

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR

**“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO OPERACIONAL PARA CHANCADORA
MP1000”**

Trabajo De Titulación Para Optar Al Título de
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN
MECÁNICA DE PROCESOS Y
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:

JOSÉ MENDOZA VICENCIO.

Profesor Guía:

Mg. Ing. ALEJANDRO BADILLA BELLO.

2023

RESUMEN

MINERÍA - CHANCADORA – FILTRADO – LUBRICACIÓN

La empresa Compañía Minera Cerro Colorado es una mina a rajo abierto de extracción de cobre. Se encuentra ubicada a 120 km al este de la ciudad de Iquique, provincia del Tamarugal, región de Tarapacá, Chile. Dentro de sus procesos productivos se encuentran la mina, chancado, lixiviación, extracción por solventes, tank Farm y electrowinning.

El equipo al cual se refiere el presente trabajo de investigación corresponde a la chancadora Nordberg Mp 1000. Esta chancadora se encuentra operando en el proceso de chancado secundario y terciario del proceso productivo. La principal tarea de la chancadora es disminuir el tamaño de la roca desde 100 mm (chancado secundario) hasta 5 mm (chancado terciario) mediante el movimiento excéntrico del manto contra la coraza de la taza, generando la conminución del material chancable.

Las chancadoras se encuentran dispuestas en línea en el segundo piso del edificio de la planta 2, debajo del proceso de Harneado (tercer piso). Este proceso genera un alta cantidad de polución de material fino, el cual cae y se deposita en los porta filtros de ventiladores sopladores de aire de las chancadoras, generando la obstrucción y contaminación del aire que ingresa dentro de las chancadoras hacia los componentes internos de desgaste. Esto hace que el aceite lubricante se contamine con material sólido, dando como resultado una menor vida útil, teniendo que ser sustituido.

Es por lo anterior, que se propone la incorporación de un carro automático de microfiltrado de aceite para prolongar la vida útil de este. Además, de una tubería con campana de doble filtrado de aire, que se encuentra al mismo nivel de las chancadoras, pero alejado de la polución generada por el proceso de Harneado, para reducir los mantenimientos asociados a los cambios de lubricante y componentes internos de desgaste.

A través de los datos proporcionados por el SAP ERP de la empresa, se visualiza un gasto total por concepto de mantenimiento asociado a lubricantes de las chancadoras entre los años 2017, 2018 y 2019 de 688 millones de pesos chilenos. Considerando que el costo de las acciones correctivas es de poco más de 9 millones de pesos, y eligiendo la propuesta de mejora numero 2, es factible ahorrar hasta 49 millones de pesos al año en costos de mantenimiento de lubricantes y componentes internos de desgaste de las chancadoras.

ÍNDICE

resumen	2
Introducción	8
Objetivo General	9
Objetivos Específicos:	9
Capítulo 1: Antecedentes Generales	10
1.1 Descripción De Bhp Billiton Minerals America Cerro Colorado	11
1.2 Ubicación De Compañía Minera Cerro Colorado (Cmcc)	11
1.3 Proceso Productivo Cmcc	12
1.3.1 Mina	12
1.3.2 Planta 1	13
1.3.2.1 Chancado	13
1.3.2.1.1 Chancado Primario	15
1.3.2.1.2 Chancado Secundario	17
1.3.2.1.3 Chancado Terciario	20
1.3.3 Planta 2	25
1.3.3.1 Chancado	25
1.3.3.1.1 Chancado Primario	25
1.3.3.1.2 Chancado Secundario	27
1.3.3.1.3 Chancado Terciario	30
1.3.4 Aglomeración Y Lixiviado	33
1.3.5 Extracción Por Solventes (Sx)	35
1.3.6 Tank Farm	36
1.3.7 Electrowinning (Ew)	37
Capítulo 2: Estado Actual De La Chancadora Nordberg Mp1000	39
2.1 Fundamento Operacional Chancadora Mp1000	40
2.1.1 Descarga Y Recepción Del Mineral	40
2.1.2 Conminución	41
2.1.3 Ajuste Del Setting	43
2.1.4 Alimentación De La Chancadora	44
2.1.5 Relaciones Energía – Tamaño De Partícula	45
2.2 Descripción De La Chancadora Nordberg Mp1000	46
2.2.1 Partes Principales	46
2.2.2 Chancadora Secundaria	46

2.2.3	Chancadora Terciaria	48
2.2.4	Sistema De Lubricación De Chancadoras Mp1000	49
2.2.5	Aceite Lubricante Utilizado En La Chancadora Mp1000	51
2.2.6	Sistema De Ajuste De La Chancadora Mp1000	52
2.2.7	Sistema De Alivio De Material Inchancable	53
2.2.8	Sistema De Sujeción De La Taza	54
2.2.9	Sistema De Ventilador Soplador	55
2.2.10	Conjunto De Sellos “T” Y “U”	56
2.3	Contexto Operacional	58
Capítulo 3: Acciones Correctivas		62
3.1	Fundamento De Acciones Correctivas	63
3.2	Equipo De Microfiltrado	65
3.3	Tubería Del Sistema Ventilador Soplador	65
3.3.1	Materiales Y Especificaciones De Diseño	65
3.3.2	Cálculo Del Diámetro Para Tubería De Filtración De Aire Mp1000	66
3.3.3	Propuesta De Diseño De Tuberia De Aire	74
Capítulo 4: Viabilidad Económica Del Proyecto		77
4.1	Data De Costos Anuales De Lubricación De Chancadoras Mp1000	78
4.2	Costos De Las Propuestas De Mejoramiento Al Sistema	83
4.3	Análisis De Viabilidad Económica	83
4.4	Propuesta De Mantenimiento N°1	84
4.5	Propuesta De Mantenimiento 2	86
Conclusión		88
Bibliografía		90
Anexos		91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Porcentaje de Mineral Pasante por Medida de Tamiz. _____	41
Tabla 2. 2 Relación de Energía Según Tamaño de Partícula. _____	45
Tabla 2. 3 Parámetros de Contaminación para el Lubricante. _____	51
Tabla 2. 4 Propiedades del Lubricante. _____	52
Tabla 2. 5 Problemas y Correcciones en las Chancadoras. _____	61
Tabla 3. 1 Cálculo Diámetro de Tubería sección 1. _____	70
Tabla 3. 2 Calculo Diámetro de Tubería sección 2. _____	71
Tabla 3. 3 Calculo Diámetro de Tubería sección 3. _____	72
Tabla 4. 1 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR02. _____	78
Tabla 4. 2 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR03. _____	78
Tabla 4. 3 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR04. _____	79
Tabla 4. 4 Costo Total del Mantenimiento año 2017. _____	79
Tabla 4. 5 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR02. _____	79
Tabla 4. 6 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR03. _____	80
Tabla 4. 7 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR04. _____	80
Tabla 4. 8 Costo Total del Mantenimiento año 2018. _____	80
Tabla 4. 9 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR02. _____	81
Tabla 4. 10 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR03. _____	81
Tabla 4. 11 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR04. _____	81
Tabla 4. 12 Costo Total del Mantenimiento año 2019. _____	82
Tabla 4. 14 Costos de Acciones Correctivas. _____	83
Tabla 4. 15 Promedio de Costos de Mantenimiento. _____	83
Tabla 4. 16 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR02. _____	84
Tabla 4. 17 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR03. _____	84
Tabla 4. 18 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR04. _____	85
Tabla 4. 19 Costo Total Propuesta 1. _____	85
Tabla 4. 20 Beneficio Económico para Compañía con propuesta 1. _____	85
Tabla 4. 21 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR02. _____	86
Tabla 4. 22 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR03. _____	86
Tabla 4. 23 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR04. _____	87
Tabla 4. 24 Costo Total Propuesta 2. _____	87
Tabla 4. 25 Beneficio Económico para Compañía con propuesta 2. _____	87

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2. 1 Diagrama de Ishikawa. _____	60
Diagrama 3. 1 Pérdida de Utilidad. _____	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 y 1. 2 Mapa de la Región de Tarapacá donde está ubicada CMCC. _____	11
Figura 1. 3 Diagrama de Flujo General de CMCC. _____	12
Figura 1. 4 Diagrama de Flujo de los Procesos de CMCC. _____	13
Figura 1. 5 Diagrama de Flujo del Proceso de Chancado. _____	14
Figura 1. 6 Diagrama de Flujo de los Sistemas de Chancado. _____	14
Figura 1. 7 Diagrama de Flujo de Chancado Primario Planta 1. _____	16
Figura 1. 8 Disposición de Chancado Primario Planta 1. _____	16
Figura 1. 9 Diagrama 3D Chancado Primario Planta 1. _____	17
Figura 1. 10 Diagrama de Flujo Chancado Secundario Planta 1. _____	17
Figura 1. 11 Alimentadores de Recuperación de Stockpile Planta 1. _____	18
Figura 1. 12 Vista Lateral Harnero y Chancadora Secundaria Planta 1. _____	19
Figura 1. 13 Diagrama 3D del Sistema Chancado Secundario. _____	20
Figura 1. 14 Diagrama de Flujo Chancado Terciario Planta 1. _____	21
Figura 1. 15 Planta de Harnero Terciarios Planta 1. _____	22
Figura 1. 16 Planta de Chancado Terciario Planta 1. _____	23
Figura 1. 17 Diagrama 3D del Sistema Chancado Terciario Planta 1. _____	24
Figura 1. 18 Diagrama de Flujo Planta 2. _____	25
Figura 1. 19 Diagrama de Flujo Chancado Primario Planta 2. _____	26
Figura 1. 20 Diagrama 3D Chancado Primario Planta 2. _____	27
Figura 1. 21 Diagrama de Flujo Chancado Secundario Planta 2. _____	28
Figura 1. 22 Diagrama 3D Chancado Secundario Planta 2. _____	30
Figura 1. 23 Diagrama de Flujo Chancado Terciario Planta 2. _____	31
Figura 1. 24 Planta de Chancado Terciario Planta 2. _____	32
Figura 1. 25 Diagrama 3D Chancado Terciario Planta 2. _____	33
Figura 1. 26 Diagrama de Flujo Área Húmeda. _____	34
Figura 1. 27 Diagrama de Flujo Aglomeración y lixiviación. _____	35
Figura 1. 28 Diagrama de Flujo Extracción Por Solventes. _____	36
Figura 1. 29 Diagrama de Flujo Tank Farm. _____	37
Figura 1. 30 Diagrama de Flujo Electrowinning. _____	38
Figura 2. 1 Pórfilos Cupríferos de Mineral. _____	40
Figura 2. 2 Mineral Oxidado. _____	40
Figura 2. 3 Mineral Sulfurado. _____	41
Figura 2. 4 Compresión de Mineral. _____	42
Figura 2. 5 Impacto de Mineral. _____	42
Figura 2. 6 Cizalle de Mineral. _____	42
Figura 2. 7 Ajuste de la Chancadora. _____	43
Figura 2. 8 Ajuste de Chancadora y Movimiento de Excéntrica. _____	43
Figura 2. 9 Método Correcto de Alimentación a la Chancadora. _____	44
Figura 2. 10 Método Incorrecto de Alimentación a la Chancadora. _____	45
Figura 2. 11 Componentes Principales Chancadora MP1000. _____	46
Figura 2. 12 Diagrama de Funcionamiento del Chancado. _____	46
Figura 2. 13 Eje Principal y Manto MP1000 Estándar. _____	47
Figura 2. 14 Taza MP1000 Estándar. _____	47
Figura 2. 15 Coraza de la Taza MP1000 Estándar. _____	47

Figura 2. 17 Taza MP1000 Cabeza Corta. _____	49
Figura 2. 18 Coraza de la Taza MP1000 Cabeza Corta. _____	49
Figura 2. 19 Sistema de Lubricación MP1000. _____	50
Figura 2. 20 Recorrido Interno de Lubricante en Chancadora Mp1000. _____	50
Figura 2. 21 Sistema de Ajuste de la Chancadora MP1000. _____	53
Figura 2. 22 Detalle Cilindro Hidráulico. _____	54
Figura 2. 23 Cilindros Hidráulicos. _____	54
Figura 2. 24 Cilindros Hidráulicos de Sujeción. _____	54
Figura 2. 25 Pernos del Anillo de Sujeción. _____	55
Figura 2. 26 Sistema Ventilador Soplador. _____	55
Figura 2. 27 Plano Sistema Ventilador Soplador. _____	56
Figura 2. 28 Sello de la Estructura Principal. _____	56
Figura 2. 29 Sellos del Contrapeso. _____	57
Figura 2. 30 Sellos Del Contrapeso. _____	57
Figura 2. 31 Sellos de la Cabeza Chancadora. _____	58
Figura 2. 32 Disposición de las Chancadoras MP1000. _____	58
Figura 2. 33 Edificio Chancado Secundario y Terciario. _____	59
Figura 2. 34 Ventilador Soplador Expuesto a Mineral Fino. _____	59
Figura 3. 1 Concentración de Material Fino en Ventilador Soplador y Filtro de aire. _____	63
Figura 3. 2 Filtro de Aire Saturado con Material Fino. _____	64
Figura 3. 3 Porta Filtro de Aire con Material Fino en el Interior. _____	64
Figura 3. 4 Porta Filtro de Aire con Material Fino en el Interior. _____	64
Figura 3. 5 Porta Filtro de Aire con Material Fino en el Interior. _____	64
Figura 3. 6 Carro de Microfiltrado de Aceite. _____	65
Figura 3. 7 Filtro de Panel. _____	66
Figura 3. 8 Filtro Cilíndrico. _____	66
Figura 3. 9 Datos de Manual Ventilador Soplador. _____	66
Figura 3. 10 Placa Motor Eléctrico. _____	67
Figura 3. 11 Tabla de Factor de corrección. _____	68
Figura 3. 12 Tramo 1 de Tubería. _____	69
Figura 3. 13 Tramo 2 de Tubería. _____	71
Figura 3. 14 Tramo 2 de Tubería. _____	72
Figura 3. 15 Diagrama de Conductos Circulares Rectilíneos. _____	74
Figura 3. 16 Sistema de Captación de Aire. _____	75
Figura 3. 17 Sistema de Captación de Aire. _____	75
Figura 3. 18 Campana de Doble Filtración. _____	76
Figura 4. 1 Costos de Mantenimiento Anuales por Chancadora. _____	82

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la minería de cobre chileno se encuentra número uno a nivel mundial, reportando una producción de 4.736.000 TMF (toneladas métricas finas) en el año 2019, equivalente al 20,83% de la producción en el mundo. Siendo China, la Unión Europea y EEUU los principales consumidores de cobre.

Además, el cobre extraído de Chile representa un 21% de las reservas mundiales de este mineral, principalmente usados en mercados como construcción, red eléctrica, consumo general, transporte y maquinaria industrial.

La actividad minera de cobre significa para nuestro país el 9% del producto interno bruto (PIB) posicionándose como la actividad económica más importante y con mayor contribución de Chile.

De esta manera se entiende que el mantenimiento en el proceso productivo de la extracción de cobre significa una acción crítica, la cual es demandada de forma periódica para asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos que participan de la explotación minera. La mantención debe ser planificada de la forma más eficiente posible y procurando utilizar los mínimos recursos necesarios.

En este contexto, se desarrolla en el presente informe una descripción de los distintos procesos dentro de una mina a rajo abierto de la compañía minera Cerro Colorado de extracción de cobre, así como también dar a conocer su ubicación y los procesos que se llevan a cabo. Se define el área de mina, planta área seca, profundización del proceso de chancado, aglomeración, lixiviación, extracción por solventes (SX), Tank Farm y Electrowinning (EW).

Se da a conocer también el fundamento operacional de la chancadora Nordberg Mp1000, dando una descripción acabada del funcionamiento mecánico, así como también contextualizando las operaciones realizadas en el proceso productivo.

La solución corresponde al mejoramiento de los sistemas de lubricación y presurización de chancadoras Nordberg Mp1000 proponiendo la incorporación de equipo de microfiltrado de aceite. Además de una propuesta diseño de tubería con campana de doble filtración de aire en el sistema de ventilador soplador.

Finalmente se presenta la data de costos anuales de lubricación de las chancadoras Nordberg Mp 1000, proponiendo una justificación económica mediante una evaluación de proyecto, para disminuir los costos en cuanto a la lubricación, componentes internos de desgaste, filtros de aceite y aire, y así disminuir los tiempos en que la planta deja de producir el material chancado.

OBJETIVO GENERAL

- Proponer la mejora operacional de la chancadora Norberg Mp 1000, mediante la extensión de líneas de tubería con campana de filtrado en el ingreso del fluido para enriquecer la presurización del aire; y adicionalmente se incorpora un equipo externo de microfiltrado de aceite con la finalidad de optimizar la operación del equipo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar una descripción de la empresa Bhp Billiton Cerro Colorado, especificar su ubicación, así como también dar a conocer sus procesos productivos para entender su contexto operacional.
- Realizar el contexto operacional y descripción del diseño mecánico de la chancadora Norberg Mp 1000, a través de la data de la empresa, para el entendimiento de la propuesta de mejora.
- Desarrollar el fundamento de acciones correctivas, proponiendo la incorporación de equipo de microfiltrado de aceite y la extensión de tuberías para el sistema de ventilador soplador, enfocándose en el cuidado del aceite para reducir costos de mantención.
- Efectuar un análisis económico de la implementación del proyecto de mejoramiento recopilando data de costos anuales de lubricación de la chancadora Mp 1000 para constatar viabilidad de la gestión.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DE BHP BILLITON MINERALS AMERICA CERRO COLORADO

La compañía BHP BILLITON resulta de la fusión de la compañía australiana BHP (Broken Hill Proprietary) y la compañía británica BILLITON en el año 2001. A partir de estas dos pequeñas empresas mineras fundadas a mediados del siglo XIX se ha transformado en un líder mundial de la diversificada industria de los recursos naturales, contando con operaciones en más de 25 países y con un portafolio de activos que incluyen cobre, zinc, hierro, potasio, carbón, níquel, petróleo y gas.

Los orígenes de Billiton se remontan a 1851, en una mina de estaño ubicada en una isla poco conocida de Indonesia, isla Billiton (Belitung). Billiton se transformó en líder global del sector de minería y metales y en un importante productor de aluminio y alúmina, cromo, minerales de manganeso y aleaciones, carbón energético, minerales de níquel y titanio. Billiton también desarrolló un importante y creciente portafolio de cobre.

La historia de Broken Hill Proprietary comenzó en la mina de plata, plomo y zinc en Broken Hill, Australia. Constituida en 1885, BHP participó en el descubrimiento, desarrollo, producción y comercialización de mineral de hierro, cobre, petróleo y gas, diamantes, plata, plomo, zinc y una amplia gama de otros recursos naturales. BHP también era líder en el mercado de productos planos de acero, de gran valor agregado.

Dentro de la cartera de negocios de operaciones mineras de BHP BILLITON se encuentra la división Minerals America con sede en Santiago de Chile, donde el portafolio incluye operaciones de cobre, zinc, hierro, carbón térmico y potasio. Las operaciones de explotación de cobre son: Minera Antamina, ubicada en Perú; Minera Escondida, Minera Spence y Minera Cerro Colorado, ubicadas en el norte de Chile.

1.2 UBICACIÓN DE COMPAÑÍA MINERA CERRO COLORADO (CMCC)

La compañía minera Cerro Colorado se encuentra ubicada a 120 km al Este de la ciudad de Iquique, provincia del Tamarugal, región de Tarapacá, Chile.

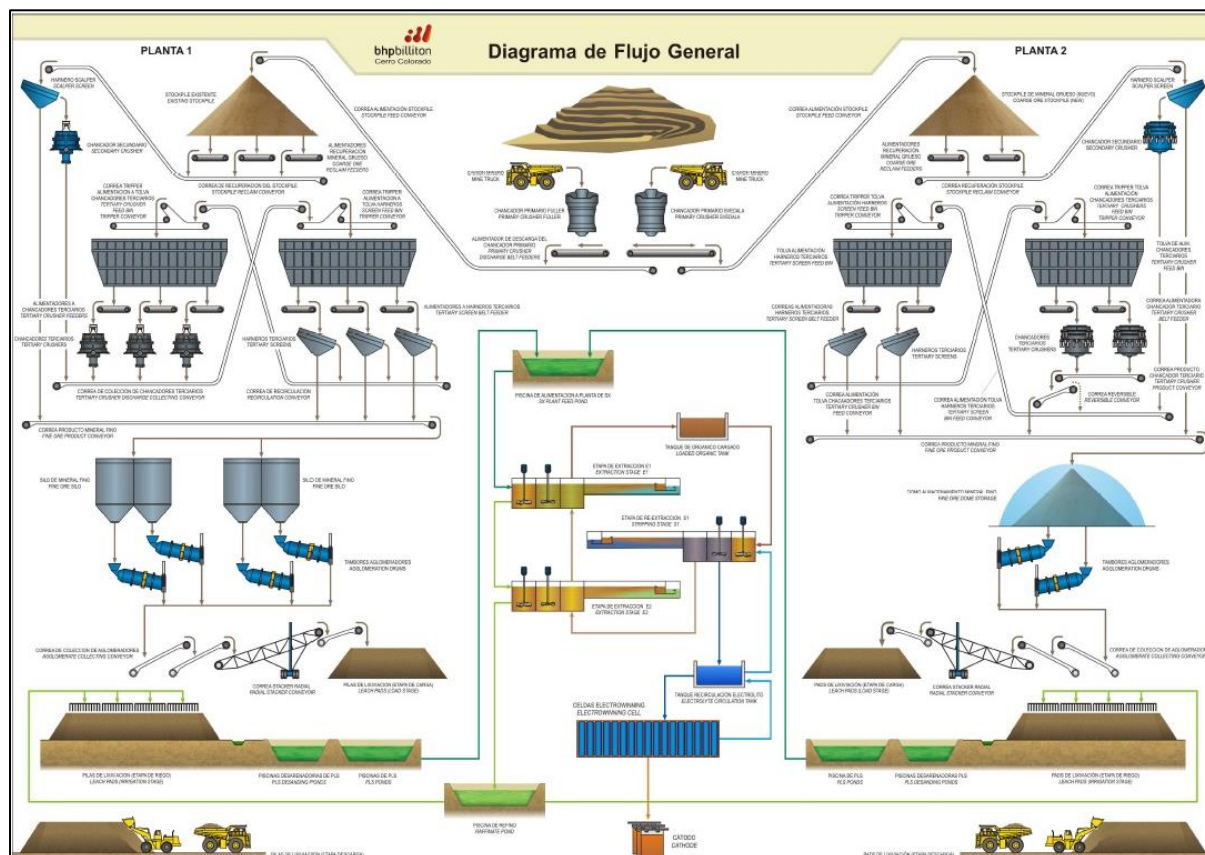


Fuente: Google Maps.

Figura 1. 1 y 1. 2 Mapa de la Región de Tarapacá donde está ubicada CMCC.

1.3 PROCESO PRODUCTIVO CMCC

La compañía minera cerro colorado es una mina de rajo abierto donde se extrae cátodos de cobre de alta pureza, alcanzando el 99.99% de cobre. Con una producción nominal anual de 100.000 TON.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 3 Diagrama de Flujo General de CMCC.

Se divide el proceso minero de CMCC en las distintas áreas:

1.3.1 MINA

La mina corresponde a cielo abierto o también llamada rajo abierto, donde el proceso comienza con la perforación de la roca maciza en puntos estratégicamente estudiados, los cuales corresponden básicamente a los lugares de la roca con mayor debilidad. Una vez, realizados los agujeros se procede a insertar el material explosivo en la cavidad de la roca.

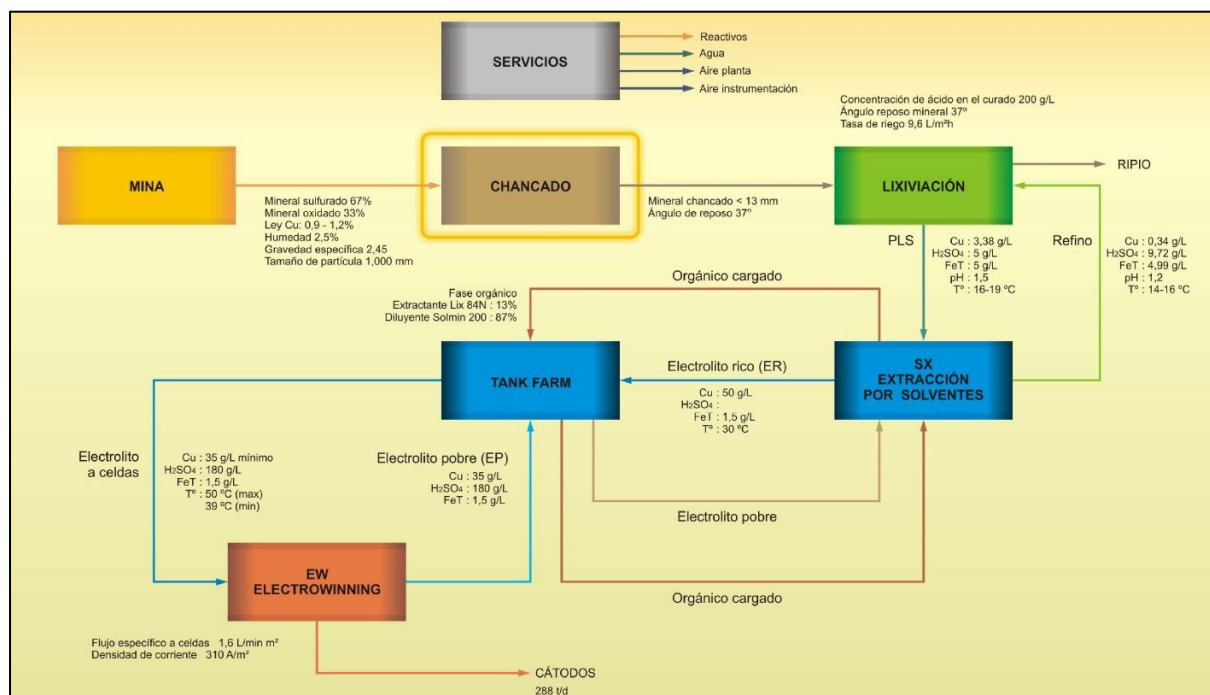
A continuación, viene la tronadura que consiste en la fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de una reacción físico-químico en cadena de los explosivos que se encuentran en su interior. Existe tronadura primaria, la que se realiza directamente en el macizo rocoso para separar y fragmentar parte de éste. Y tronadura secundaria, la que se realiza sobre fragmentos de gran dimensión ya separados del macizo, de manera de lograr su reducción de tamaño adecuado para ser cargado y transportado.

La extracción corresponde a remover el mineral tronado mediante equipos como cargadores frontales y/o palas cargadoras.

En la etapa de carguío y transporte se llenan los camiones mineros con una capacidad de carga útil de 250 TON. Métricas y son llevados a distintos destinos de según la calidad del mineral. Si el mineral es estéril se llevan a los botaderos. Mientras que, si el mineral tiene la ley de cobre necesaria, los camiones son descargados en las 2 chancadoras primarias que tiene CMCC.

1.3.2 PLANTA 1

En la planta 1 con capacidad de tratamiento de 24.717 TPD, se encuentran los procesos de Chancado, Lixiviación, Extracción por Solventes (SX), Tank Farm y Electrowinning o electro obtención (EW), resultando como producto final cátodos de cobre con una pureza del 99,99%.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 4 Diagrama de Flujo de los Procesos de CMCC.

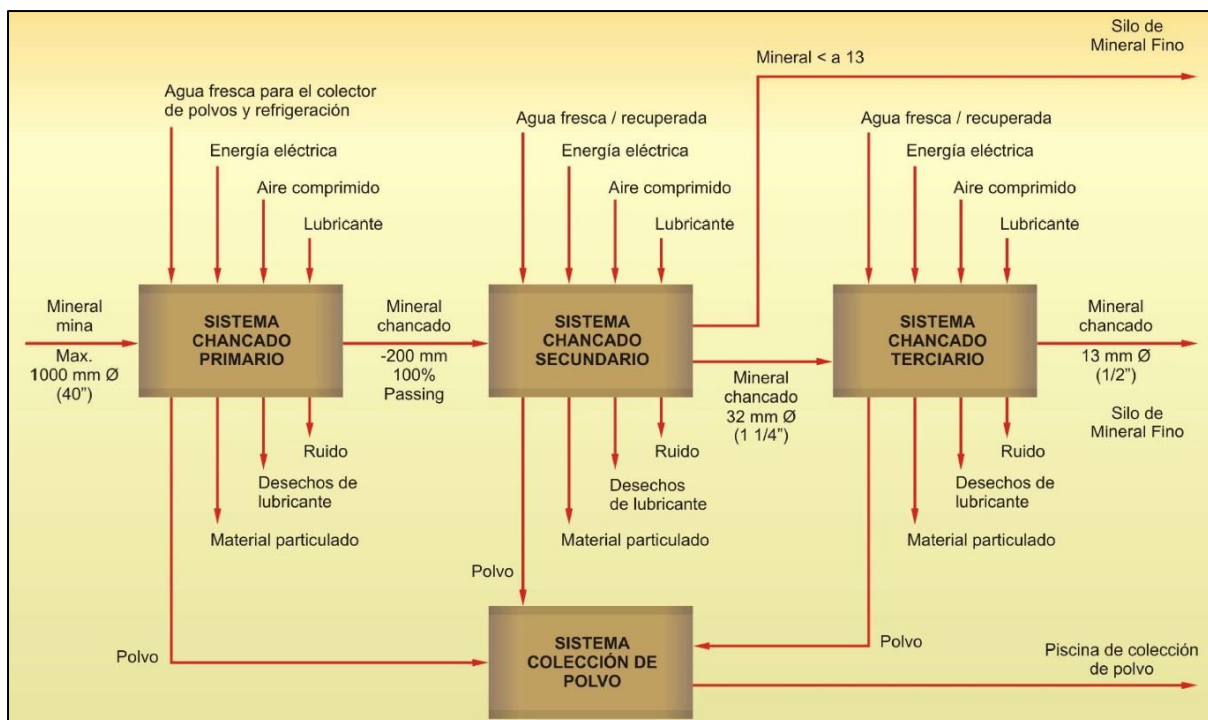
1.3.2.1 CHANCADO

El área de chancado es una sección funcional del proceso de LIX-SX-EW, que es un proceso continuo y dinámico donde se recibe el mineral de mina con un tamaño menor a 1000mm y se fracciona a un tamaño de 13mm. Para entregar al cliente interno del área de aglomeración. Este proceso usa como flujos auxiliares la energía eléctrica, agua y aire para los equipos. Se desecha material particulado al ambiente.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 5 Diagrama de Flujo del Proceso de Chancado.

El área de chancado consta de los sistemas de Chancado Primario, Chancado Secundario, Chancado Terciario y Colección de Polvo.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 6 Diagrama de Flujo de los Sistemas de Chancado.

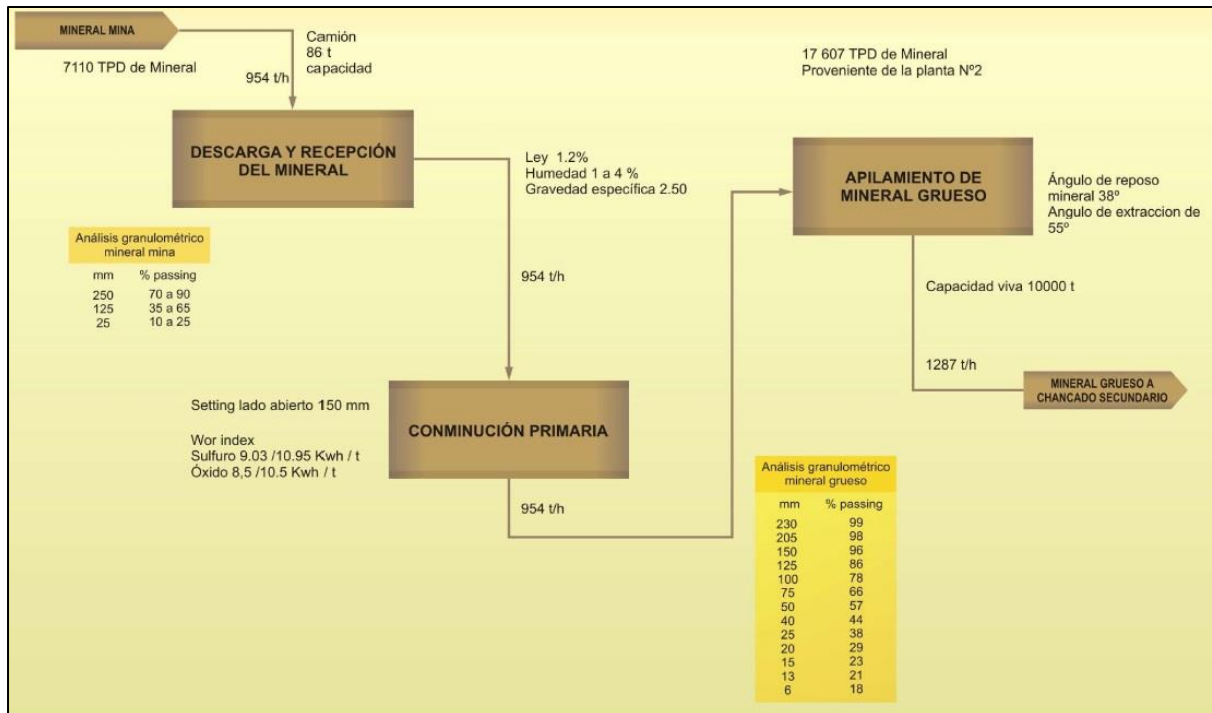
1.3.2.1.1 CHANCADO PRIMARIO

El sistema de chancado primario es la primera etapa de la operación de la planta, sin embargo, es la segunda etapa de reducción de tamaño, posterior a la tronadura. La operación de chancado consiste en la reducción de tamaño de rocas grandes a más pequeñas, utilizando fuerzas de compresión, fricción, flexión, cizallamiento u otras en menor proporción, que permiten reducir el mineral que viene de la fase de minado de hasta 1000mm y termina con la entrega de un producto cuya granulometría es 100% menor a 200mm al sistema de chancado secundario. Recupera agua con finos de polvos y desecha material particulado al ambiente y ruido.

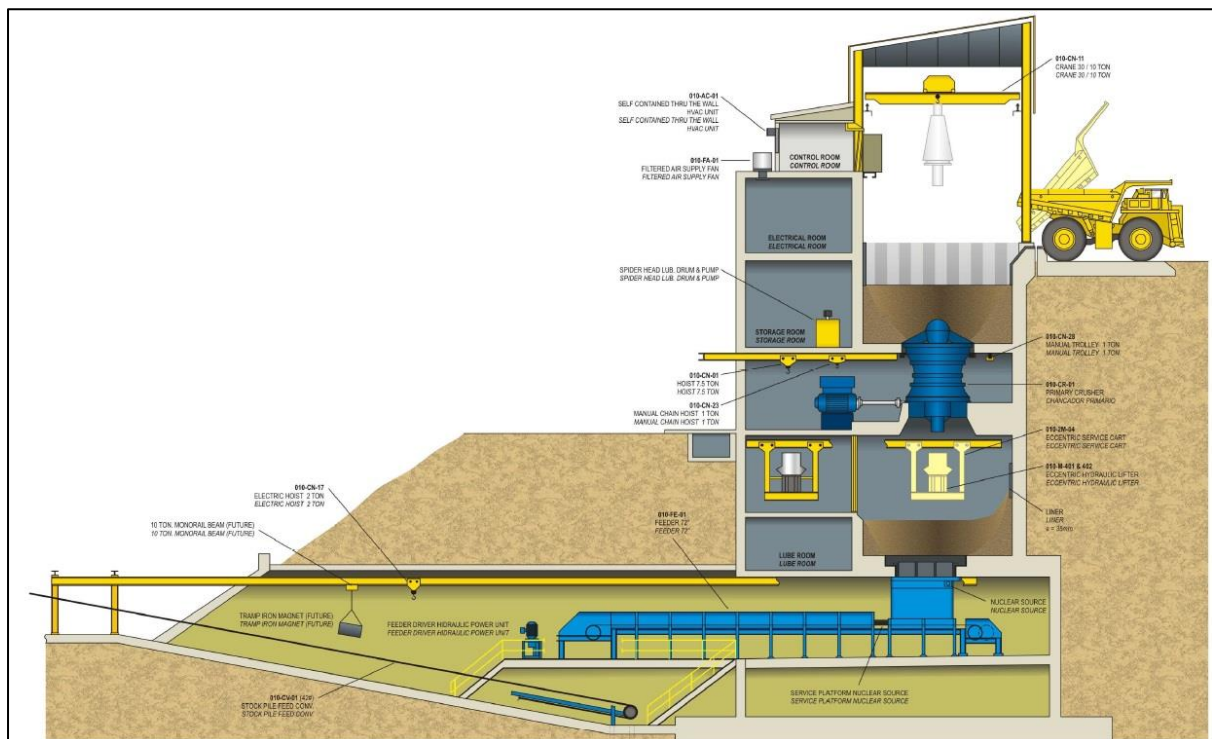
Las fases del sistema de chancado primario constan de descarga y recepción del mineral, donde el mineral es transportado por los camiones con capacidad de 86 TON a razón de 7110 t/d y es descargado en la tolva de alimentación de la chancadora primaria de 100 TON de capacidad viva. Esta fase es ayudada por una pica rocas hidráulica, el cual se encarga de reducir los fragmentos de ingreso mayores a 1000mm. Además, cuando el camión hace la descarga un sistema de aspersor spray de agua ayuda a reducir las emisiones de polvo.

Fase de conminución primaria consta de la reducción de tamaño por medio de una chancadora giratoria FULLER de 42"x65", la cual cuenta con un motor de 400 HP de potencia. El mineral triturado es descargado en una tolva de compensación intermedia de 100 TON de capacidad viva. La cual absorbe las variaciones de flujo instantáneas de mineral triturado por la chancadora. El producto del chancado primario es aproximadamente 100% menor a 200mm.

Fase de transporte y apilamiento de mineral, donde es extraído por medio de una correa alimentadora (belt feeder) de 1.8m de ancho por 20.4m de longitud, este alimentador posee una unidad hidráulica HAGGLUNDS que le permite operar con una velocidad de 0 – 0.25 m/seg para dosificar el tonelaje de mineral de una manera gradual establecida. La potencia del motor es de 100 HP. Este alimentador descarga en la correa alimentadora de alimentación a la pila de acopio de mineral grueso de 1,06m de ancho por 256m de longitud y motor de 400 HP. Además, un pesómetro en la alimentación al stockpile proporciona al operador en la sala de control una lectura instantánea de la cantidad que está siendo transportada. Un detector de metales sobre la correa transportadora activa una alarma de sonido y detiene la correa si un trozo de metal es detectado. El stockpile de minera grueso tiene una capacidad total de aproximadamente 53.000 TON. Con un ángulo de reposo de 38° y un ángulo de extracción de 55° dando una capacidad viva de 10.000 TON. El stockpile recibe un flujo de mineral de 17.607 TPD proveniente también de la planta 2 por medio de una faja de transferencia a través de un chute divisor.



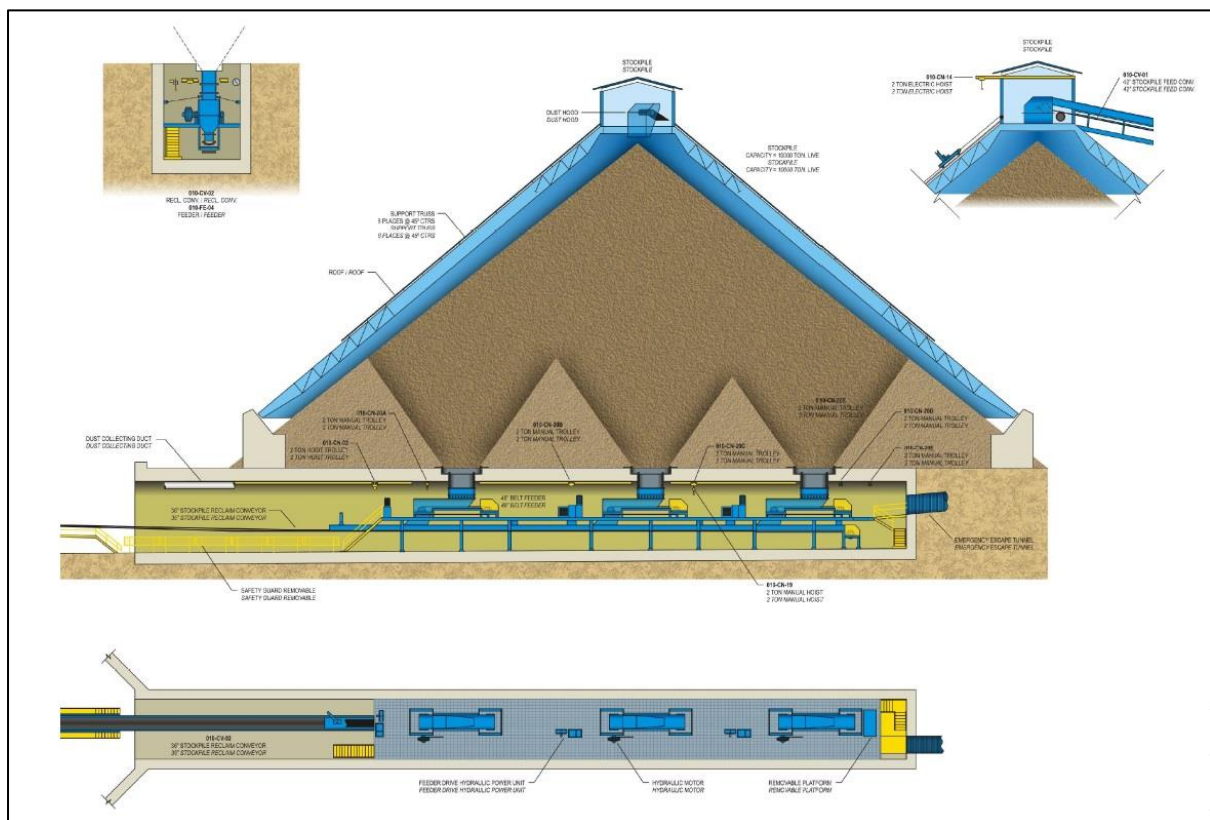
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 7 Diagrama de Flujo de Chancado Primario Planta 1.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 8 Disposición de Chancado Primario Planta 1.

Las fases de éste sistema constan de la recuperación de mineral grueso del stockpile, que va a ser reducido en el sistema de chancado secundario que proviene de dos sectores, del sistema de chancado primario de planta 1 con un tonelaje de 7.110 TMD y de la planta 2 con un tonelaje de 17.607 TMD este flujo de mineral con un tamaño de partícula 100% menor a 200mm es almacenado en el stockpile existente.

Los alimentadores y la correa transportadora de mineral grueso se hallan dentro de un túnel de concreto por debajo del stockpile, equipado con ductos de ventilación. El mineral es extraído del stockpile por tres correas alimentadoras de 1,2m de ancho por 5,5m de longitud, estos alimentadores poseen una unidad hidráulica HAGGLUNDS que le permite operar con tonelaje de 484 t/h y una velocidad de 0-0.25 m/seg. La potencia del motor de los alimentadores es de 30HP y descargan en la correa transportadora de recuperación del stockpile de 0,92m de ancho por 165m de longitud y un motor de 150HP que le permite operar a una velocidad de 2,97m/seg, esta correa se eleva hasta 21,5m de altura y descarga en la unidad de harnero Scalping.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 11 Alimentadores de Recuperación de Stockpile Planta 1.

Un electroimán atrapa metales ferrosos suspendido en un monorriel que está ubicado por encima de la correa transportadora de recuperación de mineral del stockpile 1. El monorriel permite que el electroimán sea retirado de la estructura para descargar el metal acumulado. Es muy importante retirar los metales atrapados del mineral para proteger los equipos posteriores, incluyendo fajas transportadoras y chancadoras.

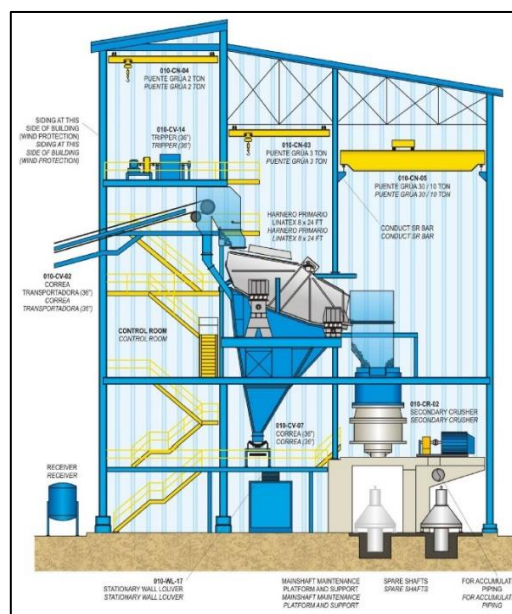
Un detector de metales sobre la correa transportadora de recuperación de mineral del stockpile activa una alarma de sonido y detiene la correa si un trozo de metal es detectado. Por ejemplo, los dientes de manganeso de la pala o pedazos de aluminio de las tolvas de los camiones. Se puede ajustar el nivel de sensibilidad del detector para reducir la frecuencia de falsas alarmas. El metal detectado debe ser localizado por el operador y debe ser retirado manualmente antes de arrancar nuevamente la correa transportadora.

El pesómetro de recuperación del stockpile proporciona al operador en la sala de control, una lectura instantánea de la cantidad de mineral que está siendo transportada, también registra la masa total de mineral que pasas por esta correa.

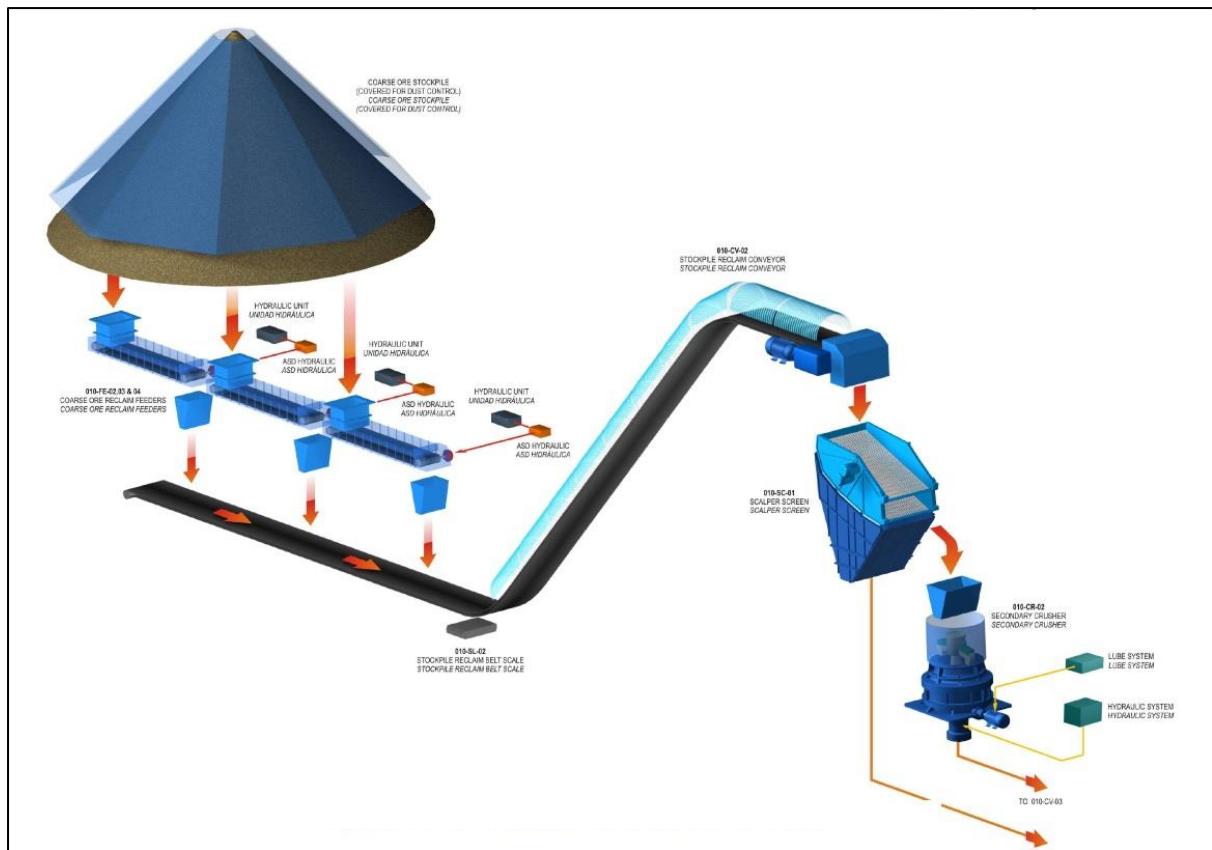
La segunda fase corresponde a Harneado Scalping, donde el mineral del stockpile es trasferido por la correa transportadora hacia el Harnero Primario. Éste realiza la operación de Scalping, es decir, clasificar el mineral fino del grueso. Este Harnero es de tipo banana de doble bandeja de 2,4x7,3m con una capacidad nominal de 1.100 t/h, es accionada por un motor de 60 HP a una velocidad de operación de 900 RPM. Los decks del harnero tienen paneles modulares de caucho para un rápido cambio y un tiempo mínimo de mantenimiento. El deck superior tiene una abertura de malla de 50mm y el deck inferior de 13mm con una inclinación de 20°.

El mineral rechazado por el Harnero se denomina Oversize, el cual consta de dos productos, uno proveniente del piso superior (+50mm) y el otro piso inferior (+13mm) ambos productos se juntan y descarga directamente en el chute de alimentación a la chancadora secundaria a razón de 693 t/h. El mineral fino que pasa la abertura de la malla se denomina Undersize (-13mm) descarga en la correa transportadora de producto de mineral fino a razón de 594 t/h.

La última fase corresponde a la conminución secundaria, donde el mineral es reducido de tamaño por medio de una chancadora de cono estándar AMS HYDROCONE 10-84 marca ALLIS, el cual cuenta con un motor de 500hp de potencia. El mineral triturado con una granulometría menor a 32mm es descargado vía chute de descarga de la chancadora en la correa transportadora de descarga hacia la chancadora terciaria. El setting de descarga lado cerrado es regulado a 32mm.



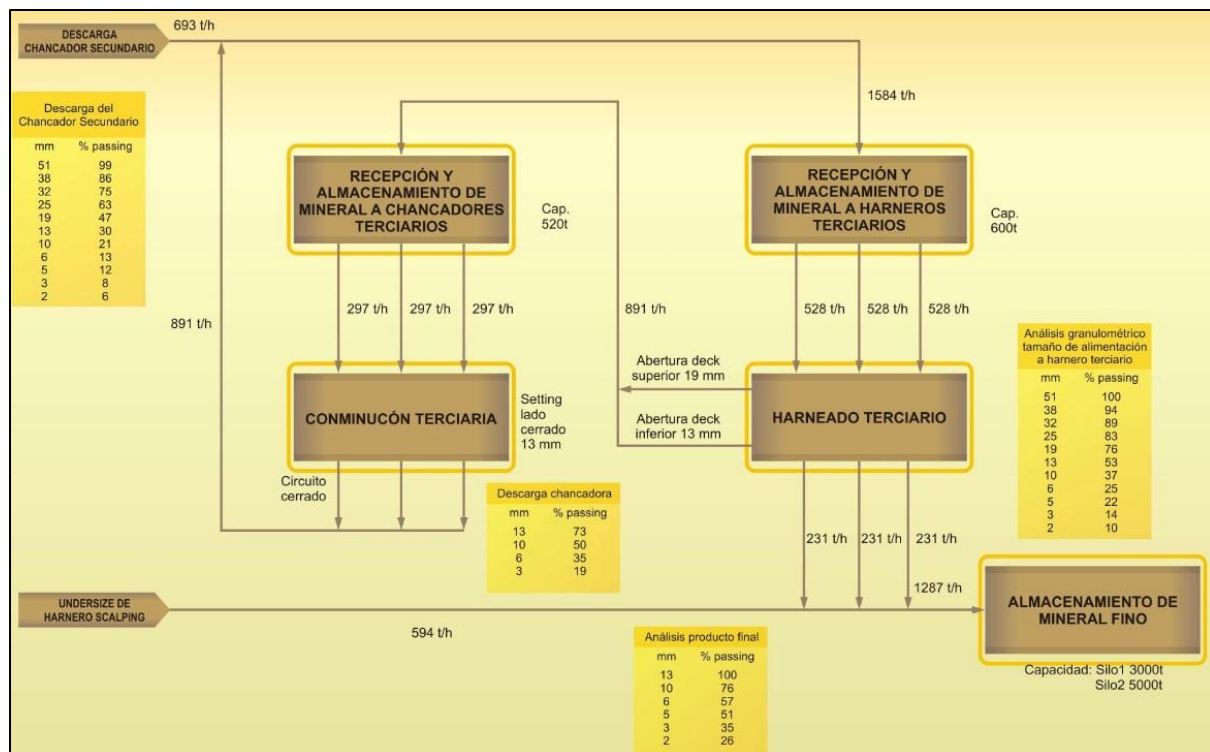
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 12 Vista Lateral Harnero y Chancadora Secundaria Planta 1.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
 Figura 1. 13 Diagrama 3D del Sistema Chancado Secundario.

1.3.2.1.3 CHANCADO TERCIARIO

El sistema de chancado terciario es una operación de conminución que reduce el tamaño de mineral que viene del sistema de chancado secundario con una granulometría 100% menor a 32mm correspondiente al producto de la chancadora secundaria, y termina con la entrega de un producto de mineral fino con un tamaño menor a 13mm correspondiente al Undersize de los harneros terciarios hacia el sistema de aglomeración. El mineral mayor a 13mm rechazado correspondiente al Oversize de los harneros terciarios retorna al circuito como carga circulante para ser reducido de tamaño nuevamente en las chancadoras terciarios, hasta alcanzar la granulometría adecuada. Usa como flujos auxiliares la energía eléctrica, aire comprimido, agua fresca y recuperada de proceso. Desecha agua con finos, material particulado al medio ambiente y ruido.

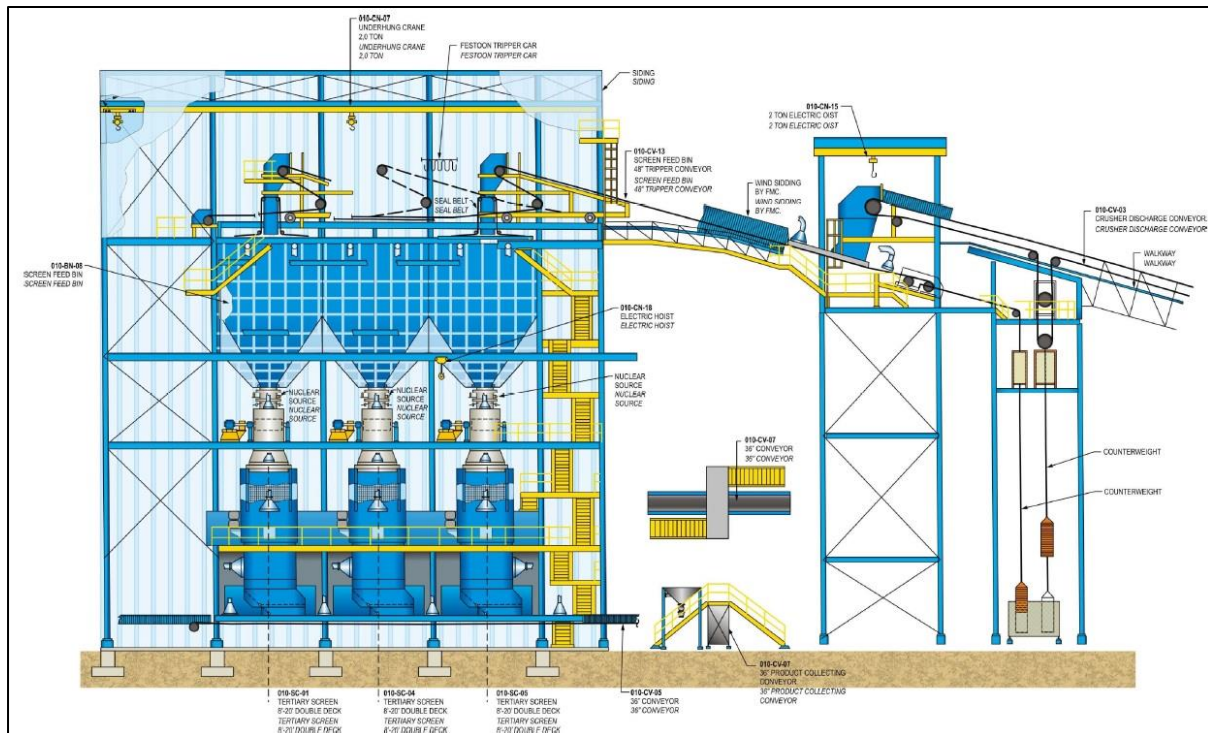


Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 14 Diagrama de Flujo Chancado Terciario Planta 1.

La primera fase ocurre cuando el mineral es almacenado en la tolva de alimentación a harneros terciarios vía Tripper, proviene de dos sectores que son los productos de las descargas de chancadoras. El primer producto es la descarga de la chancadora secundaria que ingresa al circuito de chancado terciario como flujo de alimentación fresa a razón de 693 TON. El segundo producto corresponde a las descargas de las tres chancadoras terciarias, el cual constituye el flujo de circulación, a razón de 297 TON por cada chancadora. Ambos productos descargan en la correa transportadora de colección de descarga de chancadoras terciarias de 1,07m de ancho por 173m de longitud y un motor de 400 HP, que le permite operar a una velocidad real de 3,7m/seg y elevarse hasta 25,8m de altura.

Ésta correa descarga en la correa Tripper de alimentación a los harneros terciarios de 1,22m de ancho por 34,1m de largo y un motor de 100HP, que le permite operar a una velocidad real de 2,86m/seg. El Tripper alimenta a razón de 1584 t/h a la tolva de alimentación de harneros terciarios que tiene una capacidad viva de 600 TON.

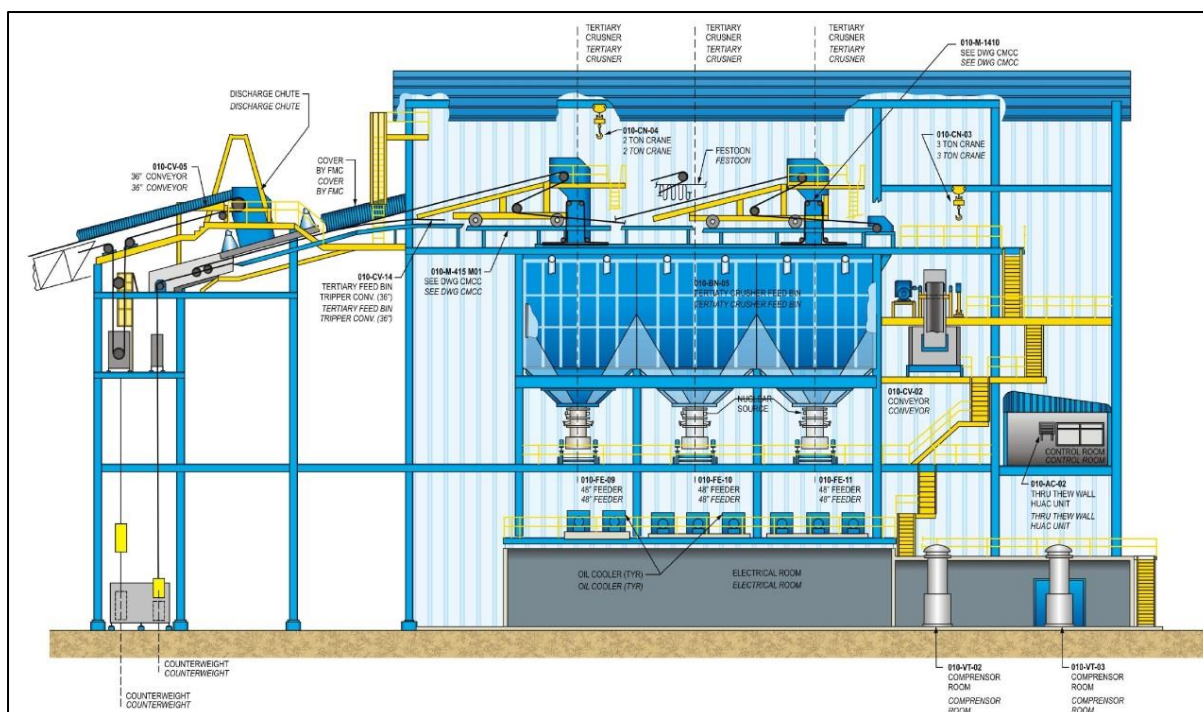


Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 15 Planta de Harnero Terciarios Planta 1.

La segunda fase corresponde a la extracción del mineral de la tolva extraído por tres correas alimentadoras de 1,5m de ancho por 6,2m de largo, estos alimentadores poseen una unidad hidráulica Haggglunds que le permite operar con tonelaje 620 t/h y a una velocidad de 0,33m/seg, cuenta con un motor de 30HP. Cada alimentador descarga el mineral en tres harneros terciarios donde se realiza la operación de clasificación. Este harnero es de tipo banana de doble bandeja de 2,4x6,1m con una capacidad nominal de 595 t/h, es accionada por un motor de 60HP a una velocidad de 900RPM. Los decks del harnero tienen paneles modulares de caucho para un rápido cambio y un tiempo mínimo de mantenimiento. El deck superior tiene una abertura de malla de 19mm y el deck inferior de 13mm con una inclinación de 20°. El mineral rechazado por el piso superior del harnero es Oversize (+19mm) y el piso inferior (+13mm), ambos productos se juntan y descargan a razón de 891 t/h en la correa transportadora de recirculación de 0,92m de ancho por 63,4m de largo y un motor de 200HP, que le permite operar a una velocidad real de 2,8m/seg y elevarse hasta 20,4m de altura. El mineral fino que pasa la abertura de la malla es Undersize (-13mm) descarga en la correa de descarga de mineral fino a razón de 693 t/h.

La tercera fase tres es cuando el Oversize de los harneros terciarios que no ha alcanzado la granulometría menor a 13mm es recirculado por la correa transportadora de recirculación para descargarlo en la correa tripper de 0,92m de ancho por 36m de largo y un motor de 60HP, que le permite operar a una velocidad real de 2,8m/seg y elevarse hasta 2,4m de altura. El tripper alimenta a razón de 891 t/h a la tolva de alimentación de chancadoras terciarias que tiene una capacidad viva de 520 TON.

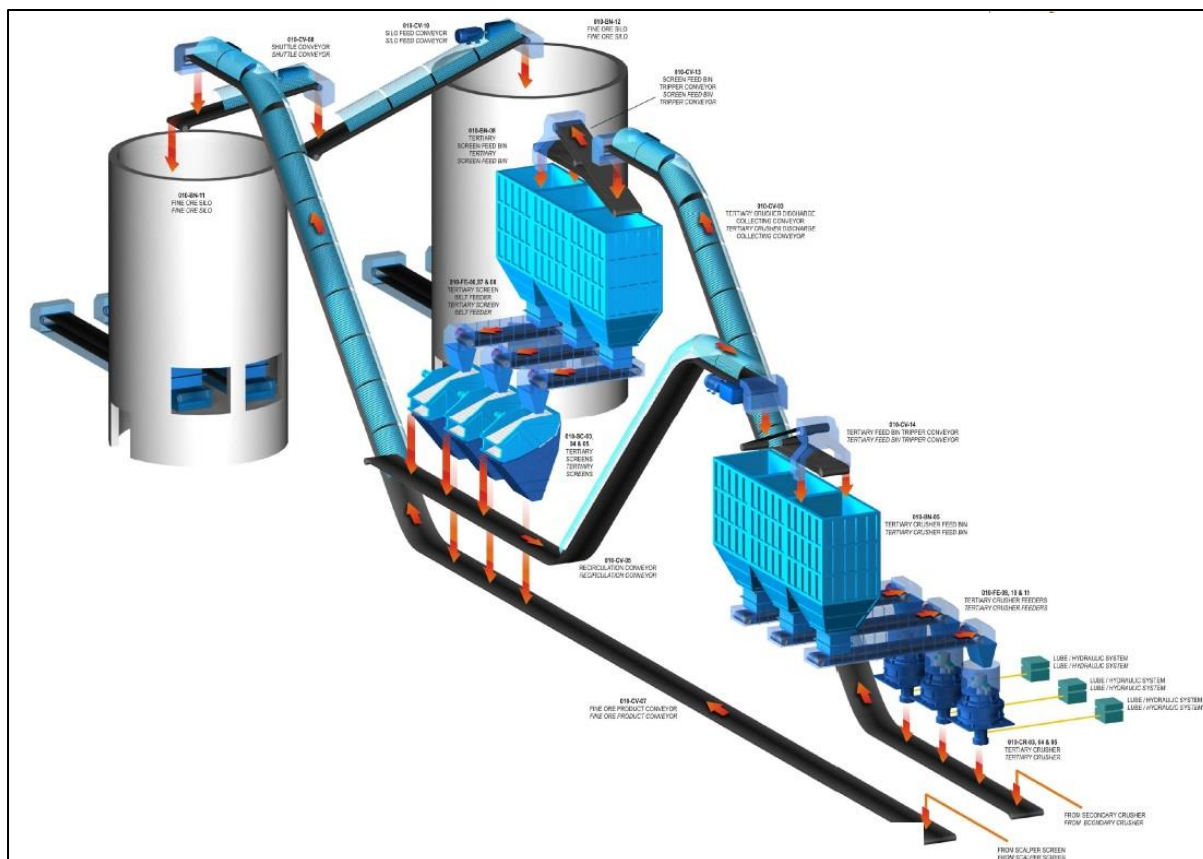


Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 16 Planta de Chancado Terciario Planta 1.

La cuarta fase corresponde a la conminución terciaria, donde el mineral almacenado en la tolva es extraído por tres correas alimentadoras de 1,22m de ancho por 13,4m de largo, estos alimentadores poseen una unidad hidráulica hagglands que le permite operar con tonelaje nominal de 380 t/h y a una velocidad de 0,3m/seg, cuenta con motor de 30HP. Cada uno de los alimentadores descargan el mineral a tres chancadoras terciarias donde es reducido de tamaño, la chancadora es tipo cono de cabeza corta AMS Hydrocone 3-84 marca ALLIS con 76mm de apertura el cual cuenta con un motor de 500HP. El producto de descarga de las tres chancadoras con una granulometría menor a 13mm es descargado vía chute de descarga de cada chancadora a razón de 297 TON, en la correa transportadora de descarga de chancadoras terciarias. El setting de descarga de las chancadoras terciarias lado cerrado es regulado a 13mm.

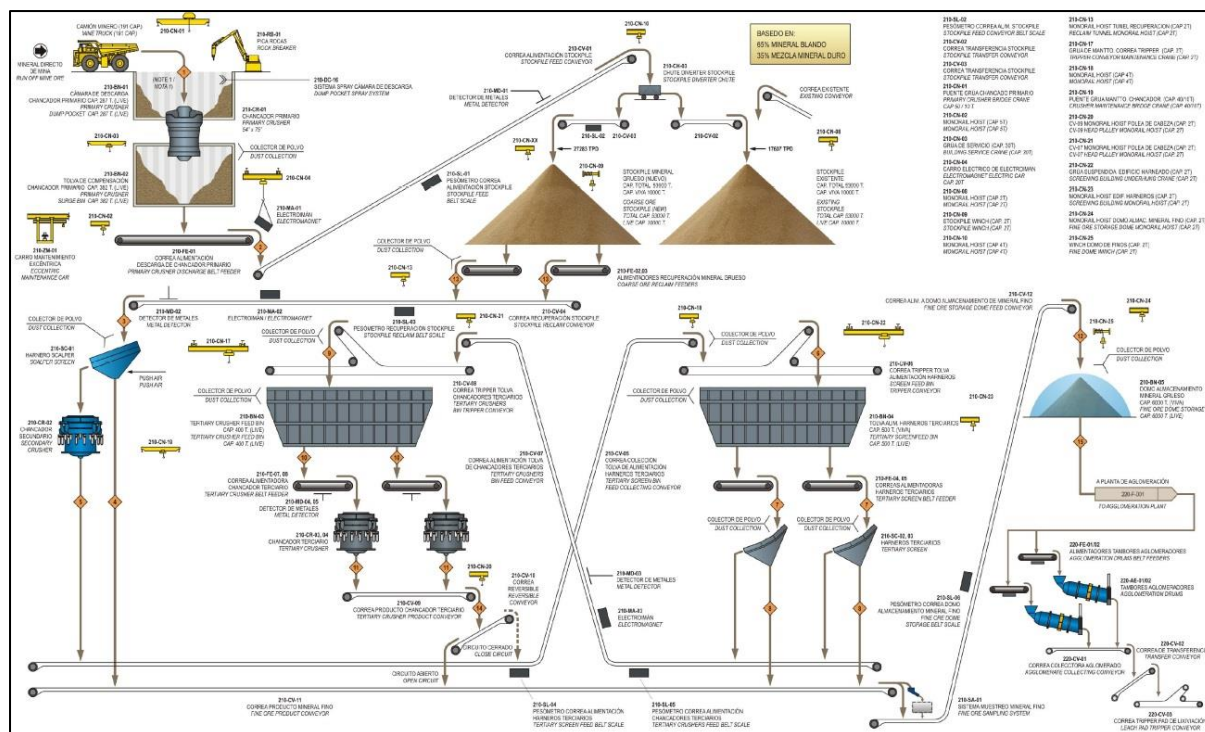
La última fase de éste sistema de chancado es cuando el producto final de mineral fino que es almacenado en los silos tiene una granulometría menor a 13mm, proviene de dos sectores, del Undersize del harnero Scalping a razón de 594 t/h. Y de los tres harneros terciarios a razón de 231 t/h. Ambos flujos descargan en la correa transportadora de producto de mineral fino de 0,92m de ancho por 328m de largo y un motor de 200HP, que le permite operar a una velocidad real de 3m/seg y elevarse hasta 17m de altura. La correa de producto mineral fino descarga en la correa de trasferencia de 1,1m de ancho por 14,53m de largo, tiene un motor de 25HP y se eleva hasta 1,25m de altura. La correa de transferencia alimenta a razón de 1287 t/h al silo N°11 que tiene una capacidad viva de 3000 TON con un diámetro de 16m y una altura de 17m. La correa de transferencia descarga también en la correa de alimentación al silo N°12 de 1,1m de ancho por 27,52m de largo y un motor de 75HP, se eleva hasta 8,94m de altura. Esta correa alimenta a razón de 1287 t/h al silo N°12 que tiene una capacidad viva de 5600 TON con un diámetro de 18m y una altura de 20,5m.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
 Figura 1. 17 Diagrama 3D del Sistema Chancado Terciario Planta 1.

1.3.3 PLANTA 2

En la planta 2 con capacidad de tratamiento de 40.000 TPD, se encuentran los procesos de Chancado, Lixiviación, Extracción por Solventes (SX), Tank Farm y Electrowinning o electro obtención (EW), resultando como producto final cátodos de cobre con una pureza del 99,99%.



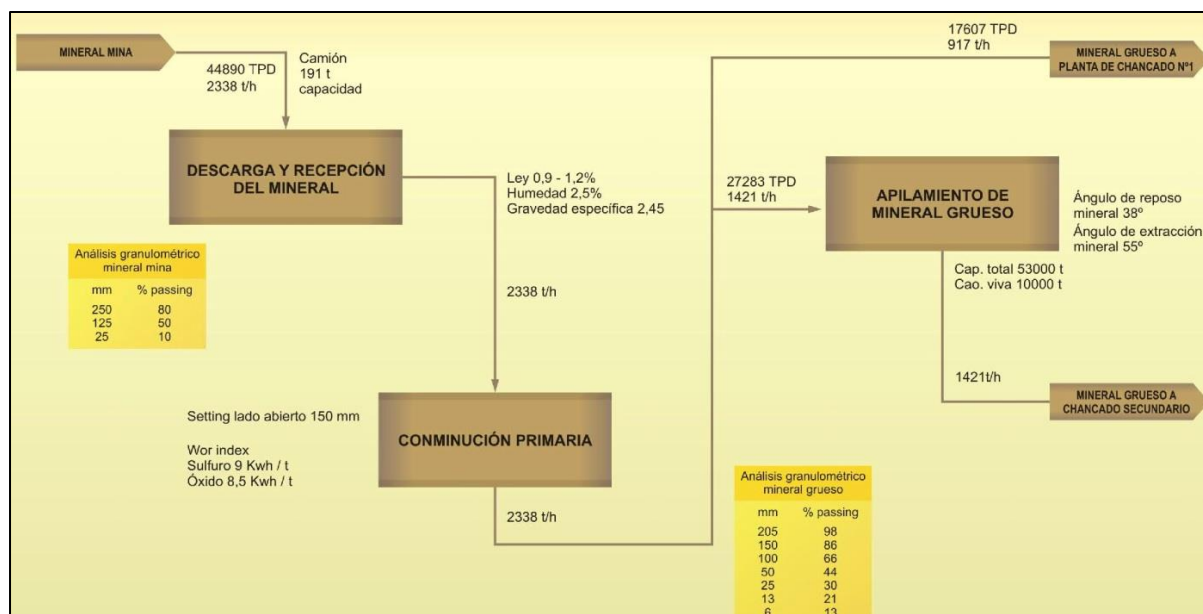
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 18 Diagrama de Flujo Planta 2.

1.3.3.1 CHANCADO

El área de chancado es una sección funcional del proceso de LIX-SX-EW, que es un proceso continuo y dinámico donde se recibe el mineral de mina con un tamaño menor a 1000mm y se fracciona a un tamaño de 13mm. Para entregar al cliente interno del área de aglomeración. Este proceso usa como flujos auxiliares la energía eléctrica, agua y aire para los equipos. Se desecha material particulado al ambiente.

1.3.3.1.1 CHANCADO PRIMARIO

La planta de chancado primario de cerro colorado tiene por función reducir el tamaño de mineral ROM de mina de 1.000mm hasta un tamaño máximo de 200mm para que pueda ser reducido en la etapa de chancado secundario. Recupera agua con finos desde el colector de polvos y desecha material particulado al ambiente y ruido.



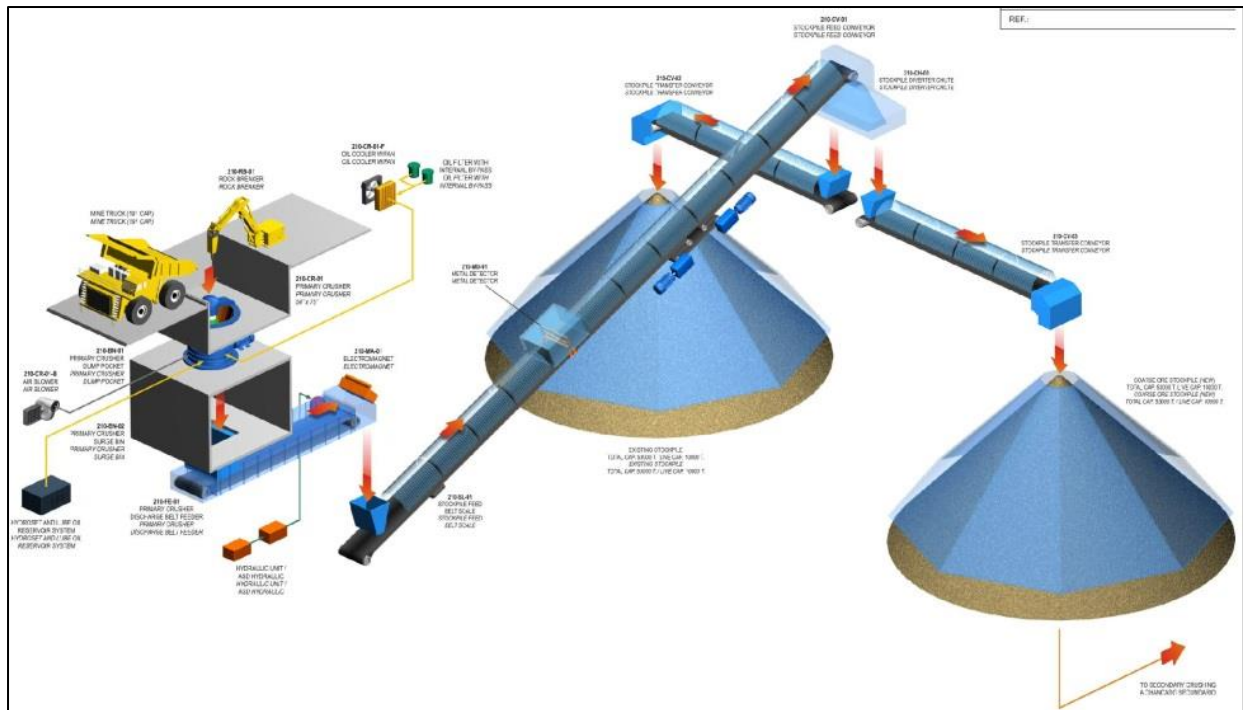
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 19 Diagrama de Flujo Chancado Primario Planta 2.

La descarga y recepción del mineral es transportado por medio de camiones mineros de 191 TON de capacidad y descargado en la cámara de alimentación a la chancadora primaria de 287 TON de capacidad viva. Una pica rocas hidráulico se encarga de reducir los fragmentos de ingreso mayores a 1.000mm. Un sistema de spray aspersor de agua en la cámara de descarga de camiones ayuda a reducir las emisiones de polvo.

La conminución primaria es cuando el mineral es reducido de tamaño por medio de una chancadora giratoria SVEDALA MKII 54X75' y cuenta con un motor de 600HP de potencia. El mineral triturado es descargado en una tolva de compensación intermedia de 382 TON de capacidad viva. La cual absorbe las variaciones de flujo instantáneas de mineral triturado por la chancadora. El producto del chancado primario es aproximadamente un 100% menor a 200mm.

El transporte y el apilamiento de mineral grueso, ocurre cuando el mineral triturado descarga en la tolva intermedia de compensación desde donde es extraído por medio de una correa alimentadora de 2,43m de ancho por 10,2m de longitud, este alimentador posee una unidad hidráulica Hagglunds que le permite operar a una velocidad de 0-15m/min, para dosificar el tonelaje de mineral de una manera gradual establecida. La potencia del motor es de 125 HP. Un electroimán atrapa los metales ferrosos, suspendido en un monorriel y está ubicado por encima del chute de descarga del alimentador de la correa. La correa alimentadora descarga en la correa transportadora de alimentación a la pila de acopio de mineral grueso de 1,37m de ancho, por 260,94m de longitud con una elevación de 60,12m, esta correa es accionada por dos motores de 400HP, Además un pesómetro proporciona al operador en la sala de control una lectura instantánea de la cantidad que está siendo transportada. Un detector de metales sobre la correa transportadora activa una alarma de sonido y detiene la correa si un trozo de metal es detectado. El stockpile nuevo de mineral grueso tiene una capacidad total de aproximadamente 53.000 TON. Con un ángulo de reposo de 38° y un ángulo de extracción de 55° dando una capacidad viva de 10.000 TON. El stockpile recibe un flujo de mineral de 27.283 TPD.



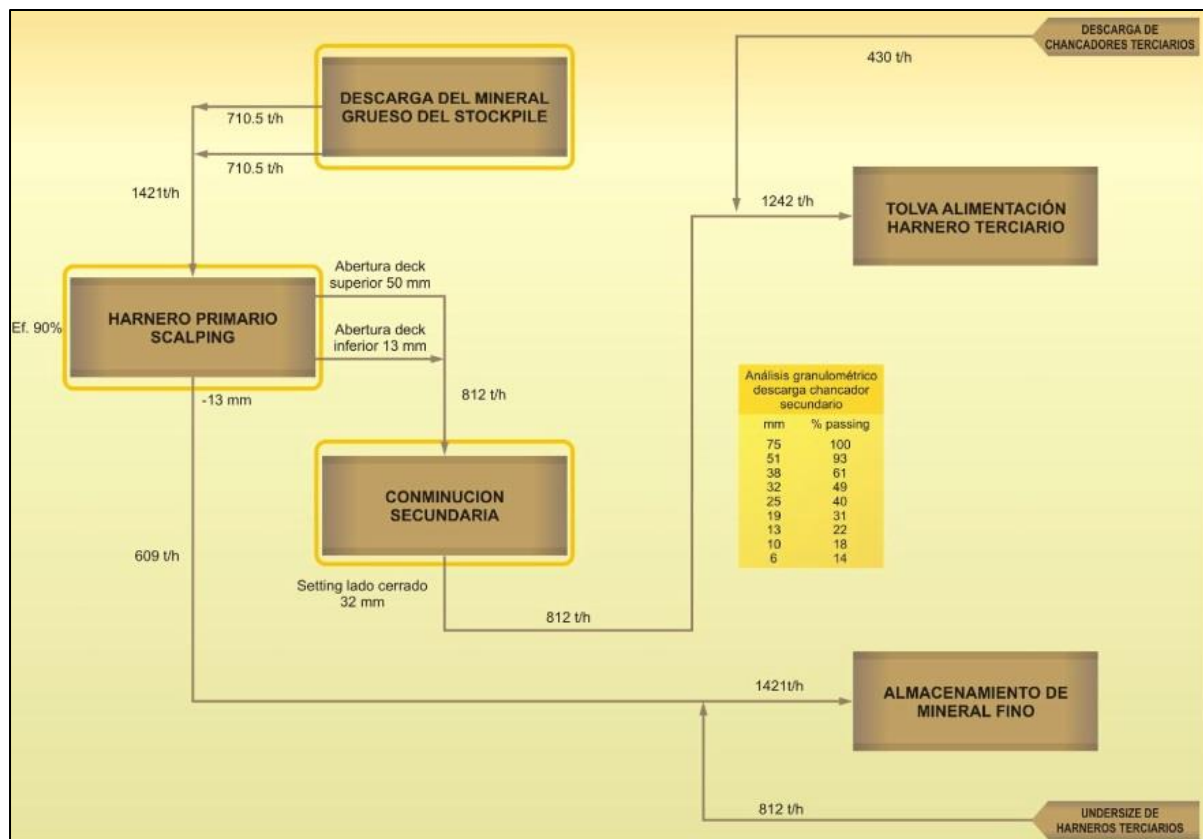
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 20 Diagrama 3D Chancado Primario Planta 2.

1.3.3.1.2 CHANCADO SECUNDARIO

El sistema de chancado secundario es una operación de conminución que reduce y acondiciona el tamaño de mineral producto del chancado primario con una granulometría 100% menor a 200mm y termina con la entrega de dos productos: un producto con un tamaño mayor a 13mm (Oversize) hacia el sistema de chancado terciario y otro producto con un tamaño menor a 13mm hacia el sistema de aglomeración

Usa como flujos auxiliares la energía eléctrica, aire comprimido, agua fresca y recuperada para el proceso. Desecha agua con finos, material particulado al medio ambiente y ruido.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 21 Diagrama de Flujo Chancado Secundario Planta 2.

Las fases de este sistema constan de la recuperación de mineral grueso del stockpile, que va a ser reducido en el sistema de chancado secundario que proviene del sistema de chancado primario de planta 2 con un tamaño de partícula 100% menor a 200mm es almacenado en el stockpile nuevo que tiene una capacidad viva de 10.000TON y una capacidad total de 53.000 TON.

Los alimentadores y la correa transportadora de mineral grueso se hallan dentro de un túnel de concreto por debajo del stockpile, equipado con ductos de ventilación. El mineral es extraído del stockpile por tres correas alimentadoras de 1,4m de ancho por 6m de longitud, estos alimentadores poseen una unidad hidráulica HAGGLUNDS que le permite operar con tonelaje de 600 t/h y una velocidad de 0-0.25 m/seg. La potencia del motor de los alimentadores es de 25HP y descargan en la correa transportadora de recuperación del stockpile de 1,06m de ancho por 212m de longitud y un motor de 250HP que le permite operar a una velocidad de 2,5m/seg, esta correa se eleva hasta 28,4m de altura y descarga en la unidad de harnero Scalping.

Un electroimán de 42" atrapa metales ferrosos suspendido en un monorriel que está ubicado por encima de la correa transportadora de recuperación de mineral del stockpile 1. El monorriel permite que el electroimán sea retirado de la estructura para descargar el metal acumulado. Es muy importante retirar los metales atrapados del mineral para proteger los equipos posteriores, incluyendo fajas transportadoras y chancadoras.

Un detector de metales de 42" sobre la correa transportadora de recuperación de mineral del stockpile activa una alarma de sonido y detiene la correa si un trozo de metal es detectado. Por ejemplo, los dientes de manganeso de la pala o pedazos de aluminio de las tolvas de los

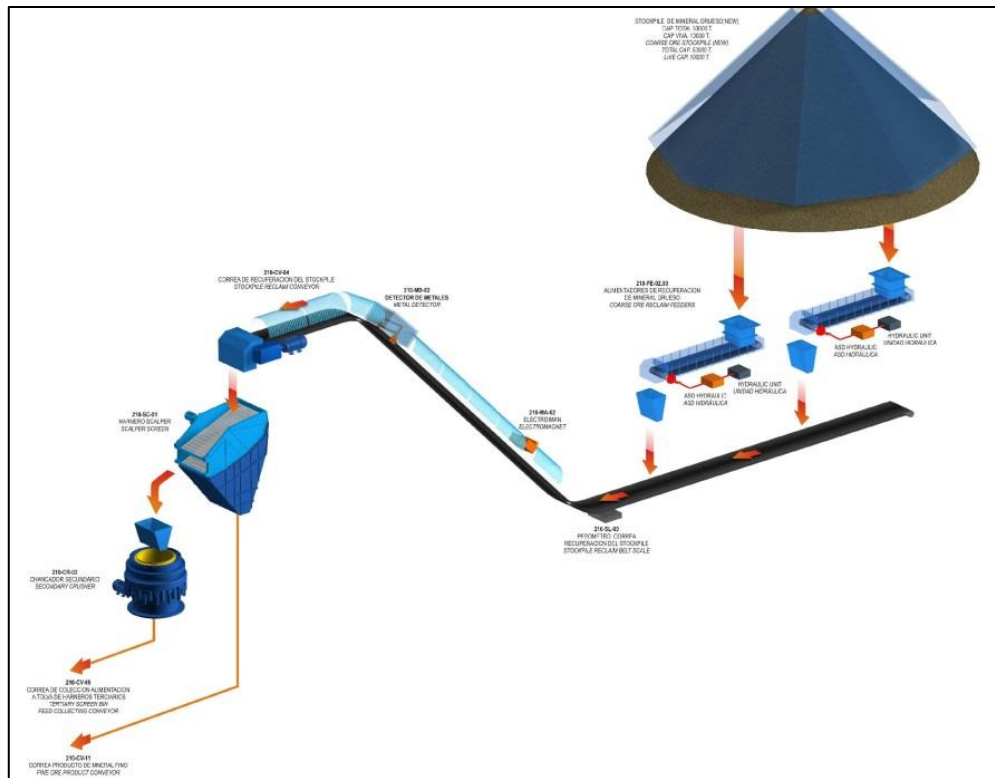
camiones. Se puede ajustar el nivel de sensibilidad del detector para reducir la frecuencia de falsas alarmas. El metal detectado debe ser localizado por el operador y debe ser retirado manualmente antes de arrancar nuevamente la correa transportadora.

El pesómetro 42" de recuperación del stockpile proporciona al operador en la sala de control, una lectura instantánea de la cantidad de mineral que está siendo transportada, también registra la masa total de mineral que pasa por esta correa.

La segunda fase corresponde a Harneado Scalping, donde el mineral del stockpile es transferido por la correa transportadora hacia el Harnero Primario. Éste realiza la operación de Scalping, es decir, clasificar el mineral fino del grueso. Este Harnero es de tipo banana de doble bandeja de 2,4x7,3m con una capacidad nominal de 1.350 t/h. Los decks del harnero tienen paneles modulares de caucho para un rápido cambio y un tiempo mínimo de mantenimiento. El deck superior tiene una abertura de malla de 50mm y el deck inferior de 13mm con una inclinación de 20°.

El mineral rechazado por el Harnero se denomina Oversize, el cual consta de dos productos, uno proveniente del piso superior (+50mm) y el otro piso inferior (+13mm) ambos productos se juntan y descarga directamente en el chute de alimentación a la chancadora secundaria a razón de 812 t/h. El mineral fino que pasa la abertura de la malla se denomina Undersize (-13mm) descarga en la correa transportadora de producto de mineral fino de 1,06m de ancho por 357m de longitud y motor de 125HP, que le permite operar a una velocidad de 2,75m/seg. La capacidad de diseño de esta correa es de 1350 t/h, esta correa se eleva hasta 5,58m de altura y transfiere su carga a la correa transportadora al domo.

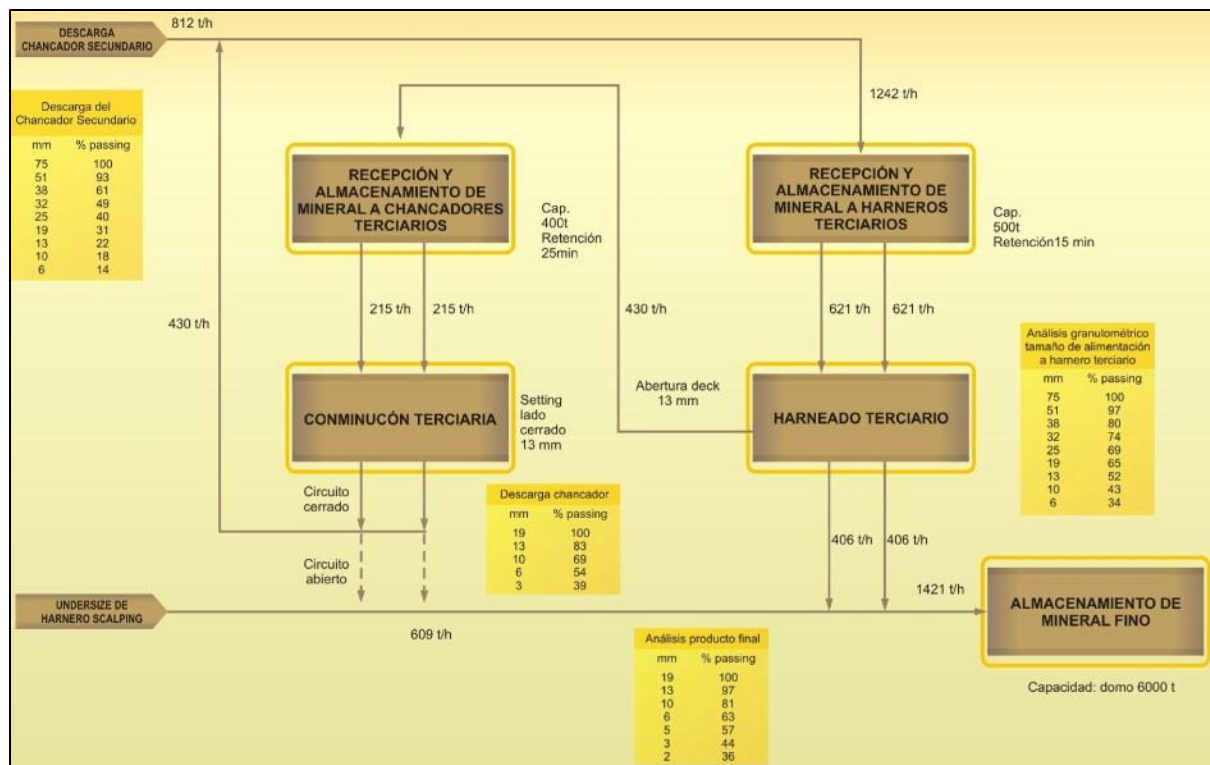
La última fase corresponde a la conminución secundaria, donde el mineral es reducido de tamaño por medio de una chancadora tipo estándar NORDBERG MP1000, el cual cuenta con un motor de 1000HP de potencia. El mineral triturado con una granulometría menor a 32mm es descargado vía chute de descarga de la chancadora en la correa transportadora de alimentación a tolva de harneros terciarios de 1,2m de ancho por 247m de longitud y motor de 400HP que le permite operar a una velocidad de 2,5m/seg.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 22 Diagrama 3D Chancado Secundario Planta 2.

1.3.3.1.3 CHANCADO TERCIARIO

El sistema de chancado terciario es una operación de conminución que reduce el tamaño de mineral que viene del sistema de chancado secundario con una granulometría 100% menor a 32mm correspondiente al producto de la chancadora secundaria, y termina con la entrega de un producto de mineral fino con un tamaño menor a 13mm correspondiente al Undersize de los harneros terciarios hacia el sistema de aglomeración. El mineral mayor a 13mm rechazado correspondiente al Oversize de los harneros terciarios retorna al circuito como carga circulante para ser reducido de tamaño nuevamente en las chancadoras terciarios, hasta alcanzar la granulometría adecuada. Usa como flujos auxiliares la energía eléctrica, aire comprimido, agua fresca y recuperada de proceso. Desecha agua con finos, material particulado al medio ambiente y ruido.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 23 Diagrama de Flujo Chancado Terciario Planta 2.

La primera fase ocurre cuando el mineral es almacenado en la tolva de alimentación a harneros terciarios vía Tripper, proviene de dos sectores que son los productos de las descargas de chancadoras. El primer producto es la descarga de la chancadora secundaria que ingresa al circuito de chancado terciario como flujo de alimentación fresca a razón de 812 TON. El segundo producto corresponde a las descargas de las tres chancadoras terciarias, el cual constituye el flujo de recirculación, a razón de 215 TON por cada chancadora. Ambos productos descargan en la correa transportadora de colección de alimentación a tolva de harneros terciarios de 1,22m de ancho por 247m de largo y un motor de 400HP, que le permite operar a una velocidad real de 2,5m/seg y elevarse hasta 23,8m de altura.

Ésta correa descarga en la correa Tripper de alimentación a los harneros terciarios de 1,37m de ancho por 43,3m de largo y un motor de 125HP, que le permite operar a una velocidad real de 2,4m/seg. El Tripper alimenta a razón de 1242 t/h a la tolva de alimentación de harneros terciarios que tiene una capacidad viva de 500 TON.

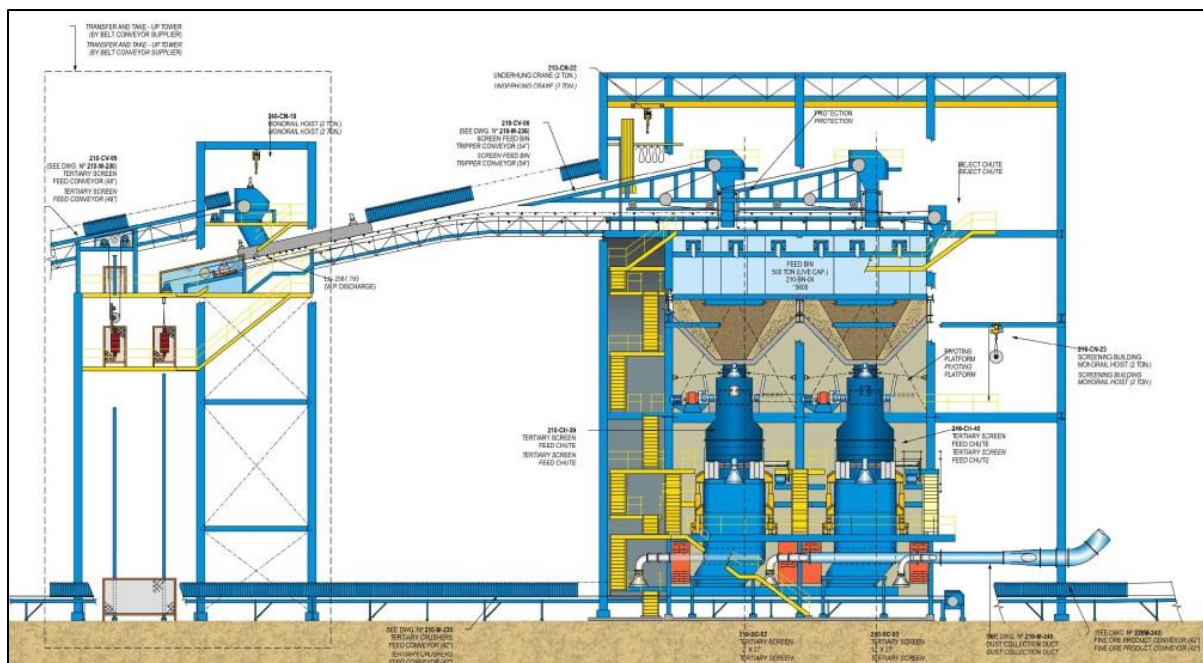


Figura 1. 24 Planta de Chancado Terciario Planta 2.

La segunda fase corresponde a la extracción del mineral de la tolva extraído por dos correas alimentadoras de 1,83m de ancho por 6,5m de largo, estos alimentadores poseen una unidad hidráulica Hagglunds que le permite operar con tonelaje 1115 t/h y cuenta con un motor de 60HP. Cada alimentador descarga el mineral en tres harneros terciarios donde se realiza la operación de clasificación. Este harnero es de tipo banana Nordberg de una bandeja de 3,7x8,3m, es accionada por un motor de 60HP a una velocidad de 900RPM. Los decks del harnero tienen paneles modulares de caucho para un rápido cambio y un tiempo mínimo de mantenimiento. El deck superior tiene una abertura de malla de 19mm y el deck inferior de 13mm. El mineral rechazado por el piso superior del harnero es Oversize (+19mm) y el piso inferior (+13mm), ambos productos se juntan y descargan a razón de 430 t/h en la correa transportadora de alimentación a tolva de chancadoras terciarias de 1,07m de ancho por 268m de largo y un motor de 250HP, y elevarse hasta 23,5m de altura. El mineral fino que pasa la abertura de la malla es Undersize (-13mm) descarga en la correa de descarga de mineral fino a razón de 812 t/h.

La tercera fase tres es cuando el Oversize de los harneros terciarios que no ha alcanzado la granulometría menor a 13mm es recirculado por la correa transportadora de alimentación a tolva de chancadoras terciarias de 1,07m de ancho por 35m de largo y un motor de 74HP, que le permite operar a una velocidad real de 2,5m/seg y elevarse hasta 5m de altura. El tripper alimenta a razón de 430 t/h a la tolva de alimentación de chancadoras terciarias que tiene una capacidad viva de 400 TON.

La cuarta fase corresponde a la conminución terciaria, donde el mineral almacenado en la tolva es extraído por dos correas alimentadoras de 1,52m de ancho por 12m de largo, estos alimentadores poseen una unidad hidráulica Hagglunds que le permite operar con tonelaje nominal de 636 t/h y cuenta con motor de 30HP. Cada uno de los alimentadores descargan el mineral a dos chancadoras terciarias donde es reducido de tamaño, la chancadora es tipo cono de cabeza corta NORDBERG MP1000 y cuenta con un motor de 1000HP. El producto de

La última fase de éste sistema de chancado es cuando el producto final de mineral fino que es almacenado en el domo tiene una granulometría menor a 13mm, proviene de dos sectores, del Undersize del harnero Scalping a razón de 609 t/h. Y de los dos harneros terciarios a razón de 812 t/h. Ambos flujos descargan en la correa transportadora de producto de mineral fino de 1,07m de ancho por 357m de largo y un motor de 125HP, que le permite operar a una velocidad real de 2,75m/seg y elevarse hasta 5,58m de altura. La correa de producto mineral fino descarga en la correa transportadora de alimentación al domo de mineral fino de 1,37m de ancho por 479m de largo, tiene un motor de 603HP y se eleva hasta 60m de altura. La correa de transferencia alimenta a razón de 1421 t/h al domo de mineral fino que tiene una capacidad viva de 6.000 TON con un diámetro de 55m.

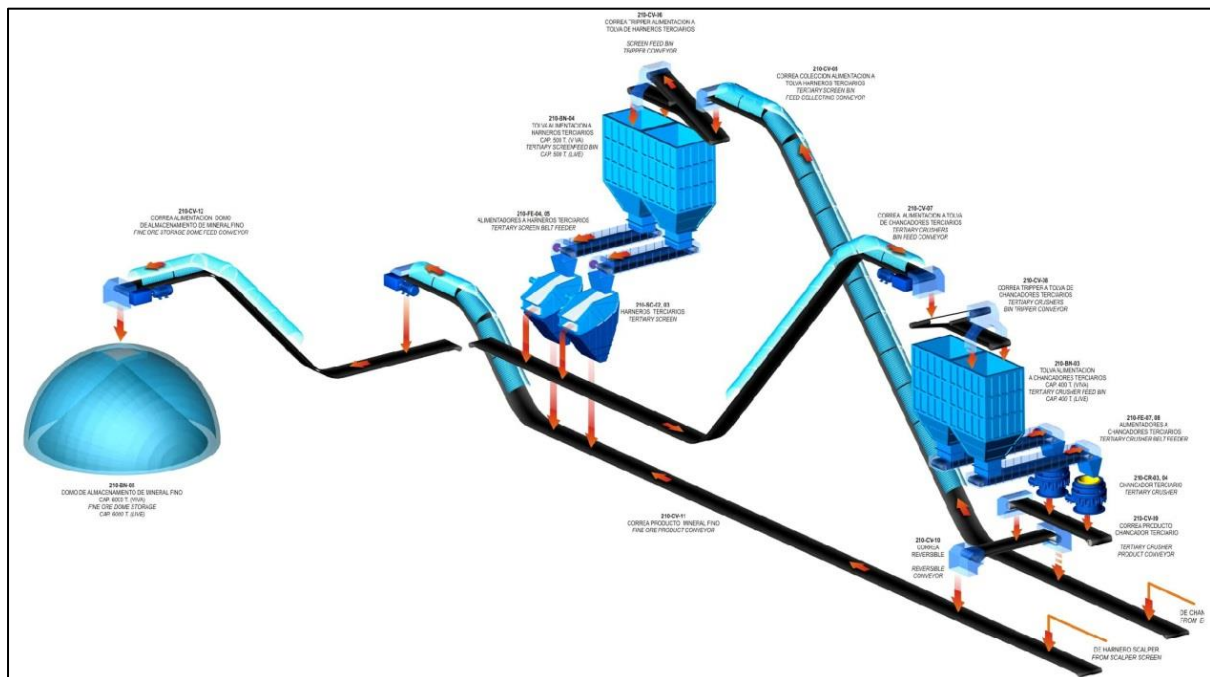
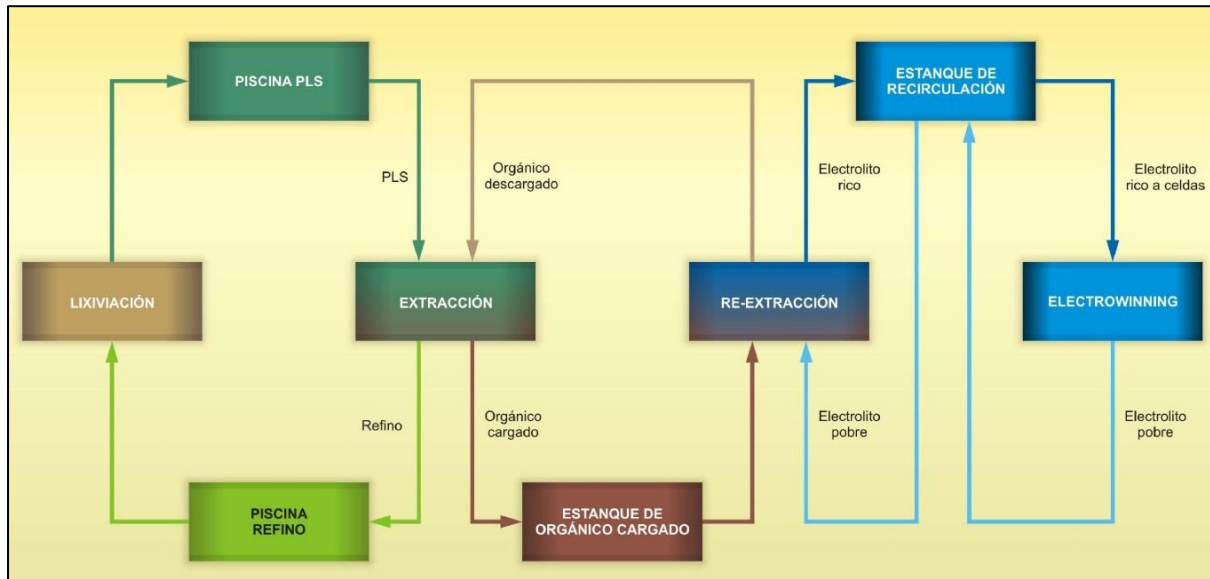


Figura 1. 25 Diagrama 3D Chancado Terciario Planta 2.

El tratamiento del mineral en el área de aglomeración y lixiviación se realiza en cuatro etapas conocidas como: sistema de aglomeración, sistema de transporte y apilamiento, sistema de pilas de lixiviación y sistema de piscinas. Usa como flujos auxiliares la energía eléctrica, agua y aire para los equipos.

33

de con cobre (PLS- Pregnant Leaching Solution) con contenido de 3,38g de Cu por litro de solución, y 5g de fierro total por litro de solución. Ésta solución es evacuada con un pH de 1,9 y a una temperatura aproximada de 11° Celsius, la misma será entregada al cliente interno que es el área de extracción por solventes.

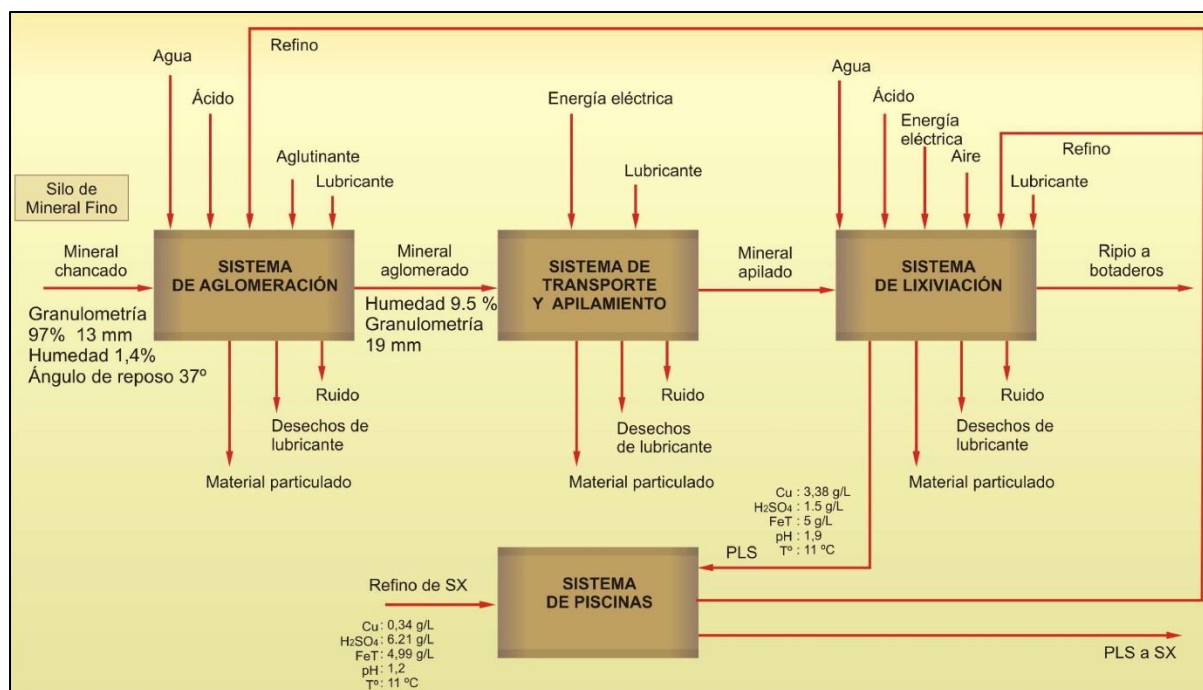


Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 26 Diagrama de Flujo Área Húmeda.

Para esto se cuenta con cuatro tambores aglomeradores los cuales juntan el mineral grueso al fino, con la ayuda de un aglutinante, facilitando así el paso de la solución acida a través del mineral apilado. El apilado se lleva a cabo por un apilador radial.

El sistema de lixiviación se encarga de la irrigación de estas pilas para disolver el cobre contenido en el mineral, este sistema comprende la preparación de las soluciones, bombeo de soluciones, tendido de tuberías e irrigación de las pilas.

Por último, la solución obtenida es colectada en las piscinas donde es bombeada al área de extracción por solventes donde se purificará la solución separando el cobre disuelto en la solución de otros elementos disueltos y estas soluciones desprovistas de cobre son nuevamente colectadas en el sistema de piscinas del área de aglomeración y lixiviación para ser utilizadas en el sistema de aglomeración. La solución que no ha alcanzado el contenido de 3,38g de Cu por litro de solución es denominada ILS (Intermediate Leaching Solution), y es almacenada en las piscinas de ILS para ser recirculada nuevamente a las pilas de lixiviación hasta obtener el contenido de cobre del PLS.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 1. 27 Diagrama de Flujo Aglomeración y lixiviación.

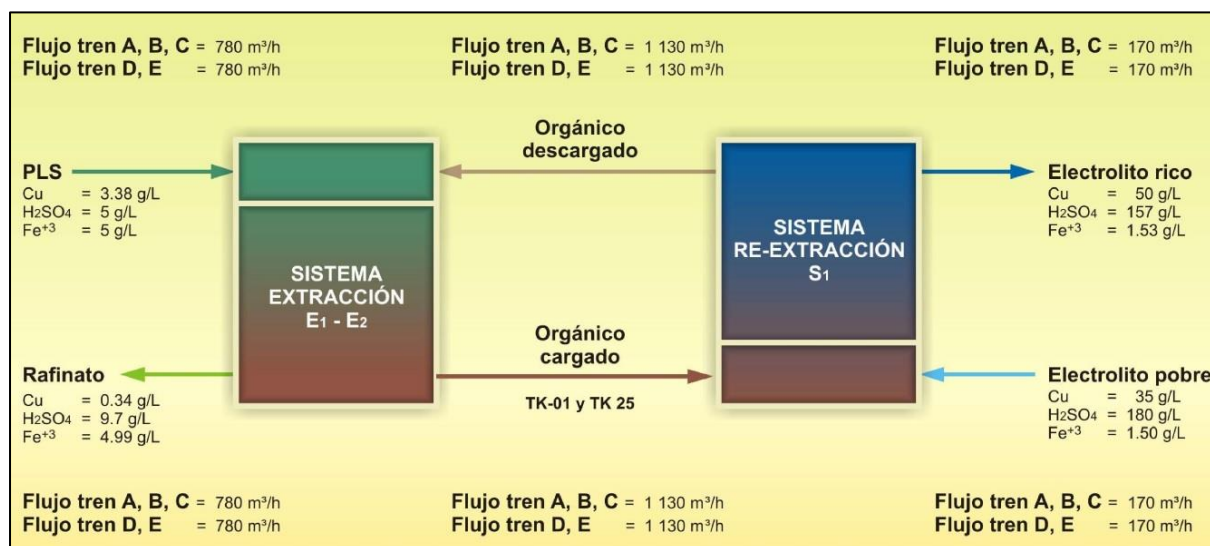
1.3.5 EXTRACCIÓN POR SOLVENTES (SX)

El área de extracción por solventes es una sección funcional del proceso de LIX-SX-EW, el proceso implica el paso del cobre, disuelto en forma de iones dentro de una fase acuosa hacia otra fase líquida, inmiscible con ella, conocida como fase orgánica. La solución acuosa impura conocida como PLS proveniente del sistema de lixiviación en pilas ingresa al área de SX con una concentración de Cu +2 de 3,38g/L y lo entrega al área de Tank Farm para su acondicionamiento, esta solución con alto contenido de cobre 50g/L denominado electrolito rico, es enviada al área de Electrowinning (EW).

La primera fase corresponde al sistema de extracción, donde el PLS que viene de la lixiviación con 3,38 g/L se contacta en contracorriente e íntimamente con un extractante disuelto en un diluyente (fase orgánica). La mezcla de las dos soluciones insolubles se llama emulsión o dispersión. Mientras el PLS y la fase orgánica se mezclan, la mayor parte del cobre se transfiere desde el PLS a la fase orgánica. Luego la emulsión se dirige hacia la sección del decantador del mezclador-decantador, donde se divide gradualmente en dos capas distintas: una capa de fase acuosa más pesada en el fondo y una capa más liviana en la superficie. La capa de fase acuosa, ahora denominada refino y que contiene aproximadamente 0,34 g/L Cu+2, recircula hacia la piscina de refino. La fase orgánica rica en cobre, ahora denominada orgánico cargado y que por lo general contiene 4,8g/L Cu+2, fluye hacia el tanque de fase orgánica cargada, ubicado en el área de Tank Farm, y de este último, hacia el mezclador-decantador de re-extracción.

La segunda fase es la etapa de re-extracción, el cual el orgánico cargado se mezcla con el electrolito pobre proveniente de las celdas de EW, vía tanque de recirculación lado electrolito pobre que contiene aproximadamente 35g/L de cobre formando una emulsión y bajo la

influencia de alto contenido de ácido, la mayor parte del cobre se transfiere desde la fase orgánica cargada hacia el electrolito. Luego la emulsión se dirige hacia la sección del mesclador decantador y nuevamente se divide en forma gradual en dos capas distintas. La capa de fase acuosa del fondo, ahora denominada electrolito rico que contiene aproximadamente 50g/L de cobre, se transfiere al área de Tank Farm para su acondicionamiento. La capa de fase orgánica en la superficie, ahora denominada orgánico descargado contiene aproximadamente 2,8g/L de cobre, se recircula para ser utilizada nuevamente en la etapa de extracción.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

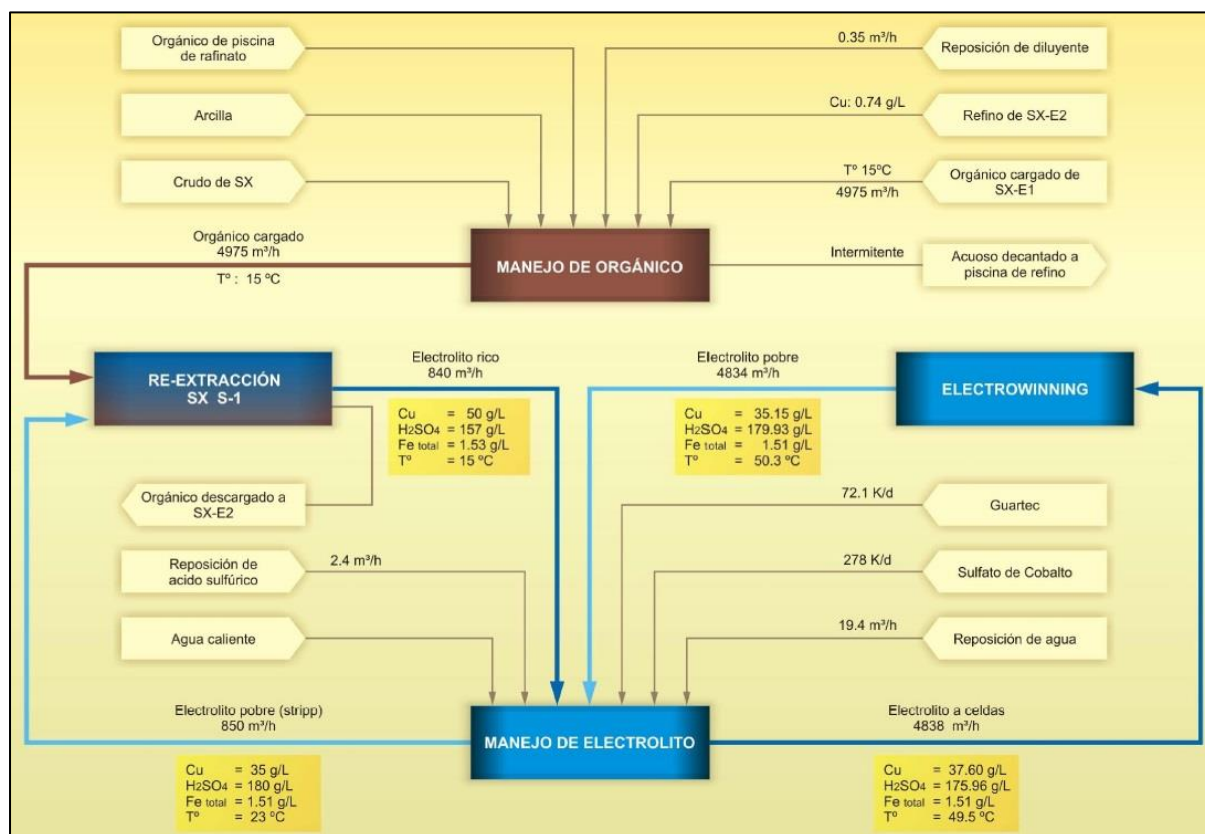
Figura 1. 28 Diagrama de Flujo Extracción Por Solventes.

1.3.6 TANK FARM

El sistema de Tank Farm mantiene las condiciones de operación adecuadas en el electrolito, y el orgánico permitiendo trabajar bajo los parámetros de diseño. La circulación y acondicionamiento del electrolito, el tratamiento del crud y la recuperación de orgánico son factores fundamentales para el buen desarrollo del proceso SX-EW de manera que se pueda obtener un cátodo de alta pureza y constante en el tiempo.

El sistema de manejo del electrolito rico proveniente de la etapa de re-extracción S1 fluye por gravedad hacia el tanque de alimentación a filtros desde donde es bombeado a 6 filtros de electrolito orgánico residual presente en el electrolito reteniéndolo en su parte superior. El electrolito filtrado ingresa a dos intercambiadores de calor (electrolito-electrolito) que trabajan en paralelo alcanzando una temperatura de 41,5°C, posteriormente pasan a dos intercambiadores de calor (electrolito-agua caliente) instalados en paralelo, la solución que sale de estos intercambiadores de calor electrolito rico con una temperatura de 47,5°C ingresa al tanque de recirculación donde se mezcla con el electrolito pobre que retorna de las celdas de la nave electrolítica. Al tanque de recirculación ingresa además de los siguientes flujos: agua de reposición, sulfato de cobalto y guartec, el electrolito rico acondicionado con una temperatura de 49,5°C es bombeado hacia las celdas electrolíticas.

En el sistema de manejo orgánico el crudo que se acumula en el decantador de la primera etapa de extracción E-1 es extraído por bombas de succión y tratados en tanques de tratamiento del crud junto con el orgánico recuperado de las piscinas de refino, para luego ser centrifugados y filtrados, el orgánico recuperado es bombeado al tanque de orgánico cargado. A este tanque ingresa también el orgánico cargado proveniente de la primera etapa de extracción E1, y se repone el diluyente. El orgánico cargado acondicionado es bombeado a la etapa de re-extracción S1 de extracción por solventes.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

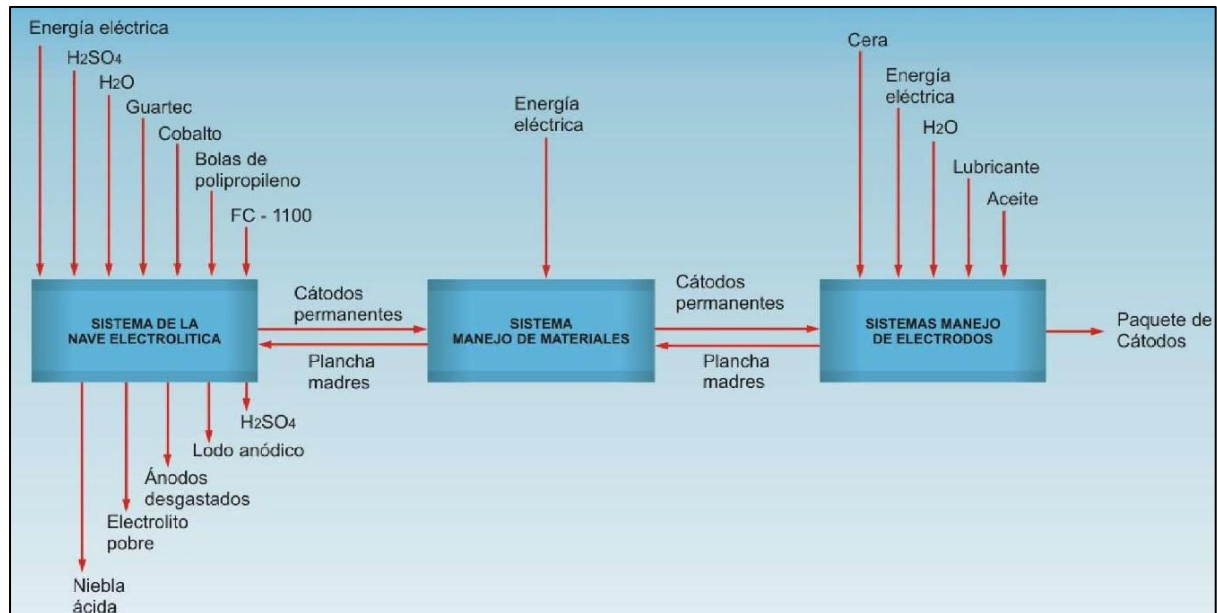
Figura 1. 29 Diagrama de Flujo Tank Farm.

1.3.7 ELECTROWINNING (EW)

En el área de Electrowinning se producen cátodos de cobre con una pureza de 99,99% de cobre y con un peso aproximado de 40Kg. El proceso por el cual se obtiene dicho producto es la electrolisis. Usa como flujos auxiliares energía eléctrica, agua, ácido sulfúrico y aditivo (Guartec Sulfato de Cobalto y FC 1100). Como salidas tenemos electrolito pobre, ácido sulfúrico, lodo anódico y ánodos desgastados.

La planta está diseñada para una producción nominal de 100.000 t/a de cátodos de cobre de ambas instalaciones tanto la existente como la nueva. El electrolito rico llega de la etapa de SX, con una concentración de cobre de 50g/L y concentración de ácido de aproximadamente 176g/L, en la zona de estanques se mezcla con el electrolito pobre que retorna de celdas con una ley de cobre de 35g/L y de ácido de 180g/L, bajando la concentración de cobre a 37,6g/L, con esta concentración ingresa a celdas a razón de un flujo constante de 11m³/hr y una

temperatura de 46-48°C. en dicha celda debido al proceso de electrolisis del cobre presente en la solución pasa a depositarse en forma metálica sobre planchas madre de acero inoxidable 316L, durante 7 a 9 días de depósito éstas son retiradas denominándose cátodos permanentes, para luego pasar a la etapa de lavado y despegue, donde se separa la plancha de cátodo de la plancha madre de acero, luego son muestreadas, apiladas y enzunchadas para su despacho.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 1. 30 Diagrama de Flujo Electrowinning.

CAPÍTULO 2: ESTADO ACTUAL DE LA CHANCADORA NORDBERG MP1000

2.1 FUNDAMENTO OPERACIONAL CHANCADORA MP1000

2.1.1 DESCARGA Y RECEPCIÓN DEL MINERAL

Los pórfidos cupríferos son esencialmente depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje. La primera zona corresponde a la zona de mineralización Gossan o sombrero de hierro en la parte superior (óxidos e hidróxidos de hierro) seguido en profundidad por una zona lixiviada (escaso contenido metálico), zona oxidada (minerales oxidados de cobre; crisocola, atacamita, malaquita), zona de enriquecimiento supergeno (sulfuros secundarios: Calcocita, Covelita), zona primaria o hipogena en profundidad (sulfuros primarios: Bornita, Calcopirita, Pirita).



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 2. 1 Pórfidos Cupríferos de Mineral.

En la mina Cerro Colorado el cuerpo del mineral está conformado de dos tipos principales de mineral. Estos son minerales de sulfuros y minerales de óxidos. Cerca del 67% del mineral es tipo sulfuro y 33% es de tipo óxido.

El mineral oxidado es aquel que tiene elemento valioso en forma de óxidos, poseen oxígeno en su composición. El mineral predominante es la Crisocola (CuSiO_3). Cobre soluble en ácido 70% de cobre total. Gravedad específica de 2,5 y contenido de humedad de 1- 4%.



Fuente: Google Imágenes

Figura 2. 2 Mineral Oxidado.

El mineral sulfurado se refiere a aquel que tiene el elemento valioso en forma de sulfuros, carecen de oxígeno en su composición. El mineral predominante es la Calcocita (Cu_2S). Gravedad específica de 2,5 y contenido de humedad de 1- 4%.



Fuente: Google imágenes
Figura 2. 3 Mineral Sulfurado.

La Ley de cobre es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra. Cuando se habla de una ley del 1% significa que en cada 100Kg de roca mineralizada hay 1Kg de cobre puro. La ley de cobre en CMCC es de 1,2%.

La forma más usual de determinar los tamaños de un conjunto de partículas es mediante el análisis granulométrico por una serie de tamices. Por este procedimiento el tamaño de partícula se asocia al número de aberturas que tiene el matiz por pulgada cuadrada.

Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Tamaño (mm)	% Passing	
	Promedio	Rango
1000	100	100
250	80	70 a 90
125	50	35 a 65
25	10	5 a 25

Tabla 2. 1 Porcentaje de Mineral Pasante por Medida de Tamiz.

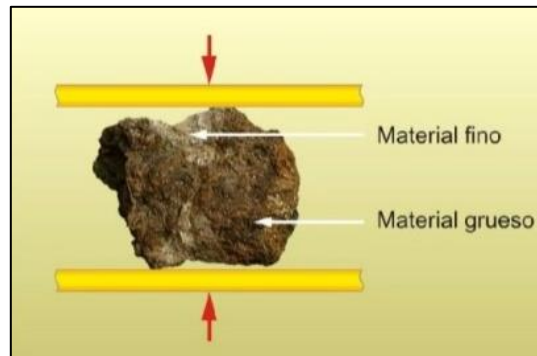
La capacidad viva es la cual el material almacenado en una tolva puede ser extraído por un alimentador sin dificultad.

2.1.2 CONMINUCIÓN

Es el termino general utilizado para indicar la reducción de tamaño de un mineral y que puede ser aplicado sin importar el mecanismo de fractura involucrado. Entre los equipos de reducción de tamaño se incluyen, entre otros, chancadoras, molinos rotatorios de varios tipos, etc.

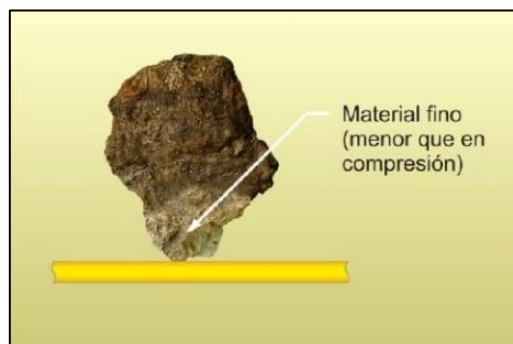
La fractura es la fragmentación de un cuerpo solido en varias partes, debido a un proceso de deformación no homogénea. Los métodos de aplicar fractura en un mineral son:

En la compresión la aplicación de esfuerzos es lenta. Normalmente se produce en máquinas de chancado en que hay una superficie fija y otra móvil. Da origen a partículas finas y gruesas. La cantidad de material fino se puede disminuir reduciendo el área de contacto utilizando superficies corrugadas.



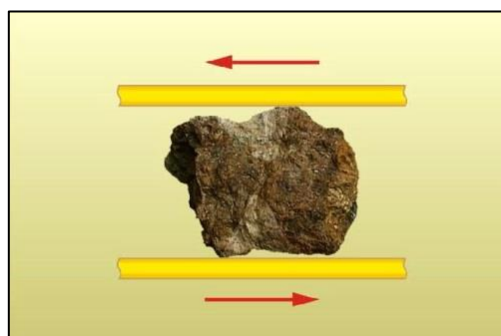
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 4 Compresión de Mineral.

El impacto es la aplicación de esfuerzos compresivos a alta velocidad. De esta manera la partícula absorbe más energía que la necesaria para romperse. El producto, normalmente, es muy similar en forma y tamaño.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 5 Impacto de Mineral.

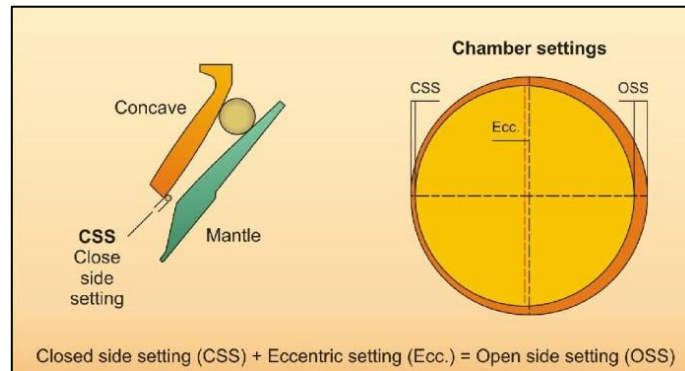
El cizalle ocurre como un esfuerzo secundario al aplicar esfuerzos de compresión y de impacto. Produce gran cantidad de finos, y generalmente, no es deseable.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 6 Cizalle de Mineral.

2.1.3 AJUSTE DEL SETTING

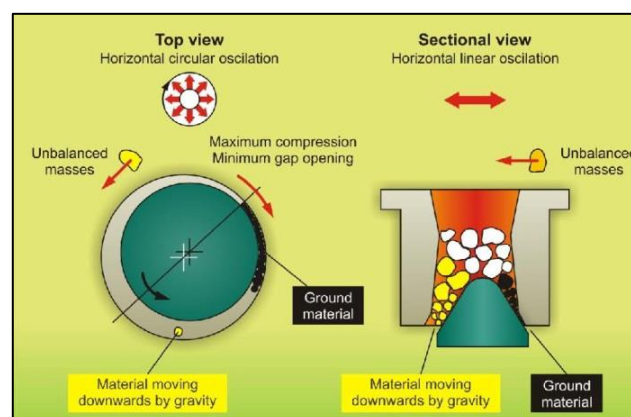
Ajuste del lado abierto (OSS – Open Size Setting) de la chancadora es la variable principal controlable por el operador de la chancadora. Un ajuste mayor aumentará la capacidad de tratamiento, pero también causará un aumento en el tamaño del producto, lo cual coloca más carga en el circuito de chancado, lo que puede convertirse en una sección limitante en la producción total de la planta.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 2. 7 Ajuste de la Chancadora.

El incremento del ajuste de la excéntrica (ECC – Eccentric Setting) semejante al ajuste lado cerrado (CSS – Closed Size Setting) puede tener alta capacidad, pero solamente con una descarga gruesa. Al decrecer el ajuste del lado cerrado puede mejorar la cubicidad, pero también puede incrementar el riesgo de compresión o atoro. El tamaño de descarga de la chancadora cónica es aproximadamente 70-80% < ajuste lado cerrado.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 2. 8 Ajuste de Chancadora y Movimiento de Excéntrica.

La distancia más cercana de la cabeza y el tazón en la boca más angosta entre las dos, es llamado el ajuste del lado cerrado (CSS) y limita cuan fino es el producto proveniente de la chancadora. Se presenta un CSS limitante, por debajo del cual la cabeza puede hacer contacto metal con metal con el tazón directamente, conduciendo a lo que se llama como rebote en anillo. Esto puede dañar la chancadora y el golpeteo fuerte puede ocasionar una alta vibración

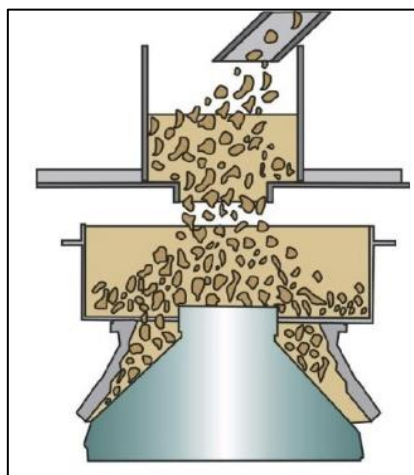
en la chancadora. Cuan más pequeño sea la fijación del CSS, más fino será el producto. Sin embargo, para lograr un producto más fino, la chancadora tiene que trabajar más con la roca, y se reduce la razón de producción de la chancadora.

El volumen del mineral que se puede pasar físicamente a través de la chancadora, puede limitar la capacidad de la chancadora, o puede estar limitada por la energía disponible de la chancadora si el mineral es duro y el ajuste es pequeño. Con un ajuste lado abierto mayor, la producción de la chancadora será más alta, pero el producto más grueso.

2.1.4 ALIMENTACIÓN DE LA CHANCADORA

Si la alimentación no está bien distribuida o si la cámara de chancado no se mantiene llena, habrá una carga desigual y un alto golpeteo sobre la cabeza de la chancadora, lo cual finalmente puede conducir a dañar la chancadora en casos extremos. En ese caso, es probable que el desgaste en los revestimientos sea también desigual, conduciendo a un mantenimiento mayor, y a una eficiencia y disponibilidad reducidas de la chancadora.

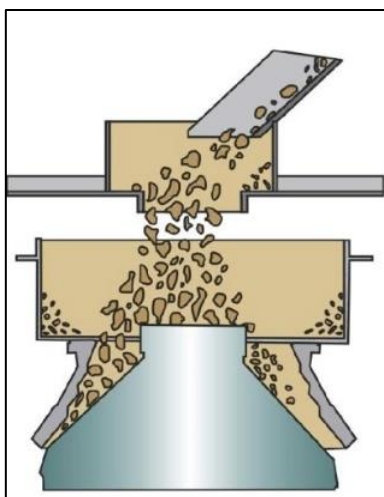
La operación más eficiente de la chancadora es alcanzada alimentando por ahogamiento. Esto significa mantener el nivel de alimentación en o por encima del plato distribuidor en la parte superior de la cabeza de la chancadora. Esto proporciona una distribución uniforme alrededor de la circunferencia de la chancadora y asegura una rotura máxima de piedra sobre piedra, así como asegura un uso completo del volumen de la chancadora. También proporciona una carga uniforme sobre el eje y bujes.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 2. 9 Método Correcto de Alimentación a la Chancadora.

Si la alimentación no está bien distribuida o si la cámara de chancado no se mantiene llena, habrá una carga desigual y un alto golpeteo sobre la cabeza de la chancadora, lo cual finalmente puede conducir a dañarla en casos extremos. Es ese caso, es probable que el desgaste en los revestimientos sea también desigual, conduciendo a un mantenimiento mayor, y a una eficiencia y disponibilidad reducidas.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 10 Método Incorrecto de Alimentación a la Chancadora.

El chute está demasiado bajo, el conducto de descarga es demasiado grande para dirigir el material al centro de la tapa de la estrella. La mayor parte de la alimentación caerá en el lado de la tolva de alimentación resultando una carga dispereja, con grandes oscilaciones en las lecturas de presión en el control Hydroset y con desgaste disperejo en la cámara de trituración.

2.1.5 RELACIONES ENERGÍA – TAMAÑO DE PARTÍCULA

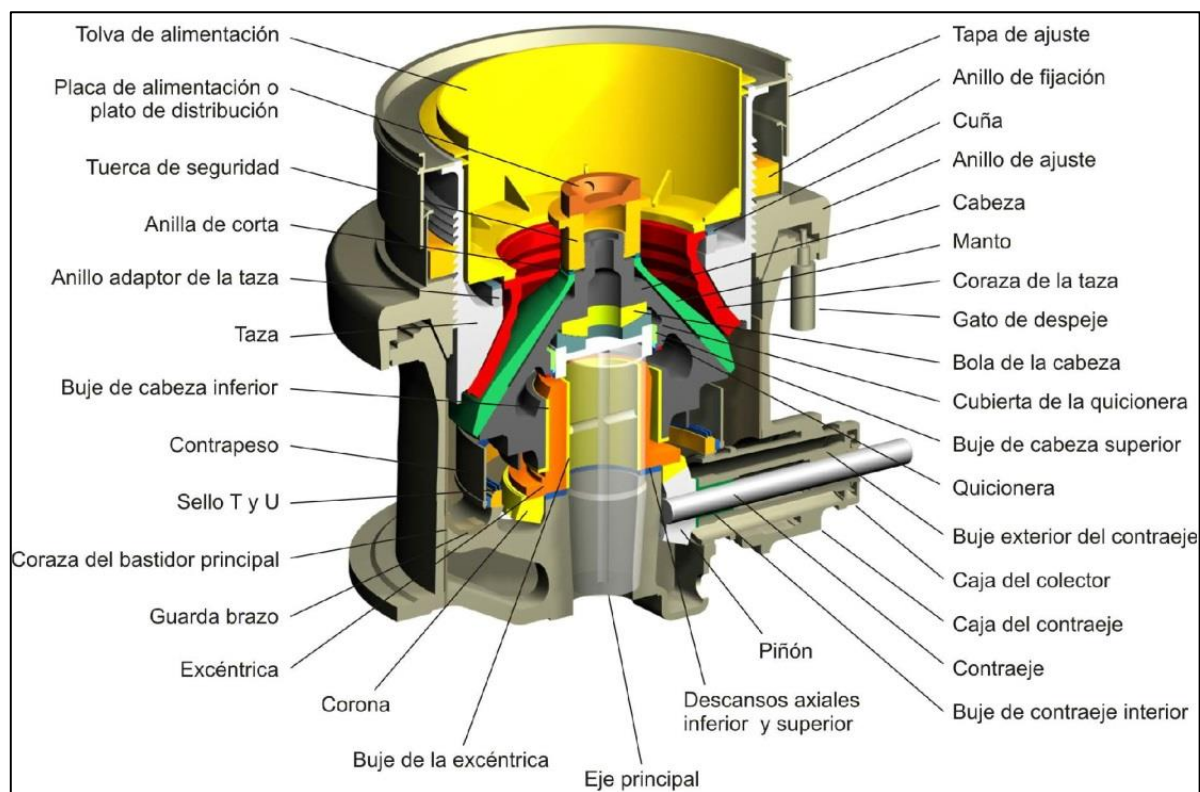
Cuando la partícula es grande, la energía para fracturar cada partícula es alta, aunque la energía por unidad de masa es pequeña. A medida que disminuye el tamaño de la partícula, la energía por unidad de masa necesaria para fracturarla aumenta con mayor rapidez. Consecuentemente, las chancadoras tienen que ser grandes y estructuralmente fuerte mientras que los molinos deben ser capaces de dispersar energía sobre una gran área.

Etapa	Sub etapa	Rango de tamaño	Consumo de energía (Kwh/t)
Chancado	Primario	100 a 10 cm. 	0,3 a 0,4 
	Secundario	10 a 1 cm 	0,3 a 2 
	Terciario	1 a 0,5 cm 	0,4 a 3 

Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Tabla 2. 2 Relación de Energía Según Tamaño de Partícula.

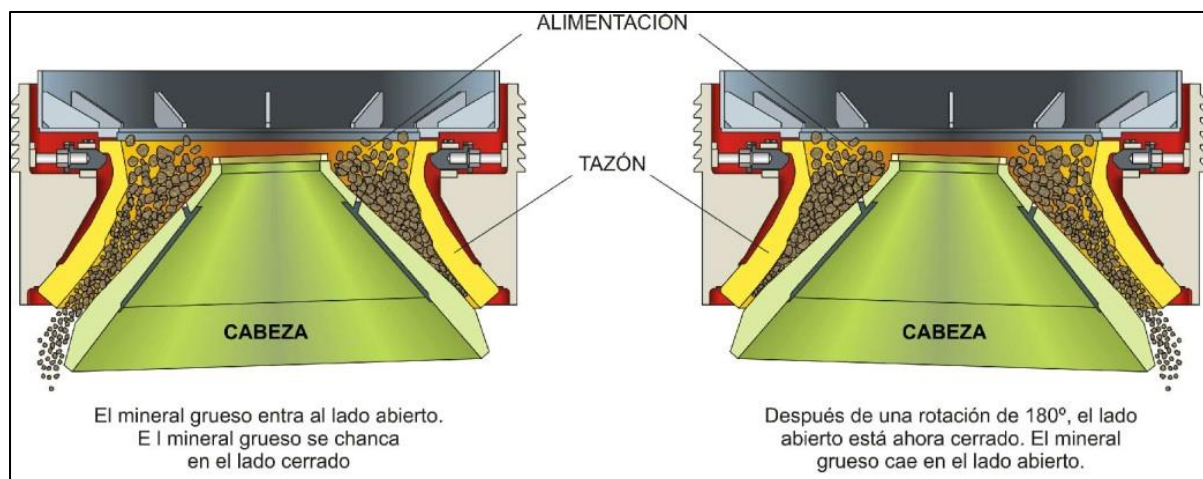
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA CHANCADORA NORDBERG MP1000

2.2.1 PARTES PRINCIPALES



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 2. 11 Componentes Principales Chancadora MP1000.



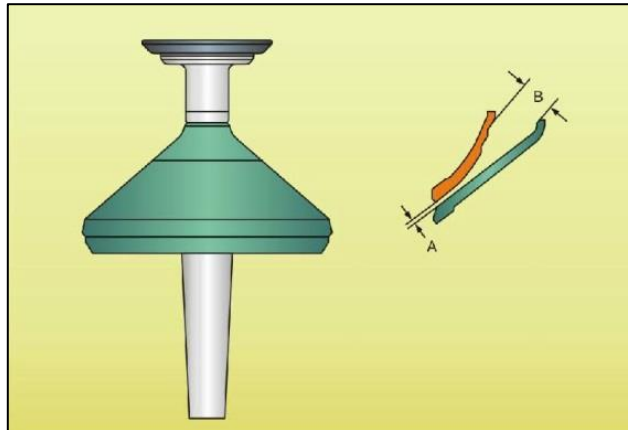
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

Figura 2. 12 Diagrama de Funcionamiento del Chancado.

2.2.2 CHANCADORA SECUNDARIA

La chancadora secundaria es un equipo electromecánico NORDBERG MP1000 tipo Cónico Estándar de 7' 10 3/16" (2392,36mm). La longitud de 7' 10 3/16" corresponde al diámetro de la base del manto el cual está ubicado en el edificio de chancado secundario después del harnero secundario. Con capacidad nominal de 1100 TPH y de diseño de 1270 TPH. La chancadora

secundaria reduce el mineral subproducto de la clasificación del harnero secundario de tamaños mayores comprendidos entre 12,7 - 152,4mm a tamaños menores de 44,6 mm. El setting lado abierto es de 44,6mm.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 13 Eje Principal y Manto MP1000 Estándar.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
Figura 2. 14 Taza MP1000 Estándar.



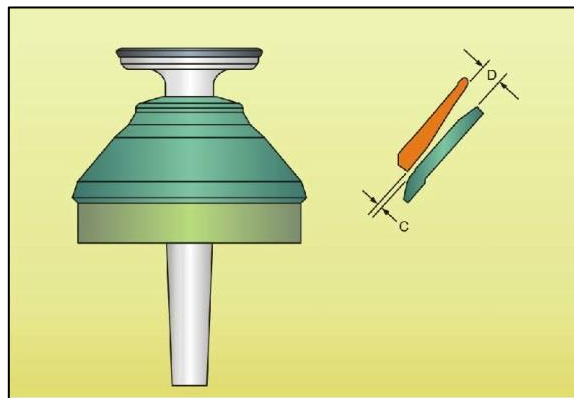
Fuente: Propia (Práctica Profesional).
Figura 2. 15 Coraza de la Taza MP1000 Estándar.

Con un motor de 1000HP accionado a través de un conjunto de poleas y correas que hace girar el contraeje que le transmite movimiento rotatorio a una excéntrica a través de un piñón de transmisión mecánica. La excéntrica rotaria acoplada al eje principal a través de un buje, actúa como una leva y mueve el manto de la chancadora a través de un patrón giratorio excéntrico desplazándose hacia el cóncavo de la taza, luego se aleja de este en ciclos reiterados; la chancadora tiene una abertura mínima que se llama setting ajuste lado abierto (OSS) de (44,6mm) que determina el tamaño de mineral que debe pasar por la chancadora.

El material es alimentado a la chancadora secundaria por la parte superior a la araña que gira con el manto y distribuye la alimentación alrededor de la cámara de chancado. El mineral cae en la cavidad entre el cóncavo de la taza o tazón y el manto, y es apretado y fracturado durante la acción giratoria en que el manto está cerca del revestimiento del cóncavo. A medida que el manto se aleja, el material fracturado más fino se deposita en el cóncavo, donde la abertura es más angosta. El material se rompe más, a medida que el manto retrocede.

2.2.3 CHANCADORA TERCIARIA

Las dos chancadoras terciarias NORDBERG MP1000 tipo Cabeza Corta son equipos electromecánicos tipo cónico de 7' 8 5/8" (2352,675mm). La longitud de 7' 8 5/8" corresponde al diámetro de la base del manto el cual está ubicado en el edificio de chancado después de los feeder. Con capacidad nominal de 550 TPH y de diseño de 630 TPH. Las chancadoras terciarias reducen el tamaño de mineral subproducto de la clasificación del harnero terciario con tamaños mayores comprendidos entre 13-44mm a tamaños menores de 19,4mm. El setting lado abierto es 19,4mm.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 16 Eje Principal y Manto MP1000 Cabeza Corta.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
Figura 2. 16 Taza MP1000 Cabeza Corta.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
Figura 2. 17 Coraza de la Taza MP1000 Cabeza Corta.

2.2.4 SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHANCADORAS MP1000

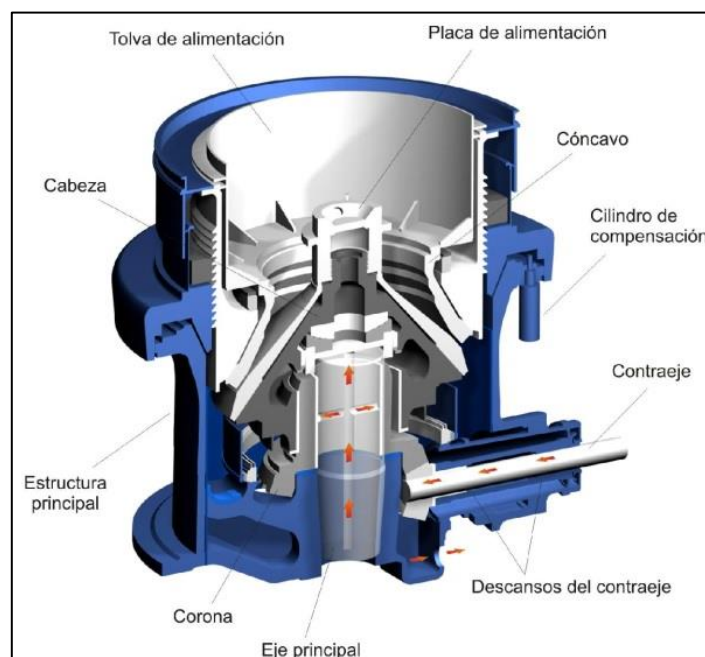
El sistema de lubricación es un conjunto de componentes mecánicos y eléctricos cuya función principal es lubricar y refrigerar las partes móviles internas de las chancadoras como lo son el conjunto de la excéntrica, piñón y contraeje. También permite controlar la temperatura del aceite de retorno de la chancadora en un rango de 38°C a 54°C, por medio de un sistema de refrigeración compuesta por un intercambiador de calor con aire y sistema de calentamiento compuesto de un calefactor (Heater) inmerso en el tanque de aceite.

El aceite se bombea desde el tanque de almacenamiento con capacidad de 1893 L y enviado hacia los filtros de aceite luego pasa por los intercambiadores de calor donde el aceite es enfriado por el aire de circulación y enviado a la chancadora por medio de dos líneas separadas de alimentación y retorna al tanque de almacenamiento por medio de gravedad. Una de las cañerías conduce el aceite pasando por el pistón, el plato y lubrica estas superficies. Se utiliza un motor eléctrico que funciona a 347RPM a 50Hz de 30HP, y debe operar con una presión de 20-70(Psi).



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
 Figura 2. 18 Sistema de Lubricación MP1000.

Luego el aceite se fuerza hacia fuera a través de ranura radiales en el contrapeso superior e ingresa dentro de la cavidad del protector contra polvo a razón de 757Lt/min a una presión de 1,4-4,8 Bar. Parte de este aceite fluirá hacia abajo, entre el excéntrico y el buje del cuerpo inferior, uniéndose al aceite que está ingresando a la chancadora a través del cuerpo inferior, por la otra línea de alimentación continúa hacia abajo y fluye a través de agujeros en el protector contra polvo, sobre el piñón y el engranaje uniéndose al otro aceite en el sumidero y volviendo a la reserva, fluyendo por gravedad.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
 Figura 2. 19 Recorrido Interno de Lubrificante en Chancadora Mp1000.

La función de los filtros de aceite es retener los contaminantes del aceite de lubricación, auto-ventilado por medio de una manguera (de pequeño diámetro) hacia el estanque con el objetivo de eliminar el aire atrapado al interior del conjunto de filtros. Los filtros utilizados tienen una abertura de 50 μM . Al momento de cambiar los elementos del filtro de aceite hay que tener la certeza de remover los sellos viejos del elemento, si no se sacan los sellos viejos en el interior del filtro, al instalar los elementos nuevos, estos pueden resultar dañados.

Se sabe cuándo cambiar los filtros, gracias a la ayuda de un manómetro diferencial montado en la caja del filtro. Este manómetro mide la diferencia de presiones en la entrada y salida del filtro. Cuando el indicador llega a 1,7BAR, se debe reemplazar los filtros tipo cartucho.

En cuanto a la contaminación del aceite, si en un periodo de dos a cuatro semanas, se observa un aumento inusual de cualquiera de los contaminantes que se enumeran en la siguiente tabla, se debe verificar la chancadora para determinar la causa probable (si se trata de contaminantes ferrosos o no metálicos, esto puede indicar que la causa es un contacto metálico interno o una infiltración de polvo o roca).

En todas las chancadoras que estén sufriendo un alto desgaste en los bujes, de la cubierta de la quicionera o de los sellos, un análisis de aceite lubricante ayudará a indicar la causa posible del desgaste (presencia de contaminantes ferrosos, metálicos o no metálicos).

Fuente: BHP CERRO COLORADO, (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

CONTAMINANTE	ACEPTABLE	ALTO
COBRE (Cu)	<100 P.P.M	>210 P.PM
ALUMINIO (Al)	<5 P.P.M	>10 P.PM
HIERRO (Fe)	<20 P.P.M	>50 P.PM
SÍLICE (Si)	<25 P.P.M	>65 P.PM
CROMO (Cr)	<0,5 P.P.M	>1,5 P.PM
PLOMO (Pb)	<70 P.P.M	>190 P.PM
NIVEL DE CONTAMINACIÓN	<0,1%	>0,2%
AGUA	<0,1%	>1%

Tabla 2. 3 Parámetros de Contaminación para el Lubricante.

El estanque del aceite lubricante contiene un tamiz de inspección, compuesto por una malla filtrante de 2 μM y está ubicada bajo la tapa de inspección del estanque. La malla debería ser inspeccionada a diario.

2.2.5 ACEITE LUBRICANTE UTILIZADO EN LA CHANCADORA MP1000

El aceite a utilizar debe ser industrial de alto grado con base de parafina (no naftalina) de viscosidad especificada, con película de alta resistencia, alta adherencia a superficies metálicas y propiedades físicas y químicas estables. El lubricante debe tener también propiedades de presión extrema (P.E) tales como azufre y fosforo u otros agentes antisoldadura que sean compatibles con los metales utilizados en las chancadoras (bronce, hierro fundido y acero). Además, el lubricante debe tener un índice de alta viscosidad, capacidad de separación rápida del agua, resistencia a la formación de espuma, ofreceré cierto grado de protección ante la herrumbre y la corrosión, resistir la oxidación y tener aditivos que eviten el desgaste. Los lubricantes P.E tienen además puntos de derrame mucho más bajos que el aceite industrial común y, por lo tanto, vale la pena pagar su costo levemente más alto.

El aceite adecuado que debe usarse es ISO grado 150, cumpliendo con la clasificación AGMA 4EP. Con viscosidad de 135-165 cSt (centiStokes) a 40°C y 13 cSt o mayor a 100°C. Además, el lubricante debe contar con un índice de viscosidad de 90 o superior.

En específico, las chancadoras MP1000 usan el lubricante MOBILE SPARTAN EP 150, que cumple con las normas AGMA 9005-E02-EP, DIN 51517-3:2009-06 e ISO L-CKD (12925-1:2018). El cambio de lubricante se debe efectuar según manual de la chancadora cada 2000Hrs de operación de ser necesario, es decir, si el lubricante se encuentra contaminado.

A continuación, se muestra las propiedades y especificaciones:

Fuente: [Spartan EP 150 \(mobil.com.mx\)](http://Spartan EP 150 (mobil.com.mx))

Propiedad	150
Grado	ISO 150
Corrosión de la tira de cobre, 3 h, 100 C, Clasificación, ASTM D130	1B
Densidad a 15,6 C, kg/l, ASTM D4052	0,89
Propiedades de EP, Timken OK Load, lb, ASTM D2782	65
Emulsión, tiempo hasta 37 ml de agua, 82 C, min, ASTM D1401	30
Rayado FZG, A/16,6/90, etapa de falla, clasificación, DIN 51354 (mod)	
Rayado FZG, A/8,3/90, etapa de falla, clasificación, DIN 51354	12+
Desgaste abrasivo FZG, etapa de carga de falla, A/8.3/90, ISO 14635-1	
Punto de inflamación, copa abierta Cleveland, °C, ASTM D92	230
Prueba de presión extrema de cuatro bolas, índice de desgaste de carga, kgf, ASTM D2783	47
Prueba de presión extrema de cuatro bolas, Carga de soldadura, kgf, ASTM D2783	200
Viscosidad cinemática @ 100 C, mm ² /s, ASTM D445	14,7
Viscosidad cinemática @ 40 C, mm ² /s, ASTM D445	150
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-24
Características de prevención de la herrumbre; procedimiento B, ASTM D665	PASA
Índice de viscosidad, ASTM D2270	97

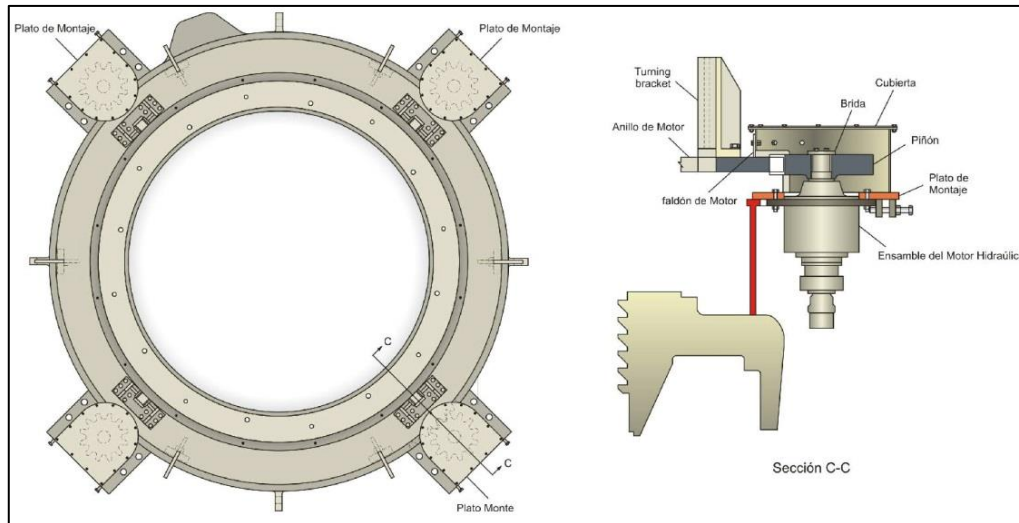
Tabla 2. 4 Propiedades del Lubricante.

2.2.6 SISTEMA DE AJUSTE DE LA CHANCADORA MP1000

Es un mecanismo hidráulico de sujeción y ajuste, que regula la abertura de la chancadora y permite ajustar la luz de salida de chancadora (Setting); de igual forma nos proporcionara el tamaño del mineral chancado. El sistema del Hidroset tiene un motor de 50HP con una bomba.

Cumple con la finalidad de elevar o bajar el pistón y de ajustar la chancadora regulando la abertura entre el manto y el cono de la chancadora para así obtener el tamaño requerido de mineral para el siguiente proceso.

La regulación del setting del lado cerrado de la chancadora se logra rotando el conjunto completo del tazón por medio del anillo de regulación roscado. El conjunto del tazón es rotado por motores hidráulicos para trabajo pesado los cuales tienen piñones que se acoplan al anillo conductor del tazón. Los motores hidráulicos también pueden rotar el tazón completamente fuera del anillo de regulación a velocidades mayores para cambiar los revestimientos.

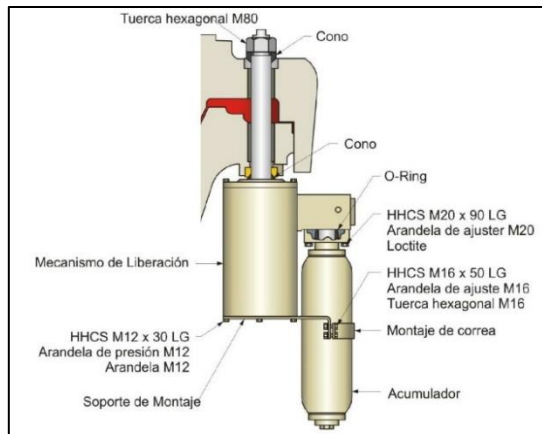


Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 20 Sistema de Ajuste de la Chancadora MP1000.

El movimiento rotatorio de la cabeza de la chancadora tritura el mineral entre el revestimiento de la cabeza (o manto) y el tazón. El sistema del anillo de fijación roscado incluye un anillo de fijación activado por cilindros de fijación hidráulica para bloquear el paso evitando que el tazón gire mientras la chancadora esté operando. El revestimiento del tazón de acero al manganeso fundido está retenido mediante cuñas de apriete automático.

2.2.7 SISTEMA DE ALIVIO DE MATERIAL INCHANCABLE

Se disponen de 8 cilindros hidráulicos de despeje para liberar material atrapado con acumuladores de nitrógeno para la protección contra la sobre carga y permite que se eleve el conjunto completo del tazón cuando el material no triturable tal como el metal atrapado ingrese a la cavidad de chancado. El tazón es adaptado con sensores de vibración para detectar el movimiento del tazón. También se disponen de cilindros hidráulicos de elevación para elevar el tazón y despejar una cavidad llena de la chancadora.



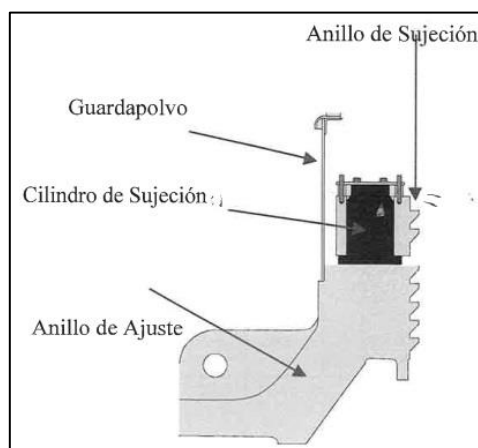
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 21 Detalle Cilindro Hidráulico.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
Figura 2. 22 Cilindros Hidráulicos.

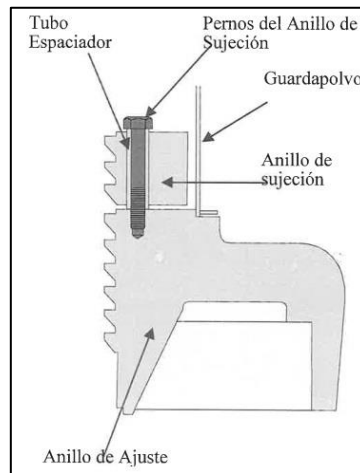
2.2.8 SISTEMA DE SUJECIÓN DE LA TAZA

Este sistema consta de múltiples cilindros de sujeción de la taza para mantener la taza apretada al anillo de ajuste. La chancadora cuenta con 16 cilindros de sujeción de la taza los que actúan con presión de aceite entre 165-193 (bar).



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 23 Cilindros Hidráulicos de Sujeción.

Además, cuenta con 8 pernos en el anillo de sujeción, los cuales sirven como tope cuando el sistema de sujeción de la taza es accionado automáticamente por el sistema.



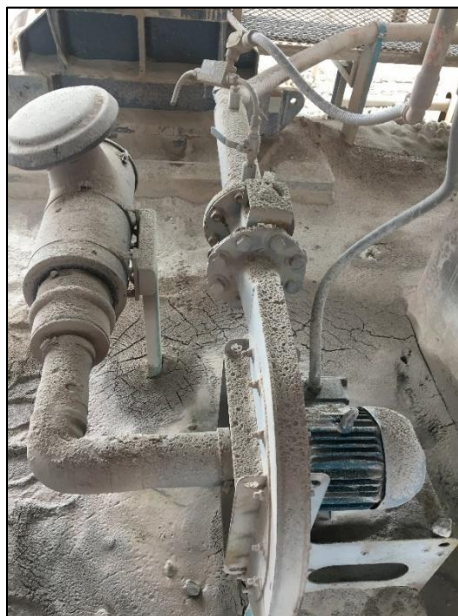
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 24 Pernos del Anillo de Sujeción.

2.2.9 SISTEMA DE VENTILADOR SOPLADOR

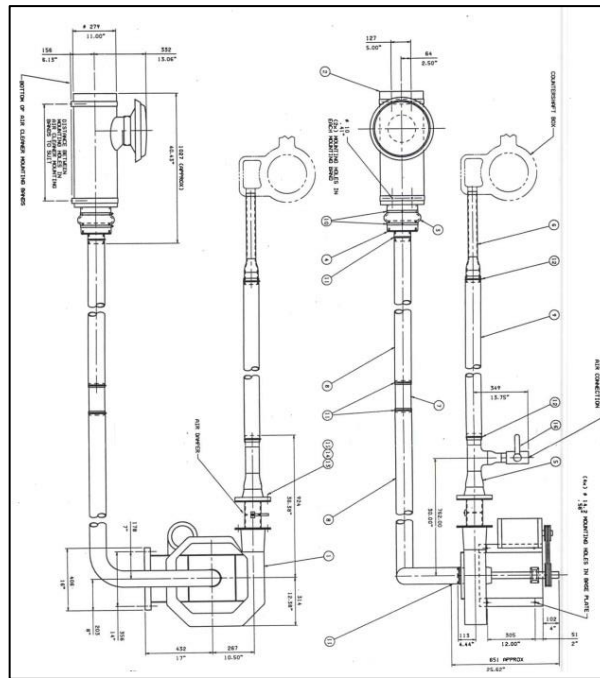
El sistema de soplado de las chancadoras MP1000 tienen la función de inyectar constantemente aire al interior del equipo, con la finalidad de evitar el ingreso de alguna partícula externa que pueda dañar o afectar el normal funcionamiento de los sellos y los cojinetes, y así minimizar el desgaste de los cojinetes.

El ventilador soplador es accionado por un motor eléctrico trifásico de 2880 RPM, 380V de 50 Hz con 3HP de potencia y 2 polos.

El ventilador soplador AMERICAN FAN modelo 1N-048-18.5N inyecta un caudal de 0,2 m³/s a una presión de 0,65 PSI. Mediante un filtro DONALDSON P191280, limpia el aire que contiene partículas de polvo en suspensión. El diámetro externo es 324 mm, el diámetro interno es 212 mm, el largo 660 mm, con una capacidad de saturación de 15000 gramos de polvo.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
Figura 2. 25 Sistema Ventilador Soplador.

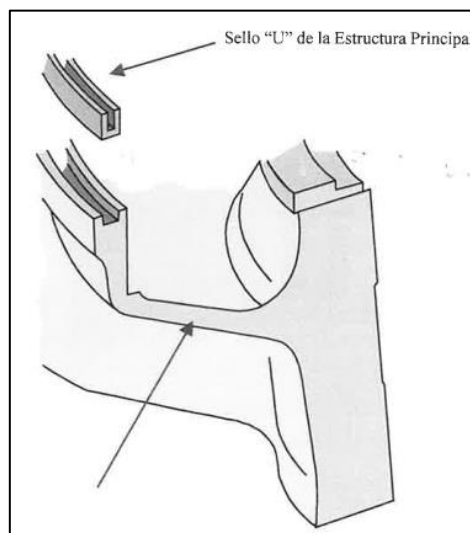


Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 26 Plano Sistema Ventilador Soplador.

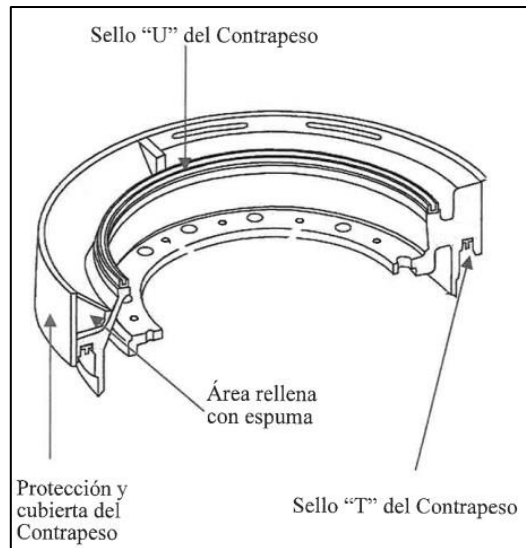
2.2.10 CONJUNTO DE SELLOS “T” y “U”

Estos sellos mecánicos son utilizados generalmente en sistemas hidráulicos donde cumplen una serie de funciones. Los sellos deben mantener fluido hidráulico y no deben permitir ninguna fuga, deben impedir la penetración de partículas sólidas y líquidas, y también debe mantener la presión correcta del sistema hidráulico.

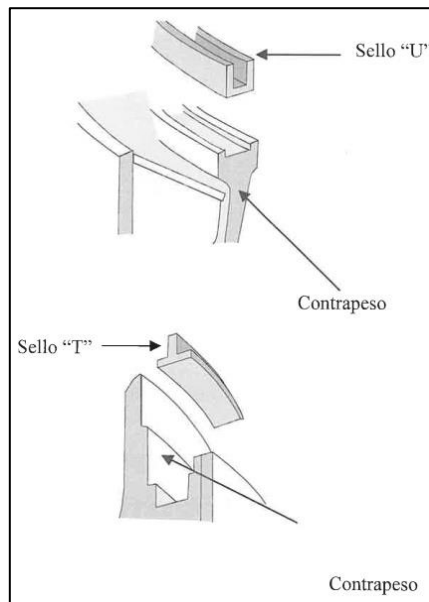
Los sellos son fabricados en poliuretano y en la chancadora MP1000 vienen dos juegos de sellos hidráulicos. Uno que se sitúa entre la estructura principal y el contrapeso, y el otro entre el contrapeso y la cabeza de la chancadora.



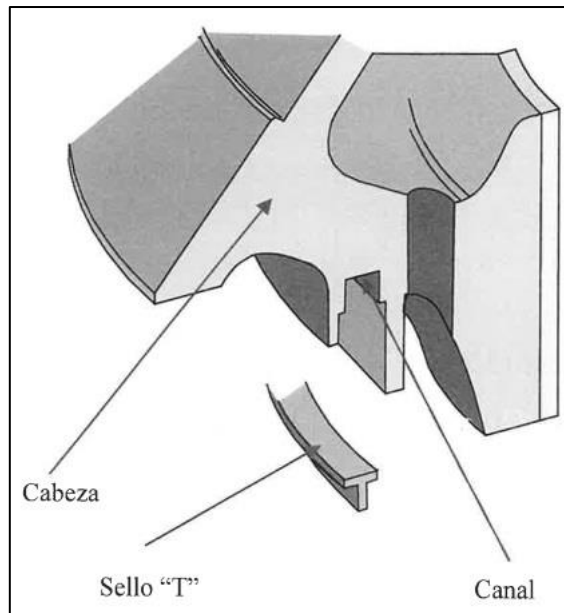
Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 27 Sello de la Estructura Principal.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
 Figura 2. 28 Sellos del Contrapeso.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
 Figura 2. 29 Sellos Del Contrapeso.



Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
Figura 2. 30 Sellos de la Cabeza Chancadora.

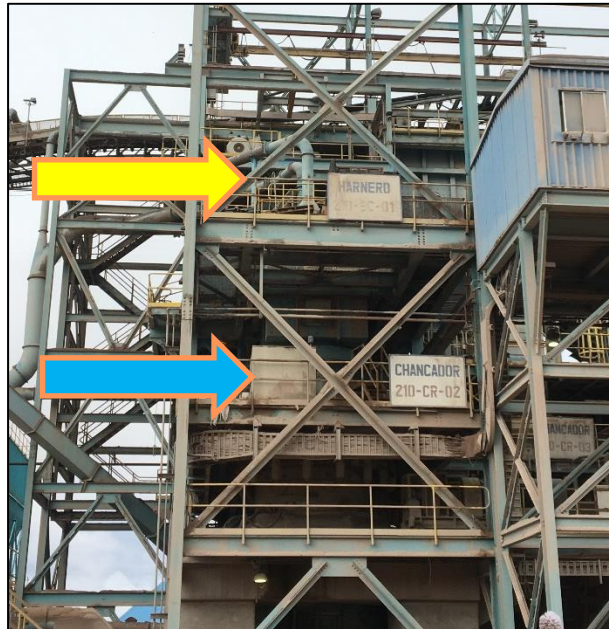
2.3 CONTEXTO OPERACIONAL

Para fines de este informe, el estudio se realizará en la planta N°2, en los sistemas de chancadoras secundaria y terciarias, ya que las tres chancadoras corresponden a equipos NORDBERG MP1000 instalados en el segundo nivel del mismo edificio de operación y dispuestos en línea.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
Figura 2. 31 Disposición de las Chancadoras MP1000.

Dentro de este edificio, en el tercer nivel existe el proceso de Harneado Scalping, por lo tanto, existe una gran cantidad de partículas de polvo fino (<PM10) que cae a los pisos inferiores contaminando directamente los filtros del sistema de soplado de la chancadora.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
 Figura 2. 32 Edificio Chancado Secundario y Terciario.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
 Figura 2. 33 Ventilador Soplador Expuesto a Mineral Fino.

Demasiado polvo en el ambiente ocasiona la obstrucción de los filtros de la sopladora de aire introducido al sistema, generando poca o nula presión positiva hacia el interior de las chancadoras Nordberg Mp 1000. También, debido a la presión que ejerce el moto-ventilador puede romperse el filtro de aire, e ingresar con todo el material de polvo fino que ocasionó la saturación de este mismo.

Se presenta en el siguiente esquema un análisis causa raíz o diagrama de Ishikawa con el fin de visualizar las posibles causas que generan la contaminación del lubricante.

A continuación, una tabla con posibles causas, síntomas y correcciones que complementa al diagrama de Ishikawa:

Fuente: Propia

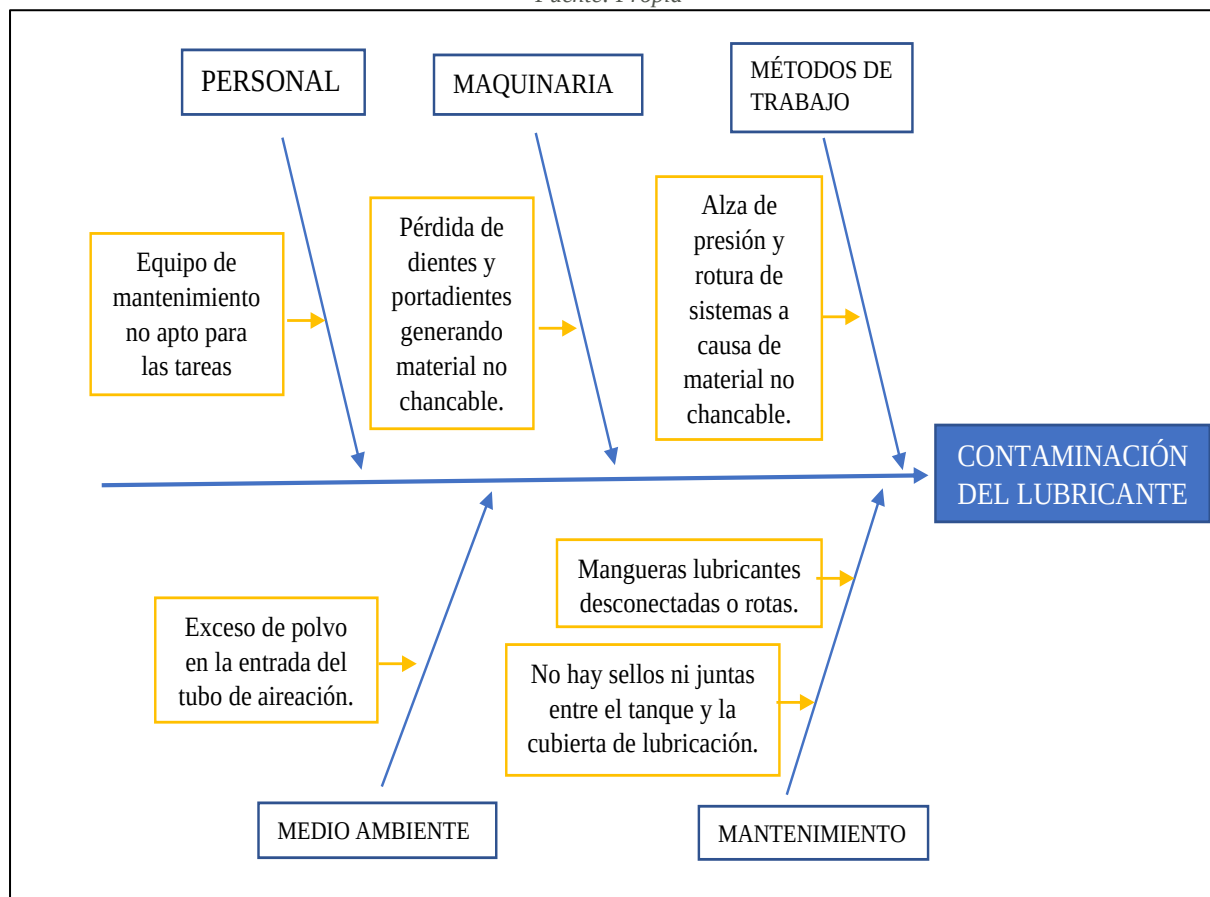


Diagrama 2. 1 Diagrama de Ishikawa.

Fuente: BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.

PROBLEMA DE LA CHANCADORA	CAUSAS POSIBLES	CORRECCIONES
Entra polvo y suciedad al sistema de lubricacion	1. El ventilador soplador de la caja del contraeje no funciona.	1. Verificar los motores del ventilador soplador .
	2. El tubo de aireación conectado a la caja del contraeje, al ventilador soplador o al tanque de aceite no funciona adecuadamente.	2. Limpiar Tubos de aireación.
	3. La polea de la trituradora arremolina el polvo y lo arroja hacia el tubo de aireacion del ventilador soplador.	3. Usando la manguera, ubique el tubo de aireación del ventilador soplador en otra zona, alejandolo de la polea de la chancadora.
	4. No hay sellos ni juntas entre el tanque del aceite y la cubierta de dicho tanque.	4. Reemplace los sellos o juntas.
	5. La manguera que va del ventilador soplador a la caja del contraeje esta rota o desconectada.	5. Verifique la manguera y las conexiones.
	6. La manguera o la conexión del tubo de aireación está rota o desconectada.	6. Verifique la manguera y las conexiones.

Tabla 2. 5 Problemas y Correcciones en las Chancadoras.

Lo que se quiere evitar a cabalidad es la presencia de partículas sólidas al interior de la chancadora, para reducir al máximo el cambio de aceite ISO 150 y los filtros del sistema de lubricación y presurización de aire.

CAPÍTULO 3: ACCIONES CORRECTIVAS

3.1 FUNDAMENTO DE ACCIONES CORRECTIVAS

En este capítulo, se expondrán las acciones correctivas para incorporar en el funcionamiento de las chancadoras NORDBERG MP1000. Estas mejoras se centran en alargar la vida útil del aceite lubricador ISO 150 utilizado por las chancadoras Nordberg Mp 1000, para disminuir los costos en cuanto a cambios de aceite lubricante y piezas internas de desgaste interno.

Más del 70% de todas las fallas de los sistemas hidráulicos y un porcentaje no menor en sistemas de lubricación son causadas por contaminantes en el fluido. Incluso cuando no hay fallas inmediatas, niveles altos de contaminación pueden disminuir en gran medida la eficiencia de la operación.

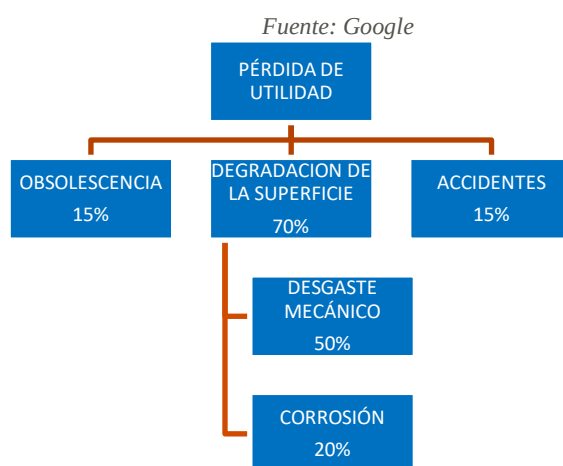


Diagrama 3. 1 Pérdida de Utilidad.

En mantenimiento para evaluar la condición de un equipo existen distintas formas de realizar diagnósticos correspondientes al mantenimiento basado en la condición (BMC). Estas técnicas se subdividen en: análisis a través de instrumentos en línea, análisis mediante instrumentos fuera de línea, inspecciones sensoriales detalladas e inspecciones conductivas.

Para fines del presente trabajo se utilizó inspecciones conductivas o rondas de verificación de operaciones, las cuales se realizan una o más veces en el turno. Estas rondas de verificación de operaciones se realizan con el personal que se mantiene dispuesto en la planta.

Los resultados arrojados se evidencian en las siguientes imágenes.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).

Figura 3. 1 Concentración de Material Fino en Ventilador Soplador y Filtro de aire.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
 Figura 3. 2 Filtro de Aire Saturado con Material Fino.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
 Figura 3. 3 Porta Filtro de Aire con Material Fino en el Interior.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
 Figura 3. 4 Porta Filtro de Aire con Material Fino en el Interior.



Fuente: Propia (Práctica Profesional).
 Figura 3. 5 Porta Filtro de Aire con Material Fino en el Interior.

En las imágenes anteriores se puede apreciar la presencia de material particulado fino que se encuentra en el ingreso de los filtro de aire de las chancadoras secundarias y terciarias Nordberg Mp 1000 en el segundo nivel del edificio planta 2, debido al trabajo del harnero que se encuentran en el tercer nivel.

Para contrarrestar en cierta medida lo anterior, en primer lugar, se incorporará en el diseño un equipo de microfiltrado de aceite móvil con temporizador. En segundo lugar, se calculará y diseñará un nuevo sistema de doble filtrado y tuberías que alimentan los ventiladores sopladores de las chancadoras secundarias y terciarias Nordberg Mp 1000 de la planta n°2.

3.2 EQUIPO DE MICROFILTRADO

La unidad portátil de microfiltrado es la manera ideal y ecológica de transferir aceite hidráulico nuevo a un estanque o limpiar los aceites ya contaminados, lo que extenderá la vida útil de sus circuitos hidráulicos y de los aceites utilizados.

El carro se conecta al estanque mediante mangueras y filtra el aceite, retornándolo nuevamente al estanque. Se recomienda microfiltrar el aceite nuevo ya que este trae impurezas por su proceso de fabricación. La contaminación proviene del proceso de mezclado y almacenamiento de los aceites fabricados.

El equipo permite filtrar contaminantes de modo de alcanzar grados de limpieza necesarios para el buen funcionamiento de las chancadoras. Permite filtrar distintas granulometrías solo cambiando el elemento filtrante de gran capacidad.

Los valores de los caudales de alimentación y retorno suelen ser de 20 L/min. Teniendo en consideración que el estanque de aceite del sistema de lubricación de las chancadoras Mp1000 es de 1893 L, la filtración completa del aceite tomaría alrededor de 95 minutos.



Fuente: Google Imágenes

Figura 3. 6 Carro de Microfiltrado de Aceite.

3.3 TUBERÍA DEL SISTEMA VENTILADOR SOPLADOR

3.3.1 MATERIALES Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

El material a utilizar en el diseño del sistema del ventilador soplador, sería acero comercial con rugosidad de 0.045mm. Para las tuberías un espesor de 1 mm y para la campana de succión de aire un espesor de 2mm.

Por otro lado, los filtros a utilizar son de dos tipos. Se dispondrán de 9 filtros de panel, que será la primera barrera de ingreso del polvo en suspensión. Este filtro es de fácil acceso y rápido cambio, ya que se deslizan a través de canales diseñados en la campana de succión. Están hechos de acero galvanizado, un elemento filtrante 100% sintético y es soportado por un marco de alta resistencia. La resistencia o pérdida de carga de los filtros es de 10mm H₂O.



Fuente: AirGuard
Figura 3. 7 Filtro de Panel.

El segundo tipo de filtro corresponde a 4 filtros de aire cilíndrico, que estarían dispuestos en el interior de la campana de succión de aire. Para llegar a estos se deben retirar los filtros de panel. Están contruidos de acero galvanizado y un elemento filtrante 100% sintético. La resistencia o pérdida de carga de los filtros es de 25mm H₂O.



Fuente: Google
Figura 3. 8 Filtro Cilíndrico.

3.3.2 CÁLCULO DEL DIÁMETRO PARA TUBERÍA DE FILTRACIÓN DE AIRE MP1000

I. Datos técnicos del soplador. (HOWDEN GROUP LIMITED, 2016)

MODEL NUMBER	PT	CFM	SP	OCTAVE BAND (Hz)								dBA @ 5'
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1N-04-16N TD-5483 3450 RPM	1	422	13.5	87	91	96	95	91	88	85	78	87
	2	312	15	87	90	96	95	90	86	84	78	86
	3	177	16	89	97	96	95	90	86	83	78	86
	4	25	17.5	87	95	96	95	89	86	83	81	86
1N-04-18.5N TD-5483 3450 RPM	5	501	18.5	85	89	96	95	91	90	87	78	87
	6	340	20.5	84	89	96	95	91	88	85	78	87
	7	200	21.75	92	94	96	95	91	87	84	78	87
	8	51	23	86	96	96	95	91	87	84	78	87

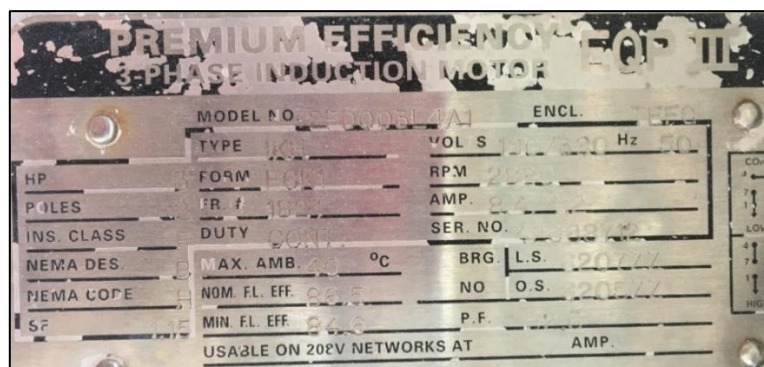
Fuente: AirGuard
Figura 3. 9 Datos de Manual Ventilador Soplador.

Caudal: 501 (CFM – Pies Cúbicos por Minuto) a 3450 (RPM)

$$\frac{501 \text{ CFM}}{1 \text{ CFM}} * 4,7194745 E^{-4} \left(\frac{m^3}{s}\right) = 0,23644567 \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$\frac{501 \text{ CFM}}{1 \text{ CFM}} * 1,6990 \left(\frac{m^3}{h}\right) = 851,20442 \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

II. Datos de placa Motor Eléctrico.



Fuente: Propia (Practica Profesional)
Figura 3. 10 Placa Motor Eléctrico.

2880 (RPM), 50 (hz), 3 (HP), 2 Polos, Eficiencia Mínima: 84.6%.

III. Leyes de Afinidad.

$$\frac{N1}{N2} = \frac{Q1}{Q2} \rightarrow \frac{3450 \text{ (RPM)}}{2880 \text{ (RPM)}} = \frac{0,23644567 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{Q2}$$

$$Q2 = \frac{0,23644567 \left(\frac{m^3}{s}\right) * 2880 \text{ (RPM)}}{3450 \text{ (RPM)}} = 0,1973807 \left(\frac{m^3}{s}\right) = 0,2 \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$Q2 = 0,2 \left(\frac{m^3}{h}\right) * 3600 \text{ (s)} = 720 \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

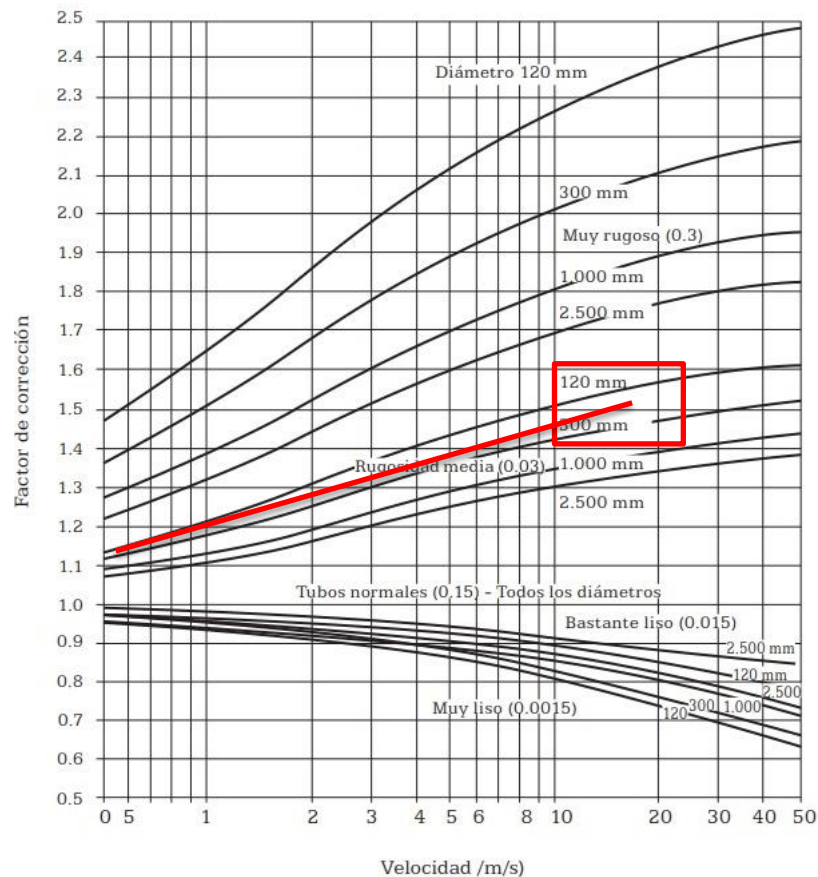
IV. Fórmula que Relaciona POTENCIA y PÉRDIDA MÁXIMA DE CARGA.

$$h = \frac{P * \mu * 75 * 1000}{Q * \rho} = (\text{mm. c. a})$$

V. Fórmula derivada de ecuaciones empíricas para calcular la pérdida de carga en sistemas de ventilación de conducto galvanizado redondo por cada 100 metros de tubería.

$$h = 518,72 * \frac{V^{1,8}}{D^{1,18}(\text{mm}) * 100 \text{ (m)}} = (\text{m. c. a})$$

- VI. Factor de corrección para conductos de otro material según la rugosidad, para la formula anterior. Material usado: Acero Comercial - ϵ : 0,045 mm.



Fuente: Redes Industriales de Tubería
Figura 3. 11 Tabla de Factor de corrección.

Factor aproximado: 1,15

- VII. Fórmula para el cálculo de la pérdida de carga agregando el factor de corrección y los metros de tubería a ocupar.

$$h = 518,72 * \frac{V^{1,8} * L * 1,15}{(D^{1,18}) * 100 (m)} = (m. c. a)$$

$$h = 5,96528 * \frac{V^{1,8} \left(\frac{m}{s}\right)}{1000 * D^{1,18} (m)} * L(m) = (m. c. a)$$

- VIII. Fórmula de Relación de CAUDAL, ÁREA DE UNA CIRCUNSFERENCIA Y VELOCIDAD DE TRANSPORTE DEL FLUIDO.

$$V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \rightarrow V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

- IX. Ahora se reemplaza la VELOCIDAD en la fórmula de la sección VII.

$$h = 5,96528 * \frac{\frac{4Q}{\pi D^2} \left(\frac{m}{s}\right)}{1000 * D^{1,18} (m)} * L(m) = (m.c.a)$$

- X. De esta manera se puede despejar cada diámetro necesario de los 3 tramos de la tubería según las pérdidas de carga máximas, el caudal requerido y el largo del conducto.

$$D = \sqrt[4.78]{\frac{Q^{1.8} * L}{376,2971706 * h}}$$

- XI. Los filtros de aire a utilizar en la campana de filtrado son de dos tipos diferentes. Se utilizarán 9 filtros tipo panel con una pérdida de carga de 10 mmH₂O. Y dentro de la campana se instalan 4 filtros cilíndricos con una pérdida de carga de 25 mmH₂O. Las pérdidas de cargas antes mencionadas vienen en los manuales del producto. Se tiene en cuenta una densidad del aire a 2500 m. sobre el nivel del mar.

- XII. Tramo 1:

Esta sección de tubería tiene un largo de 15,4 m. y conecta la campana de doble filtración de aire con el primer desvío de caudal, el cual se dirige hacia el chancador Terciario Nordberg Mp 1000 código 210CR04.



Fuente: Propia (Diseño Autodesk Inventor)
Figura 3. 12 Tramo 1 de Tubería.

En la siguiente tabla aparecen los valores correspondientes al tramo 1 de tubería, para realizar el cálculo del diámetro mínimo requerido. El cálculo se realiza a través de Microsoft Excel de manera automática para facilitar el procedimiento y visualizar los resultados obtenidos con mayor facilidad.

Fuente: Propia

TRAMO 1			
DENSIDAD	ρ	0,957	Kg/m ³
POTENCIA	P	3	HP
RENDIMIENTO	μ	0,846	%
CAUDAL	Q	2160	m ³ /H
CAUDAL	Q	0,6	m ³ /S
LARGO	L	15,4	m

PERDIDA MAX.	H	92,08464	mmH ₂ O
P. FILTROS	H _f	35	mmH ₂ O
	ΣH_1	57,0846	mmH ₂ O

DIÁMETRO	D	0,181387465	m
	D	181,39	mm

VEL. REAL	V	23,23	m/s
-----------	---	-------	-----

Tabla 3. 1 Cálculo Diámetro de Tubería sección 1.

Cabe destacar que la pérdida máxima (H) fue calculada según la ecuación IV, teniendo en cuenta la Potencia y Rendimiento del motor del ventilador soplador, y significa la mayor pérdida de carga admitida para el sistema.

Por otro lado, la pérdida (H_f) se refiere a los valores de pérdida de carga de los filtros cilíndricos y de panel sumados. Por lo que, para hallar el diámetro mínimo a utilizar en las secciones se restan la pérdida máxima teórica con las pérdidas de los filtros a utilizar en el sistema, y así de esta manera, se calcula el diámetro mínimo con una pérdida de 57,0846 mmH₂O.

El diámetro mínimo requerido para el conducto inicial de caudal 0,6 (m³/s) de aspiración del aire es de 181,39 mm.

XIII. Tramo 2:

Esta sección de tubería tiene un largo de 10,5 m. y conecta el tramo 1 con el segundo desvío de caudal, el cual se dirige hacia el chancador Terciario Nordberg Mp 1000 código 210CR03.



Fuente: Propia (Diseño Autodesk Inventor)
Figura 3. 13 Tramo 2 de Tubería.

En la siguiente tabla aparecen los valores correspondientes al tramo 2 de tubería, para realizar el cálculo del diámetro mínimo requerido para el funcionamiento del sistema. El cálculo se realiza a través de Microsoft Excel de manera automática para facilitar el procedimiento y visualizar los resultados obtenidos con mayor facilidad.

Fuente: Propia

TRAMO 2			
DENSIDAD	ρ	0,957	Kg/m ³
POTENCIA	P	3	HP
RENDIMIENTO	μ	0,846	%
CAUDAL	Q	1440	m ³ /H
CAUDAL	Q	0,4	m ³ /S
LARGO	L	10,5	m

PERDIDA MAX.	H	138,12696	mmH ₂ O
P. TRAMO 1	H1	57,0846	mmH ₂ O
	ΣH_2	81,0423	mmH ₂ O

DIÁMETRO	D	0,1335549	M
	D	133,55	mm

VEL. REAL	V	28,57	m/s
-----------	---	-------	-----

Tabla 3. 2 Cálculo Diámetro de Tubería sección 2

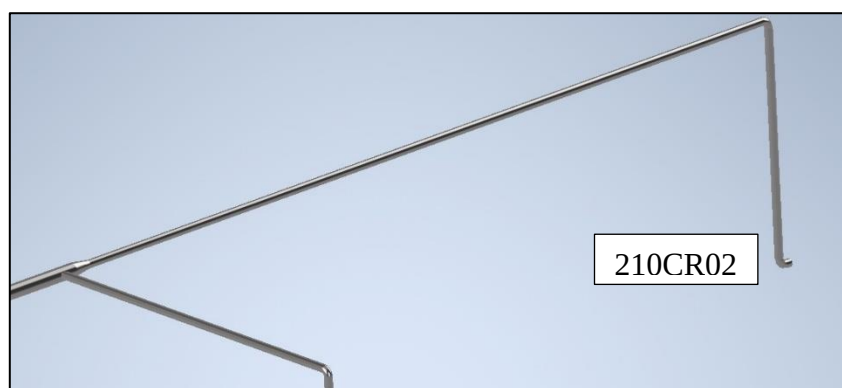
Cabe destacar que la pérdida máxima (H) fue calculada según la ecuación IV, teniendo en cuenta la Potencia y Rendimiento del motor del ventilador soplador, y significa la mayor pérdida de carga admitida para el sistema.

Por otro lado, la pérdida (H1) se refiere a los valores de pérdida de carga del tramo 1 y a los filtros. Por lo que, para hallar el diámetro mínimo a utilizar en las secciones se restan la pérdida máxima teórica con las pérdidas del tramo 1 a utilizar en el sistema, y así de esta manera, se calcula el diámetro mínimo con una pérdida de carga (H2) 81,0423 mmH₂O.

El diámetro mínimo requerido para tubería del tramo 2 con flujo de caudal de 0,4 (m³/s) de aspiración del aire es de 133,55 mm.

XIV. Tramo 3:

Esta sección de tubería tiene un largo de 6,57 m. y conecta el tramo 2 con el tercer desvío de caudal, el cual se dirige hacia el chancador Secundario Nordberg Mp 1000 código 210CR02.



Fuente: Propia (Diseño Autodesk Inventor)
Figura 3. 14 Tramo 2 de Tubería.

En la siguiente tabla aparecen los valores correspondientes al tramo 3 de tubería, para realizar el cálculo del diámetro mínimo requerido para el funcionamiento del sistema. El cálculo se realiza a través de Microsoft Excel de manera automática para facilitar el procedimiento y visualizar los resultados obtenidos con mayor facilidad.

Fuente: Propia

TRAMO 3			
DENSIDAD	ρ	0,957	Kg/m ³
POTENCIA	P	3	HP
RENDIMIENTO	μ	0,846	%
CAUDAL	Q	720	m ³ /H
CAUDAL	Q	0,2	m ³ /S
LARGO	L	6,57	m

PERDIDA MAX.	H	276,2539	mmH ₂ O
P. TRAMO 2	H ₂	81,0423	mmH ₂ O
	ΣH_3	195,2116	mmH ₂ O

DIÁMETRO	D	0,077594	M
	D	77,59	mm

VEL. REAL	V	42,32	m/s
-----------	---	-------	-----

Tabla 3. 3 Cálculo Diámetro de Tubería sección 3.

Cabe destacar que la pérdida máxima (H) fue calculada según la ecuación IV, teniendo en cuenta la Potencia y Rendimiento del motor del ventilador soplador, y significa la mayor pérdida de carga admitida para el sistema.

Por otro lado, la pérdida (H₂) se refiere a los valores de pérdida de carga del tramo 2, tramo 1 y los filtros. Por lo que, para hallar el diámetro mínimo a utilizar en las secciones se restan la pérdida máxima teórica con las pérdidas del tramo 2 a utilizar en el sistema, y así de esta manera, se calcula el diámetro mínimo con una pérdida de carga (H₃) 195,2116 mmH₂O.

El diámetro mínimo requerido para el siguiente conducto de flujo 0,2 (m³/s) de aspiración del aire es de 77,59 mm.

A continuación, se muestra un diagrama donde se puede verificar las medidas de diámetro de las tuberías y las pérdidas de carga según la Velocidad y el Caudal que se quiere transportar.

Las líneas de color rojo corresponden al tramo número 1, las líneas de color amarillo corresponden al tramo 2 y las líneas azules corresponden al tramo 3. De esta manera podemos visualizar que las medidas de los diámetros calculados se condicen con el diagrama expuesto.

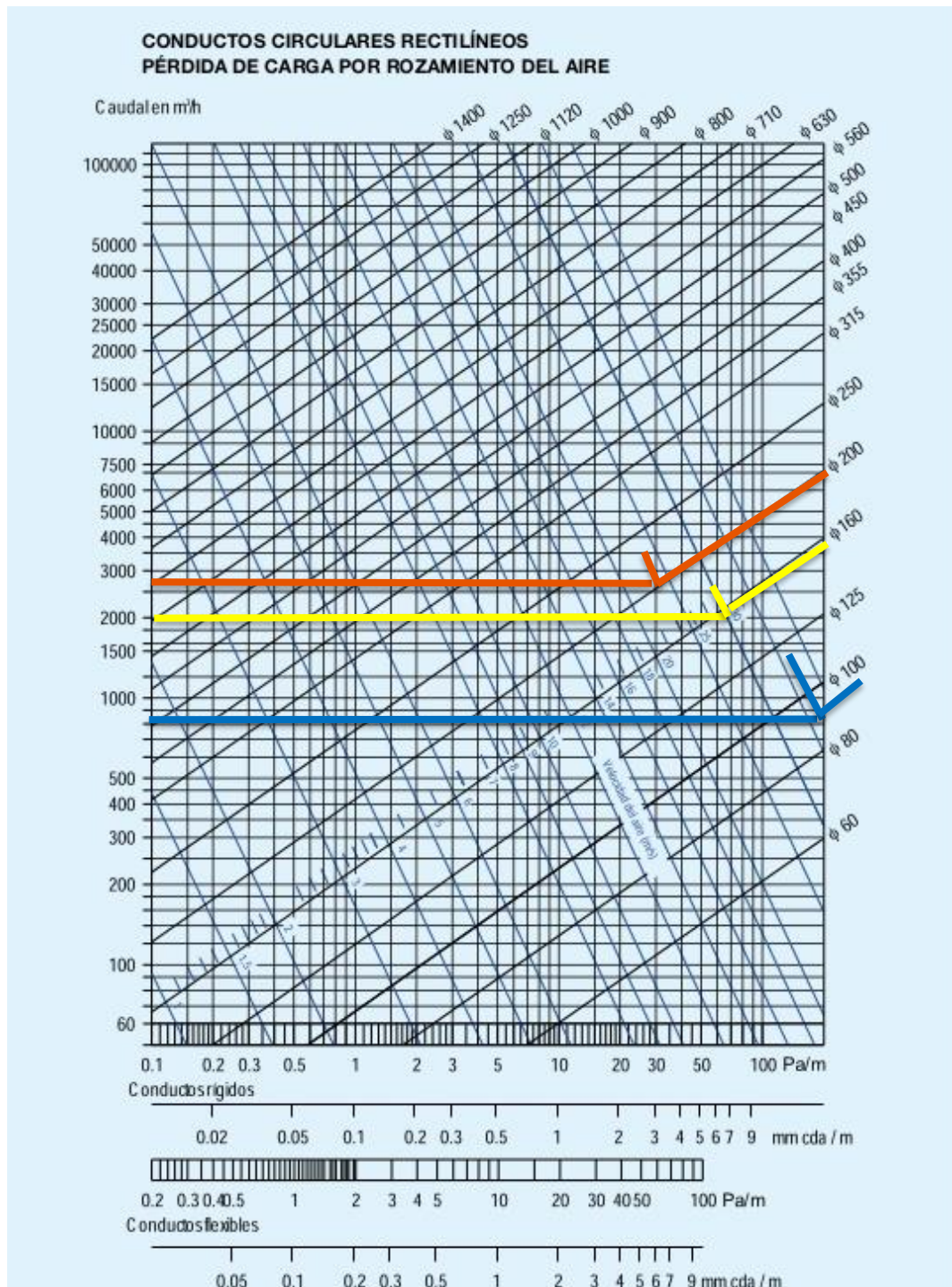


Figura 3. 15 Diagrama de Conductos Circulares Rectilíneos.

3.3.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE TUBERÍA DE AIRE

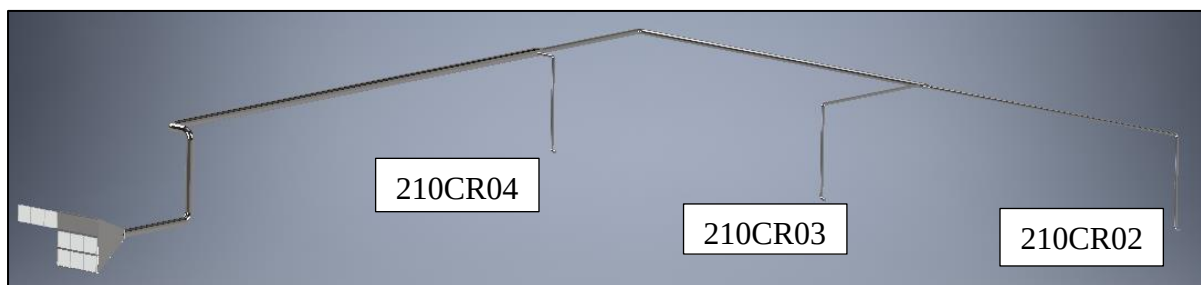
A continuación, se presenta el diseño final y completo de la tubería con campana de doble filtración de aire, encargada de transportar el fluido desde un lugar alejado en el segundo nivel del edificio.

El aire que ingresa filtrado proviene desde un lugar abierto y con suficiente ventilación, donde la polución de material fino no abunda. En este lugar de captación de aire, no existe ningún proceso industrial que pueda contaminar el ingreso del aire.

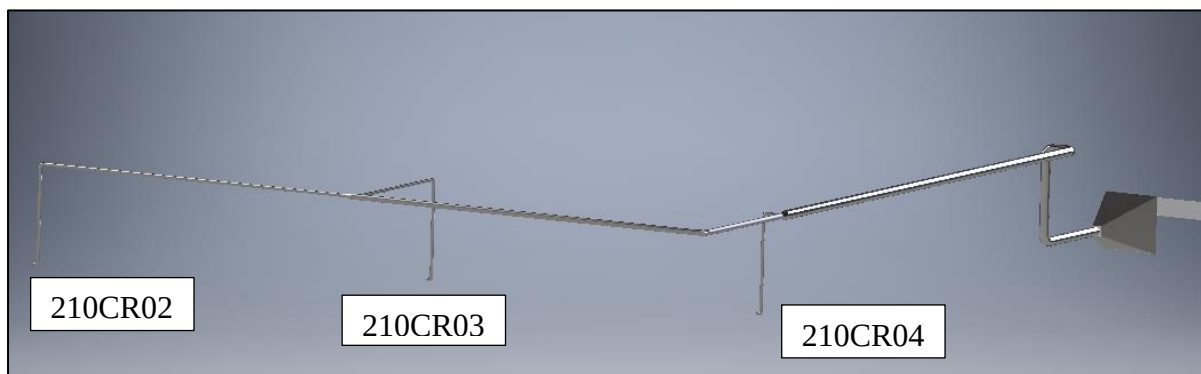
En las imágenes, se puede visualizar la campana de doble filtración del aire, el cual será inyectado dentro de las chancadoras secundaria y terciarias mediante las tuberías. La primera sección corresponde a una tubería con un diámetro mínimo de 181,39 mm, y conecta la campana con el primer desvío de aire hacia la chancadora terciaria 210CR04.

La segunda sección corresponde a una tubería con un diámetro mínimo de 133,55 mm, y conecta la primera sección con el segundo desvío de aire hacia la chancadora terciaria 210CR03.

La tercera sección corresponde a una tubería con un diámetro mínimo de 77,59 mm, y conecta la segunda sección con el tercer desvío de aire hacia la chancadora secundaria 210CR02.



Fuente: Propia (Diseño en Autodesk Inventor)
Figura 3. 16 Sistema de Captación de Aire.



Fuente: Propia (Diseño en Autodesk Inventor)
Figura 3. 17 Sistema de Captación de Aire.

Se aprecia el sistema de la campana de doble filtración de aire captado, donde se involucran los filtros de panel con una pérdida de carga de 10 mmH₂O y los filtros cilíndricos con una pérdida de carga de 25 mmH₂O.



Fuente: Propia (Diseño en Autodesk Inventor)
Figura 3. 18 Campana de Doble Filtración.

CAPÍTULO 4: VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

4.1 DATA DE COSTOS ANUALES DE LUBRICACIÓN DE CHANCADORAS MP1000

A continuación, se presentan los costos de los años 2017, 2018 y 2019 correspondientes a tareas de mantenimiento realizadas a la chancadora secundaria (210CR02) y chancadoras terciarias (210CR03 – 210CR04), ligadas estrechamente a problemas con el aceite lubricante, filtros y componentes internos de desgaste.

Los datos recopilados fueron extraídos del software SAP ERP de Cerro Colorado, los siguientes valores entregados se encuentran en dólares estadounidenses, y para efectos prácticos se transformarán a peso chileno. Un dólar será equivalente a 950 pesos chilenos (actualizado a octubre de 2022).

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Secundaria 210CR02 en el año 2017.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR02		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	1	\$ 7,847.33
CAMBIO DE ACEITE	7	\$ 59,942.34
RELLENO DE ACEITE	4	\$ 3,344.35
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,293.58
CAMBIO DE SELLOS T y U	1	\$ 7,018.73
	TOTAL USD	\$ 99,446.33
	TOTAL CLP	\$ 94,474,014

Tabla 4. 1 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR02.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Terciaria 210CR03 en el año 2017.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR03		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	0	
CAMBIO DE ACEITE	3	\$ 24,039.70
RELLENO DE ACEITE	3	\$ 222.00
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	0	
CAMBIO DE SELLOS T y U	0	
	TOTAL USD	\$ 24,261.70
	TOTAL CLP	\$ 23,048,615

Tabla 4. 2 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR03.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Terciaria 210CR04 en el año 2017.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR04		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	0	
CAMBIO DE ACEITE	3	\$ 26,568.74
RELLENO DE ACEITE	3	\$ 31,269.24
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	0	
CAMBIO DE SELLOS T y U	0	
	TOTAL USD	\$ 57,837.98
	TOTAL CLP	\$ 54,946,081

Tabla 4. 3 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR04.

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla, la cual contiene el costo total del mantenimiento realizado a las 3 chancadoras en el año 2017.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

COSTOS MANTENIMIENTO 2017		
CHANCADORA	COSTO USD	COSTO CLP
210CR02	\$ 99,446.33	\$ 94,474,014
210CR03	\$ 24,261.70	\$ 23,048,615
210CR04	\$ 57,837.98	\$ 54,946,081
TOTAL	\$ 181,546.01	\$ 172,468,710

Tabla 4. 4 Costo Total del Mantenimiento año 2017.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Secundaria 210CR02 en el año 2018.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR02		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	3	\$ 14,846.65
CAMBIO DE ACEITE	5	\$ 24,323.34
RELLENO DE ACEITE	3	\$ 261.93
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,300.00
CAMBIO DE SELLOS T y U	0	\$ -
	TOTAL USD	\$ 60,731.92
	TOTAL CLP	\$ 57,695,324

Tabla 4. 5 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR02.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Terciaria 210CR03 en el año 2018.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR03		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	3	\$ 28,776.06
CAMBIO DE ACEITE	9	\$ 44,077.54
RELLENO DE ACEITE	9	\$ 475.53
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,300.00
CAMBIO DE SELLOS T y U	2	\$ 78,180.25
	TOTAL USD	\$ 172,809.38
	TOTAL CLP	\$ 164,168,911

Tabla 4. 6 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR03.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Terciaria 210CR04 en el año 2018.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR04		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	5	\$ 29,841.54
CAMBIO DE ACEITE	6	\$ 38,189.26
RELLENO DE ACEITE	6	\$ 350.37
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,300.00
CAMBIO DE SELLOS T y U	0	\$ -
	TOTAL USD	\$ 89,681.17
	TOTAL CLP	\$ 85,197,112

Tabla 4. 7 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR04.

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla, la cual contiene el costo total del mantenimiento realizado a las 3 chancadoras en el año 2018.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

COSTOS MANTENIMIENTO 2018		
CHANCADORA	COSTO USD	COSTO CLP
210CR02	\$ 60,731.92	\$ 57,695,324
210CR03	\$ 172,809.38	\$ 164,168,911
210CR04	\$ 89,681.17	\$ 85,197,112
TOTAL	\$ 323,222.47	\$ 307,061,347

Tabla 4. 8 Costo Total del Mantenimiento año 2018.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Secundaria 210CR02 en el año 2019.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR02		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	2	\$ 17,017.70
CAMBIO DE ACEITE	2	\$ 22,176.45
RELLENO DE ACEITE	1	\$ 4,778.00
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	2	\$ 42,600.00
CAMBIO DE SELLOS T y U	0	\$ -
	TOTAL USD	\$ 86,572.15
	TOTAL CLP	\$ 82,243,543

Tabla 4. 9 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR02.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Terciaria 210CR03 en el año 2019.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR03		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	1	\$ 9,181.49
CAMBIO DE ACEITE	2	\$ 5,010.10
RELLENO DE ACEITE	4	\$ 1,848.97
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	0	\$ -
CAMBIO DE SELLOS T y U	0	\$ -
	TOTAL USD	\$ 16,040.56
	TOTAL CLP	\$ 15,238,532

Tabla 4. 10 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR03.

En la siguiente tabla se detalla las tareas de mantenimiento con los costos asociados a la Chancadora Terciaria 210CR04 en el año 2019.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

CHANCADORA 210CR04		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	1	\$ 8,073.50
CAMBIO DE ACEITE	6	\$ 46,363.31
RELLENO DE ACEITE	0	\$ -
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	3	\$ 63,000.00
CAMBIO DE SELLOS T y U	0	\$ -
	TOTAL USD	\$ 117,436.81
	TOTAL CLP	\$ 111,564,970

Tabla 4. 11 Costos de Mantenimiento Chancadora 210CR04.

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla, la cual contiene el costo total del mantenimiento realizado a las 3 chancadoras en el año 2019.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).

COSTOS MANTENIMIENTO 2019		
CHANCADORA	COSTO USD	COSTO CLP
210CR02	\$ 86,572.15	\$ 82,243,543
210CR03	\$ 16,040.56	\$ 15,238,532
210CR04	\$ 117,436.81	\$ 111,564,970
TOTAL	\$ 220,049.52	\$ 209,047,044

Tabla 4. 12 Costo Total del Mantenimiento año 2019.

El siguiente grafico ilustra todos los datos anteriores, ordenado por año y por código de chancadora.

Fuente: Data BHP (Elaboración Propia).



Figura 4. 1 Costos de Mantenimiento Anuales por Chancadora.

4.2 COSTOS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO AL SISTEMA

En esta sección se dará a conocer los costos asociados a la posible implementación de las acciones correctivas diseñadas para el sistema de chancadoras.

En primer lugar, el carro de microfiltrado de aceite incluye un curso de operación e instalación que es provisto por la empresa vendedora. El costo de lo anterior es de \$5.250.000 pesos chilenos.

En segundo lugar, el sistema de campana de filtración de aire se cotizo con las especificaciones técnicas requeridas. El costo con terminación de pintura es de \$1.562.000, a esto se debe agregar los costos de transporte equivalente a \$1.000.000 y los costos de instalación provista por una empresa colaboradora de cerro colorado igual a \$1.375.000. Resultando un total de \$9.187.000 pesos chilenos.

En la siguiente tabla se exponen los componentes y/o servicios necesarios para la propuesta de mejora del sistema y sus costos asociados.

Fuente: Propia

DESCRIPCIÓN	COSTO
CARRO DE MICROFILTRADO DE ACEITE	\$ 5,250,000
CAMPANA DE FILTRADO	\$ 1,562,500
TRANSPORTE DE CAMPAN	\$ 1,000,000
INSTALACIÓN DE CAMPANA	\$ 1,375,000
TOTAL	\$ 9,187,500

Tabla 4. 13 Costos de Acciones Correctivas.

4.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

En esta parte del capítulo, se analizan los factores que influyen en la viabilidad económica del proyecto, basándose en proyecciones de resultados de ahorro en cuanto a los costos de las tareas de mantenimiento realizadas a las chancadoras.

Si calculamos un costo promedio anual, entre los costos de mantenimiento de los años 2017, 2018 y 2019, se obtiene el siguiente resultado:

Fuente: Data BHP

AÑO	COSTOS DE MANTENIMIENTO
2017	\$ 172,468,710
2018	\$ 307,061,347
2019	\$ 209,047,044
PROMEDIO	\$ 229,525,700

Tabla 4. 14 Promedio de Costos de Mantenimiento.

4.4 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO N°1

Se proyecta disminuir el número de cambios de aceite, los componentes internos de desgaste asociados y trabajos de preparación, y por lo tanto reducir los costos por mantenimiento. Entonces a continuación, se muestran los costos proyectados por chancadora para los años siguientes a la implementación de las acciones correctivas.

Se presentan los costos de mantenimiento para la Chancadora Secundaria Nordberg Mp 1000 210CR02.

Fuente: Propia.

CHANCADORA 210CR02		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	3	\$ 21,000
CAMBIO DE ACEITE	3	\$ 22,500
RELLENO DE ACEITE	1	\$ 2,500
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,000
CAMBIO DE SELLOS T y U	1	\$ 7,600
	TOTAL USD	\$ 74,600
	TOTAL CLP	\$ 70,870,000

Tabla 4. 15 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR02.

Se presentan los costos de mantenimiento para la Chancadora Secundaria Nordberg Mp 1000 210CR03.

Fuente: Propia.

CHANCADORA 210CR03		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	3	\$ 21,000
CAMBIO DE ACEITE	3	\$ 22,500
RELLENO DE ACEITE	1	\$ 2,500
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,000
CAMBIO DE SELLOS T y U	1	\$ 7,600
	TOTAL USD	\$ 74,600
	TOTAL CLP	\$ 70,870,000

Tabla 4. 16 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR03.

Se presentan los costos de mantenimiento para la Chancadora Secundaria Nordberg Mp 1000 210CR04.

Fuente: Propia.

CHANCADORA 210CR04		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	3	\$ 21,000
CAMBIO DE ACEITE	3	\$ 22,500
RELLENO DE ACEITE	1	\$ 2,500
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,000
CAMBIO DE SELLOS T y U	1	\$ 7,600
	TOTAL USD	\$ 74,600.00
	TOTAL CLP	\$ 70,870,000

Tabla 4. 17 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR04.

En la siguiente tabla se presenta el total de costos proyectados para el año siguiente a la implementación de las acciones correctivas y programación del mantenimiento.

Fuente: Propia.

CHANCADORA	COSTO MANTENIMIENTO
210CR02	\$ 70,870,000
210CR03	\$ 70,870,000
210CR04	\$ 70,870,000
TOTAL	\$ 212,610,000

Tabla 4. 18 Costo Total Propuesta 1.

Con la propuesta de frecuencia de mantenimiento anterior, es posible demostrar que, al organizar, programar y reducir el mantenimiento en un bajo porcentaje, ya es factible la implementación de las mejoras y se recupera la inversión de las propuestas de mejoras en un año.

Fuente: Propia

COSTO ANUAL	CLP \$
PROMEDIO	\$229,525,700
PROYECTADO	\$212,610,000
DIFERENCIA	\$ 16,915,700
COSTO MEJORAS	\$ 9,187,500
BENEFICIO FINAL EMPRESA	\$ 7,728,200

Tabla 4. 19 Beneficio Económico para Compañía con propuesta 1.

4.5 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2

Por otro lado, si decidimos reducir la frecuencia de mantenimiento aún más, los costos de mantenimiento serán menor, por lo tanto, significa que la empresa comienza a retener dinero que antes era destinado a trabajos de mantenimiento referente a cambios de aceites y componentes internos de las chancadoras Nordberg Mp 1000.

Se presentan los costos de mantenimiento para la Chancadora Secundaria Nordberg Mp 1000 210CR02.

Fuente: Propia.

CHANCADORA 210CR02		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	2	\$ 14,000
CAMBIO DE ACEITE	2	\$ 15,000
RELLENO DE ACEITE	1	\$ 2,500
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,000
CAMBIO DE SELLOS T y U	1	\$ 7,600
	TOTAL USD	\$ 60,100
	TOTAL CLP	\$ 57,095,000

Tabla 4. 20 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR02.

Se presentan los costos de mantenimiento para la Chancadora Secundaria Nordberg Mp 1000 210CR03.

Fuente: Propia.

CHANCADORA 210CR03		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	2	\$ 14,000
CAMBIO DE ACEITE	2	\$ 15,000
RELLENO DE ACEITE	1	\$ 2,500
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,000
CAMBIO DE SELLOS T y U	1	\$ 7,600
	TOTAL USD	\$ 60,100
	TOTAL CLP	\$ 57,095,000

Tabla 4. 21 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR03.

Se presentan los costos de mantenimiento para la Chancadora Secundaria Nordberg Mp 1000 210CR04.

Fuente: Propia.

CHANCADORA 210CR04		
DESCRIPCION MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	COSTOS
PREPARATIVOS CAMBIO ACEITE	2	\$ 14,000
CAMBIO DE ACEITE	2	\$ 15,000
RELLENO DE ACEITE	1	\$ 2,500
CAMBIO DE FILTROS DE LUBRICACION	1	\$ 21,000
CAMBIO DE SELLOS T y U	1	\$ 7,600
	TOTAL USD	\$ 60,100.00
	TOTAL CLP	\$ 57,095,000

Tabla 4. 22 Proyección de Mantenimiento chancadora 210CR04.

En la siguiente tabla se presenta el total de costos proyectados para el año siguiente a la implementación de las acciones correctivas y programación del mantenimiento.

Fuente: Propia.

CHANCADORA	COSTO MANTENIMIENTO
210CR02	\$ 57,095,000
210CR03	\$ 57,095,000
210CR04	\$ 57,095,000
TOTAL	\$ 171,285,000

Tabla 4. 23 Costo Total Propuesta 2.

En la siguiente tabla se visualizan los beneficios de la empresa al implementar este segundo posible caso proyectado, donde el beneficio es ampliamente mayor al caso anterior.

Fuente: Propia

COSTO ANUAL	CLP \$
PROMEDIO	\$ 229,525,700
PROYECTADO	\$ 171,285,000
DIFERENCIA	\$ 58,240,700
COSTO MEJORAS	\$ 9,187,500
BENEFICIO FINAL EMPRESA	\$ 49,053,200

Tabla 4. 24 Beneficio Económico para Compañía con propuesta 2.

Podemos visualizar el beneficio monetario que la empresa lograría si se cumple la agenda de tareas de mantenimientos previamente establecidas. Donde se recuperan o se deja de gastar poco más de 49 millones de pesos.

Con los dos casos expuestos anteriormente podemos concluir que las propuestas de mejoramiento al sistema de las chancadoras representan una inversión relativamente baja en contraposición con los beneficios económicos que trae consigo las acciones correctivas.

CONCLUSIÓN

Mediante este trabajo de investigación se demostró, en primer lugar, la importancia que significa la minería de cobre y la minería en general en Chile, ya que aporta un gran valor económico, social y cultural a nuestro extenso territorio nacional. Además, los minerales al tener una alta demanda mundial es de suma importancia mantener una operación minera constante y sin percances que puedan influir en los costos y presupuestos de cada extracción minera.

Es así que, el primer capítulo fue dedicado a conocer en profundidad la mina a rajo abierto de la Compañía Minera Cerro Colorado, donde se pueden observar las distintas etapas mediante flujogramas, los parámetros óptimos de cada etapa en el proceso productivo minero, y las distintas maquinarias que son necesarias para obtener el cobre puro en un 99.99%.

Luego a lo largo del segundo capítulo se muestra el fundamento operacional de la etapa de chancado, fijando los parámetros necesarios de la operación. También se describieron los mecanismos internos de las chancadoras y su funcionamiento, de esta manera conocer el contexto operacional y estado actual de los sistemas a mejorar. Se da a conocer, a través de un diagrama de Ishikawa, las posibles causas que provocan la pérdida de vida útil del aceite lubricante y los componentes internos de desgaste de las chancadoras Nordberg Mp 1000. Es así, que se establece que los filtros de aire de los ventiladores sopladores se encuentran en una zona donde la contaminación con partículas finas de minerales es muy alta, ocasionando el deterioro del aceite lubricante entre otros componentes.

En el tercer capítulo se expone el fundamento de las acciones correctivas, donde queda claro que más de un 70% de las fallas en sistemas hidráulicos se deben a contaminantes sólidos presentes en el fluido, aun cuando no hay fallas inmediatas. Como resultado, se propone implementar un carro de microfiltrado de aceite lubricante, para ser usado cuando un nuevo lubricante es inyectado a las chancadoras y también cada cierto número de horas de funcionamiento de la planta. Por otra parte, para evitar o disminuir la contaminación del aceite lubricante se ha diseñado un sistema de captación de aire con campana y doble filtración de aire que se suministra a través de ventiladores sopladores hacia dentro de las chancadoras. El sistema de captación de aire se diseña para ser implementado en el mismo nivel de la planta, pero alejado de la ubicación actual donde el nivel de polución es elevado.

Y para finalizar, el cuarto capítulo habla de los costos de mantenimiento asociados a cambio de aceite y componentes de desgaste interno de las chancadoras, clasificando y exponiendo los años 2017, 2018 y 2019, donde el gasto total en estos tres años es de poco más de 688 millones de pesos chilenos. También se ejemplifican escenarios de las tareas de mantenimiento para años posteriores a la implementación de las mejoras, de esta manera se puede apreciar la viabilidad económica de la implementación donde basta reducir un 4% los costos de mantenimiento promedio de los tres años anteriores para que la inversión de las acciones correctivas sea totalmente financiada sin la necesidad de incurrir en un gasto adicional al año fiscal de la compañía.

Por último, cabe destacar que no siempre es necesaria una inversión demasiado alta para producir grandes ganancias o beneficios económicos, para las empresas que solicitan mejoras en sus procesos y sistemas de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- BHP. (2020). *BHP*. Obtenido de BHP: <https://www.bhp.com/espanol/negocios/petroleo/>
- BHP. (2020). *BHP*. Obtenido de BHP: <https://www.bhp.com/espanol/enfoque/nuestra-historia/>
- BHP. (2020). *BHP*. Obtenido de BHP: <https://www.bhp.com/espanol/negocios/minerals-america/>
- BHP. (2020). *BHP*. Obtenido de BHP: <https://www.bhp.com/espanol/negocios/minerals-australia/>
- BHP CERRO COLORADO. (2018). DVD CERRO COLORADO. TARAPACÁ, CHILE.
- CHILE, M. M. (2003). *ENTRENAMIENTO EN INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SERIE MP1000*. SANTIAGO.
- CLARCOR Air Filtration Products. (2008). *ventilationdirect.com*. Obtenido de ventilationdirect.com: <https://www.ventilationdirect.com/MANUALS/MAKEUPAIR/SUPPLYFANTRAINING/AirGuard/KA-294-2520Bro.pdf>
- GUFERO. (2020). *GUFERO*. Obtenido de GUFERO: <https://www.gufero.com/eshop-kategorie-manzety-pu-ttu.html?lang=7>
- HOWDEN GROUP LIMITED. (2016). *Turbo Pressure Blower*. Fairfield: Howden Industrial Fan Group.
- Londoño, C. A. (2011). *Ventilación Industrial*. Medellín : Ediciones de la Universidad de Medellín .
- Luszczewski, A. (1999). *Redes Industriales de Tubería* . San Luis Potosí: Reverté Ediciones, S.A. y C.V.
- MCOR. (2020). *MCOR*. Obtenido de MCOR: <http://www.mcor.cl/index.php/es/carros-de-microfiltrado>
- MINERIA, G. D. (2020). *MINMINERIA.GOB*. Obtenido de MINMINERIA.GOB: <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-t/tronadura/>
- Minero, C. (Diciembre de 2019). *Consejo Minero*. Obtenido de Consejo Minero: <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2020/01/Cifras-actualizadas-de-la-mineria-Diciembre-2019.pdf>
- MOBIL CORP. (2020). *MOBIL*. Obtenido de MOBIL: [file:///C:/Users/mendjo/Downloads/GL-XX-SPARTAN-EP-Gear-Oil%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mendjo/Downloads/GL-XX-SPARTAN-EP-Gear-Oil%20(1).pdf)
- ZAVALA, C. (2018). *RESPOSITORIO USM*. Obtenido de REPOSITORIO USM: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40797/3560900257693UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

