda/clasificación depende en gran medida del tamaño de las partículas a tratar en cada una de estas etapas del proceso. Por lo tanto, es necesario identificar y cuantificar adecuadamente esta variable.

En las operaciones mineras, la principal técnica utilizada es el uso de mallas o tamices. La distribución del tamaño de partícula en las diferentes etapas del proceso de molienda de minerales, que tiende a liberar especies valiosas del material extraído, depende del tamaño de grano obtenido, con la finalidad de lograr una caracterización metalúrgica del mineral en cada operación individual, por lo que la toma de datos en cada punto de muestreo es esencial para logra tener una interpretación de la distribución granulométrica o la granulometría del material.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se enfatiza en sus circuitos de conminución tanto como trituración primaria y secundaria, como su molienda, optimizando de manera significativa la granulometría del mineral tratado, logrando así reducir los costos de producción.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

El proceso de conminución es donde se produce un mayor consumo de energía de la operación y donde se concentra la mayor parte de los costos de proceso. El mayor factor que representa la empresa es en sus circuitos de conminución (triturado, zaranda y molienda). Por lo que se analiza sus problemáticas en la etapa de conminución, en la empresa “OROCONCENT S.A.”

Como se puede observar en la figura 1-1. La primera etapa de trituración es sin duda es la principal del proceso y la más importante, por lo que se puede observar que en ocasiones el mineral llega con presencia de humedad, lo que ocasiona que el material genere pegas por sus agentes arcillosa y eso provoca que el material se atascos en su descarga de la tolva tanto finos como gruesos y al realizar su mallado no logren cruzar por las aberturas de estos.



Figura 1-1: Problemas de humedad

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Otra de las problemáticas que presenta la planta de beneficio de la empresa presenta fluctuaciones de energía, donde produce que sus circuitos de conminución se detengan y esto crea problemas tanto en pérdidas de mineral procesado (tiempo de procesamiento), como perdida energética, ya que el arranque de maquinaria industrial crea un consumo excesivo en su energía.

1.2. Justificación

La conminución implica la reducción del tamaño y la liberación de minerales de mayor interés. En la minería artesanal y de pequeña minería se utiliza tecnología muy precaria para escalar en comparación con la mediana y gran minería. La etapa de chancado en operaciones artesanales aún no es vista como un eje fundamental para la liberación de los minerales de interés adecuados, ya que existe un modelo bajo el cual solo las empresas de capital pueden desarrollar el proceso de chancado a gran escala. Mientras que, gracias al avance de la tecnología y las técnicas de conminución, existen metodologías para desarrollar con precisión la fragmentación (Lozada, 2015, p.13).

La etapa de beneficio del mineral se da a partir de la preparación mecánica de la mena, la cual inicia con la trituración del material y posteriormente la molienda, este último proceso se lleva a cabo fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta un tamaño deseado y se caracteriza por el producto de salida que oscila entre algunos milímetros y micras.

En este contexto, esta investigación realiza un estudio estadístico de las variables más relevantes del proceso de conminución del mineral para las etapas de trituración y molienda, con la finalidad de presentar medidas efectivas para llevar a cabo un proceso óptimo de reducción del mineral tratado y lograr una mejor recuperación, así reduciendo costos y tiempos operacionales en cada etapa de la conminución.

Para ello se realizará la toma de datos del material procesado, la granulometría de entrada y salida de sus equipos, como son, trituradoras y molinos, que serán tratadas periódicamente y analizadas estadísticamente con el fin de obtener comportamientos que permitan identificar donde aplicar medidas efectivas para mejorar la recuperación mineral en cada fase de sus circuitos de conminución.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el circuito de conminución llevado en la planta de beneficio de la empresa “OROCONCENT SA” ubicada en el sector El Tablón del cantón Portovelo en la provincia del Oro.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis del proceso actual de conminución en la planta de beneficio de la empresa “OROCONCENT SA”
- Revisar los parámetros operacionales de las trituradoras, zarandas vibratorias y molinos.
- Evaluar la distribución de las mallas tanto en trituración como en su molienda.

1.4. Antecedentes

Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), nos describe los datos de ingresos recibidos por concepto de regalías mineras con un valor de \$ 23 millones que corresponde a la venta de minerales en el mercado internacional dando un total de exportaciones del mineral de 1.219. mientras que el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables únicamente en el 2019 se llegó a un total de US\$ 134 millones y mientras que en el 2020 en los meses de enero a junio se exporto un total de US\$ 391 millones en minerales y estos al ser analizados las cifras anuales se evidencia un crecimiento de la venta del mineral muy significativo, incluso durante el año de pandemia en el cual la producción se frenó y redujo el personal, se estima que aun así el número total de exportaciones incremente en los próximos años (Marín, 2021, párr. 6).

Marín (2021, párr. 5), menciona que en la etapa de un ciclo minero la utilidad es la que permite la recuperación del mineral de cantidades mayores del mineral y sus metales útiles, es la parte de la industria los cuales general mayor costo tanto energético como productivos, ya que en estos procesos incluyen: físico, químico o metalúrgicos, son los procesos por el cual el mineral extraído se convierten en concentrado para su comercialización, dentro de estos procesos incluyen lo que es su conminución (reducción de tamaño), concentración, lixiviación entre los demás procesos, lo que para realizar estas técnicas se utilizan maquinas u equipos de alto nivel para una recuperación del metal valioso.

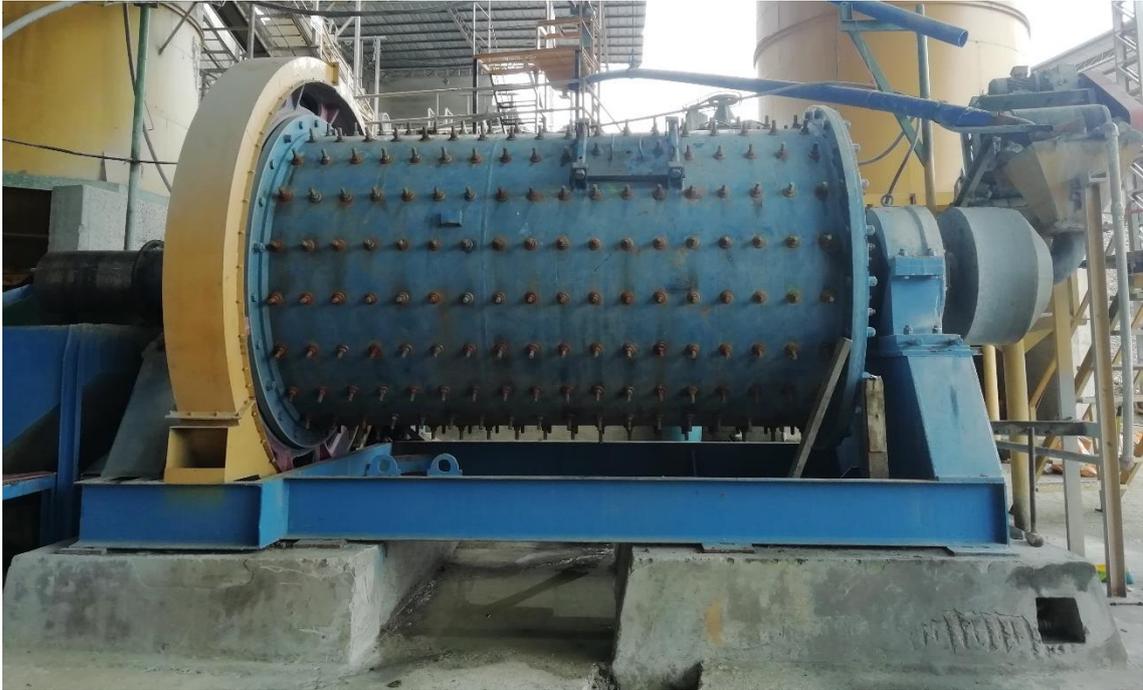


Figura 2-1: Molino de bolas, Planta de beneficio OROCONCEN S.A.

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Plan de Desarrollo Minero 2020-2030 en Ecuador, señala que la industria de pequeña minería que se encuentra ubicada en las provincias de Azuay, El Oro y Zamora Chinchipe, donde el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), mediante los programas de proyecto “*Mejoramiento de las condiciones de trabajo en la pequeña minería y minería artesanal*” realizó el levantamiento de información sobre la situación energética de los diferentes sectores, determinado que cada planta de beneficio posee sus propios medios de obtención, sin embargo mediante este estudio se logró identificar que para la extracción del mineral se ejecutan con maquinaria y equipos de altos consumos principalmente de la energía eléctrica (Marín, 2021, párr. 8). Paillacho, Harnisth, & Marín, mediante los datos que obtuvieron en los procesos de beneficio de los quipos con mayor consumo energético son los molinos de bolas, reuniendo que los gastos rondan desde un 20% al 40% de su total. La variación de este porcentaje se debe al número de molinos que poseen cada empresa, y que existe un consumo de energía eléctrica aun mayor en los molinos de bolas y de ruedas con un valor que ronda desde los 1.579,7 kW hasta los 600 kW (Marín, 2021, párr. 1-12).

“El costo energético que se produce en las plantas de beneficio es de US \$ 60.000 mensuales. Este valor dependerá de los equipos instalados y que las empresas constan con una activación de entre 7 y 8 molinos de bolas para mayor productividad en la reducción del mineral” (Marín, 2021, párr. 1-12).

1.5. Generalidades

1.5.1. Ubicación

La planta de beneficio de la empresa “OROCONCENT S.A.”, se encuentra ubicada en la provincia del Oro, cantón Portovelo en el sector conocido como el tablón 3 al extremo Sur Occidental del país, como se representa en la figura 3-1.

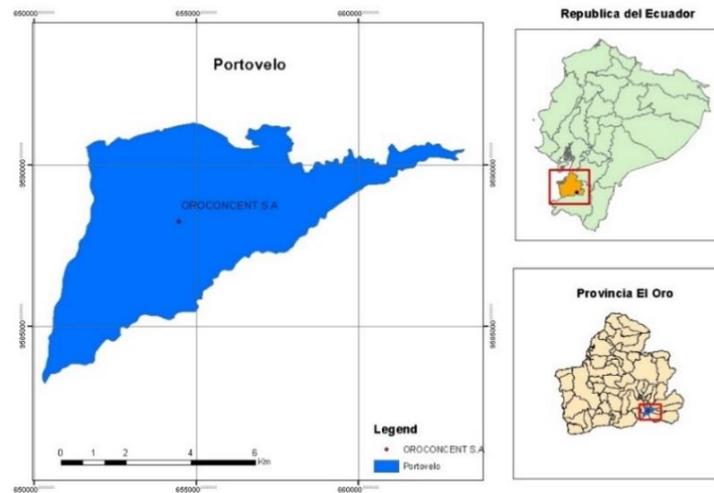


Figura 3-1: Mapa de ubicación de la empresa OROCONCENT S.A.

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

1.5.2. Vías de acceso

Partiendo desde la ciudad de Macas hasta el sector El Tablón 3 donde se encuentra la empresa de OROCONCENT S.A., ubicada en la provincia de El Oro, existe la posibilidad de traslado en vehículo con una distancia de 466 km.

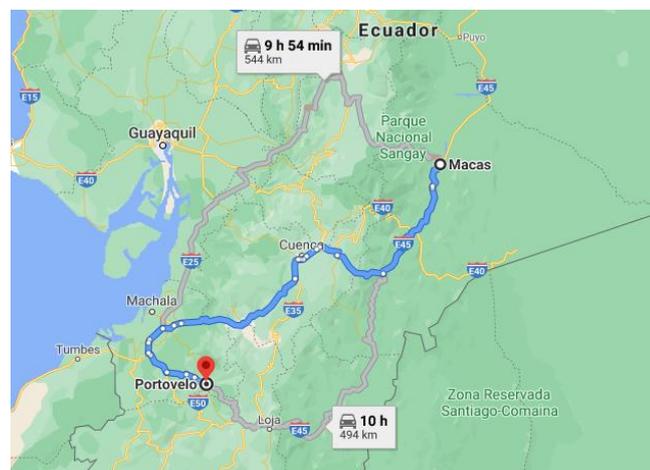


Figura 4-1: Mapa de la vía de acceso a la empresa OROCONCENT S.A.

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

- Macas – Cuenca, que comprende una ruta de primer orden, con una distancia de 220 km, la ruta comprende una vía asfaltada en su totalidad.
- Cuenca – Machala, se recorre una distancia de 168 km sobre una carpeta asfáltica.
- Machala – Portovelo, la vía es lastrada con pequeñas imperfecciones que comprende una distancia de 78 km.
- Portovelo – OROCONCENT S.A., una vez en la parroquia de Portovelo se toma la vía llamada Portovelo donde la empresa se encuentra a 1.3 Km del centro de la parroquia.

El tiempo de recorrido depende mucho de las condiciones climáticas el mismo puede comprender desde 10 hasta 13 horas, también se recomienda el uso de vehículo propio debido a caminos que están sujetos a deslizamientos de tierra causados por fuertes lluvias estacionales que pueden impedir el acceso en ciertas ocasiones.

1.5.3. Clima

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] (2015, p. 14), en general es tropical monzónico, subtropical en el piedemonte occidental de la Cordillera, templado y frío dependiendo a la altitud en la que se encuentre ubicado en la montaña. De acuerdo con la estación meteorológica ubicada en Zaruma, la zona presenta un clima templado, con dos estaciones climáticas bien diferenciadas para la región, a saber: el verano, que es la estación seca que va de mayo a diciembre, y el invierno, está determinada por las fuertes precipitaciones que se generan durante el resto del año, con una temperatura media anual de 18 a 22 °C.

1.5.4. Morfología

En cuanto al relieve que presenta la provincia, se encuentra desarrollado por una llanura tropical de suelo productivo, localizada al occidente de la provincia, y por las estribaciones de la cordillera occidental de Los Andes, cuyos ramales principales son: Mullopunguo, Chilla y Tioloma (Ordoñez & Puglla, 2003, p. 19).

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Geología regional

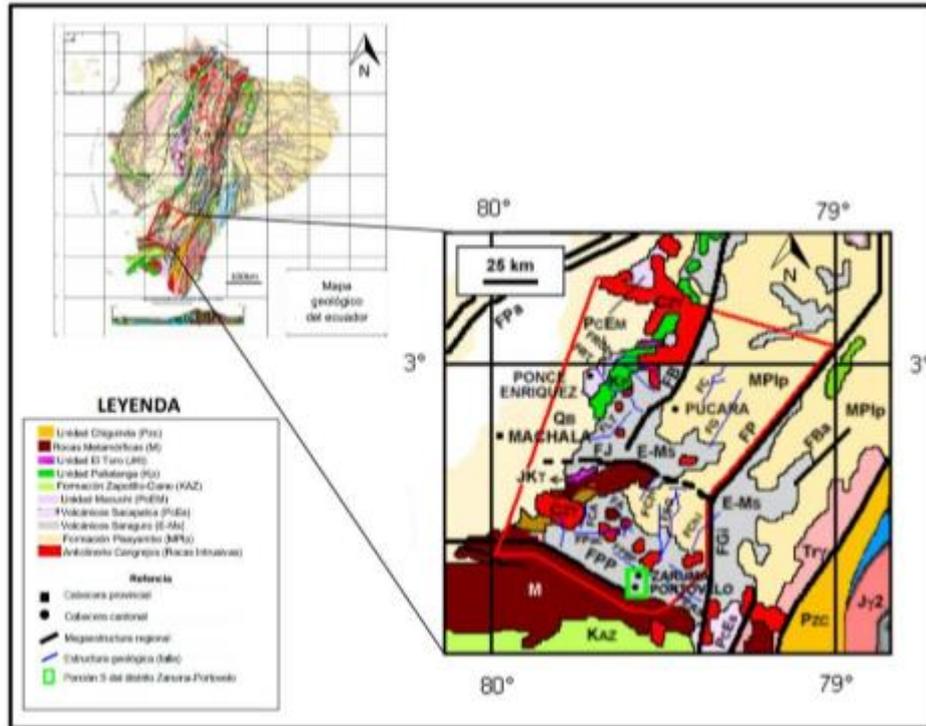


Figura 1-2: Geología regional del área suroeste del Ecuador

Fuente: PRODEMINCA, 2000.

2.1.1. Litología

La geología Regional de la zona de estudio pertenece a una basta variedad de afloramientos propios de la formación Célica del cretácico que ha presentado el papel de roca receptora de la mineralización por su propiedad física de mantener fisuras abiertas por un periodo de tiempo muy largo, no obstante, vetas mineralizadas, si bien en menor cantidad se aprecian en otras unidades geológicas.

Geología Regional del área suroeste del Ecuador	
Rocas Metamórficas (M)	Interpretadas como la continuación al Norte del Complejo Metamórfico El Oro (Aspden et al., 1995; Feininger, 1978), probablemente subyacen la mayor parte del área. Se encuentran predominantemente al Sur de la Falla Piñas-Portovelo, además ocurren en forma de ventanas erosionales en lugares tales como Manú, Vega Rivera, Río Luis, Río Palmas, Río Chicola, y Río Daucay. Predominan rocas meta sedimentarias incluyendo algunas de muy bajo grado (subesquistoso verde), tales como pizarras y conglomerados con clivaje.
Unidad Célica (Kc)	(McCourt et al., 1997) afloran al Sureste del área donde sobre yace discordantemente al Complejo Metamórfico El Oro. Las principales litologías comprenden tobas andesíticas y dacíticas muy meteorizadas y lavas andesíticas a andesito-basálticas. Relaciones estratigráficas sugieren una edad Albiana para esta unidad (Jaillard et al., 1996).
Unidad Sacapalca (Ps—Esa)	(Pratt et al., 1997) Estas rocas afloran en pequeña proporción al Noreste del área. La unidad comprende lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas esparcidas. Andesitas al Norte de Manú, en el tope de la unidad, dan una edad de trazas de fisión del Oligoceno Tardío (24.8 ± 1.8 Ma), que puede ser un reajuste causado por una cercana intrusión ígnea.
Grupo Saraguro (E-Ms)	(Dunkley and Gaibor, 1997) ocupa la mayor parte del área mapeada, donde está bien expuesta. Consiste principalmente de tobas soldadas de flujo de ceniza de composición riolítica a dacítica como las que se observan al Oeste de Manú, lavas andesíticas, material volcánico retrabajado y rocas sedimentarias. La mayor parte del Grupo Saraguro está indiferenciado, reconociéndose las siguientes unidades litológicas dentro del área regional: Unidad Portovelo, Formación Jubones.
Unidad Portovelo (o?pV)	(Pratt et al., 1997) afloran al Norte de la Falla Piñas- Portovelo entre Zaruma y Huertas (654.000, 9°60'1.700), alrededor de Salvias (662.000, 9°59'6.400) y en el Río Luis (672.100, 9°59'3.100) donde sobreyace discordantemente al basamento metamórfico. Comprende lavas basalto-andesíticas y andesíticas ricas en cristales (plagioclasa, anfíbol y augita), tobas andesíticas muy meteorizadas y tobas dacíticas.
Formación Jubones (Msj)	(Pratt et al., 1997) ocurre como ventana erosional al Sur de Guanazán. Es una exposición al Norte del área investigada en un estrecho graben en el lugar indicado (667.500, 9°61'6.000, (Dunkley & Gaibor, 1998). La Formación Jubones sobreyace los más antiguos estratos del Grupo Saraguro con una fuerte discordancia angular en algunos lugares y consiste de una toba rica en cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. Diaclasas de enfriamiento en forma columnar de gran escala (>1 m de diámetro) y una débil foliación de soldadura están bastante esparcidas.

Fuente: Ordoñez, et al., 2003, pp. 29-32.

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

2.1.1.1. Zona Zaruma – Portovelo

La zona de Zaruma - Portovelo se ha subdivido en tres zonas bien diferenciadas de Este a Oeste, en las siguientes series:

a) Litología

Serie Muluncay. - Formada de una gran parte por andesitas traquíticas con inserciones de piroclastos de la misma composición.

Serie Portovelo. - Intuye principalmente una serie de andesitas porfiríticas muy bien definidas.

Serie Faique. -Compuesta por lavas andesíticas con piroxenos especialmente y en pequeña proporción por tobas intercaladas de idéntica composición.

b) Estructura

En estas zonas la estructura a menudo se pliega, y se puede inferir de que se trata por las orientaciones de estratificación las cuales varían regionalmente y con características oblicuas y asimétricas. Cerca de las principales fallas las estructuras resultantes usualmente tienden a plegarse posiblemente puede tratarse de un mega anticlinal de orientación aparente a las grandes fallas de Zaruma Portovelo. En la región también hay una serie de fallas con orientación N 2° W y N 10° E con buzamientos de 50 - 70 grados con promedio generales hacia el Este. También existe una falla probable en dirección norte-sur que destaca de las áreas mineralizadas de Zaruma, esta es la falla Puente -Buza-Palestina que probablemente forma parte del sistema de falla Piñas y Paccha, otra falla importante ubicada por el río San Luis, en dirección noroeste, paralela al río Amarillo.

c) Mineralización

La mineralización se efectuará a detalle en la geología local, de acuerdo con la serie de mineralización que se presenta en la zona, así como sus propiedades del material.

2.2. Geología Local

2.2.1. Tipo de yacimiento

Localmente, las zonas de mineralización del sitio minero Portovelo Zaruma, están formadas por la deposición de fluidos y soluciones hidrotermales con el relleno de espacios abiertos característicos, así como por la deposición de metales preciosos en la fase de precipitación de soluciones minerales. Conduce a la creación de grandes vasos de cresta, patrón hidrotermal y temperatura media. La formación más común que representa este tipo de vetas es la presencia de vetas y vetillas mineralizadas, que ocupan espacios abiertos como resultado de fallas y fallas de tensión que ocurren durante el período tectónico, generadas durante ciclos repetidos de

sedimentos que reflejan aumentos graduales de temperatura y salinidad (Ordóñez & Puglla, 2003, p. 42).

La alteración hidrotermal en contacto entre mineral roca - encajonante se encuentran bien definido y los minerales económicamente rentables actualmente son el oro y en menor cantidad la plata, las mismas especies asociadas a los sulfuros y sulfatos, los minerales de fundición suelen ser cuarzo y cuarcita con pequeñas cantidades de impurezas, clorita, fluorita (Ordóñez & Puglla, 2003, p. 42).

Es difícil describir su origen, debido al tiempo exacto que ocuparon los depósitos de solución mineral, además de la consecuente formación de depósitos minerales diferentes ocurriendo en un período de tiempo tan largo y en diferentes etapas de sedimentación, sin descuidar, condiciones fisicoquímicas de deposición según el medio geológico respectivo, dando lugar a la formación de morfologías morfológicas a través de circuitos vinculados con estructuras que ocupan los sedimentos (Ordóñez & Puglla, 2003, pp. 42-43).

La génesis del área de estudio está íntimamente ligada a la evolución geológica y a la tectónica, se ha podido establecer la siguiente secuencia de formación:

- Formación de una base completa de Rocas Metamórficas.
- Formación de una serie de rocas ígneas andesíticas, correspondientes a la formación Célica e intrusión de esta por cuerpos diócticos a granodioríticos.
- Formación de la falla Piñas – Puente Buza – Palestina, mismas que poseen características propias con movimientos horizontales y verticales, afectando de este carácter a los depósitos volcánicos de la formación Célica.

2.2.2. Mineralización

Las zonas alteradas por soluciones minerales, en contacto con rocas ígneas andesíticas, son indicios de la presencia de depósitos ricos en minerales preciosos como resultado de dos series de formaciones hidrotermales (vetas polimórficas), los metales meso termales y las vetas de cuarzo ricas en metales preciosos están relacionadas termodinámicamente. El oro se combina con sulfuros de Zn, Pb, Cu en presencia principalmente de cuarzo y feldespato. Au se ha encontrado en una forma nativa muy rara (Ordóñez & Puglla, 2003, p. 43).

De estudios previos se concluyó que los cambios hidrotermales más notables ocurridos en la región fueron:

2.2.2.1. Pirita (Piritización)

Se encuentra en vetas que forman bandas gigantes o lentes en contacto de salbandas, luego de una etapa inicial de mineralización que dio lugar a la transformación en clorita de la roca de caja

andesítica y los pirólisis produce el resultado. En algunas áreas, aparecen como vetas reticuladas o están dispersas por todo el cuarzo o la roca huésped. En el área de estudio se pueden distinguir dos tipos de pirita: la primera no presenta forma amarilla opalescente en la primera generación paralela a la clorita y la otra pertenece al tipo cristalino con cristales cúbicos característicos de color amarillo vivo a partir de la segunda generación. El contenido de oro se reduce significativamente en presencia de esta pirita (Ordóñez & Puglla, 2003, p. 44).

2.2.2.2. Cuarzo (Silicificación)

Se encuentra en mayor cantidad como mineral granular, después del 3° y 4° evento de mineralización y se presenta en 3 formas: amorfo con grandes masas de cuarzo lechoso común, contacto con feldespato, contacto con polisulfuro, y forma parte central de la estructura mineralizada; otra forma de cuarzo cavernoso generalmente aurífero, y una tercera forma de drusa con cristales de amatista levemente desarrollados. El cuarzo en su forma primaria, asociado con feldespato y esfalerita, es un gran metal protector que indica una alta concentración de oro, especialmente cuando la esfalerita es grande (Ordóñez & Puglla, 2003, p. 44).

2.2.2.3. Propilitización.

Se identifica por la presencia de clorita, epidota y la apariencia de vetillas de calcita (Ordóñez & Puglla, 2003, p. 44).

2.2.2.4. Argilitización.

Se representa por la apariencia de minerales arcillosos difusos desarrollados a partir de la matriz o solamente a partir de los fenocristales de plagioclasa

2.3. Bases Teóricas

La primera parte del trabajo de integración curricular consiste en obtener bibliografía preliminar y referente al tema de estudio, lo que implica la obtención de toda la información pertinente para llevar de la mejor manera una buena investigación, para lo cual se recolecta información de libros, mapas, trabajos investigativos previos y artículos científicos, todo con el objetivo de captar, clasificar, seleccionar la mejor y más útil información sobre la zona de estudio.

2.3.1. Conminución

La reducción de tamaño (conminución) es el proceso por la cual se realiza el reducir el tamaño de las partículas minerales, mediante los diferentes medios ya sean por trituración y/o molienda, con el fin;

- Liberar las especies diseminadas.
- Facilitar el manejo de los sólidos.
- Obtener un material de tamaño apropiado y controlado.

El resultado de esta reducción de la partícula mineral se da a través de la siguiente razón de reducción (R80).

$$R80 = \frac{\text{Tamaño de alimento}}{\text{Tamaño del producto}} = \frac{F80}{P80} \quad (\text{Ec. 1})$$

2.3.2. Principios de la conminución

Un sin número de minerales son de características cristalinas que son unido mediante enlaces químicos o físicos y que poseen una gran cantidad de fallas en su estructura. Posteriormente a que el mineral sufra una fuerza de compresión o tracción, el mineral debe distribuir estas fuerzas de manera uniforme y fallar cuando se aplica una fuerza igual o mayor que la fuerza de los enlaces que unen los átomos que componen el mineral. fuerzas menores debido a:

- Los defectos que éste posee.
- Durante el proceso de su formación del mineral, su explotación o manejo del mismo, este puede formar grietas.
- El mineral está compuesto por especies diseminadas de diferente conducta mecánica.

El mineral presenta varias sustancias heterogéneas que actúan como concentradores de tensión, donde exigen a comportarse como un material muy quebradizo y esto a su vez corresponde a las propiedades de la resistencia mecánica de cada material.

Antes de la fractura, los minerales acumulan algo de energía aplicada, que se convierte en energía superficial libre cuando se fracturan las partículas. Esta energía de superficie libre es simplemente el resultado de enlaces insatisfactorios para cada átomo de la nueva superficie formada por la fractura del mineral. Cuanto mayor sea la energía superficial libre, más activa será la superficie de la partícula para reaccionar con agentes externos, lo que en algunos casos facilitará la separación de las diferentes especies que componen el mineral (Instituto Nacional de Capacitación profesional, s.f., p. 9).

La energía que se requiere para lograr fracturar cada partícula de mineral se verá afectada con la presencia de agentes como lo es el agua o algún otro líquido, ya que estas pueden ser absorbidas por las partículas que rellenan esas grietas. La fuerza aumenta mucho de presión al estar cubierta por un líquido, y se concentra en fallas y grietas. Dependiendo de la forma de aplicación de la

carga y del mecanismo de rotura de las partículas, se obtendrá también un mecanismo de rotura característico y su propia distribución granulométrica.

Tabla 1-2: Principios de conminución

Tipo de carga aplicada	Mecanismo de fractura	Distribución de tamaño de partícula
Impacto	Estallido por fuerzas de tracción aplicadas a altas velocidades	Homogéneo
Compresión	Compresión	Gruesas y algunas finas
Fricción	Abrasión por esfuerzo cortante superficial	Fino y Grueso

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

2.3.3. Mecanismos de conminución

Los minerales poseen una estructura cristalina y sus energías de conexión se deben a los diferentes tipos de enlace que intervienen en su configuración atómica. Estos enlaces interatómicos solo son efectivos en distancias cortas y pueden romperse por la acción de esfuerzos de tracción o compresión. Para desintegrar una partícula, se requiere una energía menor que la predicha teóricamente, porque todos los materiales presentan daños que pueden ser macroscópicos (agrietados) o microscópicos. Estas fallas resultan ser lugares donde se concentran los esfuerzos aplicados. Las grietas se activan al aumentar la concentración de tensiones, haciendo que se propaguen, provocando la desintegración de la partícula (Parisaca, 2015, p. 17).

Los mecanismos presentes al realizar la acción de conminución son:



Gráfico 1-2: Mecanismos de chancado o trituración

Fuente: Parisaca, 015, p. 18.

2.3.3.1. *Fractura*

Es la fragmentación de un cuerpo sólido en diferentes partes debido a un proceso de deformación no homogénea. Los métodos de aplicar fractura en un mineral son:

- *Compresión:* El efecto de compresión se produce lentamente. Se ocasiona comúnmente en molinos con superficies fijas y móviles. Produce partículas finas y gruesas. La cantidad de material fino se puede reducir sometiendo el área de contacto usando superficies corrugadas.
- *Impacto:* Es la adopción de esfuerzos globales a gran velocidad. De esta forma, la partícula absorbe más energía de la que necesita para descomponerse. Los productos suelen ser muy similares en forma y tamaño.
- *Cizalle:* El cizalle se produce con un esfuerzo secundario al aplicar energías de compresión y de impacto. Ocasiona gran cantidad de finos y, generalmente, no es deseable.

2.3.3.2. *Astillamiento*

Al producirse una rotura tanto de las aristas y bordes de la partícula por diferentes tipos de acciones ajenas a la partícula, esto produce que el mecanismo explosivo y cree astillamiento.

2.3.3.3. *Abrasión*

Cuando el esfuerzo de cizalle se localiza en la superficie de la partícula se produce abrasión. Dando como resultado un desgaste en sus diferentes equipos encargados en la reducción de tamaño del mineral, donde el mineral crea un proceso de desgaste aumentando los costos de utilidad.

2.3.4. El procesamiento de minerales y sus etapas

Cuando se encuentra en la mena partículas conformadas por minerales de individuales, se les conoce como partículas libres, mientras que si se encuentran en dos o más especies de minerales se les llama partículas mixtas.



Gráfico 2-2: Operación de conminución

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

El grado de liberación es el porcentaje de partícula individuales en que una especie mineral se encuentra en forma libre o mixta. La liberación es la separación de los diferentes minerales tanto su ganga como mena.

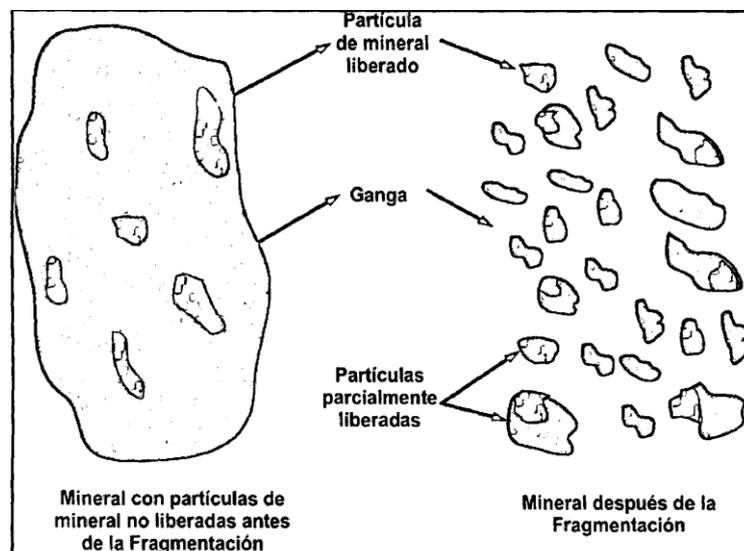


Figura 2-1: Grado de liberación de especies valiosas

Fuente: Parisaca, 2015, p. 21.

2.3.5. Tratamiento mecánico de minerales

Según el Manual General de Minería y Metalurgia, El concepto de conminución hace referencia a, “identificar los procesos que tienen que ver con la acción de reducción de tamaño de los minerales y que permiten liberar las especies valiosas contenidas en ellos” (Plaza, 2019, p. 13).

El proceso de trituración incluye la voladura, dependiendo del método de minado a cielo abierto o subterráneo que se utilice, para acondicionar el material para luego ser tratado en plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que a partir del frente de trabajo el material tendrá un diámetro

específico, el procesamiento mecánico es necesarios para lograr el tamaño adecuado para abastecer a los distintos equipos con que cuenta la planta. Durante la fragmentación del mineral, se debe considerar la resistencia del material a la fragmentación, ya que se ve directamente afectada por la reducción de tamaño y el estado de la maquinaria utilizada para el trabajo. Por el contrario, si el material tiene un alto índice de trabajo no es posible utilizar molinos con mandíbulas de menor diámetro, se debe considerar un circuito de molienda mucho más amplio. (Plaza, 2019, p. 13).

Dentro del procesamiento mineral y la búsqueda del tamaño óptimo para liberar la partícula mineral, se realiza a través de circuitos, pudiendo ser abiertos o cerrados (Figura 3-2), dependiendo de las necesidades de producción y las características del material (Plaza, 2019, p. 14).

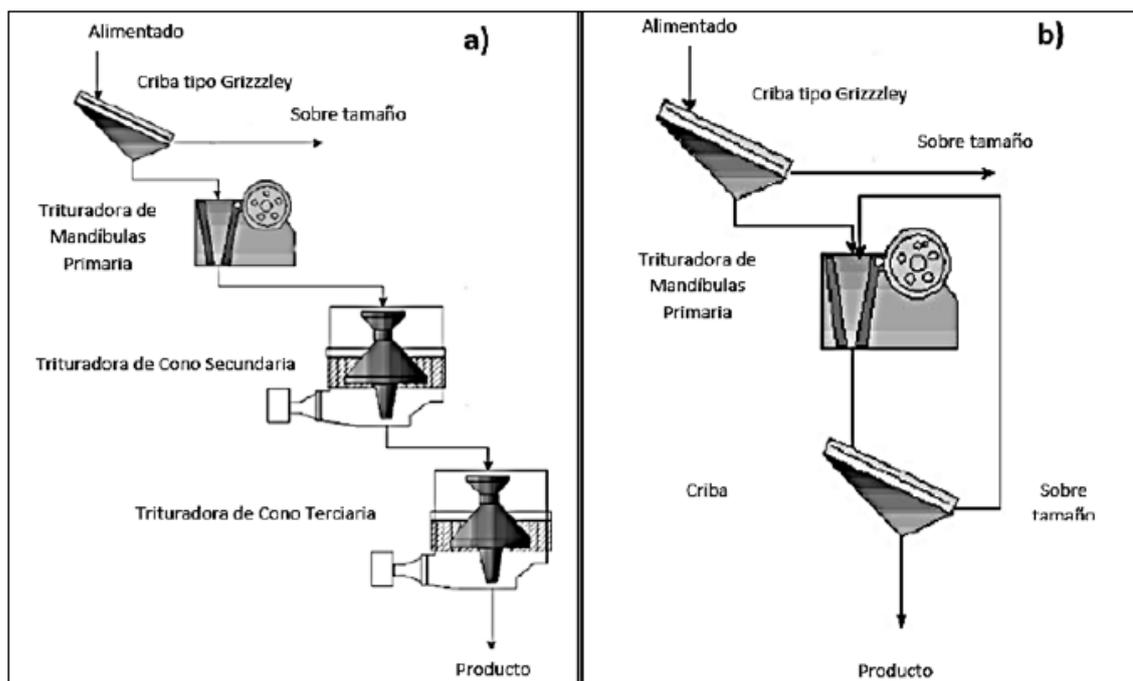


Figura 3-2: Circuitos para tratamiento mineral (abierto y cerrado)

Fuente: Gupta & Yan, 2006.

Como parte del procesamiento del mineral y la búsqueda del tamaño óptimo para la liberación de partículas minerales, se realiza a través de circuitos, los cuales pueden ser abiertos o cerrados (Figura 3-2), dependiendo de las necesidades de producción y características específicas del material (Plaza, 2019, p. 14).

2.4. Trituración

Este es el segundo paso en el proceso de reducción del mineral tal y como sale de la mina. El tamaño inicial depende del tipo de minado y transporte, a su vez, de ello depende el tamaño y diseño de los equipos de chancado primario, secundario y terciario. Si el mineral proviene de una minería “subterránea”, y sobre todo si se hace a gran escala, entonces el tamaño inicial depende de la fragmentación primaria (Parisaca, 2015, p. 2).

Generalmente se utilizan estos equipos para reducir ropas desde 1.5 metros, hasta reducirlos a un tamaño de 0.5 cm, en lo cual se realiza en una serie de procesos que son:

- Trituración primaria
- Trituración secundaria
- Trituración terciaria

Durante estas fases de reducción, las fuerzas encargadas son de compresión que se efectúan sobre las partículas que logran llegar a producir aglomerados que producen una reducción a la capacidad de los equipos, consiguiente, este proceso para un mejor efecto de trituración es efectuarlo en seco y evitar cualquier presencia de algún aglomerante (Parisaca, 2015, p. 17).

2.4.1. Trituradoras primarias

Esta es la primera etapa ya que se obtienen elementos de diferentes tamaños a partir de material proveniente de la mina. Suele ser trituración primaria (tamaño inferior a 100 mm), trituración secundaria (tamaño inferior a 25 mm) y trituración terciaria, donde el final del material está formado por piezas de menos de 10 mm. Para hablar de chancado primario es necesario tener un claro entendimiento de algunas de las variables que inciden directamente en este proceso, ya que, como etapa temprana de un proceso mecánico mineral, se debe conocer en detalle el material a procesar. El principal equipo de trituración es la trituradora de mandíbula y sus diferentes modelos (Plaza, 2019, p. 23).

2.4.1.1. Trituradoras de quijadas o mandíbulas

La trituradora de mandíbula es un tipo de máquina que produce la fragmentación de minerales comprimiendo y separando elementos de trituración y consta de dos mandíbulas con muelas abrasivas, una fija y otra móvil, desviadas entre sí en un ángulo de aproximadamente 26°. La mordaza móvil se aleja a una velocidad que depende del tamaño de la máquina, acercándose a la mordaza fija, fracturando los minerales contenidos entre ellas, luego la mordaza se aleja de la mordaza fija, permitiendo que el material avance hacia el área triturada. más estrecho, repita este

evento o ciclo hasta que el mineral salga de la máquina a través del orificio de descarga (Parisaca, 2015, p. 23).

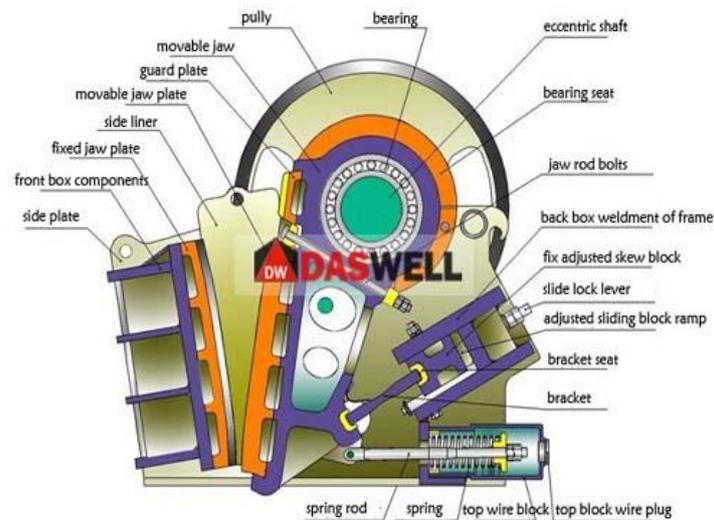


Figura 4-2: Partes de chancadora de mandíbula

Fuente: Daswell Maquinaria, 2021.

2.4.2. Trituradoras secundarias y terciarias

Dentro de los mecanismos de trituración secundaria como terciaria, que se encuentran dentro del circuito de trituración son las trituradoras giratorias y las trituradoras de cono, lo cual estas máquinas para obtener un mejor aprovechamiento energético también se les emplearía como trituradoras terciarias creando un circuito cerrado en el sistema de trituración (Plaza, 2019, p. 25).

2.4.2.1. Trituradora giratoria

“Básicamente trituradoras giratorias consiste en un sólido fijo cáscara cónica o cuenco (también llamado cóncavos) y un cono sólido dentro del recipiente llamado rotura cabeza”. (Gupta & Yan, 2006). En los circuitos de molienda, se suelen utilizar como trituradoras primarias o secundarias, debido a sus características. El cabezal del rompedor está unido a un eje central, suspendido hidráulicamente o sujeto mecánicamente a una araña (Plaza, 2019, p. 25).

- El extremo inferior del eje comúnmente se centra en un apoyo por medio de un pistón hidráulico.
- El extremo inferior del eje se encuentra conectado por medio de un bisel y un piñón de arreglo con dientes rectos o espirales que al girar con una frecuencia mueve la parte del eje inferior.

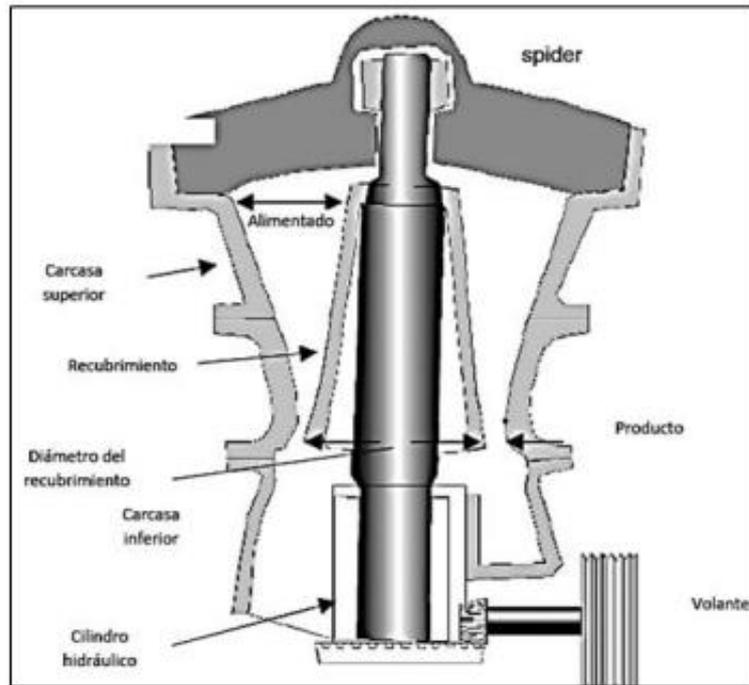


Figura 5-2: Esquema de una trituradora giratoria

Fuente: Gupta & Yan, 2006.

2.4.2.2. Trituradora de cono

Las trituradoras de cono poseen el funcionamiento principal en comprimir el material contra sus paredes en forma de cóncavas del aparato con la diferencia que los soportes de estas trituradoras se ubican en la parte inferior, no el eje giratorio, se mantienen en un tubo de araña, basado en el diseño original de Symons. Este tipo de molino se suele utilizar en el circuito de chancado como chancador secundario o se realiza un proceso más amplio donde actúan como chancador terciario (Plaza, 2019, p. 27).

El cabezal rompiente gira dentro un cono truncado invertido. Estas trituradoras están diseñadas para que la relación entre la cabeza y la profundidad sea más grande que la trituradora giratoria estándar y los ángulos del cono son mucho más planos y la pendiente del manto y los cóncavos son paralelos entre sí. Los ángulos más planos ayudan a retener las partículas son más largas entre las superficies de trituración y, por lo tanto, producen partículas mucho más finas (Figura 6-2). Para evitar daños en las superficies de trituración, el cóncavo o la cáscara de las trituradoras se mantienen protegidas por muelles fuertes o sistemas hidráulicos cedan para permitir el paso del material de trampilla (Plaza, 2019, pp. 27-28).

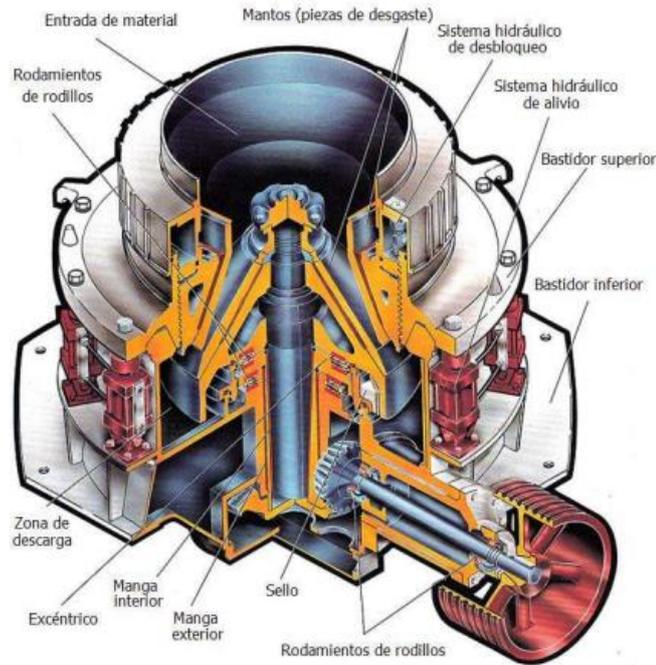


Figura 6-2: Esquema de una trituradora de cono

Fuente: Formats Construction Machinery Co., Ltd.

2.4.3. Propósito del chancado

En toda Planta Concentradora los propósitos principales que tiene la etapa de chancado son:

- Facilidad para el transporte de la mena.
- Producción de partículas con tamaños y formas requeridas.
- Liberación de un mineral específico como una etapa en la separación de valores de la mena.
- Preparación de la mena para el ataque químico.
- Preparación de la mena a una granulometría conveniente para el procesamiento gravimétrico.
- Grandes capacidades por máquina.
- Bajo consumo de energía.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Alta continuidad en la operación.

2.4.4. Circuitos de Trituración Primaria

En una Planta de Concentración, la sección de la trituración que es la primera etapa de reducción del mineral y la más importante, debe estar esencialmente constituida por dos o más procesos de reducción de la mena, conforme a un estudio entre operación y costo energético, que cumplan con una adecuada selección de los equipos necesarios que cumplan con las condiciones de chancado y con una proyección de su respectivo mantenimiento. En las etapas de chancado está limitada a

un número: El radio de reducción R_{80} él se define como la relación de la abertura de malla teórica, que podría pasar el 80% de la alimentación y del producto de una máquina de chancado o molienda (Armas & Poma, 2013, p. 48).

Esto implica tomar muestras tanto de la alimentación como del producto del molino y luego enviarlas para un análisis de tamaño de partículas. El gráfico de la figura a continuación muestra los puntos de muestreo de los que se debe tomar la muestra para el análisis de tamaño de partícula que nos permita determinar los valores de F_{80} y P_{80} para evaluar el R_{80} del molino. Esta operación se realiza en cada etapa del circuito tanto su trituración como su molienda (Armas & Poma, 2013, p. 48).

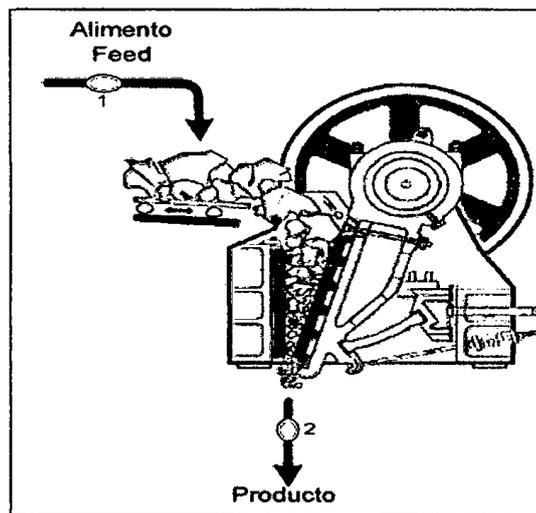


Figura 7-2: Diagrama de obtención P_{80} y F_{80}

Fuente: Armas & Poma, 2013.

Del siguiente gráfico se puede observar de donde se obtienen los siguientes valores de P_{80} y F_{80} que posteriormente nos servirá para analizar la relación que existe del mineral en su reducción de tamaño, lo cual se encuentra expresada en la siguiente ecuación.

$$R_{80} = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad (\text{Ec. 1})$$

2.5. Molienda

Proceso mediante el cual se reduce el tamaño del material mineralizado se lleva a una granulometría con un porcentaje del 70% de malla -200, de manera que sea adecuado para la cianuración. Al material mineralizado que proviene del circuito de trituración tanto primaria como secundaria, se le agrega agua y cal, para que se lleve a cabo desde el molino la acción de lixiviación para una concentración más efectiva.

El proceso de la molienda es la segunda etapa del circuito de conminución o reducción de tamaño de partícula que luego de cumplirse su etapa de trituración y ser almacenados en su tolva de finos, este lograra llegar a un diámetro de partícula en el cual logre cumplir con los parámetros adecuados en el cual el mineral este en un grado de liberación de las especies de interés individuales, las cuales pueden ser recuperadas por los diferentes medios de recuperación del mineral.(Arriagada, 2013, p. 4).

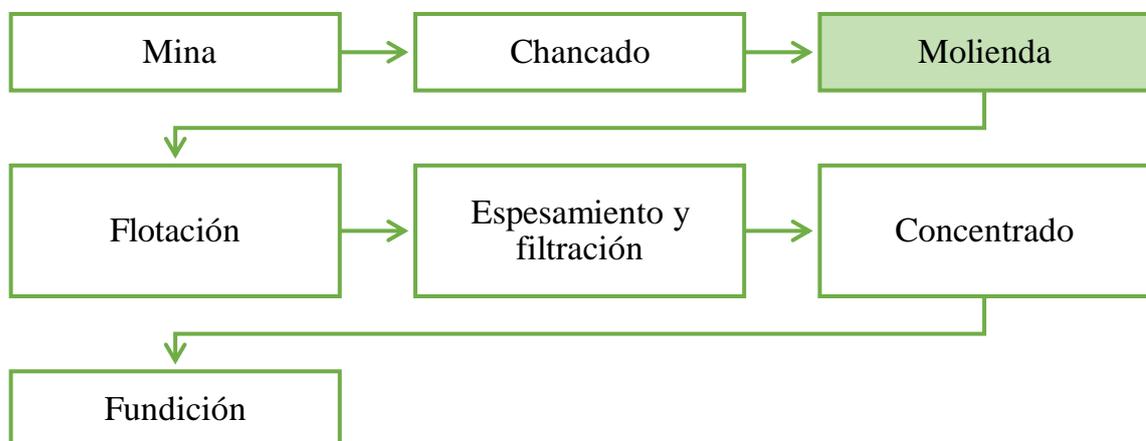


Gráfico 3-2: Molienda dentro de proceso minero

Fuente: Arriagada, 2013, p. 3.

Para poder realizar la molienda esta requiere de grandes equipos giratorios o molinos en forma de un cilindro, lo cual se puede diferenciar en dos tipos de molienda: molienda convencional o molienda SAG (molienda semi autógena). En esta etapa de reducción. En este paso se agrega agua al material mineral en cantidad suficiente para formar un líquido de una pulpa (agua y arena) y los reactivos que la cianuración necesita, para así desde la etapa de molienda ya se produzca una oxidación del mineral. Los tipos más ocupado de molienda eventualmente con las de molienda convencional y de SAG (Arriagada, 2013, pp. 4-6).

La trituración se realiza en molinos cilíndricos que giran sobre su eje horizontal y contienen una parte del cuerpo de la trituradora a granel llamada "medios de trituración", que se mueve libremente a medida que gira el molino, creando semillas trituradas. Durante el proceso de

trituration, las partículas de entre 5 y 250 mm de tamaño se reducen a unas 10.300 micras, según el tipo de operación realizada. El propósito de la operación de molienda es controlar de cerca el tamaño del producto, y por esta razón se suele decir que la molienda correcta es la clave para una buena recuperación. Es importante señalar que una buena molienda es fundamental para una buena recuperación del mineral, tanto por concentración de flotación como por cianuración y, además, es la operación que más energía consume en el procesamiento de minerales (Arriagada, 2013, pp. 4-6).

Estructuralmente los molinos son fabricados por protecciones que se conocen como cascos cilíndricos, con revestimientos en los mismo y una carga efectiva ya sean bolas como barras. “El tambor es soportado en soportes fijos a las paredes laterales de modo que puede girar en torno a su eje. El diámetro del molino determina la presión que puede ejercer el medio en las partículas de mena” (Arriagada, 2013, p. 24).

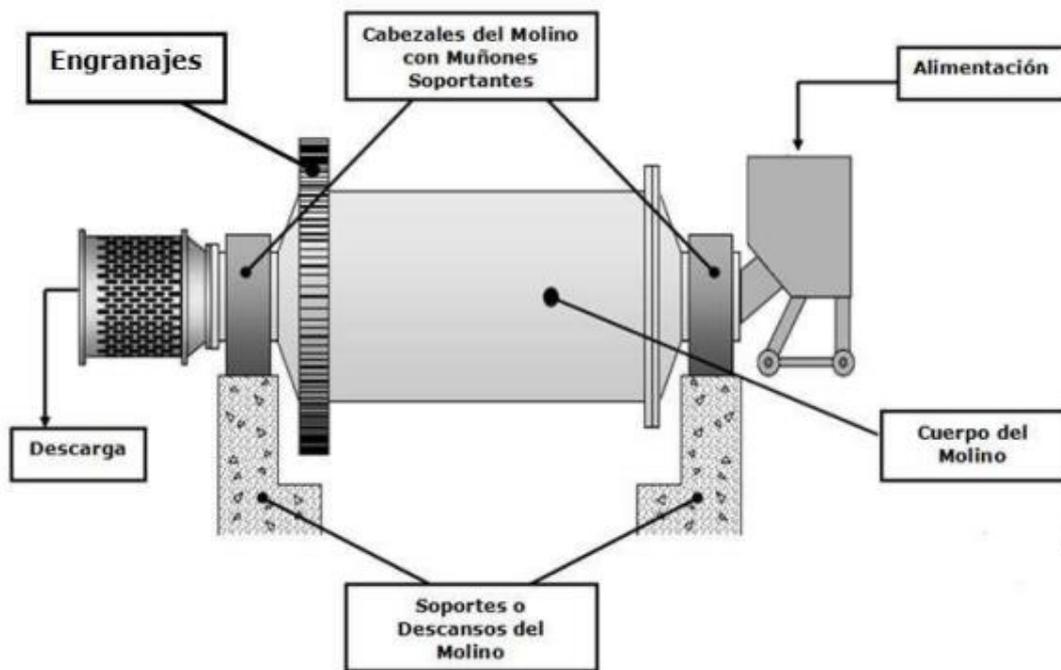


Figura 8-2: Esquema de las partes de un molino de bolas

Fuente: Arriagada, 2013, p. 25.

Para una operación y mantenimiento adecuados, los molinos de bolas están montados sobre llantas de acero o soportados en ambos extremos por ejes como se lo muestra en la figura 2-11. Dado que los engranajes circunferenciales están atornillados a la carcasa, impulsa el molino a través del eje del engranaje de la fuente de alimentación. El motor de esta trituradora funciona sincrónicamente a través de un embrague neumático o un sistema de engranajes. Los engranajes circulares generalmente se ubican en un extremo del molino, pero según el fabricante, pueden ubicarse en otro lugar. Durante la rotación, parte de la carga (minerales más medios de trituración)

sube a lo largo de la circunferencia del casco, y luego de pasar el ángulo de reposicionamiento, esta parte se desliza hacia abajo mientras se vierte en la parte superior de la coraza, realizando así acciones de trituración y trituración (Plaza, 2019, p. 35).

2.5.1. Principales tipos de molinos

2.5.1.1. Molino de barras

Los molinos de barras son cilindros metálicos que tienen en su interior barras de acero habitualmente de 3,5 pulgadas de diámetro, que son los elementos de molienda. El molino gira con el material proveniente de la trituradora terciaria y/o cuaternario que llega por una correa transportadora, y cae sobre el material, produciendo el efecto de reducción de tamaño (Manual general de Minería y Metalurgia, Chile, 2007, p. 126).

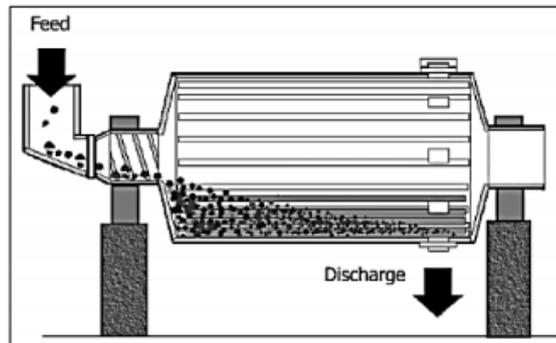


Figura 9-2: Esquema de un molino de barras, con descarga periférica.

Fuente: Gupta & Yan, 2006.

La sección transversal de las barras es generalmente circular, pero se han utilizado varillas con secciones cuadradas y hexagonales. Las barras que tienen secciones transversales distintas de las redondas no tienen ninguna ventaja particular en el rendimiento. Varillas con secciones redondas son más fáciles de manejar. Los revestimientos protegen la carcasa del molino de barras y están hechos de caucho o acero y están atornillados al casco con o sin respaldo de goma. Los revestimientos tienen un grosor de 65 a 75 mm y una altura de 60-90 mm (Plaza, 2019, p. 31-32).

2.5.1.2. Molino de bolas

Los molinos de bolas son también cilindros metálicos cuyas paredes están revestidas con corazas fabricadas en aleaciones de acero cromo-manganeso mejoradas, cuyas dimensiones interiores son hasta 16 pies x 24 pies, es decir, 4,9 m de diámetro por 7,3 m de largo, cuyo volumen interior está ocupado en un 36% de su capacidad por un collar de bolas de acero desde 1,0 hasta 3,5 o 4,0

pulgadas de diámetro, las cuales son los elementos de molienda. En un proceso que dura aproximadamente 20 minutos para cada partícula de mineral que debe ser molida, el 80% del mineral es reducido a un tamaño máximo de 180 micrones (Plaza, 2019, p. 32).

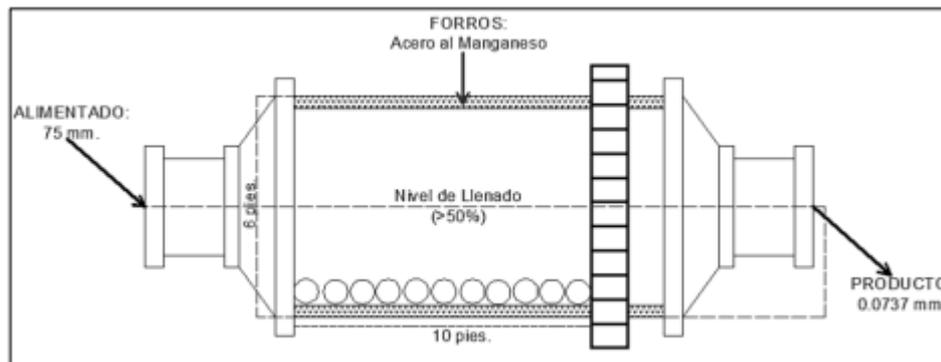


Figura 10-2: Esquema general de un molino de bolas

Fuente: Plaza, 2019, p. 33

Si se quisiera hacer una comparación con las velocidades de operación de los molinos de barras y bolas habría que decir que los molinos de barras funcionarían entre el 50% al 95% de la velocidad crítica. Cuanto más rápida es la velocidad del molino de barras, mayor es el desgaste en las barras y las corazas de revestimiento. (Plaza, 2019, p. 33).

Los revestimientos de los molinos, compuestos por corazas y liners que dan a la superficie interior del molino un determinado perfil que hace levantar las bolas como medio moledor y al mismo tiempo avanzar el mineral hacia la descarga del molino. Van apernados al casco del molino y se deben sustituir cuando se desgastan y/o pierden el efecto levantador de las bolas. (Plaza, 2019, p. 33).

2.5.1.3. Molino semiautógeno (SAG o AG)

Son molinos de gran capacidad que se colocan seguidamente de la trituración primaria, en su interior contienen bolas de acero para cuando el molino gire, el material que contiene cae y se muele por efecto de la fricción e impacto de las bolas, con el propio mineral. El material resultante de este molino pasa por un clasificador, puesto que produce una gran cantidad de finos que se dirigen hacia la flotación, el porcentaje de mayor tamaño regresa al molino SAG o a otro tipo de molino, posiblemente bolas de acuerdo con el tipo de circuito de molienda diseñado. La molienda autógena se produce cuando no se utiliza ningún medio de molienda externo y es el propio mineral el que actúa como tal. El molino semiautógeno es una variante del mismo molino autógeno, pero que utiliza una carga mínima de bolas en un porcentaje entre el 6 y 15%. Los molinos SAG se han utilizado principalmente en las plantas de procesamiento de oro, cobre y platino con usos también en el plomo, zinc, plata y níquel (Plaza, 2019, p. 34-35).

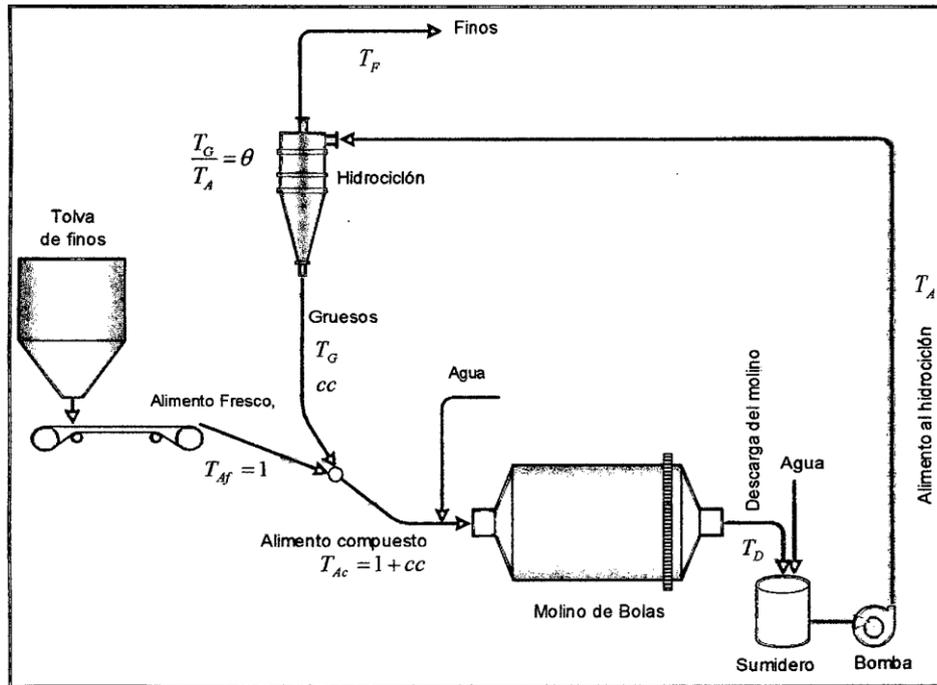


Figura 11-2: Esquema de un circuito cerrado de molienda

Fuente: Armas & Poma, 2013.

2.5.2. Dimensionamiento de molinos

El tamaño de las partículas en las etapas de trituración primaria, secundaria y terciaria es desde los 8 mm, hasta los 12 mm, en un proceso convencional tiene una limitación de tamaño para los productos finales que se requieren para las etapas siguientes de molienda clasificación y flotación espesamiento. Para conseguir la mayor reducción de tamaño, necesariamente se debe recurrir al proceso de molienda en húmedo de minerales. La molienda es un proceso de reducción de tamaño que utiliza las fuerzas mecánicas de impacto, compresión y abrasión de la roca mineralizada (Plaza, 2019, p. 39). Las dos finalidades principales de la molienda son:

- Liberar minerales individuales atrapados en los cristales de la roca mineralizada y dar paso al enriquecimiento de las especies valiosas.
- Producir finos desde fracciones de mineral aumentando la superficie específica, favoreciendo con ello el proceso físico- químico de la flotación.

La funcionalidad y capacidad de trabajo del molino de bolas depende de:

La capacidad de un molino de bolas depende de sus dimensiones, el tipo de molino (desbordamiento o descarga de la rejilla), la velocidad a la que gira el molino, la carga del molino, el tamaño del producto requerido de un tamaño de alimentación dado, el índice de trabajo, la potencia del eje del molino y la gravedad específica de la roca (Gupta & Yan, 2006, p. 215).

2.5.3. Variables de la molienda de minerales

Hay muchas variables que deben considerarse cuando se efectúa un estudio de molienda; entre las más importantes podemos citar las siguientes:

- Disposición o forma de la alimentación.
- Tamaño de partícula del alimento fresco.
- Medios de molienda
- Material.
- Forma.
- Tamaño y distribución de tamaños.
- Peso de la carga de bolas.
- Tamaño del molino.
- Velocidad del molino.
- Consumo de energía
- Consumo de barras, bolas y forros.
- Dilución de la mezcla (agua/mineral).

2.5.4. Tiempo de molienda

La molienda es uno de los procesos más importantes dentro del beneficio mineral, considerado como una de los procesos más costosos en cuanto a su consumo energético nos referimos, donde este consumo dependerá del tamaño inicial y final de las partículas, donde se evalúa desde el tamaño de alimentación así como su tamaño de descarga del mismo, evitando que se produzca una sobre molienda que se verá afectado en los costos operativos en la recuperación mineral, por ende controlar el tiempo de molienda cumple un rol muy importante dentro de los procesos mecánicos de la reducción mineral, buscando el tiempo optimo que el mineral este en su granulometría adecuada para los siguientes procesos (Plaza, 2019, pp. 39-40).

2.6. Hidrociclones

Los hidrociclones, Figura 12-2, han sido utilizados industrialmente desde el final de la Segunda Guerra Mundial, sin embargo, el hidrociclón fue patentado por primera vez por Bretney en 1891, en Estados Unidos. Durante este tiempo, las aplicaciones han estado concentradas en la industria minera, pero más recientemente, este equipo ha sido aplicado en muchos otros tipos de industria, tales como la química, petroquímica, textil, generación de potencia y otras. Actualmente, la industria minera continúa siendo el mayor usuario de hidrociclones, siendo aplicado en

clasificación de líquidos, espesamiento, lavado de sólidos, clasificación de sólidos y operaciones de ordenamiento de partículas, ya sea por densidad o forma (Titichoca, Jiménez & Magne, 2005, p. 169).

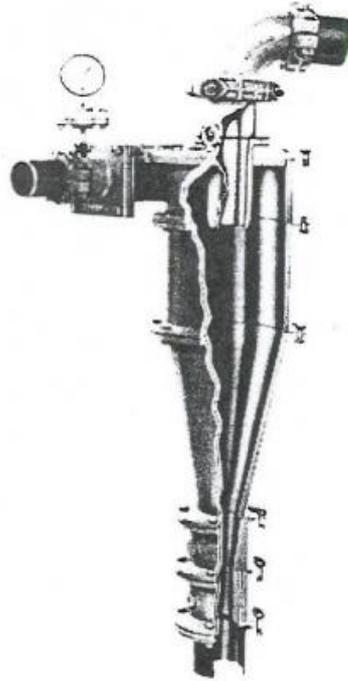


Figura 12-2: Corte esquemático de un hidrociclón

Fuente: Titichoca, Jiménez & Magne, 2005.

El uso extensivo de hidrociclones en la industria minera es probablemente debido a su versatilidad, simplicidad, su reducido tamaño y relativo bajo costo de mantención. Sin embargo, una vez instalados, ellos tienen limitaciones en relación con su eficiencia de separación o índice de nitidez y rango de separación de tamaño. La Figura 8.4 muestra curvas típicas de granulometrías que se obtienen en la clasificación en hidrociclones (Titichoca, Jiménez & Magne, 2005, p. 169).

2.7. Diagramas de una planta de beneficio de mineral

2.7.1. Diagramas por vía seca y húmeda

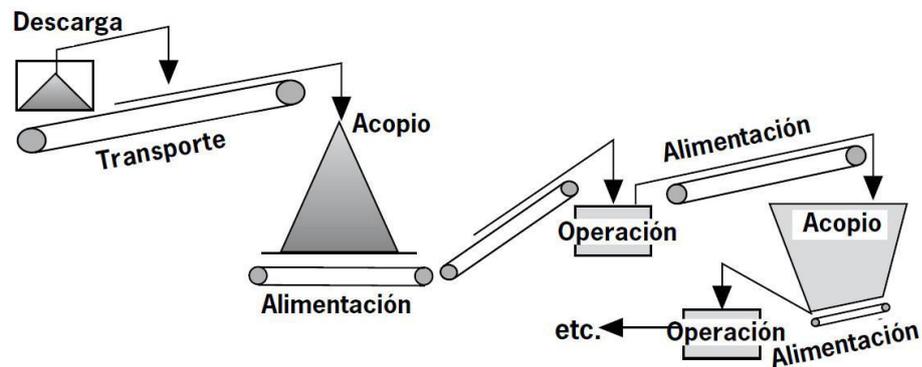


Figura 13-2: Diagrama de instalación por vía seca

Fuente: Universidad politécnica de Cartagena, s.f.

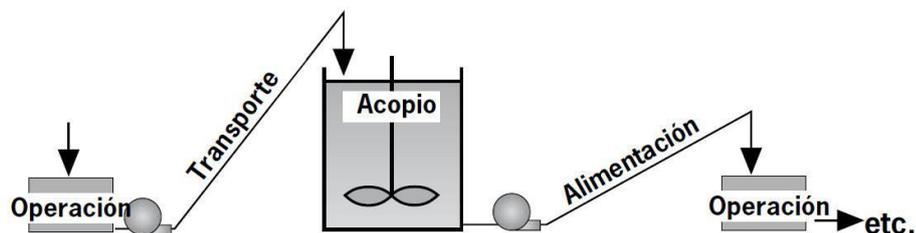


Figura 14-2: Diagrama de instalación por vía húmeda

Fuente: (Universidad politécnica de Cartagena, s.f.

2.7.2. Fragmentación definida en función del tipo de circuito empleado

- Circuito abierto: El material pasará una sola vez por el equipo de fragmentación.
- Circuito cerrado (CC): Existe un control sobre el tamaño del producto, por lo tanto, aquellos tamaños que no cumplan las exigencias de diámetro serán enviados nuevamente al mismo equipo de fragmentación.

El circuito cerrado tiene una mayor capacidad para poder aumentar la razón de reducción con una reducción más controlada del mineral sin crear productos muy finos.

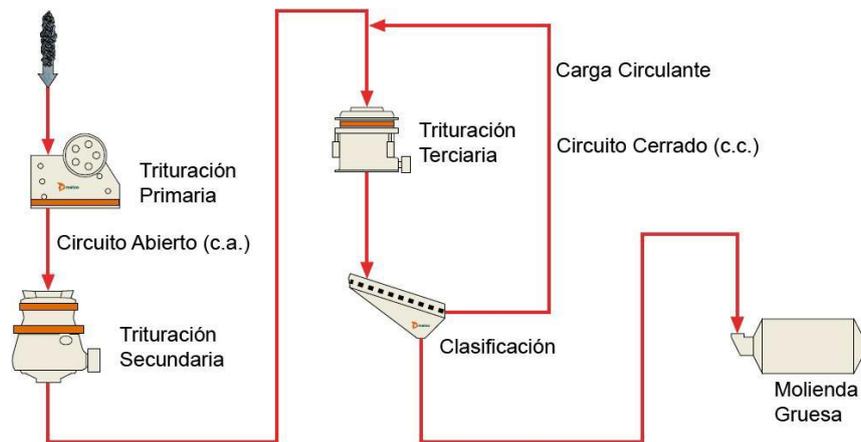


Figura 15-2: Diagrama de un circuito abierto y cerrado

Fuente: Universidad politécnica de Cartagena, s.f.

2.8. Equipos adicionales para el proceso de conminución

2.8.1. Balanza digital

Las balanzas digitales son instrumentos de pesaje que utilizan la acción de la gravedad para determinar la masa de un objeto. Sus componentes principales es un receptor de carga (plato) donde se colocará el objeto para ser medido. Una célula de presión de masa que medirá la fuerza de acción (peso) que ejercerá sobre el receptor de carga. El resultado de esa medición aparecerá reflejado en un dispositivo indicador. La balanza digital es un equipo industrial o de laboratorio y resultan imprescindibles en distintas operaciones de procesos industriales, analítica y en laboratorios de calidad (FEMTO, 2020, párr. 1).



Figura 16-2: Balanza digital

Fuente: FEMTO, 2020.

2.8.2. Balanza de Marcy

La balanza de Marcy nos ayuda a tener una lectura tanto de sus densidades húmedas como secas, al producirse una lectura de su densidad de pulpa donde se recolecto la muestra con ayuda de un tarro especial de un litro que nos ayudara a realizar la toma de muestras de sus pulpas como son

para descarga de sus molinos y muestras de separación del hidrociclón sus partículas gruesas y finas, dándonos medidas de densidad en gr/Lt.

Teniendo el dato de la densidad podemos diferenciar lo siguiente:

- Una densidad alta significa que le falta agua a la bomba. Cuando la densidad esta alta, pasa gran cantidad de gruesos al sistema de concentración (Partículas gruesas la liberación no es completa). En este caso, los granos gruesos no flotarán y “ensuciarán” los concentrados.
- Una densidad baja indica que le sobra agua a la bomba. En este caso, pasará muy poca carga y demasiado fino y la mayor parte de la carga estará sobrecargando al molino
- Se no se realiza una corrección a una baja densidad se creará una sobrecarga de materia, mientras de igual manera la densidad es alta esta creara una remolienda incrementando su tiempo en el molino, creando un asentamiento del mineral en las celdas y se creara atasco en la bomba.



Figura 17-22: Balanza de Marcy

Fuente: viaindustrial.com

2.8.3. Tamizadora

El tamizado consiste en un método físico creado para lograr una separación homogénea de los diferentes diámetros de partícula, donde consiste en realizar el paso de diferentes tamaños de grano por un tamiz o cedazo. Realizando la separación de partículas finas que pasarán el cedazo mientras las gruesas serán retenidas por el mismo.

La función del tamiz es separar la materia en dos fracciones, donde una es retenida por el medio tamizante y la otra pasara a través de la abertura. Si a estas partículas es aplicada por perfiles no

esféricos el proceso se complica por el hecho de que una partícula con un tamaño muy próximo al de la abertura nominal del tamiz, puede pasar a través de él sólo cuando se presenta en una posición favorable y no pasará cuando se presente en otras posiciones (CISA, 2020, párr. 6).

El proceso de tamizado puede ser dividido en dos estadios: primeramente, eliminando las partículas considerablemente más pequeñas que la abertura nominal del tamiz, y en segundo lugar separando las partículas de un tamaño similar a la abertura. Ambos estadios requieren que todas las partículas colocadas en el medio tamizante tengan la oportunidad de pasar a través de una abertura. Idealmente, cada partícula debería ser presentada individualmente a una abertura, como ocurre en las aberturas de malla mayores, pero para la mayoría de las partículas esto es impracticable (CISA, 2020, párr. 7-10).

La efectividad de la técnica del tamizado dependerá, entre otros muchos factores:

- la carga del material depositada en el tamiz,
- y del tipo e intensidad del movimiento impreso a dicha carga.



Figura 18-2: Tamizadora

Fuente: Kasalab.com.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo es una investigación aplicada de tipo correlativo o descriptivo, debido a que detalla y describe todos los parámetros que forman parte de la investigación, como análisis del circuito de conminución, tipo de material, densidades y granulometría (tamaño de partícula). Todo esto apoyada de la investigación bibliográfica y la obtenida en trabajo de campo aplicado en la planta de beneficio OROCONCENT S.A. para lo cual se contó con una metodología adecuada para lograr cumplir con los objetivos propuestos.

3.1. Proceso actual de conminución de la planta de beneficio de la empresa “OROCONCENT SA”.

3.1.1. *Materiales*

De acuerdo con la metodología aplicada para el desarrollo del presente trabajo de Integración Curricular, comprende 3 fases: trabajo en campo, laboratorio tanto de la empresa como el de la Universidad, gabinete, para lo cual se ocupa los siguientes materiales.

Tabla 1-3: Distribución de las fases de trabajo

Fase de Campo	Fase de Laboratorio	Fase de gabinete
- Casco de protección. - Chaleco reflectivo. - Guantes. - Balanza. - Pala. - Bolsas plásticas. - Libreta. - Lápiz. - Marcador. - Cámara fotográfica - Herramientas manuales.	- Trituradoras de mandíbulas - Molino de bolas 6' x 12' - Juego de tamice. - Cámara fotográfica - Balanza - Estufa - Recipientes - Vibro tamiz - Espátula - Guantes de calor - Fundas plásticas	- Computadora

Realizado por: Samaniego, Mauricio 2021.

3.1.2. Sector de análisis

Para llevar a cabo un diagrama de cómo se encuentran sus circuitos tanto de trituración como su molienda, se lleva una visita a la planta de beneficio de la empresa OROCONCENT S.A. lo cual se realiza una observación de todo su circuito con la ayuda de tomas fotográficas de los quipos para tener un mejor entendimiento del funcionamiento del proceso.

3.1.3. Variables

Las variables más predominantes para realizar en la investigación constaran llevar a cabo el diagnostico actual del circuito de trituración y molienda, mediante la toma de datos de su granulometría optima y densidad de sus pulpas en cada punto de muestra.

3.1.4. Elaboración del circuito de Trituración y Molienda

3.1.4.1. Visita en planta

Se llega por medio de la apertura de la empresa OROCONCENT, lo cual consistió en realizar la visita y análisis a la planta de beneficio y así lograr realizar un levantamiento de la información pertinente, tanto de sus equipos como sus parámetros operacionales de los mismo, para llevar acabo un levantamiento efectivo se procede a conocer todo acerca del proceso llevado en planta y obtener información relevante que nos ayude a comprender necesidades y fortalezas en cada sección operacional.

3.1.4.2. Diseño del circuito

Luego de tener la información relevante de cada uno de los equipos encargados en su circuito de conminución, se diseña la consecución del proceso de conminución (*FlowSheet*) en un *Slider* del programa *Abobe Illustrator CS6*, definiendo cada una de las partes de las fases operacionales del sistema de conminución.

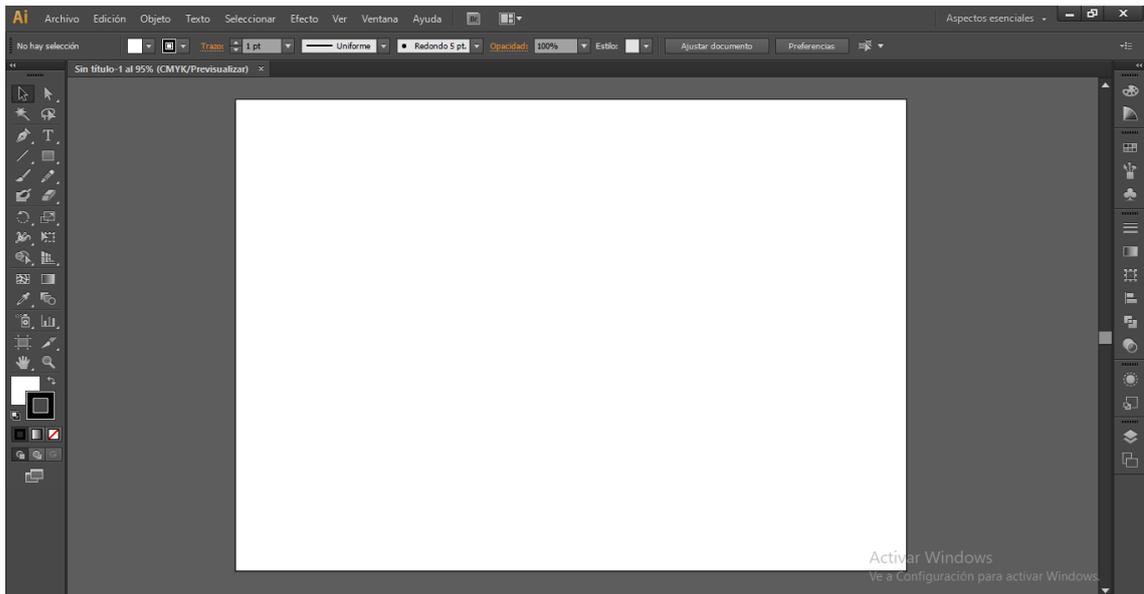


Figura 1-3: Programa utilizado para diseñar los diagramas de conminución

Realizado por: Samaniego, Mauricio 2021.

3.2. Revisión de los parámetros operacionales de las trituradoras, zarandas vibratorias y molinos

Se realiza un análisis observatorio y toma de datos tanto de las maquinas encargada en el circuito de trituración como de los datos de las placas de sus motores y características operativas de los quipos.

3.2.1. Circuito de trituración (C1)

3.2.1.1. Trituradora de mandíbula primeria (TMP-C1)

Se realiza la observación y toma de datos tanto de información sobre los motores como características de su trituradora de mandíbula primeria.



Figura 2-3: Trituradora de mandíbula primeria C1 y su placa

Realizado por: Samaniego, Mauricio 2021.

3.2.1.2. Zaranda Vibratoria (ZV-C1)

Se realiza la observación y toma de datos tanto de datos de motores como características de la zaranda que cumple con la finalidad de separar partículas mayores o igual a 2”.



Figura 3-3: Tamiz vibratorio de 2” de malla

Realizado por: Samaniego, Mauricio 2021.

3.2.1.3. Trituración de mandíbula Secundaria (TMS-C1)

Se realiza la observación y toma de datos tanto de datos de motores como características de su trituración que cumple la función de trituración secundaria.



Figura 4-3: Trituradora de mandíbulas primaria 2 C1 y su placa

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

3.2.1.4. Molino 6' x 12' (MB-C1)

Se realiza la observación y toma de datos tanto de datos de motores como características de su molino.



Figura 5-3: Molino de bolas 6'x12' y placa del motor de funcionamiento

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Para realizar la toma de datos de las placas de los equipos de conminución, se realizó cuando los equipos se encontraron detenidos y así poder evitar cualquier accidente que se pueda ocasionar y así salvaguarde la integridad física.

3.3. Evaluación de la distribución de las mallas en los circuitos de trituración y molienda

3.3.1. Muestra

La muestra se representa con una característica de una pequeña parte de un todo, de forma de porcentaje mínimo para realizar una representación de sus características de distribución sean iguales en todo aspecto de la muestra, creando muestras que representes datos exactos. La representatividad de una muestra respecto al total de mineral se reflejará en el siguiente aspecto.

- Densidades de pulpa.
- Tamaño de partícula.

La muestra manipulada que se toma en cuenta para la evaluación del mineral en los puntos estratégicos de muestreo del circuito de conminución, (trituración y molienda).

3.3.2. Muestreo

En esta operación del procesamiento de minerales, el muestreo consistió en la toma o recogida de material en flujo, sólido y líquido. Que comprendió colocar puntos estratégicos en el circuito de conminución y así poder encontrar su granulometría y densidades de las pulpas (porcentaje de solidos), para evaluar que tan bien se realiza la etapa de conminución.

3.3.3. Equipos para cálculos de las muestras

3.3.3.1. Balanza Marcy

La balanza *Marcy* tiene como finalidad la lectura tanto de su peso específico y densidad de la pulpa (mineral + agua) como líquidos, donde también nos permite la determinación de la gravedad específica de sólidos secos.

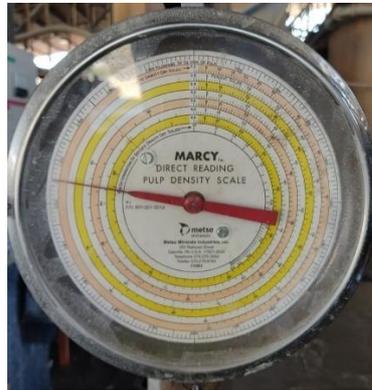


Figura 6-3: Balanza de Marcy

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Con la implementación de la siguiente ecuación podemos encontrar el porcentaje de mineral de malla -200. Que nos indica por medio de sus densidades de pulpa el porcentaje de masa que pasa por el tamiz seleccionado.

$$\%m - 200 = \frac{\rho_{pulpa} - \rho_{sobrante+agua}}{\rho_{pulpa} - \rho_{agua}} (100) \quad (\text{Ec. 2})$$

3.3.3.2. Vibro tamiz (Endecotts)



Figura 7-3: Vibro tamiz Marca ENDECOTTS

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Para realizar el análisis en el laboratorio de la ESPOCH, se utilizó un vibro tamiz de marca *Endecotts*, el cual nos ayudó a poder obtener datos sobre la distribución granulométrica obtenidas en la toma de datos de la empresa OROCONCEN S.A.

3.3.4. Puntos de toma de muestras (Circuito de trituración y molienda)

Para la selección de muestras se realiza en puntos estratégicos analizando cuales son las variables que se desean controlar, en este caso se controla los datos metalúrgicos más relevantes: densidad de pulpa y granulometría, donde se diseñó realizar la toma de datos en los siguientes puntos.

3.3.4.1. Puntos de toma de muestras circuito de trituración

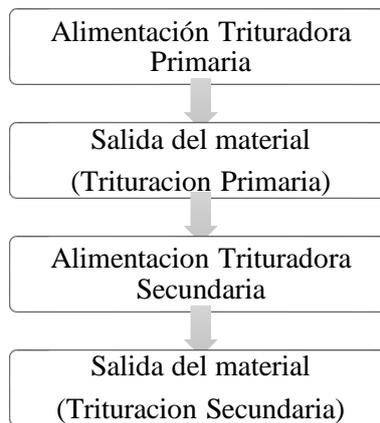


Gráfico 1-3: Puntos de toma de muestra (trituración)

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

3.3.4.2. Puntos de toma de muestras circuito de molienda

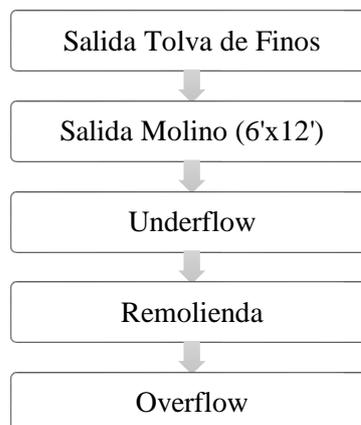


Gráfico 2-3: Puntos de toma de muestra (molienda)

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

3.3.5. *Mallas para el circuito de trituración.*

Se realiza un análisis minucioso del tamaño de partícula tanto en sus primeras fases de conminución con en sus fases finales, para ello se utiliza la implementación de tamices o mallas para analizar su granulometría. Por lo que se realizara la elaboración de los siguientes tamices.

Tabla 2-3: Mallas utilizadas en la planta de beneficio

Numero de tamiz	Abertura del tamiz
8 pulg	200 mm
4 pulg	100 mm
2 pulg	50 mm
1 pulg	25 mm
No. 200	75 μ m

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Para poder seleccionar las mallas adecuadas se analizó las características de las trituradoras primarias y secundarias, mientras que para el circuito de molienda la granulometría óptima para una mejor obtención del mineral que se extrae por medio de cianuración.

3.3.6. *Procedimiento Planta de beneficio OROCONCEN .S.A.*

3.3.6.1. *Trituración*

- Se procede a realizar las mallas que ocuparemos en el circuito de trituración, lo cual ocuparemos mallas de 8, 4, 2 y 1 pulgada y tener una distribución granulométrica.
- Se realiza la toma respectiva de la descarga de la tolva de gruesos hacia su alimentación a la trituradora primaria, lo cual consiste en recolectar periódicamente en un lapso de 3 horas, que es el tiempo de trituración del material de Telma.
- Se procede a recolectar muestras en un valde con ayuda de un cuarteador para que la muestra sea homogénea, lo cual se toma muestras de 25 a 30 lb.
- Para analizar tanto su carga y descarga del mineral en la primera fase de conminución se lleva a cabo la toma de 188 lb y pasarlos por los diferentes tipos de mallas o tamices, esto se realizó en los diferentes puntos de muestreo del circuito de trituración.



Figura 8-3: Análisis de mallas del circuito de trituración

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

3.3.6.2. Molienda

- Se realiza toma de muestras de la pulpa, para encontrar su densidad y porcentaje de sólidos con la ayuda de la balanza *Mercy* puntos estratégicos: Descarga del molino, *underflow*, Remolienda y *overflow*.
- Donde consiste en tomar datos cada hora en una jornada de 8 horas, en el que se recolecta con el medidor de la balanza, vaso medidor, y luego de anotar la densidad de descarga se coloca la pulpa en la malla determinada para analizar su granulometría.
- Posteriormente colocada la pulpa en su tamiz, se procede a remover suavemente el contenido con los dedos evitando que el contenido se derrame y facilitar que las partículas gruesas no creen una capa de material e impida el paso de las partículas más finas.
- Siguiendo con la agitación suavemente, en un lapso de 15 minutos y observar que el agua se encuentra de un color claro, se vuelve a colocar el material sobrante en el vaso medidor y este ser llenado con mucho cuidado de agua.
- Finalmente, es nuevamente encontrada la densidad con la balanza *Mercy*, se realiza el cálculo para encontrar el pasante -200, y ser anotado en la libreta de mano.



Figura 9-3: Toma de datos de densidades

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

3.3.7. Preparación de la muestra para Laboratorio de Minas - ESPOCH

Se recoge muestras en los puntos estratégicos, donde se realizó un análisis de malla con la ayuda de la balanza *Mercy*, posteriormente fue llevado al laboratorio químico metalúrgico de la empresa OROCONCENT S.A. para proceder con el secado del material, en el cual se utilizó una cocina industrial para eliminar toda la humedad y a continuación ser almacenados para ser trasladados al laboratorio de Minas de la ESPOCH, en la ciudad de Macas.



Figura 10-3: Preparación de la muestra para análisis

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

3.3.7.1. Procedimiento laboratorio Minas

- Una vez recolectada las muestras en los puntos de muestreo del circuito de molienda, se transporta hacia la ciudad de Macas para ser analizados en el laboratorio de Minas de la ESPOCH.
- Se lleva a cabo el uso de un vibro tamiz de marca *Endecotts*, donde se usaron tamices de mallas, 4,7,10,12,18,20,30,40,80,100,120,140,200,270,325,400.
- Se procede a realizar un compósito, de las muestras a analizar, descarga del molino, *Underflow*, Remolienda y *Overflow*.
- Luego ya obtenido y pesado con un peso menos a los 500 gramos de cada muestra, se procede a colocar en los recipientes de los tamices y poder analizar su distribución granulométrica.
- Se realizó la vibración por un tiempo de 5 minutos con una frecuencia de M1 y M2, que es la fuerza y tiempo de vibración, analizando que con esa característica se obtiene una eficaz distribución granulométrica.

- Luego se procede a pesar cada masa retenida en los tamices.
- Utilizando una balanza exclusiva para obtener las masas exactas en cada medición.
- Con los datos obtenidos se crea una tabla de Excel para encontrar sus Porcentajes de: retención, acumulado y pasante, y crean gráficos de curvas granulométricas.



Figura 11-3: Análisis granulométrico en el laboratorio de Minas - ESPOCH

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

3.3.8. Análisis granulométrico valorado

Tabla 3-3: Distribución granulométrica

N° tamiz	Abertura (μm)	Peso muestra	% Detenido	% Acumulado	% Pasante
Tamiz 1	Abertura 1	Peso 1	% 1	% 2	% 3

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Construida la tabla de los pesos y porcentajes obtenidos en la molienda y tamizado respectivamente, se desarrolla el análisis que permiten determinar tamaños de partícula óptimos.

3.3.9. Densidad de pulpa

Para tomar muestras y medir su densidad de pulpa se utiliza el equipo llamado balanza Marcy con el cual se mide la densidad cada hora, estas densidades se tomó en una jornada de trabajo de 8 hora por 3 días consecutivos y así lograr obtener la toma de datos de un ciclo de 24 horas. En este caso los puntos de muestreo son: descarga del molino, alimento al hidrociclón, su underflow y su

overflow, alimento y descarga de los diferentes molinos que trabajan con el material de la Mina Telma.

Tabla 4-3: Formato de la toma de densidades de pulpa

Descarga Molino 6'x12'			<i>Underflow</i>			Remolienda			<i>Overflow</i>		
P pulpa	P Final	% pas	ρ pulpa	P Final	% pas	ρ pulpa	P Final	% pas	ρ pulpa	P Final	% pas

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Análisis del proceso actual de conminución en la planta de beneficio

Al realizar la visita a la planta de beneficio de la empresa OROCONCENT, quienes permitieron observar y analizar cómo se lleva a cabo el proceso de conminución, se procedió a realizar los diferentes diagramas para cada una de las secciones del proceso de reducción de tamaño. Los cuales facilitan el entendimiento de las operaciones llevadas en planta, mostrando claramente el funcionamiento y análisis para ejecutar de mejor manera la evaluación de su circuito. El diseño de estos diagramas se ejecutó con el uso del programa *Illustrator CS6*.

4.1.1. Diagrama del circuito de trituración

4.1.1.1. Circuito de Trituración vista superior

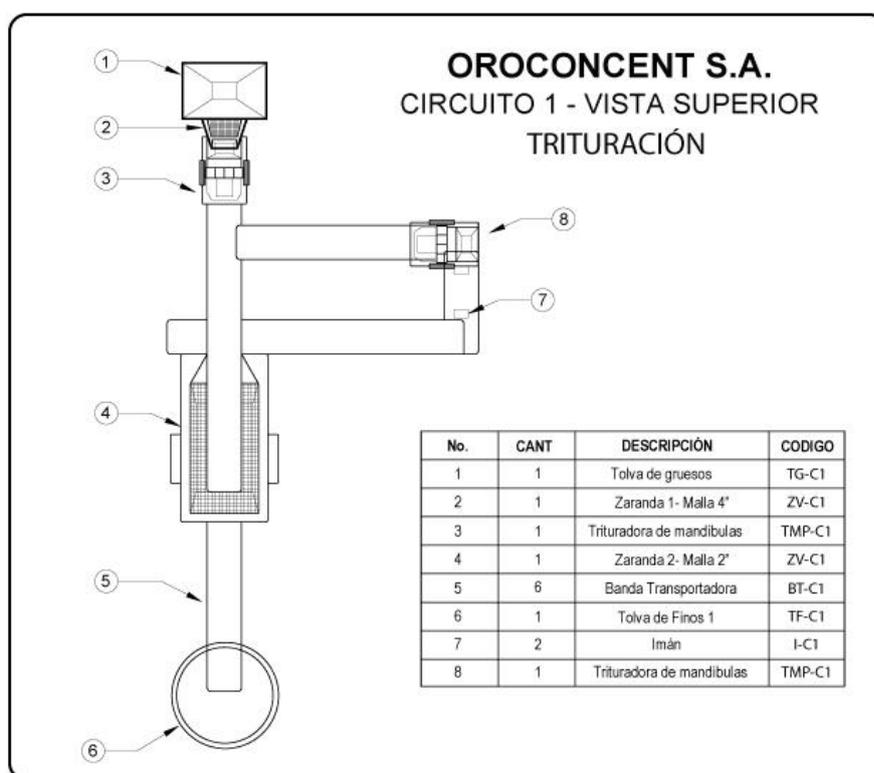


Figura 1-4: Vista superior del circuito de trituración

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

En el diagrama de la figura 1-4, se diseñó la primera fase del sistema de conminución desde una vista superior, visualizando cada uno de los equipos y/o maquinaria del proceso que se lleva a planta como lo son: Tolvas de gruesos, zaranda 1, trituradora de mandíbula. Zaranda 2, banda transportadora, tolva de finos, imán, trituradora de mandíbula. Todos estos equipos se encuentran unidos mediante bandas transportadoras que facilitan el transporte continuo del material hacia sus diferentes fases de trituración.

4.1.1.2. Circuito de Trituración vista lateral

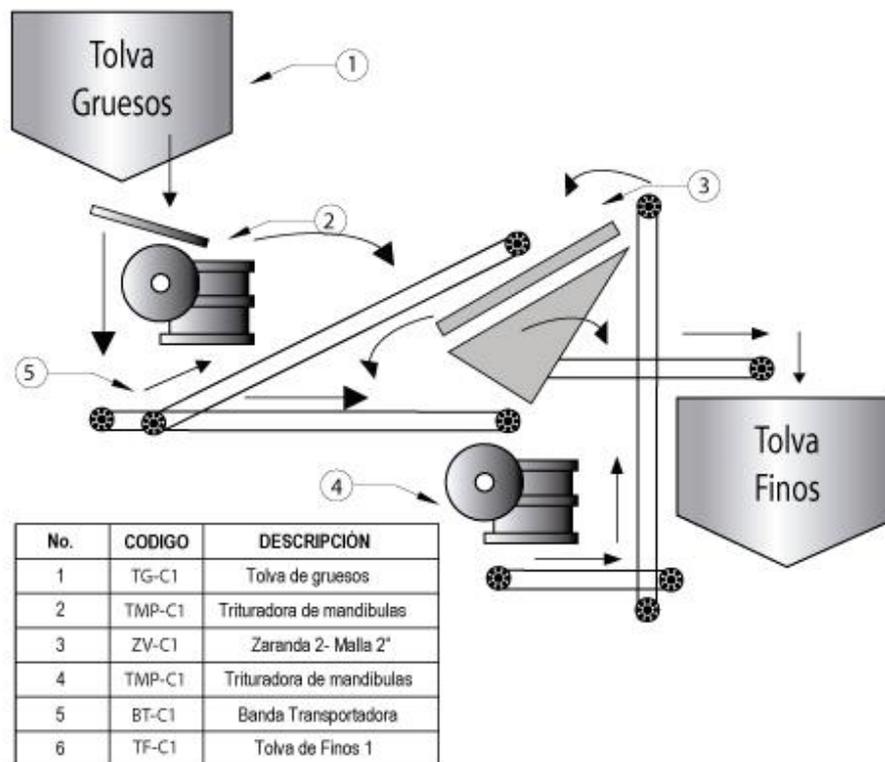


Figura 2-4: Diagrama del circuito de trituración (vista lateral)

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

En la siguiente figura 4-2, se aprecia el diagrama del circuito de trituración #1, el cual se observa que únicamente cuenta con trituradoras de mandíbulas, que son consideradas trituradoras primarias lo que ayuda únicamente a triturar rocas de grandes diámetros, donde reducen el mineral hasta un tamaño de malla -2". Se pudo apreciar que el circuito de trituración corresponde a un diagrama de trituración cerrado, donde al pasar por la tamizadora vibratoria, el material por encima de la malla +2" vuelve a la trituradora de mandíbula secundaria para seguir reduciendo el mineral y lograr conseguir el diámetro adecuado del mineral que es de una malla inferior a 2".

4.1.2. Diagrama del circuito de molienda

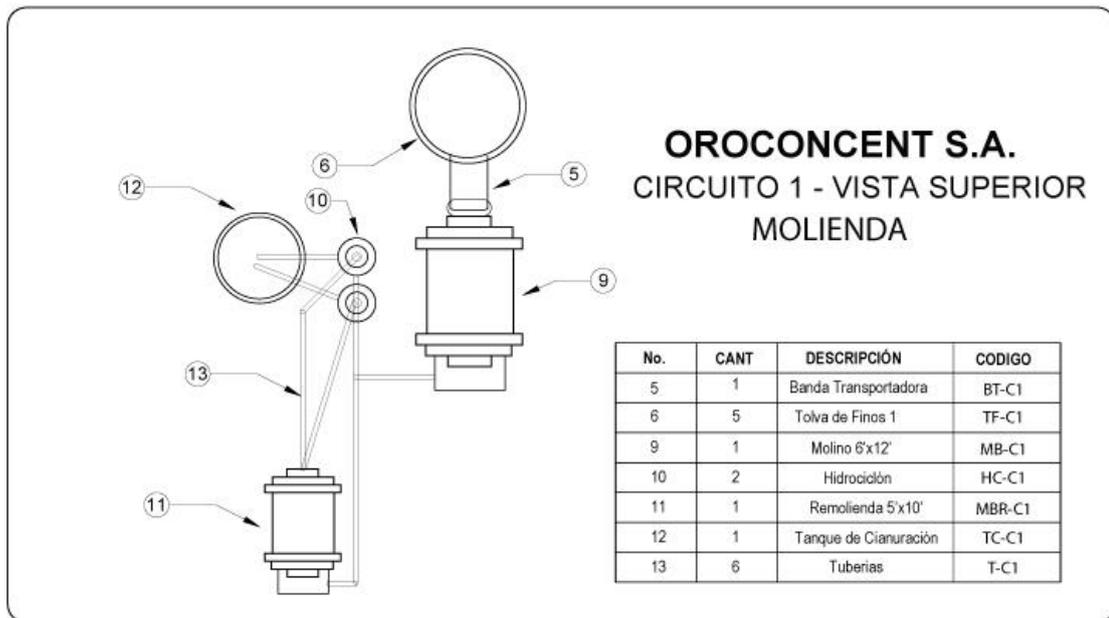


Figura 3-4: Vista superior del circuito de molienda

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

En la figura 4-3, se aprecia el diagrama del circuito de molienda que es considerada la última fase de reducción de tamaño, los cuales son los encargados de moler y transportar el mineral, una vez almacenada en su tolva de finos, esta es transportado por medio de bandas transportadoras al molino de dimensiones 6'x12', una vez realizada la molienda el mineral es bombeado hacia el hidrociclón, que realizar su función de separar las partículas final de las gruesas, de las cuales las partículas finas son las que pasan a almacenarse en los tanques de lixiviación, mientras las partículas gruesas son enviadas a su respectiva remolienda para que cumplan con su segunda fase de remolienda y así nuevamente ser clasificadas y almacenadas en el tanque de lixiviación.

4.1.3. Diagrama del proceso de conminución del circuito

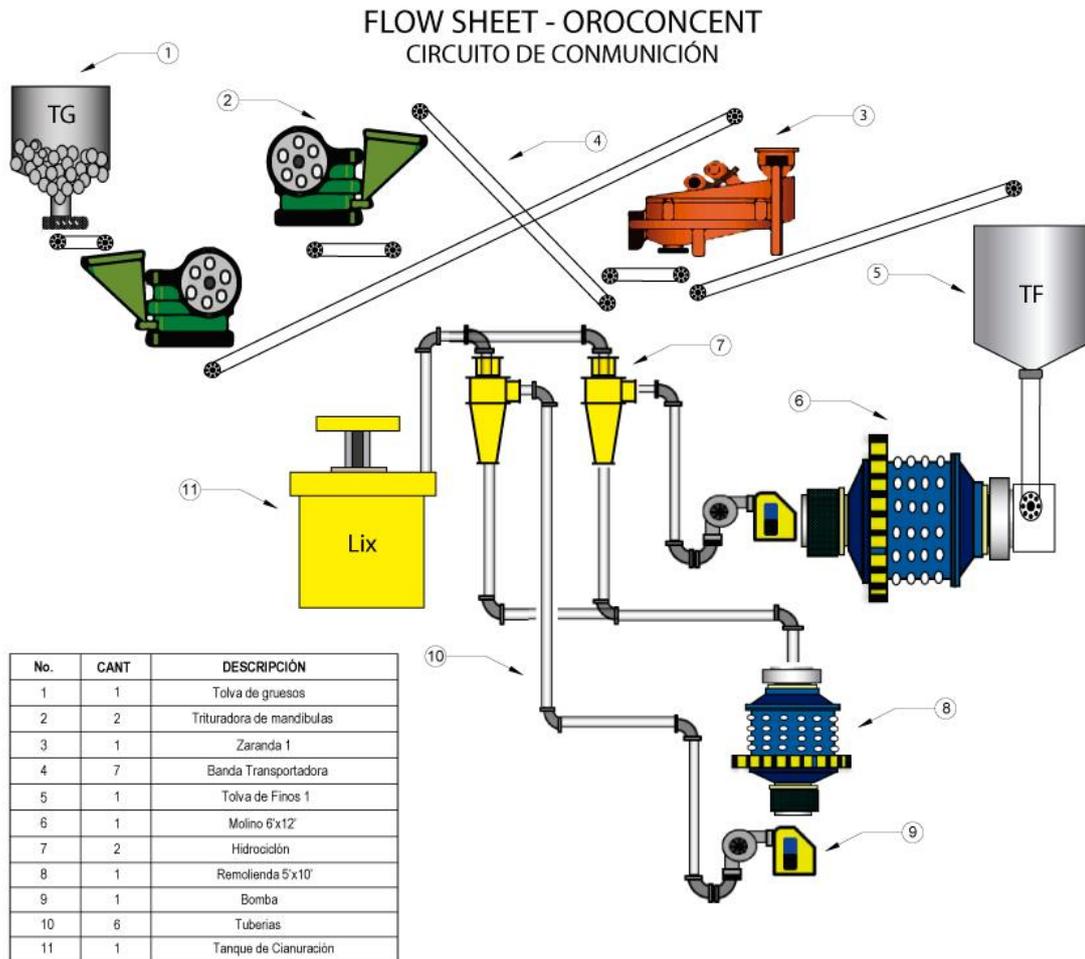


Figura 4-4: Flow Sheet del circuito de conminución de la empresa OROCONCEN S.A.

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

En la siguiente Figura 4-3, se observa el diagrama final del circuito de conminución #1, el cual está encargado de realizar su trituración y molienda del mineral procedente de la Mina Telma, visualizando cada uno de los equipos y/o maquinaria del proceso que se lleva planta como lo son: Tolvas de gruesos, trituradora de mandíbulas, zaranda 1, banda transportadora, tolva de finos, Molino 6x12, hidroclón, remolienda 5x10, bomba de agua, tuberías y tanque de cianuración. Cabe señalar que el diagrama únicamente corresponde al circuito que se encarga de reducir el tamaño del mineral procedente de la Mina Telma, que se localiza en el sector de Río amarillo en la parroquia de Portovelo.

4.2. Parámetros operacionales trituradoras, zarandas vibratorias y molinos.

Durante la revisión detallada de los procesos y equipos, simultáneamente se consolidó la información característica y operacional de cada uno de los equipos usados en los procesos de trituración y molienda en la planta de beneficio de la empresa OROCONCENT. Al realizar la toma de datos se encontró que hay equipos que no cuentan con sus placas de información, por lo que no se pudo realizar una toma de datos de los equipos pertinentes y por lo tanto se obtiene únicamente el dato de sus motores de funcionamiento. Eso nos ayuda a poder tener la facilidad de buscar proformas para los equipos que cumplan con las especificaciones de fabricación de cada equipo.

4.2.1. Características y datos de placa de los equipos del proceso de trituración

4.2.1.1. Trituradora de mandíbula Primaria (TMP-C1)

Tabla 1-4: Datos de placas de motores trituradora de mandíbula primaria C1

MÁQUINA	DATOS DE PLACA					
	POTENCIA (kW)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	EFICIENCIA	RPM	FP
Alimentador	11	440	19,6	-	1755	0,73
Motor TMP-C1	30	440	54	91%	876	0,79

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Tabla 2-4: Características de trituradora de mandíbula primaria C1

Año	Maquinaria	Marca	Modelo	Capacidad (T/h)	Max Feed (mm)	Descarga (mm)
2014	TMP-C1	King crusher international	PJ - 400X600	12-38	400x600	40-100

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

4.2.1.2. Zaranda Vibratoria (ZV-C1)

Tabla 3-4: Datos de placa del motor de la zaranda vibratoria

MÁQUINA	DATOS DE PLACA					
	POTENCIA (kW)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	EFICIENCIA	RPM	FP
ZV-C1	11	440	19,6	-	1755	0,73

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

4.2.1.3. Trituradora de mandíbula 2 (TMP2-C1)

Tabla 4-4: Datos de placas de motores Trituradora de mandíbula secundaria C1

MÁQUINA	DATOS DE PLACA					
	POTENCIA (kW)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	EFICIENCIA	RPM	FP
Motor TMP2-C1	26	440	40,1	-	1750	0,85

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Tabla 5-4: Característica de la Trituradora de mandíbula secundaria C1

Año	Maquinaria	Marca	Modelo	Capacidad (T/h)	Max Feed (mm)	Descarga (mm)
2016	TMP2-C1	QUINGDAO	250 x 1200	40 - 120	210	20 - 60

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

4.2.2. Características y datos de placa de los equipos del proceso de molienda

4.2.2.1. Molino 6'x12' (MB-C1)

Tabla 6-4: Datos de la placa del motor del molino 6'x12'

MÁQUINA	DATOS DE PLACA					
	POTENCIA (kW)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	EFICIENCIA	RPM	FP
MB-C1	158	440	265	94,5%	888	0,83

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

4.2.2.2. Molino 5'x10' (MBR-C1)

Tabla 7-4: Datos de la placa del motor del molino 6'x10' - Remolienda

MÁQUINA	DATOS DE PLACA					
	POTENCIA (kW)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	EFICIENCIA	RPM	FP
MBR-C1	158	440	265	90%	800	0,83

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

4.3. Evaluación la distribución de las mallas para su Trituración y Molienda

4.3.1. Evaluación de la distribución de tamaño de partículas en la Trituración

El mineral llegado a la planta de beneficio es fragmentado a un tamaño adecuado para su liberación de partículas valiosas, la cual comprende de una etapa de trituración primaria y secundaria, que consiste en una trituradora de mandíbula tanto para la primaria como secundaria. Esta operación es la primera parte del proceso de conminución del mineral, que reduce el tamaño de partícula de rocas explotadas en la mina Telma, que llega con un tamaño aproximado de 8” y este al pasar por el circuito de trituración tanto primaria como secundaria, lo fragmenta hasta alcanzar el tamaño de malla de -2” un tamaño aproximado de 50 mm. Esta sección cuenta con dos series de circuitos que es circuito de trituración #1 y circuito de trituración #2. Donde el análisis se llevó a cabo únicamente en el circuito de trituración #1, ya que es únicamente en este circuito donde procesan el mineral procedente de la mina Telma, propia de la empresa.

4.3.1.1. Trituradora primaria

Alimentación Trituradora primaria C1

Como se puede visualizar en la tabla 4-8, se encuentra el porcentaje de masa que se retuvo en cada tamaño de malla, analizando que una pequeña parte de las muestras tomadas, se encuentran en un rango mayor a las 8” que es el tamaño óptimo para que pueda ser reducida, con solo un 5.3% de rocas mayor a 8”, con esto se entiende que el material entregado desde la mina es factible para ser procesado por la trituradora primaria.

Tabla 8-4: Distribución granulométrica de la alimentación a la trituradora primaria C1

N° tamiz	Abertura (µm)	Peso muestra	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
8”	203200	4.535,92	5,3	5,3	94,7
4”	101600	1133,98	1,3	6,7	93,3
2”	50800	29.483,5	34,7	41,3	58,7
1”	25400	31.751,5	37,3	78,7	21,3
Pasante		18.144	21,3	100,0	-
Total		85.048,55	100,00		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

La siguiente figura indica cómo se encuentra su distribución granulométrica, tomando en cuenta sus 3 ejes que son % retenido, % acumulado y su % pasante, y así poder tener una curva granulométrica detallada de acuerdo con el porcentaje de muestra tomada en la alimentación de su trituradora de mandíbula primaria.

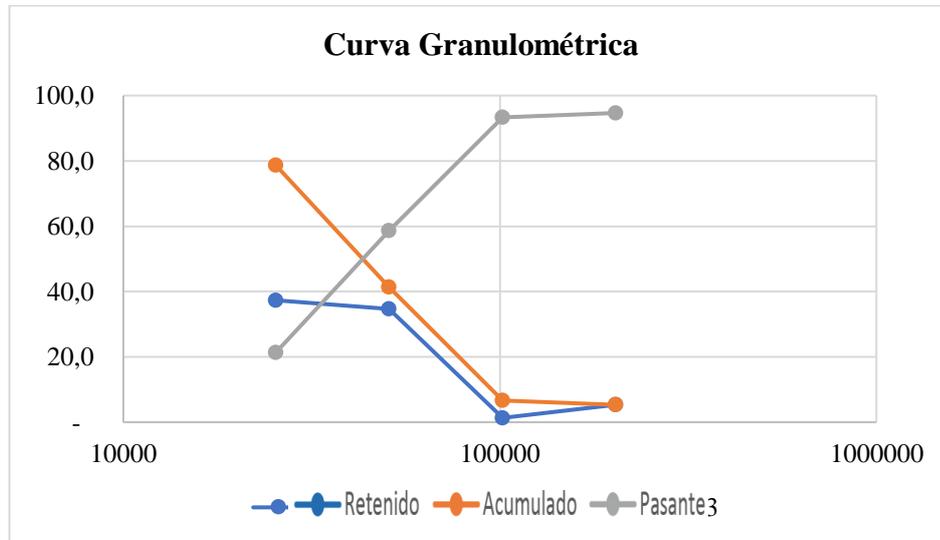


Gráfico 1-4: Curva granulométrica de la alimentación

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Revisando el gráfico 1-4 de la curva granulométrica con respecto al porcentaje de material pasante, se observa que el comportamiento de la gráfica describe una forma no idónea de la distribución granulométrica por lo que se encuentra muy lineal, aunque en su última parte ya se aprecia una forma idealizada, mostrándonos que las partículas no se encuentran bien distribuidas. Esto pasa, porque los datos tomados no fueron realizados con mallas estandarizadas con las que se llevaría una distribución más completa, sino que usaron la artesanales elaboradas *in-situ*.

Tabla 9-4: Cálculo del F80

F80	
101600	93,3
82061,53	80,00
50800	58,7

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la Tabla 9-4, el F80, que corresponde al 80% de alimentación a la trituradora primaria (80% de material entrante) son partículas óptimas para ingresar a la trituradora primaria que se encuentran en un tamaño granulométrico de 82061,53[µm]. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.8 usando el método de interpolación de Lagrange).

Descarga Trituradora C1

Como se puede visualizar en la tabla 4-9, se observa el porcentaje de masa que se retuvo en cada tamaño de malla, dando como resultado que únicamente el 12.70% del mineral triturado está por encima de la malla de 2" es el mineral que será enviado a la trituradora de mandíbula secundaria, mientras que el 87.3% del mineral producto de la trituradora primaria ya se encuentra en una granulometría óptima.

Tabla 10-4: Distribución granulométrica de la descarga de la trituradora primaria C1

N° tamiz	Abertura (µm)	Peso muestra	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
8"	203200	0	0	0	100
4"	101600	0	0	0	100
2"	50800	9171,85	12,70	12,70	87,30
1"	25400	58555,35	81,03	93,72	6,27
Pasante		4535,92	6,28	100	0
Total		72263,12	100		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

La siguiente figura indica cómo se encuentra su distribución granulométrica, tomando en cuenta sus 3 ejes que son % retenido, % acumulado y su % pasante, y así poder tener una curva granulométrica detallada de acuerdo con el porcentaje de muestra tomada en la descarga de la trituradora de mandíbula primaria.

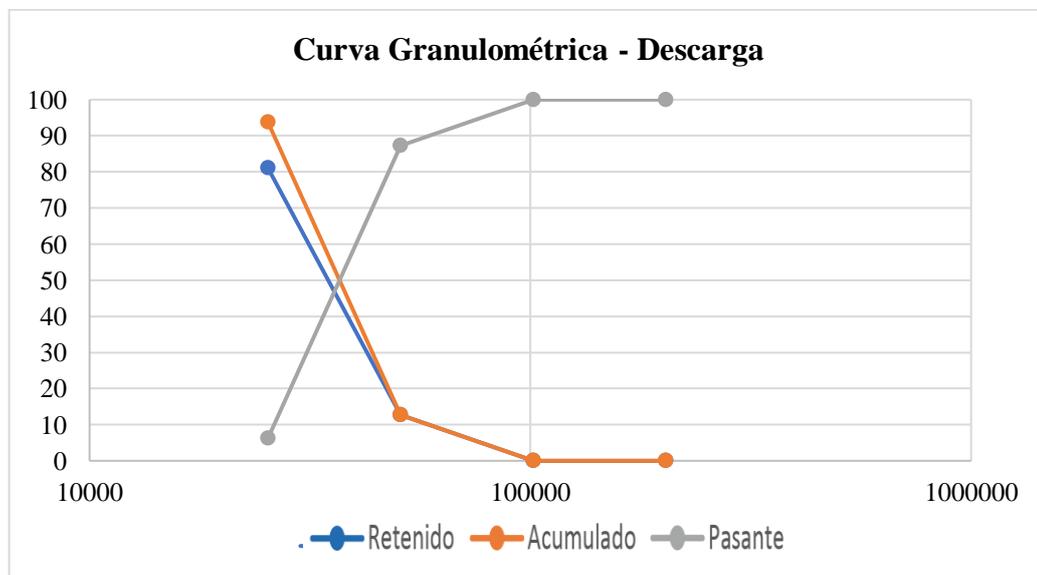


Gráfico 2-4: Curva granulométrica descarga de la trituradora primaria

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Revisando la gráfico 2-4, de la curva granulométrica con respecto al porcentaje de material pasante, se observa que el comportamiento de la gráfica describe un comportamiento más ideal, indicando que las partículas se encuentran más distribuidas, mostrando una distribución de las partículas más adecuada. Esto pasa, porque los datos tomados no fueron realizados con mallas estandarizadas con las que se llevaría una distribución más completa, sino que usaron la artesanales elaboradas *in-situ*.

Tabla 11-4: Cálculo del P80

P80	
50800	87,3
48509,31	80
25400	6,3

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 11-4, el P80 que corresponde al 80% de descarga de la trituradora primaria (80% de material pasante) son partículas óptimas en cual son almacenadas a su tolva de finos y que únicamente un 12.70% del mineral que es clasificado por medio de su tamiz vibratorio regresa a una trituradora de mandíbula secundaria. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.10 usando el método de interpolación de Lagrange).

Ratio de reducción para la trituradora primaria C1

F_{80} = Tamaño de partícula 80% de mineral de alimentación.

P_{80} = Tamaño de partícula 80% de mineral de producto (saliente).

$$Rr = \frac{\text{Tamaño de Alimento}}{\text{Tamaño del Producto}} = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$R_{80} = \frac{82061,53}{48509,31}$$

$$R_{80} = 1.69$$

Donde se obtiene que la ratio de reducción es de 1.69, reduciendo el mineral casi a la mitad de su tamaño inicial.

4.3.1.2. Trituradora secundaria

Alimentación Trituradora mandíbula 2 C1

Como se puede visualizar en la tabla 12-4, de acuerdo con los datos anteriores se encontró que únicamente en 12.7% de la carga circulante es la que es enviado a su trituradora secundaria, verificando en su siguiente tabla que eso se cumple.

Tabla 12-4: Alimentación Trituradora de mandíbula 2 C1

N° tamiz	Abertura (μm)	Peso muestra	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
8"	203200	0	0	0	100
4"	101600	0	0	0	100
2"	50800	45058	97	97	3
1"	25400	1502	3	100	0
Pasante		125	0	100	0
Total		46.685,00	100		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

El siguiente gráfico indica cómo se encuentra la distribución granulométrica, tomando en cuenta sus 3 ejes que son % retenido, % acumulado y su % pasante, y así poder tener una curva granulométrica detallada de acuerdo con el porcentaje de muestra tomada en la alimentación de la trituradora de mandíbula secundaria.

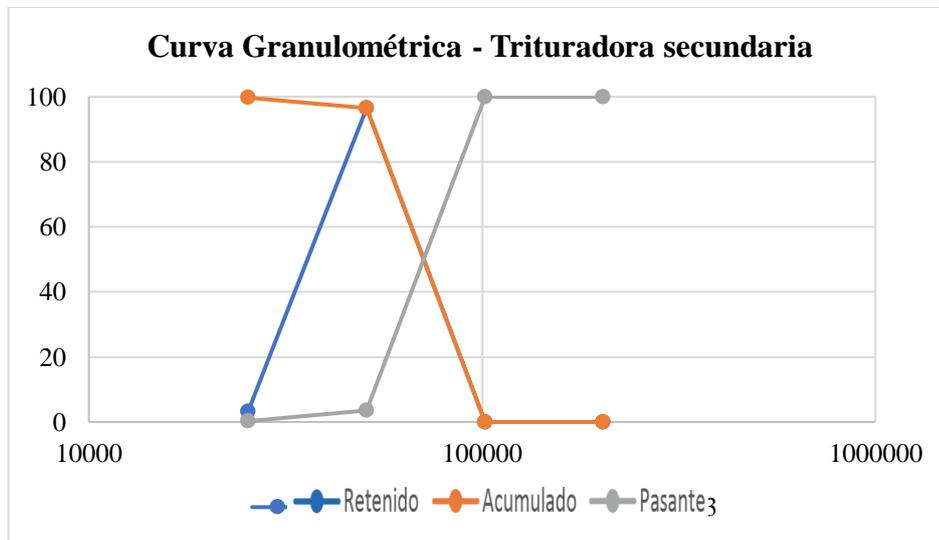


Gráfico 3-4: Curva granulométrica de alimentación trituradora secundaria

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Revisando el gráfico 3-4 de la curva granulométrica con respecto al porcentaje de material pasante, se observa que el comportamiento de la gráfica describe un comportamiento no idóneo, obteniendo un comportamiento inicial con una distribución muy baja, y luego se obtiene un comportamiento lineal en sus fases posteriores. Esto pasa, porque los datos tomados no fueron realizados con mallas estandarizadas con las que se llevaría una distribución más completa, sino que usaron la artesanales elaboradas *in-situ*.

Tabla 13-4: Cálculo del F80

F80	
101600	100
60273,1324	80
50800	3

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 13-4, el F80 que corresponde al 80% de alimentación a la trituradora secundaria (80% de material entrante) corresponde a un tamaño de partícula de 60273.13 [μm]. Indicando que el mineral que es alimentado a la trituradora secundaria se encuentra en un tamaño superior a las 2". (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.12 usando el método de interpolación de Lagrange).

Descarga de la Trituradora mandíbula 2 C1

Como se puede visualizar en la tabla 14-4, se analiza el porcentaje de masa que se retuvo en cada tamaño de malla, el mineral retenido aun en una malla igual o mayor a 2", es del 4.8% una pequeña fracción que volverá a su trituradora secundaria, hasta poder encontrarse en una malla menor a 2".

Tabla 14-4: Distribución granulométrica de descarga

N° tamiz	Abertura (μm)	Peso muestra	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
8"	203200	0,0	0,0	0,0	100,0
4"	101600	0,0	0,0	0,0	100,0
2"	50800	2548,0	4,8	4,8	95,2
1"	25400	48051,0	90,4	95,2	4,8
Pasante		2548,0	4,8	100,0	0,0
Total		53147,0	100,0		

Realizado por: Samaniego, Mauricio 2021

El siguiente gráfico 4-4, indica cómo se encuentra su distribución granulométrica, tomando en cuenta sus 3 ejes que son % retenido, % acumulado y su % pasante, y así poder tener una curva granulométrica detallada de acuerdo con el porcentaje de muestra tomada en la descarga de la trituradora de mandíbula secundaria.

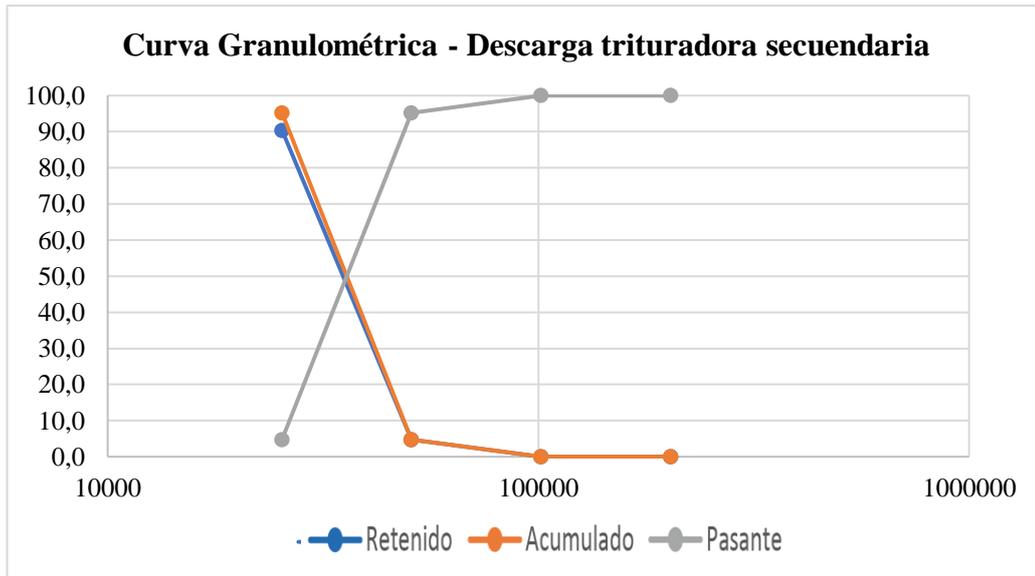


Gráfico 4-4: Curva granulométrica de descarga de la trituradora secundaria

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Revisando el gráfico 4-4, de la curva granulométrica con respecto al porcentaje de material pasante, se observa que el comportamiento de la figura es más ideal, indicando que las partículas se encuentran más distribuidas. Esto pasa, porque los datos tomados no fueron realizados con mallas estandarizadas con las que se llevaría una distribución más completa, sino que usaron la artesanales elaboradas *in-situ*.

Tabla 15-4: Cálculo del P80

P80	
50800	95,2
21128,1	80
25400	4,8

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 15-4, el P80 que corresponde al 80% de alimentación a la trituradora secundaria (80% de material saliente) corresponde a un tamaño de partícula de 21128.1 [µm], lo cual indica que únicamente el 4.8% del mineral no es reducido a un tamaño óptimo para ser depositado en su tolva de fino lo cual el ratio de reducción indica que reduce casi a la mitad el tamaño del mineral. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.14 usando el método de interpolación de Lagrange).

Ratio de reducción para la trituradora Secundaria C1

F₈₀= Tamaño de partícula 80% de mineral de alimentación.

P₈₀ = Tamaño de partícula 80% de mineral de producto (saliente).

$$Rr = \frac{\text{Tamaño de Alimento}}{\text{Tamaño del Producto}} = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$R_{80} = \frac{40273,1}{21128,1}$$

$$R_{80} = 1.9$$

Donde se obtiene que la ratio de reducción es del 1.9, es decir, el mineral es reducido prácticamente a la mitad de tamaño de alimentación.

4.3.1.3. Clasificadora granulométrica

Al realizar los siguientes análisis en su etapa de trituración, encontramos que, en el sistema de su clasificación de partícula por medio de un tamiz vibratorio, este cumple una función importante al momento de separar las partículas, como se observó en su tabla 4-12, el mineral debe ser mayor o igual a 2” lo cual lo realiza cumpliendo los parámetros que el mineral debe ingresar a su trituradora de mandíbula secundaria con un tamaño mayor o igual a una malla de 2”.

Por lo tanto, al ver los resultados, el mineral que es procesado con su trituradora de mandíbula secundario únicamente corresponde a material de malla de 2”. Cumpliendo así con afectividad la clasificación únicamente de materia que cumpla con ese tamaño de partícula.

4.3.2. Evaluación de la distribución de las mallas para su Molienda.

Al pasar por la primera fase de trituración, el mineral es almacenado en la tolva de finos que posteriormente pasa a alimentar al molino mediante bandas transportadoras. Esta operación es la más importante, ya que cumple la principal función de llevar el mineral a la granulometría adecuada para poder realizar la recuperación ya sea por flotación o cianuración, dos procesos que realiza la empresa OROCONCENT. El tamaño del mineral que es almacenado se encuentra en un tamaño menor a una malla de 2”. La capacidad de carga del molino se realiza por medio del porcentaje de descarga de su tolva de finos hacia la banda transportadora, lo cual realizar una descarga de 10 T/h, hacia su molino 6’x12’. Dando un total de 240 toneladas día de mineral procesado.

4.3.2.1. Análisis granulométrico por medio de densidad de pulpa

Para el siguiente análisis se utilizó una balanza Marcy y un cedazo de malla 200, que ayuda a medir la densidad de las pulpas y el porcentaje de masa que pasa por la malla 200 que se recolecta luego de cada proceso de molienda, se realiza la toma de datos cada hora por una jornada de 8 horas diarias, por un periodo de 3 días y así lograr completar un ciclo de 24 horas de toma de datos.

Al obtener los datos de densidad de la pulpa en cuanto a los puntos estratégicos en los cuales se realiza el muestreo son; descarga del molino, underflow, remolienda y su overflow, indicando una densidad de pulpa adecuada para cada uno de sus puntos, esto nos ayuda a poder controlar el circuito de molienda, indicando que si sus densidades son muy altas el mineral se encuentra remoliendo sin descargar a tiempo, mientras si su densidad se encuentra por debajo de sus 1400(g/l), la entrada de agua a su molino es demasiado lo cual al descargar el mineral no se encontrara en una granulometría adecuada.

Al visualizar la tabla 4-16 se promedió los datos obtenidos y así ver cuánto es el porcentaje que se encuentra por debajo de una malla -200, que es la granulometría óptima para realizar una concentración por medio de Lixiviación.

Tabla 16-4: Densidades de pulpa y porcentaje de mineral pasante por malla - 200

Descarga Molino 6'x12'			Underflow			Remolienda			Overflow		
ρ pulpa	ρ Final	% pas	ρ pulpa	ρ Final	% pas	ρ pulpa	ρ Final	% pas	ρ pulpa	ρ Final	% pas
1550	1281	49	1993	1860	13	1360	1154	58	1315	1068	78
1538	1273	49	2002	1873	13	1368	1153	58	1318	1072	77
1542	1267	51	1993	1866	13	1370	1156	58	1315	1070	77

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

En la siguiente tabla 16-4, se obtiene las densidades de los promedios que se tomó en un rango de una jornada diaria de 8 horas por 3 días consecutivos, con su respectivo porcentaje de mineral que paso por una malla de N° 200.

Tabla 17-4: Promedio de su densidades y porcentaje de mineral pasante

Descarga Molino 6'x12'			Underflow			Remolienda			Overflow		
ρ pulpa	ρ Final	% pas	ρ pulpa	ρ Final	% pas	ρ pulpa	ρ Final	% pas	ρ pulpa	ρ Final	% pas
1543	1274	50	1996	1866	13	1366	1154	58	1316	1070	77

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Al analizar la siguiente tabla, se encontró los resultados del molino 6x12, *underflow*, remolienda y *overflow*, son datos representativos. Entregando que un 50% del mineral luego de su molienda ya se encuentra en un tamaño adecuado para ser almacenado en el tanque de cianuración; mientras que, el mineral al ser enviado hacia el hidrociclón, este nos entrega datos de separación entre partículas gruesas y finas, encontrando que únicamente un bajo porcentaje de mineral factible es enviado nuevamente a su remolienda que corresponde a un 13% y el 77% del mineral está en su granulometría efectiva, obteniendo entre un 80% a 90% de recuperación aurífera elemental mediante lixiviación con cianuro de sodio, analizado con espectrofotometría de absorción atómica y ensayo al fuego en un laboratorio especializado.

4.3.2.2. Análisis de laboratorio (ESPOCH) – Granulometría

El siguiente análisis se realizó por medio de un vibro tamiz de la marca Endecotts, con una serie de número de mallas que son: 4, 7, 10, 12, 18, 20, 30, 40, 80, 100, 120, 140, 200, 270, 325, 400. que ayudo a encontrar una distribución granulométrica de todos los procesos de conminución obtenidos en la empresa OROCONCENT. S.A., con lo que se obtuvieron los siguientes datos.

Alimentación Molino 6'x12' (MB-C1)

Tabla 18-4: Alimentación molino 6'x12'

N° tamiz	Abertura (µm)	Peso muestra	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
8"	203200	0	0	0	100
4"	101600	0	0	0	100
2"	50800	0	0	0	100
1"	25400	12000	42,86	42,86	57,14
Pasante		16000	57,14	100	0
Total		28000	100		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Tabla 19-4: Cálculo del F80

F80	
50800	100
38947,46	80
25400	57,14

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 19-4, el F80 que corresponde al 80% de alimentación al molino 6'x12' (80% de material entrante) son partículas óptimas para ingresar a su molienda el cual se encuentran en un tamaño granulométrico de 38947.46 [μm]. El cual corresponde que el 100% del mineral cumple con esta granulometría efectiva. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.18 usando el método de interpolación de Lagrange).

Descarga del Molino 6'x12'

Tabla 20-4: Distribución granulométrica, descarga del molino 6'x12'

N° tamiz	Abertura (μm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
4	4750	0,2	0,03	0,03	99,97
7	2800	1,3	0,22	0,25	99,75
10	2000	2,34	0,39	0,64	99,36
12	1700	3,05	0,51	1,14	98,86
18	1000	26,21	4,35	5,49	94,51
20	850	20,91	3,47	8,96	91,04
30	600	57,5	9,54	18,50	81,50
40	425	77,2	12,81	31,31	68,69
80	180	193,45	32,09	63,40	36,60
100	150	78,25	12,98	76,38	23,62
120	125	44,05	7,31	83,69	16,31
140	106	46,92	7,78	91,48	8,52
200	75	32,91	5,46	96,94	3,06
270	53	9,3	1,54	98,48	1,52
325	45	5,48	0,91	99,39	0,61
400	38	2,24	0,37	99,76	0,24
Pasante		1,45	0,24	100,00	0,00
Total		602,76	100		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

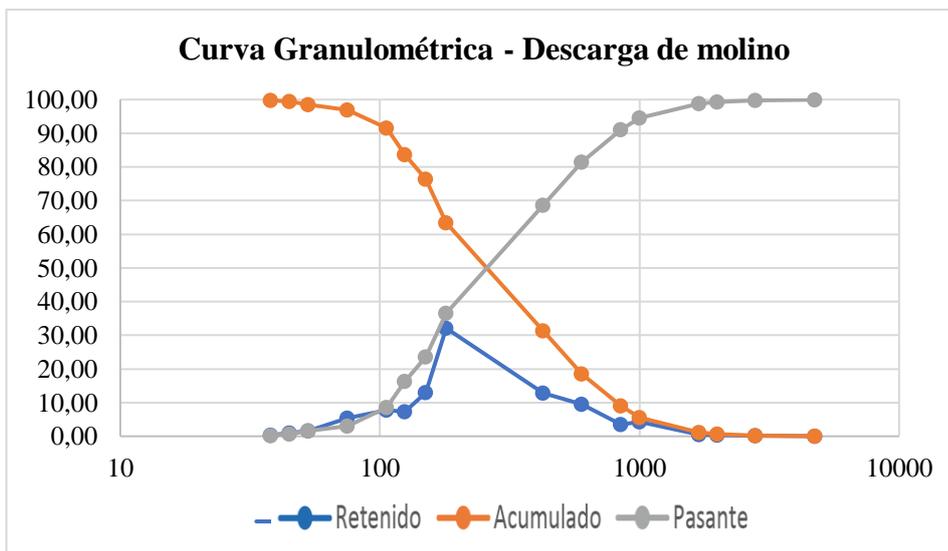


Gráfico 5-4: Curva granulometría de la descarga del molino 6x12

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

La siguiente figura 4-9 corresponde a la curva granulométrica de la distribución del mineral analizando su porcentaje retenido, acumulado y pasante, describiendo una curva del porcentaje de mineral pasante bien definida indicando que la distribución de sus partículas se realizó correctamente. Mientras que, la tabla 20-4, se observa que el mineral factible que se encuentra por debajo de una malla N° 100 es del 36.60% que es el tamaño del mineral que será depositado en el tanque de lixiviación.

Tabla 21-4: Cálculo del P80

P80	
600	81,5
579,51	80
425	68,69

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 21-4, visualizamos el P80, que corresponde al 80% del producto del molino 6'x12' (80% de material saliente) son partículas que son enviadas hacia el clasificador (hidrociclón) el que se encuentra en un tamaño granulométrico de 579,51 [µm]. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.18 usando el método de interpolación de *Lagrange*).

Ratio de reducción para el Molino 6 'x12'

F₈₀= Tamaño de partícula 80% de mineral de alimentación.

P₈₀ = Tamaño de partícula 80% de mineral de producto (saliente).

$$Rr = \frac{\text{Tamaño de Alimento}}{\text{Tamaño del Producto}} = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$R_{80} = \frac{38947,46}{579,51}$$

$$R_{80} = 67.20$$

Donde se obtiene que el ratio de reducción es del 67.20 indicando que su reducción es de 67 veces su tamaño, esta relación significativa se produce gracias a que los tipos de molinos son SAG el cual trabaja con un tamaño de alimentación grande, que ayuda a que el propio mineral contribuya también en la reducción.

Underflow

Tabla 22-4: Distribución granulométrica (*Underflow*)

N° tamiz	Abertura (µm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
4	4750	0,26	0,03	0,03	99,97
7	2800	4,66	0,61	0,64	99,36
10	2000	6,25	0,82	1,46	98,54
12	1700	5,14	0,67	2,13	97,87
18	1000	36,5	4,76	6,89	93,11
20	850	21,95	2,87	9,76	90,24
30	600	78,35	10,23	19,99	80,01
40	425	105,65	13,79	33,78	66,22
80	180	273,63	35,72	69,49	30,51
100	150	44,22	5,77	75,27	24,73
120	125	38,9	5,08	80,34	19,66
140	106	40,45	5,28	85,62	14,38
200	75	48,03	6,27	91,89	8,11
270	53	36,15	4,72	96,61	3,39
325	45	14,7	1,92	98,53	1,47
400	38	3,6	0,47	99,00	1,00
Pasante		7,66	1,00	100,00	0,00
Total		766,1	100		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

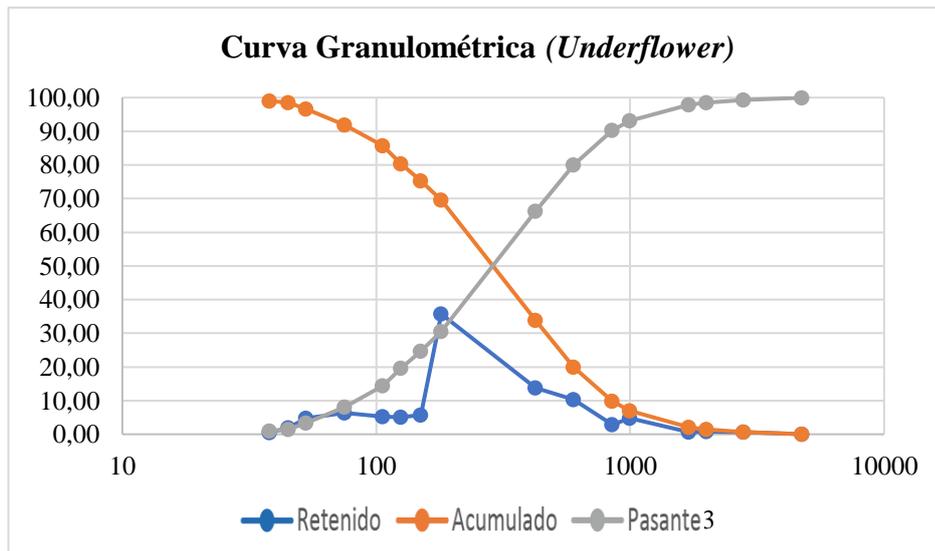


Gráfico 6-4: Curva granulometría del *UNDERFLOW*

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

El gráfico 22-4, corresponde a la curva granulométría de la distribución del mineral analizando el porcentaje retenido, acumulado y pasante, describiendo una curva del porcentaje de mineral pasante bien definida indicando que la distribución de sus partículas se realizó correctamente.

Tabla 23-4: Cálculo del D23

D23	
150	24,73
141,46	23,00
125	19,66

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 4-23, visualizamos el D23, que corresponde al 23% del producto del hidrociclón (*UNDERFLOW*) (23% de material saliente). Que es enviado hacia su alimentación al molino 5'x10' que corresponde a su remolienda, el que se encuentra en un tamaño granulométrico de 141.46[µm]. Que nos indica que justamente el mineral mayor a una malla 100 es enviado hacia su remolienda. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 23% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 23-4, usando el método de interpolación de *Lagrange*).

Tabla 24-4: Cálculo del F80

F80	
600	80,01
599,87	80
425	66,22

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 24-4, visualizamos el F80, que corresponde al 80% de la alimentación del molino 5'x10' (80% de material entrante) son partículas que alimentan a la remolienda el cual se encuentra en un tamaño granulométrico de 599,87 [µm]. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.18 usando el método de interpolación de Lagrange).

Remolienda

Tabla 25-4: Distribución granulométrica (Remolienda)

N° tamiz	Abertura (µm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
4	4750	0	0,00	0,00	100,00
7	2800	0	0,00	0,00	100,00
10	2000	0,28	0,06	0,06	99,94
12	1700	0,3	0,06	0,12	99,88
18	1000	4,25	0,87	0,99	99,01
20	850	3,05	0,63	1,62	98,38
30	600	10,21	2,09	3,71	96,29
40	425	10,05	2,06	5,77	94,23
80	180	124,9	25,62	31,39	68,61
100	150	70,8	14,52	45,91	54,09
120	125	74,01	15,18	61,09	38,91
140	106	76,89	15,77	76,86	23,14
200	75	71,23	14,61	91,47	8,53
270	53	34,86	7,15	98,62	1,38
325	45	4,41	0,90	99,52	0,48
400	38	1,54	0,32	99,84	0,16
Pasante		0,78	0,16	100,00	0,00
Total		487,56	100		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

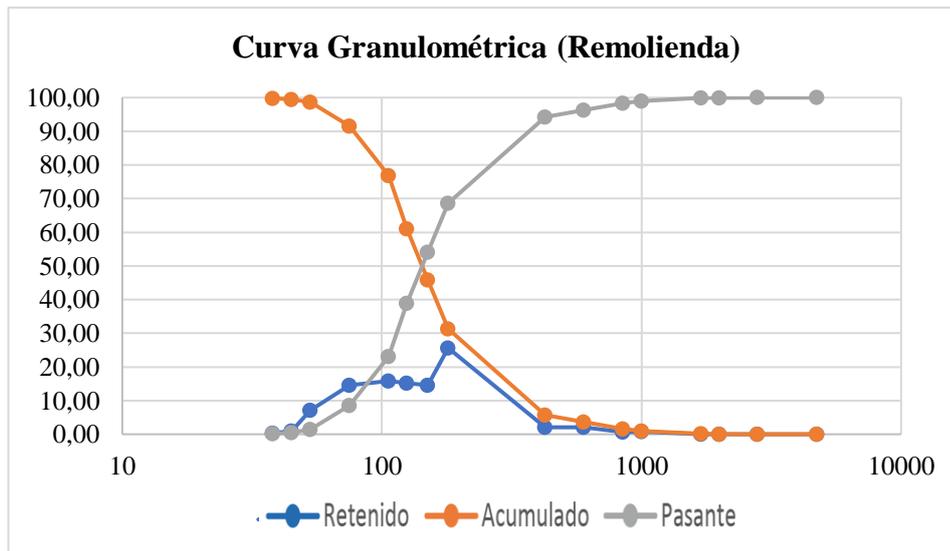


Gráfico 7-4: Curva granulometría de la remolienda

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

El gráfico 7-4, corresponde a la curva granulométrica de la distribución del mineral analizando su porcentaje retenido, acumulado y pasante, describiendo una curva del porcentaje de mineral pasante bien definida indicando que la distribución de sus partículas se realizó correctamente. Mientras que su tabla 4-25, se observa que el mineral factible que se encuentra por debajo de una malla N° 100 es del 54.09%, obteniendo un crecimiento de reducción que se obtuvo en el molino 6'x12' de un 36.60% a un 54.09% del mineral.

Tabla 26-4: Cálculo del P80

P80	
425,00	94,23
288,92	80,00
180,00	68,61

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

Como indica la tabla 26-4, el P80 que corresponde al 80% del producto del molino 5'x10' (80% de material saliente). Que es enviado hacia el hidrociclón, el cual se encuentra en un tamaño granulométrico de 288.92[µm]. Que se representa por N° de tamiz menor a 40. (El cálculo del tamaño de partícula en la que el 80% del mineral pasa, fue realizado a partir de la tabla 4.25 usando el método de interpolación de *Lagrange*).

Ratio de reducción para la remolienda

F₈₀ = Tamaño de partícula 80% de mineral de alimentación.

P₈₀ = Tamaño de partícula 80% de mineral de producto (saliente).

$$Rr = \frac{\text{Tamaño de Alimento}}{\text{Tamaño del Producto}} = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$R_{80} = \frac{599.87}{288.92}$$

$$R_{80} = 2.07$$

Donde se obtiene que la ratio de reducción es del 2.07, obteniendo una reducción del mineral de 2 veces su tamaño, con esta reducción el mineral ya se encuentra en su granulometría adecuada para ser depositada en sus tanques de cianuración.

Overflow

Tabla 27-4: Distribución granulométrica (*Overflow*)

N° tamiz	Abertura (µm)	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
4	4750	0	0,00	0,00	100,00
7	2800	0,25	0,05	0,05	99,95
10	2000	0,2	0,04	0,09	99,91
12	1700	0,2	0,04	0,14	99,86
18	1000	2,35	0,49	0,63	99,37
20	850	2,05	0,43	1,05	98,95
30	600	7,66	1,60	2,65	97,35
40	425	10,6	2,21	4,86	95,14
80	180	108,53	22,61	27,47	72,53
100	150	71,35	14,87	42,34	57,66
120	125	68,5	14,27	56,61	43,39
140	106	72,5	15,11	71,71	28,29
200	75	75,29	15,69	87,40	12,60
270	53	46,82	9,76	97,16	2,84
325	45	9,65	2,01	99,17	0,83
400	38	3,08	0,64	99,81	0,19
Pasante		0,92	0,19	100,00	0,00
Total		479,95	100		

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

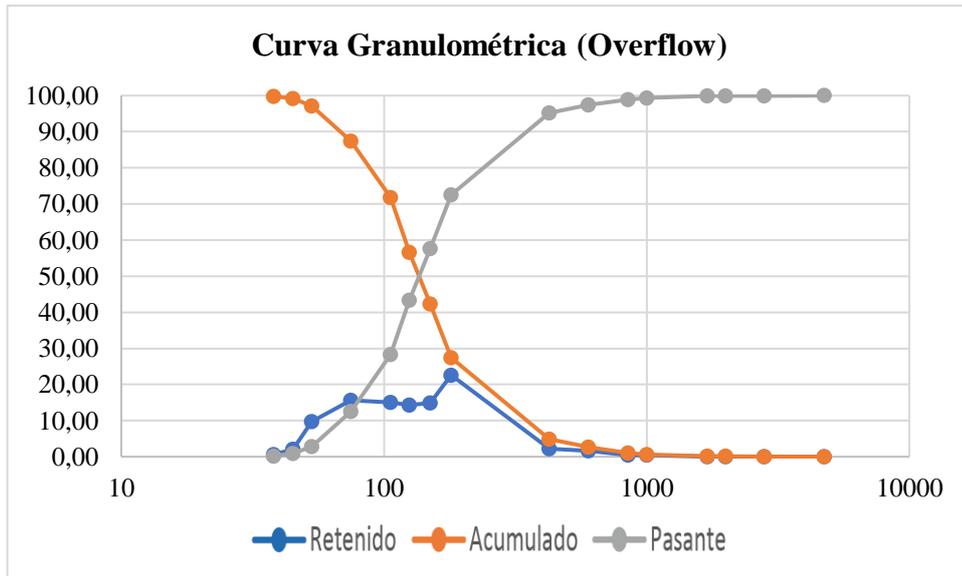


Gráfico 8-4: Curva granulométrica del *OVERFLOW*

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

La siguiente figura 4-12 corresponde a la curva granulométrica de la distribución del mineral analizando su porcentaje retenido, acumulado y pasante, describiendo una curva del porcentaje de mineral pasante bien definida indicando que la distribución de sus partículas se realizó correctamente.

Tabla 28-4: Cálculo del P80

P80	
425	95,14
260,94	80
180	72,53

Realizado por: Samaniego, Mauricio, 2021.

La tabla 28-4, representa el P80 correspondiente al 80% del mineral que debe encontrarse en una granulometría adecuada para ser depositado en el tanque de cianuración, lo que nos indica que el mineral se encuentra en un tamaño de partícula de 260.94 micrones, que es un tamaño que no es considerada óptima para el procesamiento en el tanque de cianuración. Por otro lado, y acuerdo a la tabla 4-27 se visualiza que únicamente el 57.66% del mineral procesado en el circuito de conminución se encuentra por debajo de la malla N° 120 (tamaño óptimo para ser concentrado procesos de lixiviación), mientras que el 42.33% del mineral se encuentra en un tamaño no factible para realizar una recuperación mineral.

CONCLUSIONES

Se evaluó el circuito de conminución realizado en la planta de beneficio de la empresa “OROCONCENT S.A.” ubicada en el sector El Tablón del cantón Portovelo en la provincia de El Oro, se identificó una notable diferencia entre el circuito usado en planta con respecto al usado con los tamizadores en el Laboratorio de Minas de la ESPOCH Sede Morona Santiago. Por un lado, el análisis de densidades de pulpa realizado en planta muestra que el 77% del mineral que llega a la tolva de lixiviación se encuentra en una malla -200 (75 micrones), mientras el ensayo llevado en el laboratorio de Minas de la ESPOCH indica que solo el 57.66 % está dentro del rango óptimo. Entendiendo que el objetivo de malla 200 debe estar por encima del 80%, se concluye que el mineral entregado por el circuito de reducción de tamaño de la empresa OROCONCENT no está entregando el tamaño de partícula idóneo acorde al porcentaje de alimentación requerido F80 (para la tolva de finos).

Se realizó un análisis del proceso actual de conminución en la planta de beneficio de la empresa “OROCONCENT SA”. Generando un diagrama de flujo por medio del programa de *Adobe Illustrarion CS6*, lo que entrega un *FlowSheet* del sistema actual diseñado en el circuito de conminución.

Se realiza la toma de datos de los parámetros operacionales que cuentan los equipos de conminución junto con los motores de funcionamiento, para tener una lectura de las capacidades de cada uno de ellos y levantar la información de los parámetros operacionales de las trituradoras, zarandas vibratorias y molinos, encontrando que los equipos de molienda carecen de especificaciones técnicas de sus modelos, diseños y criterios de ejecución.

Se evalúa la distribución de las mallas en el proceso de conminución, mostrando varias novedades en cada una de las partes del proceso:

- Trituradora primaria

Siendo la operación de trituración la primera etapa del proceso de conminución se confirma que la trituración primaria muestra los resultados más satisfactorios, debido a que entrega el 87.3% del producto mineral en una granulometría adecuada para directamente ser depositada en la tolva de finos.

- Clasificadora

En vista que el tamaño del mineral que debe ser enviado a la trituradora secundaria debe ser mayor o igual a un tamaño de 2”, y al tabular los datos obtenidos con respecto a su función de únicamente enviar ese tamaño de partícula hacia la trituradora de mandíbulas secundaria, se concluye que cumple satisfactoriamente con los parámetros requeridos.

- Trituradora Secundaria

En la trituradora de mandíbula secundaria, al ser el equipo de reducción de tamaño secundario, se identifica que trabaja únicamente con el porcentaje del 12.7% del mineral que la trituración

primaria no logro reducir al tamaño ideal. Luego de la operación, se obtiene una reducción idónea del 95.2% del total de masa procesada; mostrando que tanto la trituración primaria y secundaria tiene una similar razón de reducción, pero actualmente estaría sobredimensionada en vista que la masa total de alimentación de la trituradora secundaria es muy baja.

- Molienda

Esta fase de reducción es la más importante, ya que reduce el mineral a un tamaño factible para ser depositado en el tanque de cianuración, entregando un tamaño mineral de 579.51 micrones que representa un numero de tamiz inferior a N° 30. Considerando que este tamaño de partícula se requiere reducirlo mucho más con ayuda de la remolienda y así lograr llegar a obtener un 80% del mineral en su tamaño óptimo.

- Hidrociclón

Al ser encargado de realizar la separación entre las partículas gruesas y finas, debe de entregar el tamaño de partícula menor a malla 120; pero al analiza la distribución de partículas en el overflow se encuentran partículas de gran tamaño que son las que se depositan en la tolva de cianuración y no cumpliendo con el tamaño óptimo para ser recuperadas por medio de lixiviación.

- Remolienda

Al ser la segunda etapa de molienda y en la cual el mineral procesado se encuentre por debajo de una malla 120, al analizar que ocurre en la remolienda muestran sus datos que tiene una reducción muy baja, ya que entrega un tamaño de partícula de 288 micrones, con una malla inferior a un numero de tamiz 40, concluyendo que el mineral no es reducido a un tamaño necesario por lo cual es nuevamente enviado al hidrociclón para su clasificación, creando un ciclo cerrado en al remolienda ya que al no obtener un mineral adecuado, es remolido una y otra vez hasta encontrar el tamaño óptimo, pese a todo estos detalles, se identifica que el mineral depositado en el tanque de cianuración no es completamente factible.

RECOMENDACIONES

Implementar puntos seguros que ayuden a la recolecta de datos en sus puntos mencionados, donde se realizó el muestreo, tanto para el circuito de trituración como en la molienda y así facilitar un análisis más detallado de su granulometría.

Implementar una clasificadora a la salida del overflow, con malla 120, que ayude a una separación del mineral que no cumple con este tamaño, y al mismo tiempo capacitar al personal operativo sobre el uso de los análisis para el cálculo exacto de los F80, P80, etc. En vista que el cálculo de error que entrega el análisis granulométrico en laboratorio representa una diferencia notable al analizado en campo con mallas anteriormente nombradas no normatizadas.

Tomar en cuenta que, para poder recolectar los datos tanto de las placas de los equipos como de los motores, se esperó a que los equipos se encuentren detenidos y así poder facilitar de manera segura la toma de los datos y observando que hay equipos que no cuentan con su descripción requerida, se sugiere tener un historial de los equipos que se cuenta, su bitácora de mantenimiento y prestaciones de servicios.

Realizar un seguimiento más efectivo de control tanto para sus trituradoras y molinos, donde se observó que el mineral por poseer humedad crea atascos en las descargas de las tolvas de gruesos y tolva de finos, por lo que se plantea la posibilidad de implementar equipos de secado del mineral para evitar los problemas mencionados. De no ser posible, gestionar la limpieza constante en las descargas de los equipos con el fin de mantener la homogeneidad operativa.

Analizar la factibilidad de implementar una trituradora secundaria de menor calibre (menor consumo energético) por el sobredimensionamiento que tiene este equipo, en vista que solo procesa el 12.70% de tonelaje por día.

Disponer de un técnico especialista en procesamiento mineral, para la supervisión específica de cada una de las fases del proceso de reducción de tamaño.

Finalmente, y como última sugerencia, realizar una investigación enfocada a la simulación de un circuito idóneo de conminución para toda la planta, que proponga dimensionamientos idóneos para cada una de las secciones del proceso, en el que superpongan cada una de las variables analizadas en esta evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

ALBUJA BOADA, Jonathan. Caracterización geológica y cálculo de reservas de La Veta Jane, en la mina "Golden Comunitaria" de la parroquia Huertas, cantón Zaruma [en línea] (Trabajo teórico) (Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Quito – Ecuador. 2017. [Consulta: 24 octubre 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10576>

ARMAS, H. & POMA, J. Evaluación del consumo de energía eléctrica en la operación de conminución de la planta concentradora de HUARI – UNCP [en línea] (Tesis) (Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Huancayo – Perú. 2013. [Consulta: 29 julio 2021]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/577/TIMM_23.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ARRIAGADA, Miguel. *Molienda* [blog]. *SlideShare*: 06 de agosto de 2013. [Consulta: 24 octubre 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633>

CASAPALCA, A. *Manual de molienda y clasificación*. 2013. Perú: Empresa Minera S.A.

CISA CEDACERÍA INDUSTRIAL. Principios de tamizado. 2020. Disponible en: <https://www.cisa.net/principios-tamizado/>

FEMTO. *Balanza digital* [blog]. [Consulta: 25 agosto 2021] Disponible en: <https://femto.es/balanza-digital>

GUPTA, A., & YANG, D. *Introduction mineral Processing Design and Operation 1-704*. [blog]. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Introduction+to+Mineral+Processing+Design+and+Operation>

INSTITUTO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL [INACAP]. *Introducción a la minería*. Disponible en: http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Mineria-y-Geomatica/AAI_OPIM01_Introduccion_a_la_mineria_y_metalurgia_Capitulo_3.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. *Boletín Climatológico Anual 2015* [en línea]. Quito – Ecuador, 2015. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: http://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_anu.pdf

LOZADA, Darío. *La conminución en la minería pequeña y artesanal en Ecuador.* [blog]. 13 de agosto de 2015. [Consulta: 21 enero 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/30688271-La-conminucion-en-la-mineria-pequena-y-artesanal-en-ecuador.html>

MAGNE, L., & TITICHOCA, G. *Conminución de Minerales.* 2005. Santiago de Chile.

MARÍN, K. *Consumo energético en plantas de beneficio mineral* [blog]. 2021. [Consulta: 20 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.petroenergia.info/post/consumo-energ%C3%A9tico-en-plantas-de-beneficio-mineral>

MANUAL GENERAL DE MINERÍA Y METALURGIA. *Manual General de Minería y Metalurgia.* Chile: Portal Minero. 2006, p. 126. [Consulta: 29 julio 2021]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/manual-general-de-mineria-y-metalurgia.html?page=6>

ORDÓÑEZ PALACIOS, Ángel Vinicio.; & PUGLLA PLASENCIA, Luis Alfredo. PREPARACIÓN DEL BLOQUE ESMERALDA PARA EXPLOTACIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE DESARROLLO MINERO NIVEL 0, DE LA PARROQUIA HUERTAS CANTÓN ZARUMA (Trabajo de grado) (Pregrado) [en línea]. Universidad Nacional de Loja; Área de Energía, Industrias y Recursos Renovables; Carrera de Ingeniería en Minas. Loja – Ecuador, 2003, p. 19. [Consulta: 03 noviembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18234/1/Ord%c3%b3%c3%bl%e3%a9%20Palacios%2c%20%20c3%81ngel%20Vinicio%2c%20Puglla%20Plasencia%2c%20Luis%20Alfredo.pdf>

PARISACA, C. (2015). Evaluación del circuito de chancado y optimización de su performance de planta de óxidos Tintaya-Antapaccay [en línea]. Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa – Perú. 2015. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/75/B2-M-18059.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PLAZA, A. "Determinación del tiempo óptimo de molienda para la implementación de la planta de beneficio de minerales auríferos “San Camilo”, ubicada en la parroquia Bellamaría, perteneciente al cantón Santa Rosa de la provincia de El Oro" [en línea]. [.] Loja. Obtenido de <file:///C:/Users/59398/Downloads/Plaza%20Cabrera,%20Angel%20Fabricio.pdf>

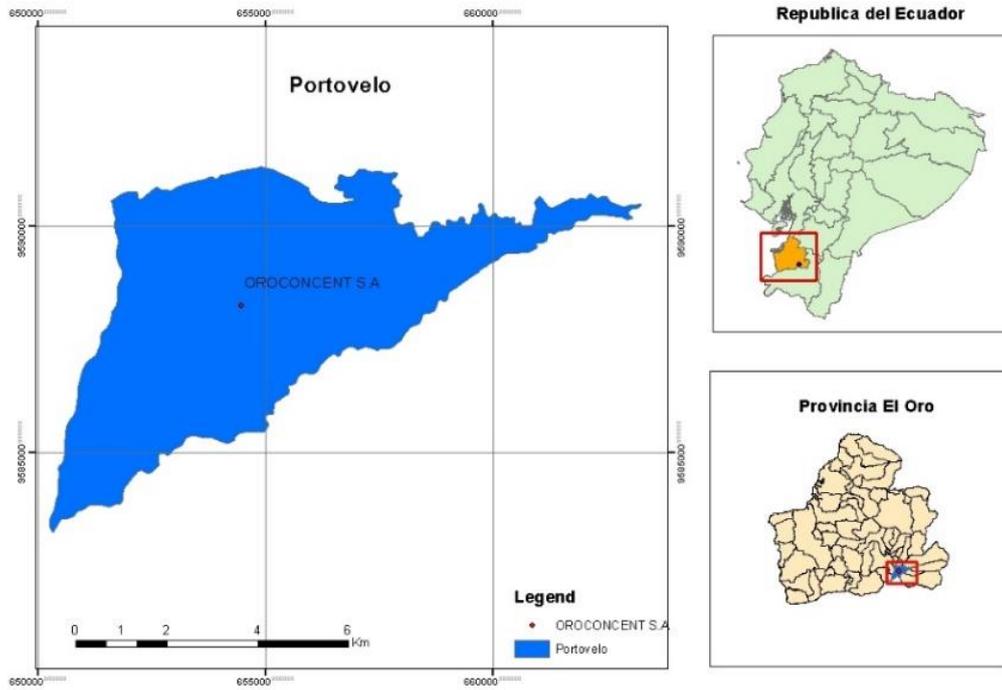
TITICOCHA, G., JIMÉNEZ, C.; & MAGNE, L. Pre-trituración en circuitos de molienda semiautógena "XXI ENTMME". 2005, pp. 167-174.

UNIQUE GROUP. ¿Cómo funciona la trituradora de cono? [blog]. 2011. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.stonecrushercn.com/es/cone-crusher-works.html#.YNnTm-hKjIU>

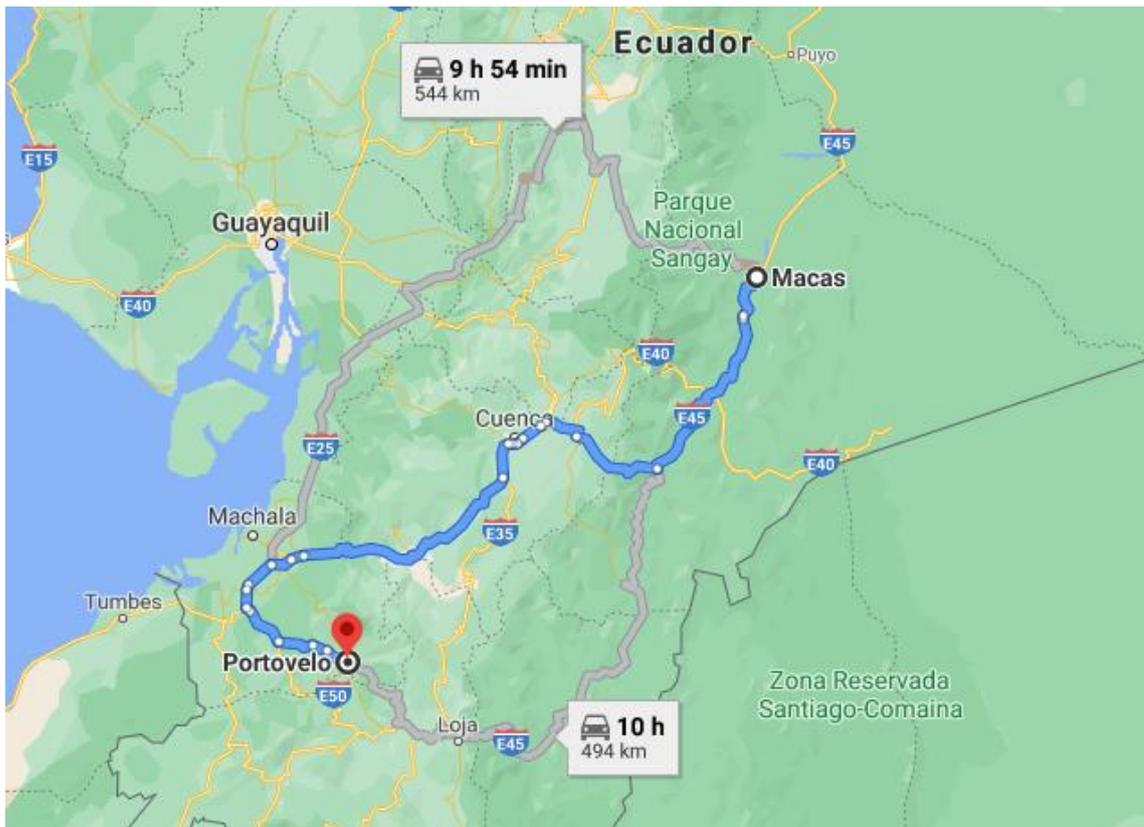
YEPES PIQUERAS, Víctor. *Trituradoras giratorias* [blog]. 2021. [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/05/24/trituradoras-giratorias/>

ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE UBICACIÓN DE LA EMPRESA OROCONCENT S.A.



ANEXO B: MAPA DE LA VÍA DE ACCESO HACIA LA EMPRESA OROCONCENT S.A.

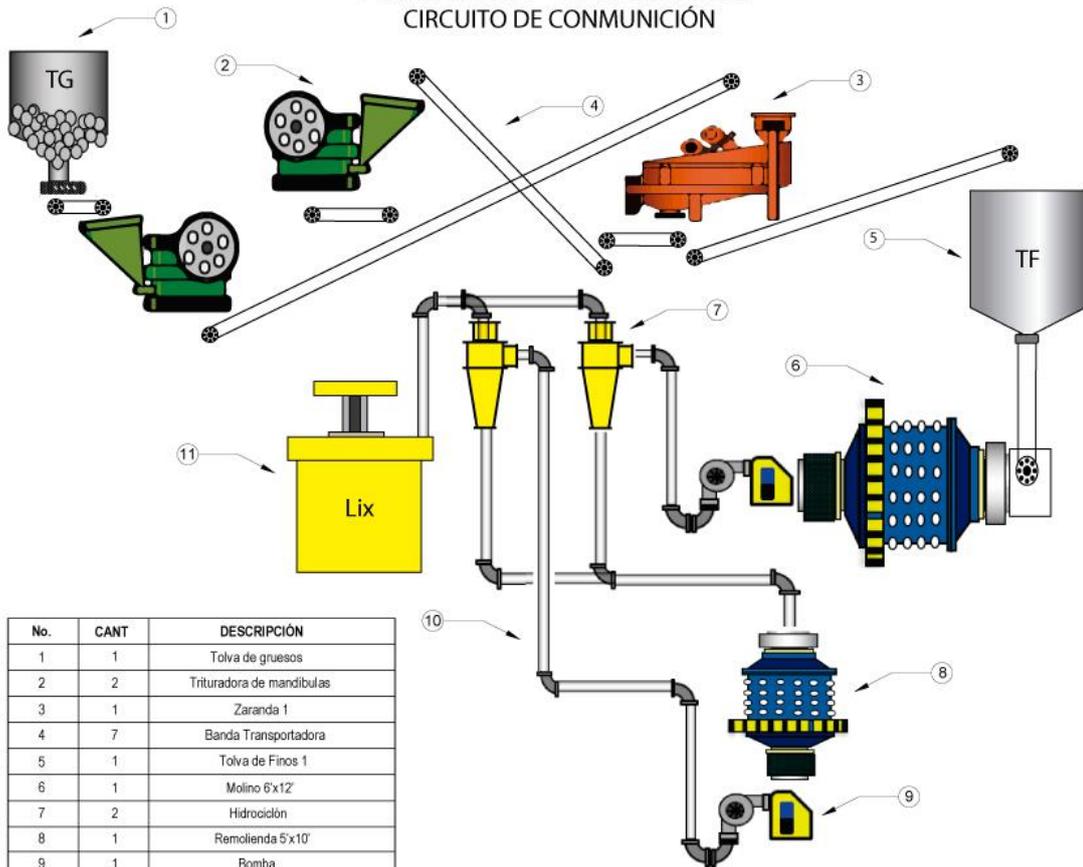


ANEXO C: MAQUINARIA UTILIZADA EN LA CONMINUCIÓN



ANEXO D: ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE CONMINUCIÓN

FLOW SHEET - OROCONCENT CIRCUITO DE COMUNICACIÓN



No.	CANT	DESCRIPCIÓN
1	1	Tolva de gruesos
2	2	Trituradora de mandíbulas
3	1	Zaranda 1
4	7	Banda Transportadora
5	1	Tolva de Finos 1
6	1	Molino 6'x12'
7	2	Hidroclón
8	1	Remolienda 5'x10'
9	1	Bomba
10	6	Tuberías
11	1	Tanque de Cianuración

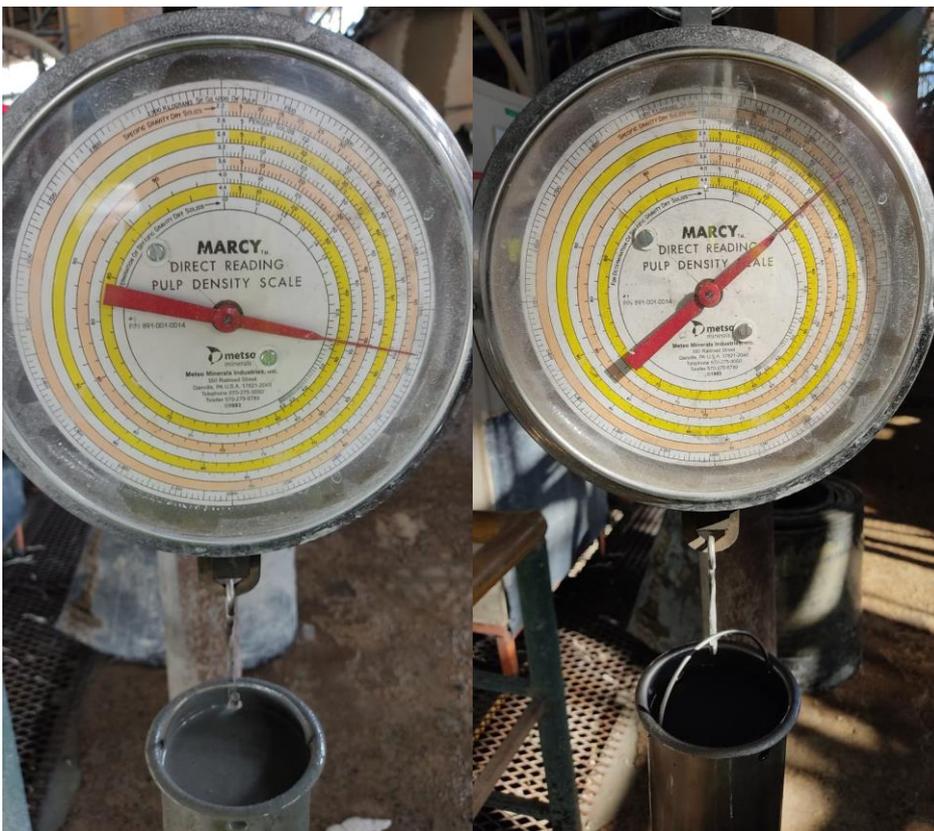
ANEXO E: ELABORACIÓN DE LAS MALLAS PARA TOMA DE MUESTRAS DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN



ANEXO F: ANÁLISIS DE MALLA DE TRITURACIÓN



ANEXO G: TOMA DE DATOS DE SU MOLIENDA



ANEXO H: TOMA DE DATOS DE SUS DENSIDADES DE PULPA Y ANÁLISIS DE MALLA -200



ANEXO I: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ANALIZAR EN EL LABORATORIO DE MINAS



ANEXO J: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS TOMADAS DE LOS DIFERENTES PUNTOS DEL CIRCUITO DE MOLIENDA



ANEXO K: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



ANEXO L: ANÁLISIS Y TABULACIÓN DE DATOS MEDIANTE EXCEL

