



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**INTERVENCIÓN EN BOMBAS CON PLAN DE MEJORAMIENTO  
CONTINUO EN PLANTA CONCENTRADORA**

Proyecto de titulación para optar al título de Ingeniero de Ejecución en  
Mantenimiento Industrial

Profesor Guía: Osvaldo Durán Artigas

Mauricio Antonio Puga O'Brien

Arturo Rodrigo Rivera González

Copiapó, Chile 2018

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado a la familia mecánica, que día a día ejerce su profesión con mucho esfuerzo y dedicación en lo que más le gusta. Dedicado para todos los técnicos profesionales que parten con el camino duro de la mecánica, donde cada día de aprendizaje es fortaleza y experiencia ganada, para forjar un camino profesional. Es un paso necesario para la futura formación como profesional y tener una visión cercana sobre los equipos, alcanzando los objetivos planteados. Dedicado a los docentes directos Don Jorge Reyes y Don Osvaldo Durán, que día tras día entregan lo mejor para formar profesionales correctos, honestos y que sean aportes en sus lugares de desempeño laboral.

Al apoyo de nuestro profesor guía el Sr. Don Osvaldo Durán Artigas, que siempre alentó nuestro trabajo y no rendirse en la difícil situación de trabajar y estudiar, tomando la mejor opción que es estudiar.

**Mauricio Puga O'Brien**

**Arturo Rivera González**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, que siempre estuvieron conmigo alentándome para lograr ser un profesional y no abandonar mi objetivo en momentos difíciles. A mi esposa e hijos que siempre han estado apoyándome en la realización de nuevos desafíos. También a mis hermanos y todos mis seres queridos, en especial a los que ya no están con nosotros físicamente pero que eternamente estarán en nuestros corazones, dejándonos su sabiduría de vida.

A mis profesores, que por generaciones han dedicado todo su esfuerzo en educar y preparar mejores personas y profesionales

**Mauricio**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis duros años de carrera profesional. En especial quiero expresar mis más grandes agradecimientos a mis padres y hermanos, que sin su constante apoyo hubiera sido imposible culminar mi profesión.

A mi esposa e hija, por su apoyo y ánimo que me brindan día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

**Arturo**

## **TABLA DE CONTENIDO**

Capítulo I. Introducción .....	12
1.1    Objetivo general .....	12
1.2    Objetivos específicos.....	13
Capítulo II. Antecedentes Minera Cerro Norte Negro .....	14
2.1    Generalidades .....	14
2.2    Ubicación.....	14
2.3    Características principales operaciones Cerro Negro Norte.....	16
2.4    Minera Cerro Negro Norte a nivel de CAP .....	16
2.5    El holding corporativo del grupo CAP se divide en tres organizaciones .....	17
2.6    El proceso productivo.....	18
2.7    Diagrama de bloque de proceso productivo .....	21
2.8    Planta de chancado Cerro Negro Norte .....	21
2.9    Planta concentradora Cerro Negro Norte .....	23
2.10   Planta filtrado y embarque Puerto Totoralillo .....	24
Capítulo III. Descripción del mantenimiento.....	25
3.1    Mantenimiento.....	25
3.1.1   Objetivos del mantenimiento .....	26
3.1.2   Función del mantenimiento.....	26
3.1.3   Tipos de mantenimiento.....	26
3.2    Descripción y delimitación del problema seleccionado .....	27
3.2.1   Antecedentes .....	27
Capítulo IV. Tipos de bombas .....	29

4.1	Tipos de bombas de Cerro Negro Norte.....	29
4.1.1	Bombas Warman tipo SRH-SRC.....	29
4.1.2	Modelos SRC y SRH .....	30
4.1.4	Bombas Warman tipo MCR.....	34
4.1.5	Bombas Warman tipo GALIGHER 5000 .....	39
4.1.6	Bombas Geho.....	40
Capítulo V. Recomendaciones de mantención.....		41
5.1	Recomendaciones de mantención.....	41
5.1.1	Puesta en marcha.....	41
5.1.2	Actividades Frecuentes.....	41
5.1.3	Actividades de control.....	41
5.1.4	Lubricación porta rodamientos .....	42
5.1.5	Precauciones en el cambio de componentes .....	44
5.1.6	Listado de bombas Warman horizontales Cerro Negro Norte .....	45
5.2	Tipos de sellado fijos y móviles.....	41
5.2.1	Sellado partes fijas .....	46
5.2.2	Sellado partes móviles.....	47
Capítulo VI. Problema en componente de bombas .....		53
6.1	Problema no. 1 fractura de revestimiento metálico .....	53
6.1.1	Comienzo de la problemática N°. 1 .....	54
6.1.1.1	Bomba Warman de alta presión reparada .....	58
6.1.2	Gráficos estadísticos de problema no. 1.....	60
6.2	Problema no. 2 falla prematura de sello mecánico, por la línea de agua de sello contaminada .....	62

6.2.1	Sello DRYMAX (características técnicas de fábrica) .....	63
6.2.2	Tablas de cálculo de consumo de agua, de sello mecánico.....	68
6.3	Problema no. 3 reemplazos de sellos mecánicos por sellos prensa estopa.....	71
6.3.1	Tren de bombas KSB-SPY (Sentinas).....	71
6.3.2	Proceso de refrigeración del sello prensa de estopa.....	71
6.3.3	Puntos necesarios de normalizar y corregir antes de reparar .....	72
6.3.3.1	Caja porta rodamientos .....	74
6.3.3.2	Desgaste corrosivo en rodamiento de caja porta rodamientos y eje .....	75
6.3.3.3	Sello mecánico .....	76
6.3.7	Diferencia de costos en consumo de agua .....	77
Capítulo VIII. Conclusiones.....		78
7	Bibliografía.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 5.1. Listado de bombas horizontales bombas Warman.....	59
Tabla N° 6.1. Problema N° . 1.....	59
Tabla N° 6.2. Evaluado en 18 meses (12960 horas de operación) .....	60
Tabla N° 6.3. MTBF y MTTR .....	61
Tabla N° 6.4. Problema N° . 2.....	62
Tabla N° 6.5. Beneficio total.....	69
Tabla N° 6.6. Problema N° . 3.....	71
Tabla N° 6.7. Tabla de estudio costo de beneficio hídrico con uso de sello mecánico ...	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Ubicación geográfica CNN .....	15
Figura N° 2.2. Holding corporativo grupo CAP .....	17
Figura N° 2.3. Diagrama de bloque proceso productivo .....	21
Figura N° 2.4. Diagrama de flujo Cerro Negro Norte .....	22
Figura N° 2.5. Diagrama de flujo de planta concentradora y bombas de tesis en Cerro Negro Norte.....	23
Figura N° 2.6. Diagrama de flujo de planta de filtrado-Puerto Totoralillo .....	24
Figura N° 4.1. Bomba Warman tipo SRH-SRC .....	29
Figura N° 4.2. Identificación de bomba Warman tipo SRH-SRC.....	31
Figura N° 4.3. Identificación de bomba Warman tipo SRH-SRC.....	32
Figura N° 4.4. Identificación de piezas de bomba Warman tipo SRH-SRC.....	33
Figura N° 4.5. Bomba Warman tipo SRH-SRC .....	34
Figura N° 4.6. Componentes principales bomba Warman tipo SRH-SRC. Con revestimiento de goma .....	35
Figura N° 4.7. Revestimiento opcional voluta metálica.....	36
Figura N° 4.8. Ensamble convencional .....	37
Figura N° 4.9. Bombas Warman tipo galigher 5000 (bombas de piscinas) .....	39
Figura N° 4.10. Funcionamiento de bomba geho (desplazamiento positivo) .....	40
Figura N° 5.1. Lubricación data.....	43
Figura N° 5.2. Precauciones en el cambio de componentes.....	44
Figura N° 5.4. Silicona, gasket, teflón y empaquetaduras .....	46
Figura N° 5.5. O´ring .....	46
Figura N° 5.6. Retenes .....	48
Figura N° 5.7. Prensa estopa .....	49
Figura N° 5.8. Sello monoresorte.....	50
Figura N° 5.9. Evolución del sello mecánico .....	51
Figura N° 5.10. Sello mecánico.....	52
Figura N° 6.1. Último tren de bombas de alta presión .....	53
Figura N° 6.2. Fractura de revestimiento metálico (voluta).....	55
Figura N° 6.3. Altura de plato succión con asentamiento cónico sobre la voluta.....	56
Figura N° 6.4. Fabricación de 02 empaquetaduras para ambas caras de la voluta y asentamiento de los platos.....	57

Figura N° 6.5. Bomba de alta presión del último tren de bomba .....	58
Figura N° 6.8. Características técnicas de sello mecánico DRIMAX .....	63
Figura N° 6.9. Imagen de sello mecánico DRIMAX .....	64
Figura N° 6.10. Imagen interior del barro incrustado en la cámara de refrigeración del sello mecánico DRIMAX.....	65
Figura N° 6.11. Reten dañado en sello mecánico DRIMAX .....	66
Figura N° 6.12. Retener opuestos.....	67
Figura N° 6.13. Bomba reparada.....	68
Figura N° 6.14. Tren de bombas de agua de proceso KSB-SPY (Sentinas) .....	71
Figura N° 6.15. Agua de la prensa estopa .....	72
Figura N° 6.16. Desgaste abrasivo en carcasa.....	73
Figura N° 6.17. Desgaste en pista de trabajo de rodamientos en la caja porta rodamientos .....	74
Figura N° 6.18. Desgaste en rodamientos .....	75
Figura N° 6.19. Sello mecánico recuperado.....	76

## ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 6.1. Porcentaje de detenciones.....	60
Gráfico 6.2. MTBF y MTTR.....	61

## RESUMEN

Las bombas, son las encargadas de alimentar y llevar el concentrado a su destino que es el puerto de Punta Totoralillo, durante su operación las bombas de CNN presentan fallas que las dejan fuera de servicio. Este proyecto, busca determinar la solución a tres problemas, aplicando soluciones técnicas. Se exponen casos de soluciones directas de los expositores en tres estaciones de bombeo, cada una crítica en su área. El primer caso se trata del último tren de bomba de la planta de CNN, que envía el concentrado final al Puerto. A fin de mejorar la durabilidad en el revestimiento interno de las bombas Warman, se decide cambiar los revestimientos internos existentes que son de goma, por uno metálico (voluta), para ello se adquieren kits y se procede a realizar reparaciones con el nuevo revestimiento metálico. Al momento de ser instalado en la bomba, no existe problema, no obstante, al instalar la bomba y posteriormente al abrir el paso de la carga, ésta se fractura (revestimiento metálico voluta). En tres kits instalados sucede lo mismo. Posteriormente, se analiza y se efectúa estudio entregándose la solución, la que es bien recibida ya que en ese instante quedaba una sola bomba estaba funcionando (con revestimiento de goma). Se trabajó en la mejora de voluta metálica la cual da resultados y se decide utilizarla en las cuatro bombas del tren de bomba, hasta tener una respuesta técnica por parte de los representantes (Estudio en curso), generando así una mayor durabilidad de los revestimientos y aumentando la ganancia en el costo de mantenimiento. El segundo caso, es en el tren de bomba de los espesadores de relave de CNN, donde existe una falla repetitiva en los sellos mecánicos, posiblemente por problema con la línea de agua de sello. Por ello se entregan soluciones, una de planta y otra en la bomba (ésta es ejecutada con buen resultado). Se mejora la durabilidad de los sellos y los intervalos de cambio. Tercer caso corresponde al tren de bombas sentinas de CNN de aguas de proceso de la planta, estas bombas trabajaban con sellos mecánicos, pero de acuerdo con reiteradas fallas, éstos fueron reemplazados por sellos de prensa estopa. Posteriormente se logra recuperar un sello mecánico, el cual lleva trabajando más de 9 meses sin anomalías. En cada caso son puntos críticos que terminan en detenciones. Al realizar la intervención, existe la aprobación directa de cada área. Estas mejoras correctivas son realizadas por Departamentos de Ingeniería, lo que les ha permitido a los alumnos dar la confianza.

## **CAPÍTULO I.**

### **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de titulación se realiza en Minera CNN (Minera Cerro Negro Norte) perteneciente al grupo CAP, minería pionera en la extracción de metales de hierro.

Se produce a través de la explotación directa de su yacimiento de fierro, donde el material explotado es ingresado directamente a la planta de chancado, para el inicio de su proceso de producción en la planta de beneficio.

Después, el material es llevado a la planta concentradora y, finalmente a través del último tren de bombas del concentra ducto es enviado hacia el filtrado y embarque de puerto Punta Totalillo a 60 km de la planta. Este último tren de bombas presenta un problema de diseño en su voluta metálica (revestimiento interior), generando que las bombas queden fuera de servicio por fracturas internas.

Los trenes de bomba de la compañía son vitales, ya que estos son los encargados de mover todo el material, concentrado, aguas y relaves desde la planta. Por este motivo la importancia que se ha dado para poder entregar mejoras correctivas y soluciones para continuar con el proceso productivo, ya que desde el punto de vista económico es altísimo tener tantas detenciones y se incrementan los costos de mantenimiento, además se analizarán los motivos que dejan fuera de servicio los sellos mecánicos en dos trenes de bombas, por fallas internas generando fugas en la bomba.

Se analizarán los beneficios que tienen el cambio de un tipo de sello que es producto de la ingeniería, analizando los beneficios económicos y medio ambientales (bajo consumo de agua) que posee este sello mecánico.

#### **1.1.- Objetivo general**

Optimizar la confiabilidad en los trenes de bombas usados en el proceso productivo de Minera Cerro Negro Norte.

## 1.2.- Objetivos específicos

Los problemas presentados en las bombas son:

- Analizar la pérdida de eficiencia y bajo caudal de entrega de las bombas.
- Analizar las fugas y pérdida de material.
- Determinar los sellos dañados y excesivo consumo de agua.

El desarrollo de este trabajo considera la siguiente metodología.

Estudiar la causa raíz de los problemas, dar soluciones que apoyen al actual departamento de ingeniería en mantenimiento, encontrar mejoras continuas y aplicarlas.

Analizar el problema y aplicación de método de mejora continua N°1. Evitar las constantes fracturas de los revestimientos metálicos (voluta) del último tren de bombas de alta presión hacia el puerto. Mejora continua mecánica obligada para poder dar continuidad a la producción, es necesario que el representante de la marca siempre entregue las respuestas a los problemas, ya que siempre debemos ajustarnos al procedimiento del fabricante (aún en estudio el problema). La mejora realizada es a través de la utilización de Klinger que es un material de bajísimo costo y los beneficios obtenidos son altísimos, que son reflejados con la durabilidad del equipo.

Analizar el problema y aplicación del método de mejora continua N°2. Evitar continuar cambiando sellos mecánicos Drimax por la contaminación del agua de sello mucho antes del término de su vida útil garantizado por fábrica. Monitoreo y seguimiento de las mejoras mecánicas obligadas entregadas para poder dar continuidad a la producción.

La mejora es realizada con la instalación de un retén doble labio que es de un 2% del valor del sello.

## **CAPÍTULO II.**

### **ANTECEDENTES MINERA CERRO NORTE NEGRO**

#### **2.1.- Generalidades**

CAP Minería, Compañía Minera del Pacífico (CMP), filial de CAP S.A. CMP es una empresa chilena pionera en la exportación de mineral de hierro en Chile, la cual desarrolló las obras de construcción correspondientes al Proyecto Hierro Atacama para la producción de 3.0 millones de toneladas de concentrado de hierro por año.

Estas obras, se complementarán con la explotación de la mina de Hierro Cerro Negro Norte, cuya puesta en marcha se contempló para el año 2013. Cerro Negro Norte aporta 4.0 millones de toneladas de concentrado de hierro adicionales, con la cual la producción total del Valle de Copiapó se incrementará a 7.0 millones de toneladas por año.

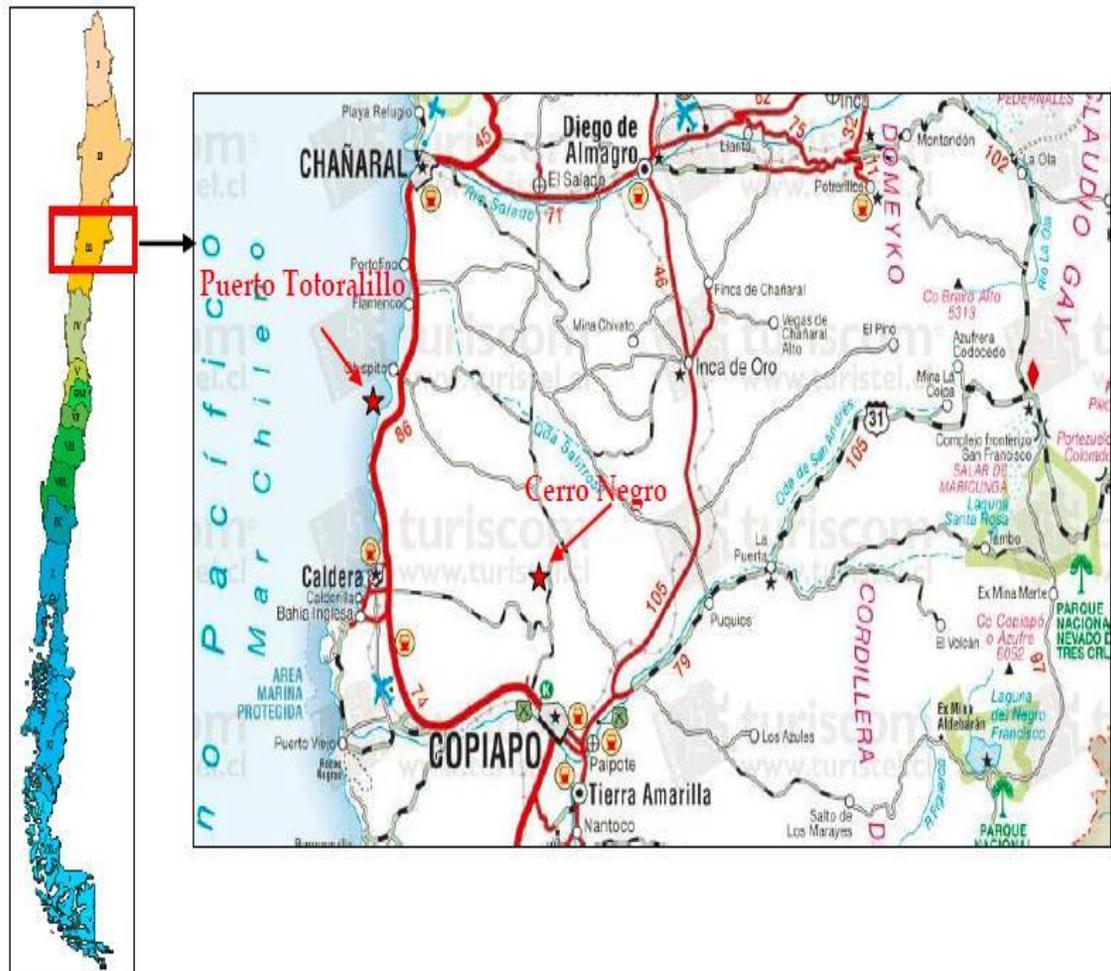
CNN consta de las siguientes etapas principales:

- Extracción del mineral del yacimiento de fierro de minera Cerro Negro Norte.  
Transporte del concentrado en pulpa hacia puerto mediante un ducto minero (Concentra ducto).
- Filtrado, Apilamiento y Embarque del concentrado en Puerto Punta Totalillo.

#### **2.2.- Ubicación**

El proceso productivo, se sitúa en la III Región de Chile Provincia de Copiapó comuna de Copiapó, específicamente a 25 km al norte hacia Caldera.

Figura N° 2.1. Ubicación geográfica CNN.



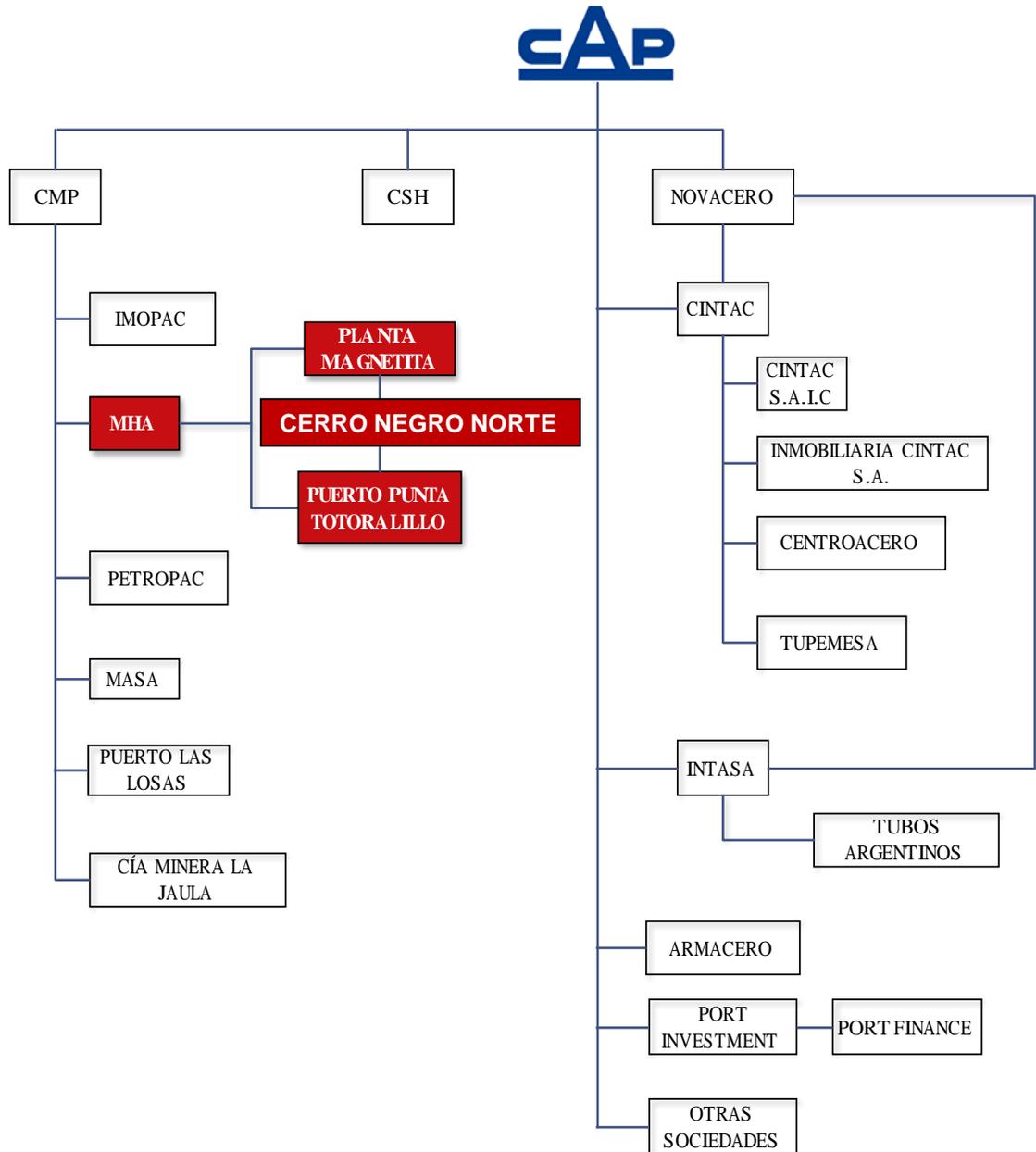
### **2.3.- Características principales operaciones Cerro Negro Norte**

- Producción: se estima una producción de 4 millones de toneladas de concentrado de fierro al año
- Vida útil: se estima como mínimo 20 años de vida útil del proyecto
- Inversión: el proyecto ha tenido una inversión inicial de 200 millones de dólares
- Estado inicial: la primera etapa de inicio de producción fue en noviembre de 2013 para iniciar el proceso completo o segunda etapa en junio de 2014
- Primer embarque: el primer Embarque se realizó en julio de 2014

### **2.4.- Minera Cerro Negro Norte a nivel de CAP.**

En el siguiente diagrama se muestra dónde se encuentra inserto CNN a nivel de CAP.

**Figura N° 2.2. Holding corporativo grupo CAP.**



Fuente: diagrama de server de CNN.

**2.5.- El holding corporativo del grupo CAP se divide en tres organizaciones.**

- Minería: Lidera la producción de minerales de hierro y pellets en la costa del Pacífico, con amplios recursos y reservas conocidas y en permanente expansión

por programas de explotaciones, que garantizan su continuidad de operaciones por muchas décadas.

- CAP acero: La industria siderúrgica es integrada, única en su tipo en Chile. Elabora productos a partir de materias primas existentes en la naturaleza, lo que garantiza acero de alta pureza y de calidad controlada.
- CAP soluciones en acero: Tiene como principal objetivo crear soluciones en acero, principalmente para los sectores de la construcción, industria e infraestructura tanto en Chile como en el extranjero, completando así la cadena de Valor del Acero.

## **2.6.- El proceso productivo**

El objetivo del proyecto “Cerro Negro Norte” es extraer, procesar y vender minerales de hierro para abastecer el mercado. Este se inserta dentro de la estrategia de CMP de continuar el desarrollo de las actividades de explotación, extracción, procesamiento y venta de minerales de hierro tanto para el mercado local como extranjero.

El presente estudio, contiene las actividades relativas a la mina, chancado primario, planta de beneficio, planta de concentrado, embalse de relaves, acueducto de complemento, concentra ducto de transporte de mineral de hierro, acueducto de recirculación de agua desde el puerto y adaptación de algunas instalaciones del Puerto de Totalillo.

La primera etapa del proceso consiste en extraer el mineral desde el yacimiento para su traslado a la planta de beneficio, partiendo su proceso en el área de chancado, harneros, prensas rodillo, harneros finos, líneas de acopio final y posteriormente es enviado a planta concentradora. En esta etapa se cuenta con dos líneas de Concentración Primaria. El concentrado obtenido se repasa en la línea de baterías secundarias obteniendo el concentrado Rougher.

El concentrado Rougher, es almacenado en un estanque agitador que alimenta a la etapa de clasificación primaria. Producto de esta etapa se obtiene el producto deseado en

función del tamaño de partícula. Las partículas gruesas que no cumplen con el tamaño de partícula deseado se alimentan a la etapa de Clasificación Secundaria y Molienda, con la finalidad de cumplir con el tamaño de partícula deseado para la siguiente etapa.

Adicionalmente, en la línea de molienda, la clasificación cuenta con instalaciones para alimentar material pre concentrado seco. El producto de Molienda-Clasificación, descrito anteriormente se alimenta de la etapa de Deslamado (Hidroseparación) y Concentración Finisher.

El concentrado obtenido en el área de Concentración Finisher, se acondiciona con reactivo de flotación, para luego alimentar a las celdas de Flotación neumáticas donde se flotan las impurezas, principalmente Sílice. Producto de la etapa de flotación se obtiene el concentrado de Hierro o Pellet Feed, con las características fisicoquímicas adecuadas para su comercialización. Este concentrado es espesado y almacenado en estanques agitadores para el transporte a través del Concentra ducto a planta de filtros del puerto Punta Totalillo.

El concentrado de hierro es acondicionado y bombeado en forma de pulpa con un 63 % de sólidos, a través de un Concentra ducto subterráneo de 70 kilómetros de longitud, que nace en Planta Cerro Negro Norte y finaliza en Puerto Punta Totalillo, ubicado a 25 kilómetros del puerto de Caldera. En el área del Puerto, la pulpa de concentrado de hierro es filtrada en filtros cerámicos para obtener un “queque” con una humedad de 8,5%, el cual es almacenado en una cancha de acopio.

Durante el embarque, el concentrado es recuperado por medio de cargadores frontales y transportado mediante correas hasta un cargador radial de barcos. El Puerto está diseñado para atender los barcos de carguío y el concentrado producido está acorde con lo establecido contractualmente con la Gerencia Comercial de CMP.

El embarque, se despacha a solicitud de nuestro cliente, la Gerencia Comercial de CMP, a través de una serie de transacciones ejecutadas en SAP. A su vez, la Gerencia Comercial de CMP envía el concentrado vía marítima a sus clientes internacionales, especialmente a países asiáticos, desde su puerto mecanizado.

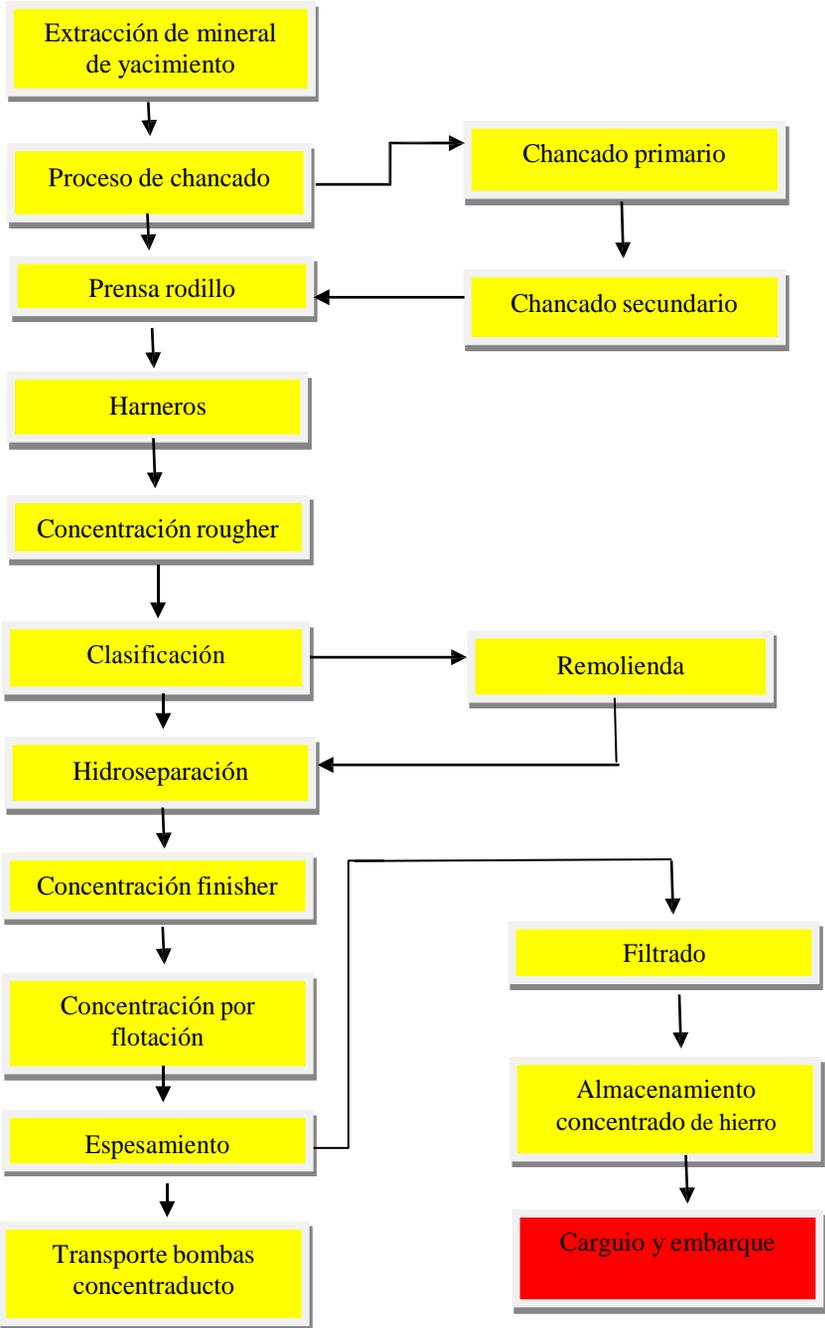
El proceso de compras de materiales y servicios se realiza a través de la unidad de Abastecimientos de CMP ubicada en La Serena. La solicitud de estas necesidades es generada por el personal de CNN.

CAP Minería – Cerro Negro Norte, es una empresa que funciona los 365 días del año, en tres turnos diarios, cuyo régimen es de faena continua, la cual emplea una dotación estable.

CNN considera detención de sus faenas, Puerto Punta Totoralillo, Planta Magnetita y Planta MHA, sólo para mantenimientos programados.

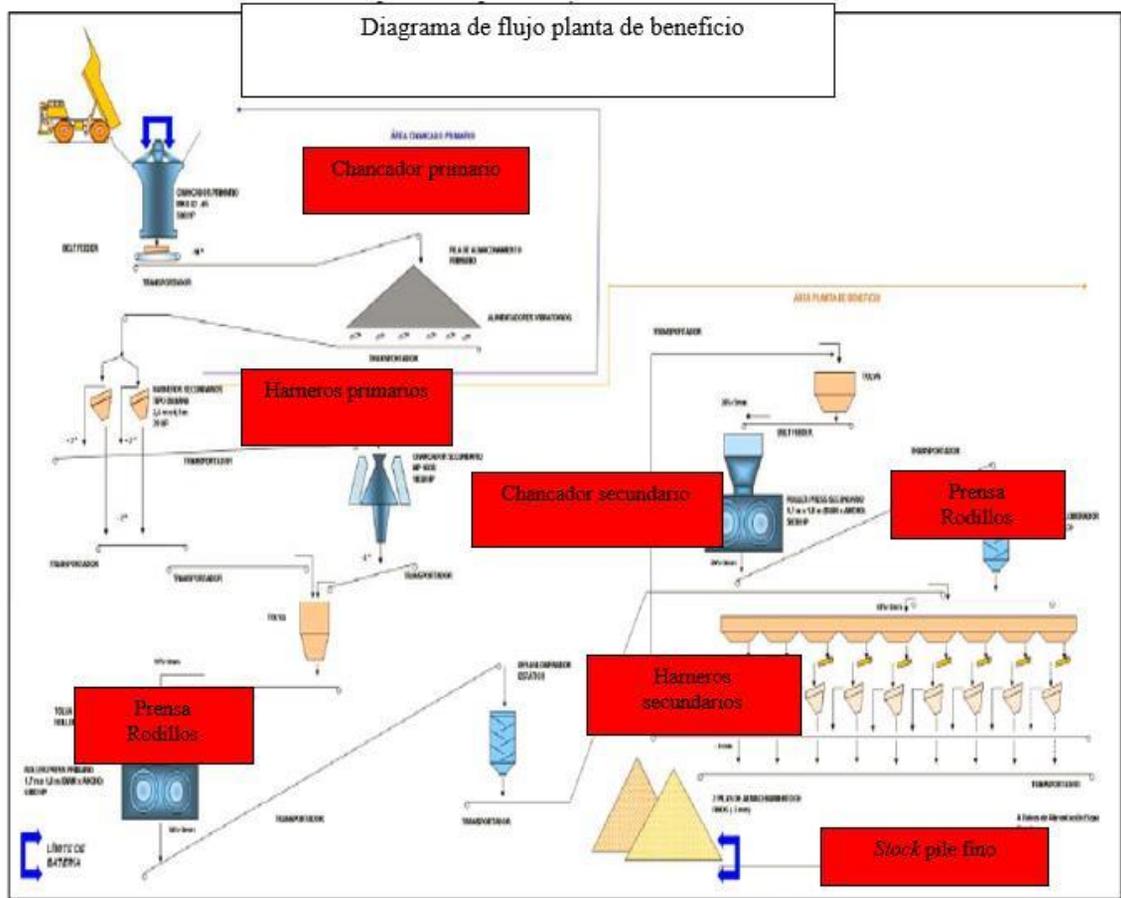
2.7.-Diagrama de bloque de proceso productivo.

Figura N° 2.3. Diagrama de bloque proceso productivo.



## 2.8.- Planta de chancado Cerro Negro Norte.

Figura N° 2.4. Diagrama de flujo Cerro Negro Norte.

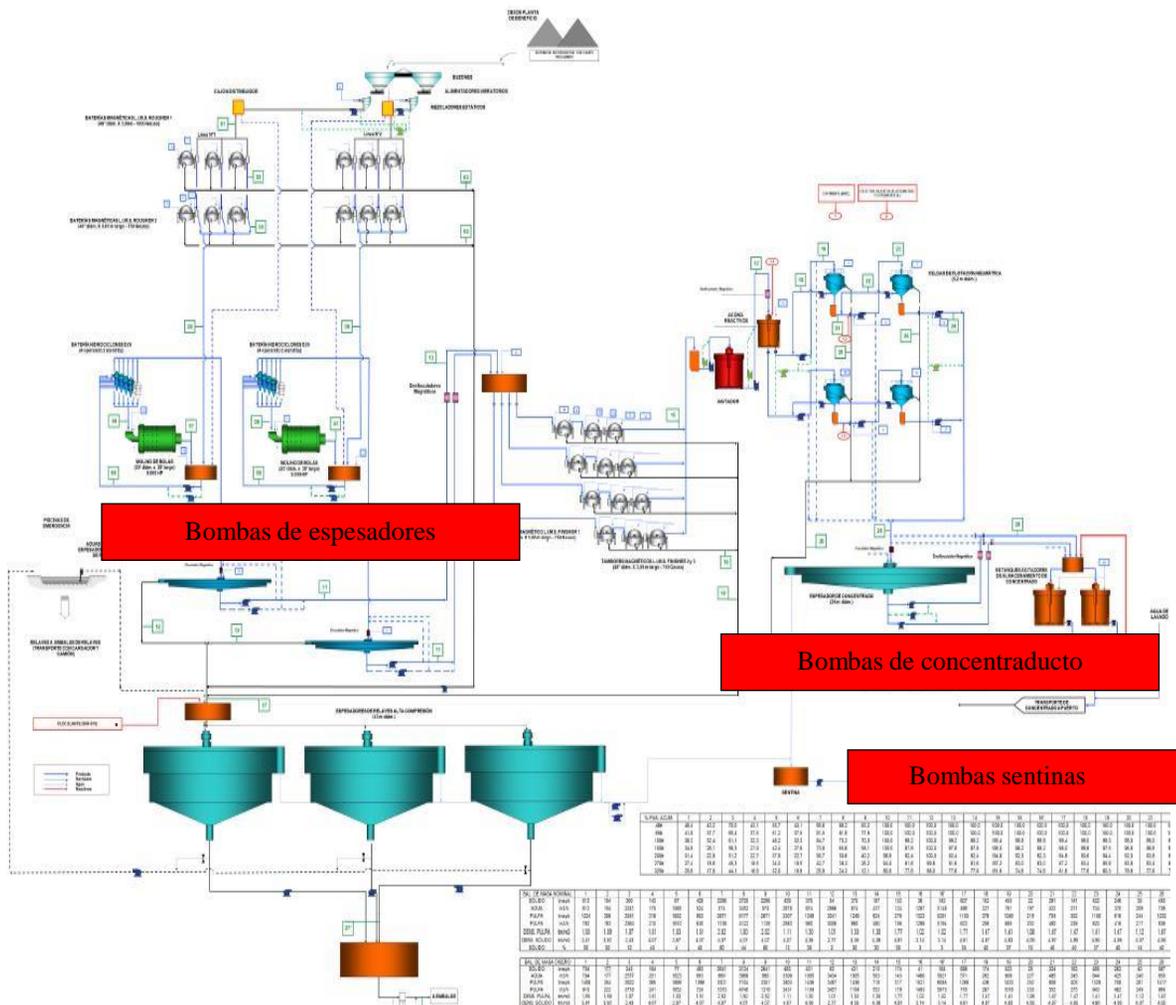


Fuente: Diagrama compartido de server de CNN.

El proceso comienza desde la extracción del hierro en la mina, pasando por chancados harneros y prensas rodillo, hasta el acopio final del material.

## 2.9.- Planta concentradora Cerro Negro Norte.

Figura N° 2.5. Diagrama de flujo de planta concentradora y bombas de tesis en Cerro Negro Norte.

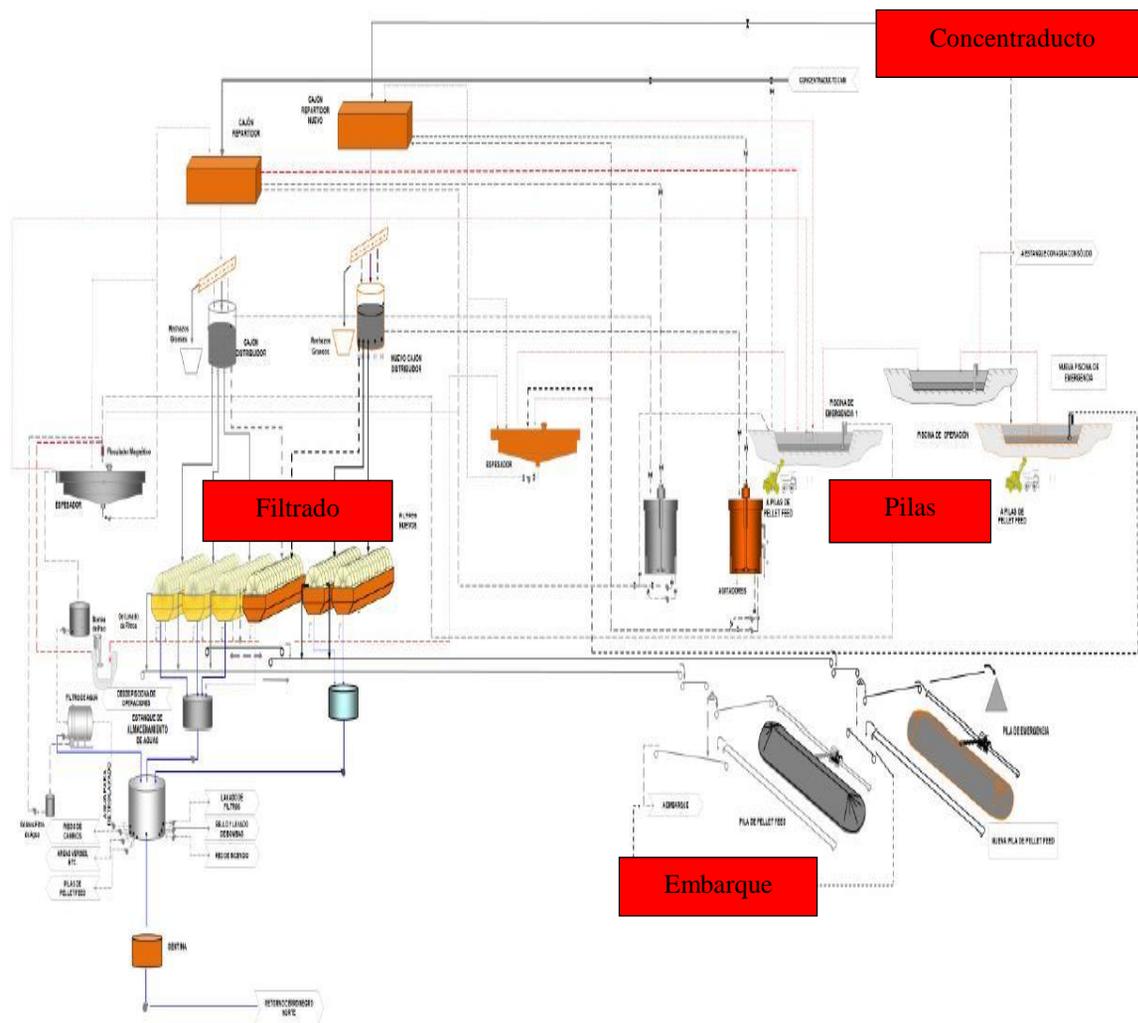


Fuente: Diagrama compartido de server CNN.

En la planta concentradora, es donde se ubican las bombas del trabajo de la presente tesis. Apareciendo como bombas de espesadores, de concentra ducto y bombas sentinas de agua de proceso.

## 2.10.- Planta filtrado y embarque Puerto Totoralillo

Figura N° 2.6. Diagrama de flujo de planta de filtrado-Puerto Totoralillo.



## CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO

### 3.1.- Mantenimiento

Habitualmente, se define el mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio, durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento. Aunque dentro de las diversas formas de conceptualizar el mantenimiento, son aquellas que lo definen como:

El conjunto de actividades, dirigidas a garantizar, al menor costo posible, la máxima disponibilidad del equipamiento para la producción, visto esto a través de la prevención de la ocurrencia de fallos y de la identificación de las causas del funcionamiento deficiente del equipamiento.

El mantenimiento Industrial, es una compleja actividad técnico - económica que tiene por finalidad la conservación de los activos de la empresa, maximizando la disponibilidad de los equipos productivos, tratando que su gestión se lleve a cabo al menor costo posible. Además, se puede interpretar como todas las tareas que deban realizarse sobre un equipo o instalación, para que permanezcan siempre en un perfecto estado de conservación y funcionamiento, preservando de esta forma el patrimonio de la empresa.

El mantenimiento determina los tiempos de trabajo de la máquina, de los cuidados a la máquina y la elección de su reemplazo. A medida que el mantenimiento evoluciona, éste va tomando más responsabilidades dentro de la organización, dónde se le exige garantizar la más alta **disponibilidad** (aptitud de ser “operacional”), **fiabilidad** (previsión de vida) y **mantenibilidad** (aptitud de ser mantenida), a fin de asegurar la productividad y competitividad de la industria.

Fuente Bibliográfica: Apuntes de Clases Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

### **3.1.1.- Objetivos del mantenimiento**

- ✓ Asegurar que los equipos e instalaciones cumplan una función específica para otorgar un determinado servicio.
- ✓ Evitar fallas imprevistas y tiempo excesivos de paradas.
- ✓ Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones. Óptima y eficiente utilización de los recursos involucrados en el mantenimiento.
- ✓ Mantener los equipos en su máxima eficiencia operacional.

### **3.1.2.- Función del mantenimiento**

- ✓ Mantener, reparar y revisar equipos e instalaciones.
- ✓ Desarrollar programas de mantención.
- ✓ Seleccionar y entrenar al personal.
- ✓ Asesorar la compra de nuevos equipos.
- ✓ Hacer pedidos de repuestos, herramientas y suministros.
- ✓ Controlar inventario de repuestos.
- ✓ Sugerir y proyectar mejoras en las máquinas y equipos para disminuir la posibilidad de desperfectos.
- ✓ Investigar las causas raíz de las fallas.

### **3.1.3.- Tipos de mantenimiento**

- ✓ **A.- Mantenimiento Correctivo:** Consiste en la reparación de averías. Se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando, es decir, es la intervención cuando los sistemas productivos (SP) o componentes están fallando o han fallado, no teniendo en cuenta intervalos de tiempo, así que la ocurrencia puede ser en cualquier momento (o instante) de tiempo, por lo que se deben definir tolerancias de riesgos (incertidumbre). Además, requiere de la coordinación de esfuerzos para determinar los recursos necesarios y contribuir a satisfacer la demanda de los trabajos de mantenimiento. Tiene dos dimensiones:

- ✓ **A1.- De Emergencia:** Son las actividades que se realizan a priori, interrumpe todo lo que está ejecutándose para atender con el mayor apremio la situación en el menor tiempo posible, pues su omisión impacta negativamente a la Empresa.
- ✓ **A2.- De Urgencia:** No modifica los planes de acción previamente establecidos, iniciándose después de haber concluido lo que está realizándose.

El mantenimiento correctivo, se puede entender cómo una estrategia que permite a la máquina funcionar hasta la aparición del fallo. En ese instante se realiza la reparación o reemplazo de ella.

- ✓ **B.- Mantenimiento Preventivo:** Mantenimiento ejecutado a intervalos de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento. En él se realizan reparaciones, restauraciones o cambios de piezas al vencer un período de tiempo prefijado. Dentro de este mantenimiento están presentes el predictivo y proactivo.
- ✓ **B.1- Mantenimiento predictivo:** Analiza el comportamiento de las máquinas y la marcha de los procesos con ayuda de un control sistemático y actúa cuando los parámetros como temperatura, vibraciones, etc. son significativos muestran valores anormales o no deseables.
- ✓ **B.2-Mantenimiento Proactivo:** Estrategia de mantenimiento que busca identificar y corregir la causa raíz de los fallos o anomalías de las máquinas. Maximizar la vida útil operativa de ellas e investiga las causas de las averías, buscando remedios para evitar que se repitan.

Fuente Bibliográfica: Apuntes de Clases Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial

### **3.2.- Descripción y delimitación de los problemas seleccionados.**

#### **3.2.1.- Antecedentes**

El proyecto se basa netamente en las respuestas técnicas entregadas, además de generar mejoras continuas realizadas en empresa minera CNN. Colaborando directamente con planes de Ingeniería en Mantenimiento.

La importancia de la contaminación nos está afectando directamente a nuestros equipos, la importancia de este proyecto es básicamente por los daños prematuros y repetitivos que sufren los equipos de la planta, y el incremento en los costos asociados a la compra repetitiva de repuestos (sellos, rodamientos, impulsores, aceites, etc.), antes del término normal de su vida útil.

**Problema N°1 de aplicación de mejora continua:** Fracturas de revestimientos metálicos (Volutas) del último tren de bomba de alta presión hacia puerto.

**Problema N°2 de aplicación de mejora continua:** Cambios repetitivos de sellos mecánicos Drimax antes de su duración de diseño. Por ingreso de agua contaminada en línea de agua de cámara de refrigeración del sello mecánico.

#### **Problema N°3 Reemplazo de sellos mecánicos por sellos prensa estopa.**

Analizar el cambio realizado y el efecto que provoca económica y medioambientalmente.

Contribuir a solucionar los problemas mencionados anteriormente que afectan a la planta y ser un activo participante de mejoras continuas desde el lugar físico que es la planta, ya que existen departamentos de proyecto para solucionar problemas, pero son de otras sucursales de CAP. Al ser de Cerro Negro Norte son respuestas más rápidas a los problemas donde poco a poco se han logrado introducir mejoras.

## **CAPÍTULO IV.**

### **TIPOS DE BOMBAS**

#### **4.1.- Bombas Usadas en Cerro Negro Norte.**

Todas las bombas son del tipo centrífugas, horizontales con sellos de prensa estopa y mecánicos. A excepción de las bombas de pozo o sumideros son del tipo verticales con revestimientos combinado metal-elastómero.

- Molienda, Bombas en caucho natural, tipo MCR (Molienda circuito Hidráulico).
- Flotación, Bombas en caucho natural o neopreno, tipo SRH, SRC o AH (Pulpa, caucho y sello Húmedo – Centrifugo o seco).
- Relaves, Bombas en neopreno o poliuretano, tipo SRH, SRC o AH.
- Bombas de pozo o sumideros, Bombas Galigher con revestimientos elastómeros metálicos.
- Bombeo de agua, alto flujo y TDH, bombas Floway
- Bombeo relaves espesado o pesados, concentrado a gran distancia, bombas Geho.

#### **4.1.2.- Bombas Warman tipo SRH-SRC.**

**Figura N° 4.1. Bomba Warman tipo SRH-SRC.**



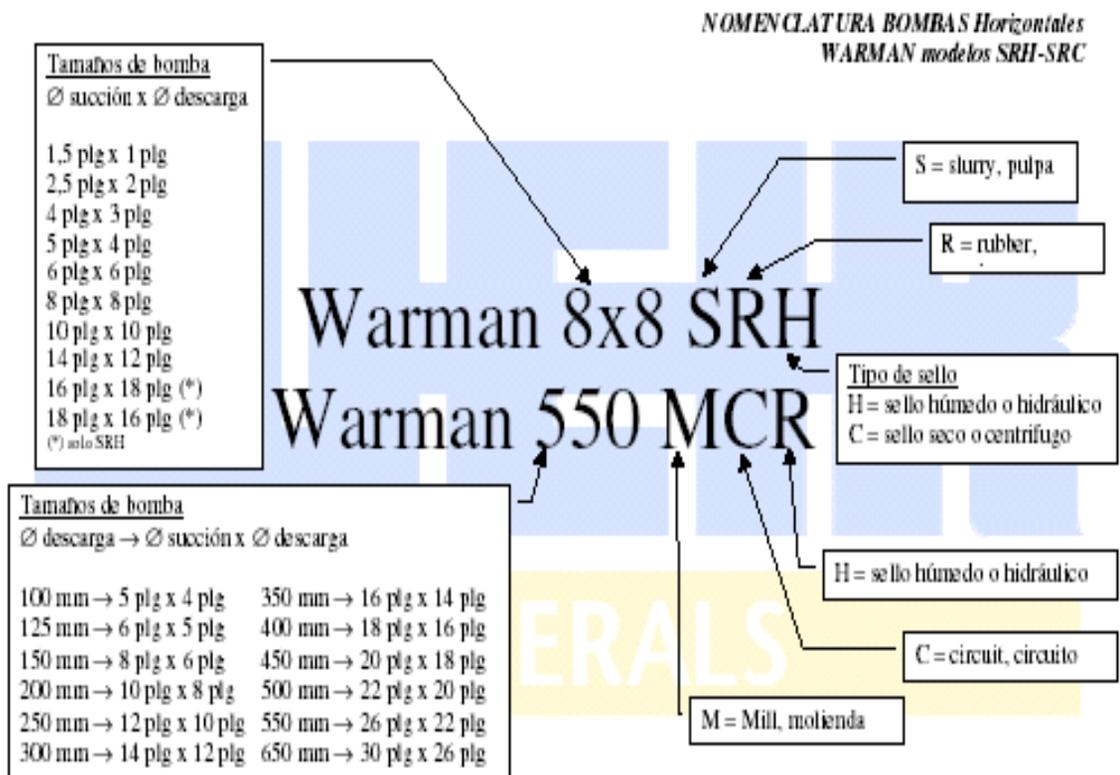
Fuente: Literatura y manuales de bombas Warman.

#### **4.1.3.- Modelos SRC y SRH.**

- ✓ Para operar en la descarga de los molinos de remolienda, área flotación hasta la alimentación de los espesadores de relaves y filtros.
- ✓ Utilizan solo revestimientos elastómeros. Impulsores elastómeros y metálicos
- ✓ Rendimiento del orden del 90%.
- ✓ Sello tipo centrífugo e hidráulico.
- ✓ Flujos hasta 4.000 m<sup>3</sup>/horas.

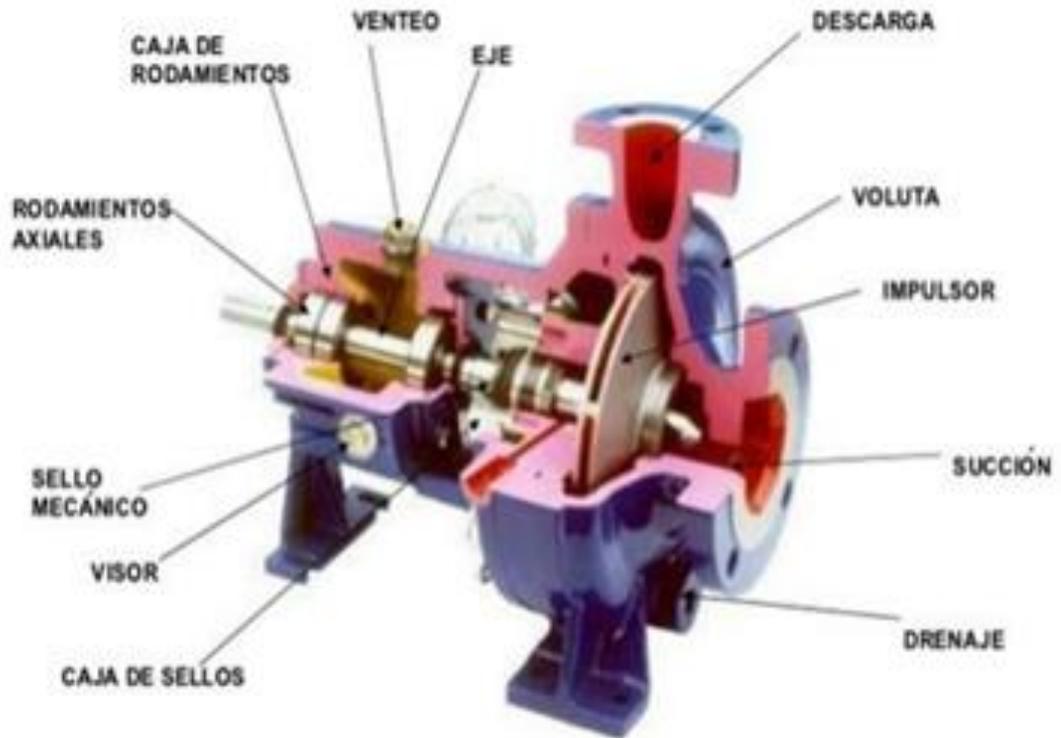
**Identificación bomba Warman SRH-SRC.**

**Figura N° 4.2. Identificación de bomba Warman tipo SRH-SRC.**



## Bombas Warman tipo SRH-SRC.

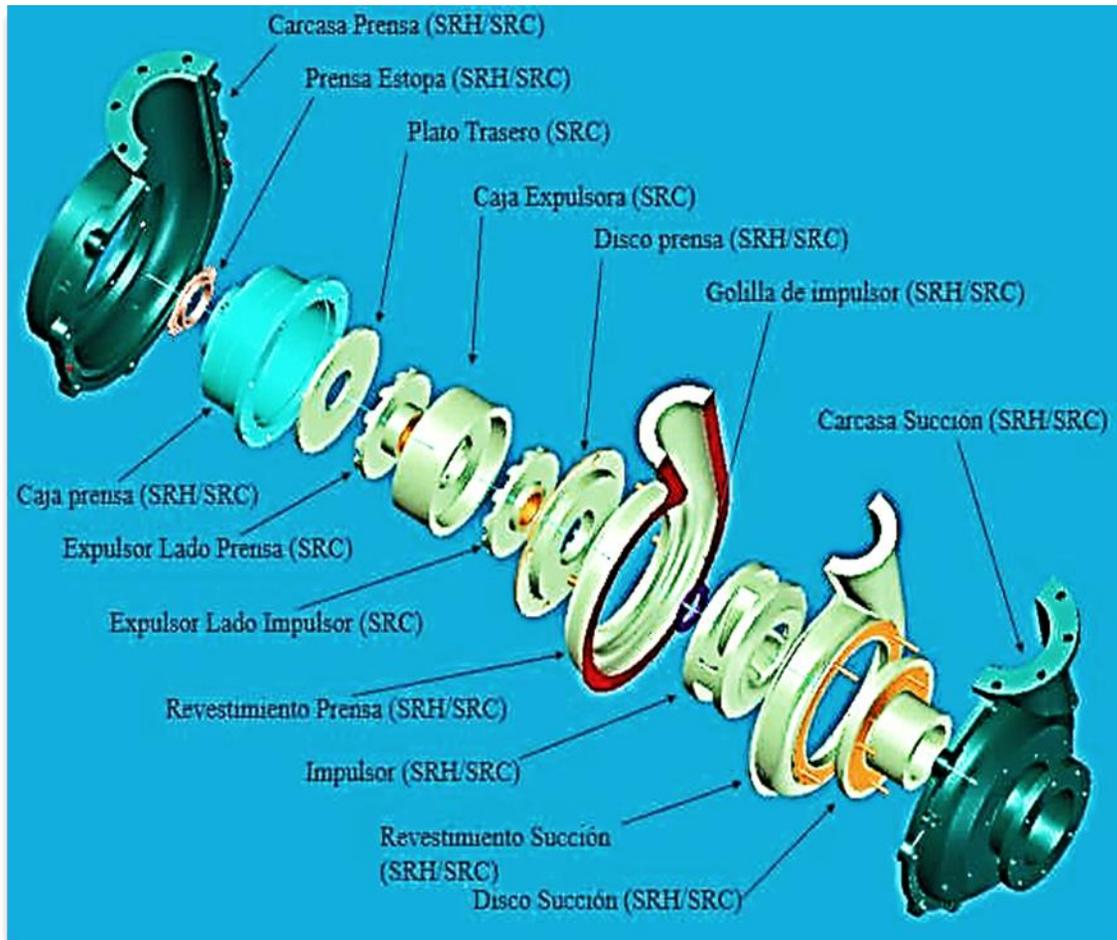
Figura N° 4.3. Identificación de partes de caja y bomba Warman tipo SRH-SRC



Fuente: Literatura técnica bombas Warman.

Bomba centrífuga con recubrimiento interno de goma (voluta).

**Figura N° 4.4. Identificación de piezas de bomba Warman tipo SRH-SRC.**

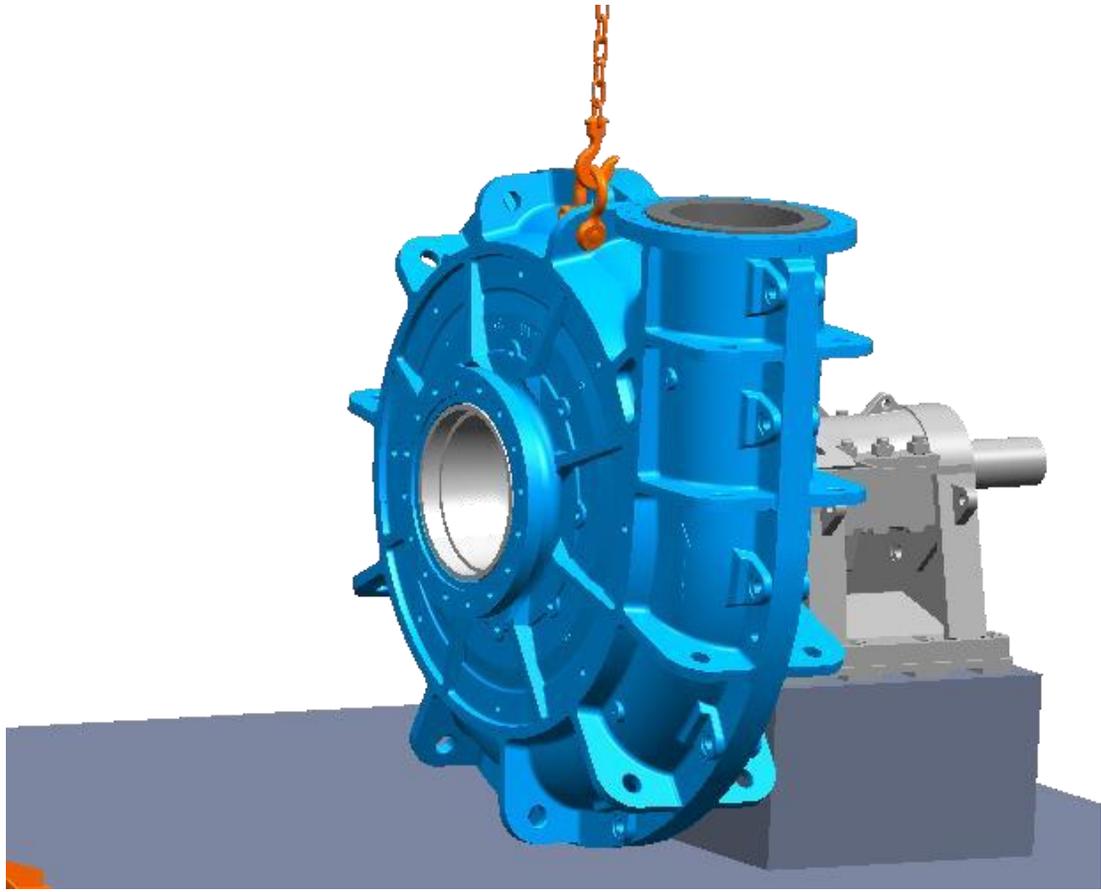


Fuente: Literatura técnica de bombas Warman.

Desarmado de bomba centrífuga, con revestimiento interior de goma.

#### 4.1.4.- Bombas Warman tipo MCR.

Figura N° 4.5. Bomba Warman tipo SRH-SRC.

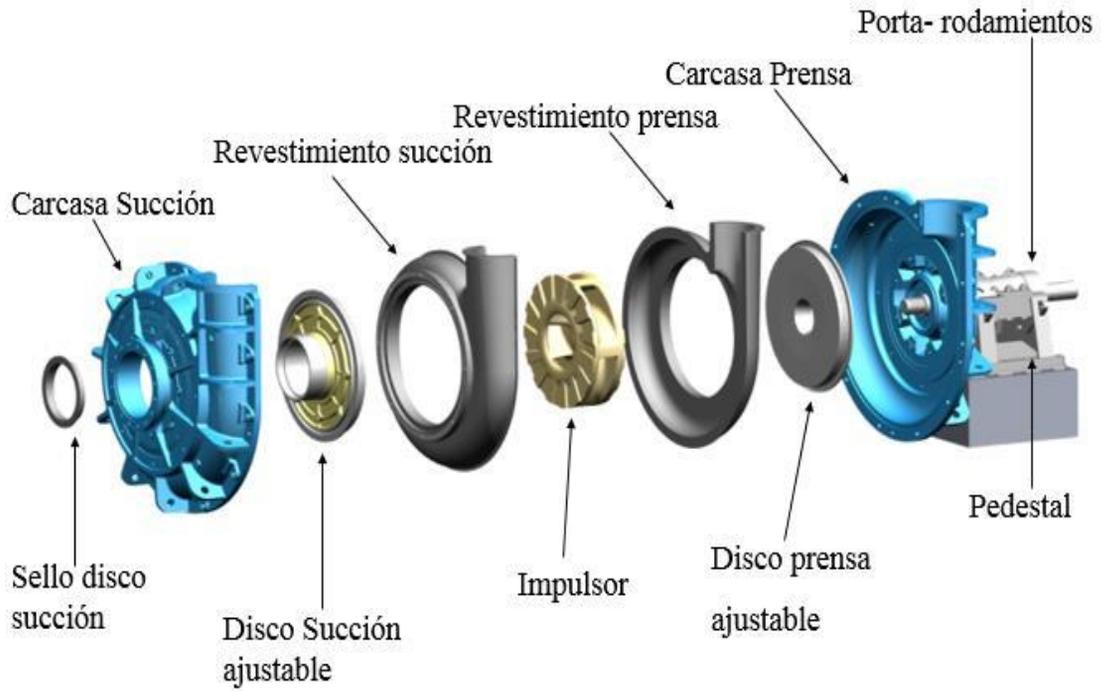


Fuente: Literatura técnica de bombas Warman.

Bomba centrífuga con plato ajustable, para mejorar el rendimiento de la eficiencia de la bomba.

**Componentes principales.**

**Figura N° 4.6. Componentes principales bomba Warman tipo SRH-SRC.  
Con revestimiento de goma.**



**Figura N° 4.7. Revestimiento opcional voluta metálica.**

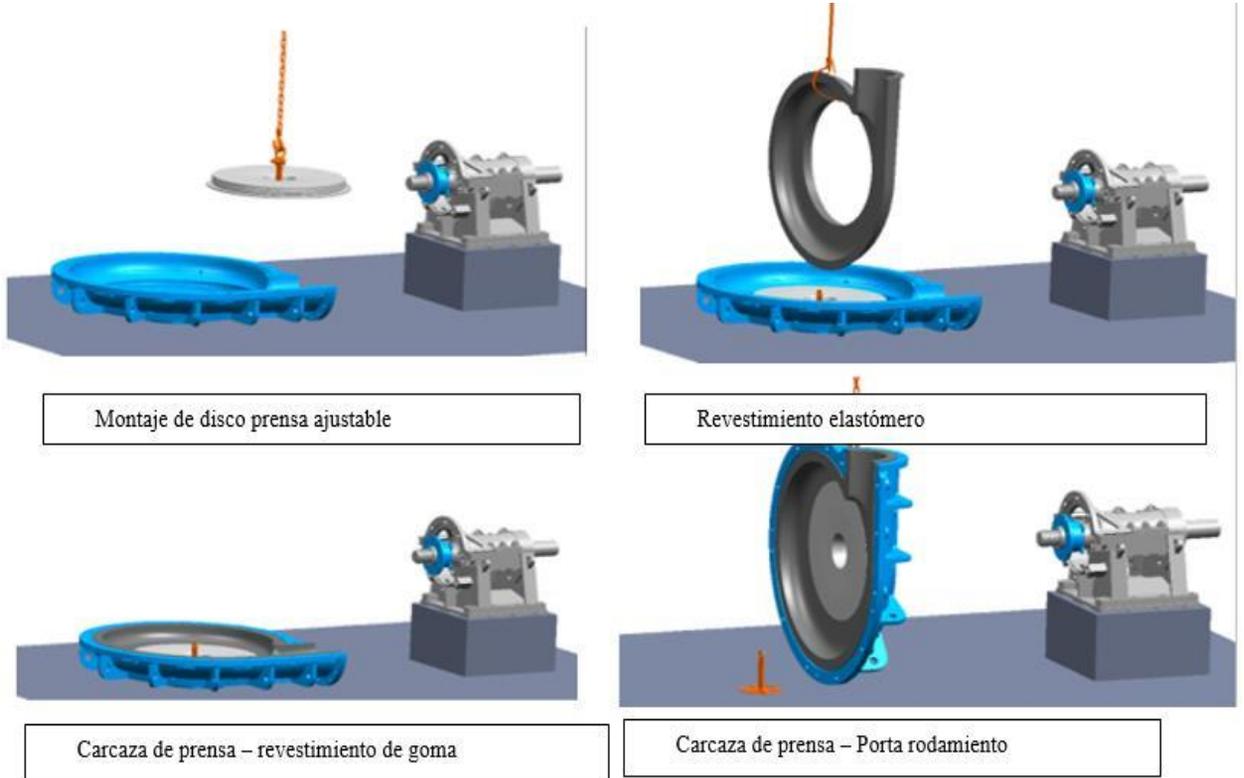


Fuente: Wier Minerals Equipment.

Revestimiento metálico Voluta, utilizado en el primer caso de mejora continua de la tesis.

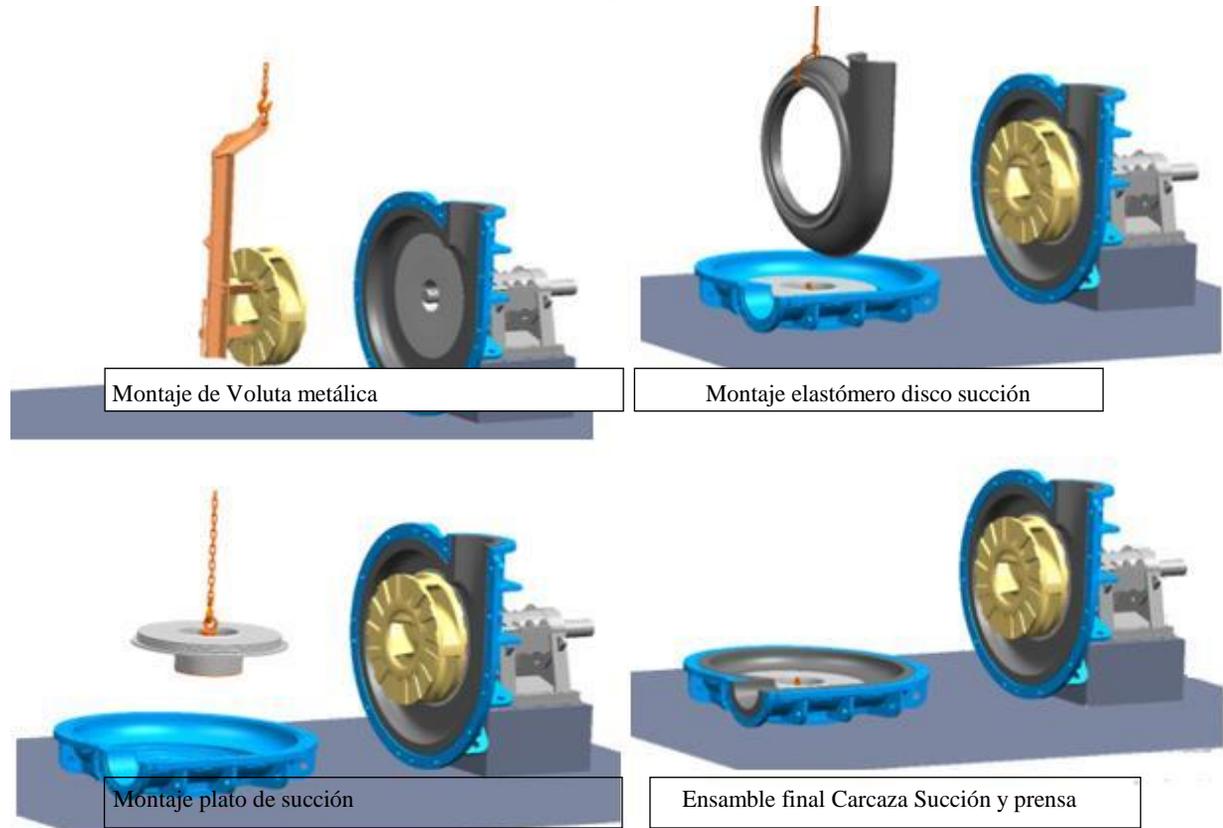
**Ensamble convencional.**

**Figura N° 4.8. Ensamble convencional.**



**Figura N° 4.9. Ensamble convencional.**

Armado de bomba centrífuga, con revestimiento de goma (metal-elastómero).



Fuente: Wier Minerals Equipment

#### **4.1.5. Bombas Warman tipo GALIGHER 5000**

##### **Modelo Galigher.**

- Se utilizan principalmente en aplicaciones de sumidero, pulpeo de rebalses, evacuación de piscinas.
- Estas pueden contar con revestimientos elastómeros como metálicos, lo que las acondiciona para ambientes abrasivos, ácidos, básicos y otros.
- Flujos hasta 550 m<sup>3</sup>/hrs.

**Figura N°4.10. Bombas Warman tipo galigher 5000 (bombas de piscinas).**



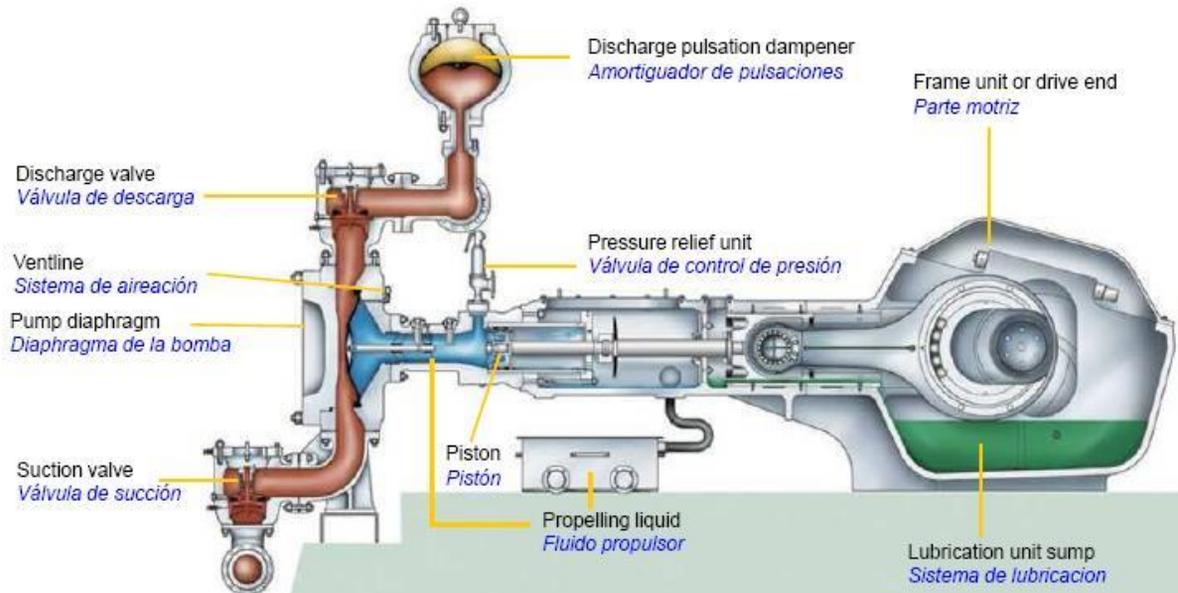
#### 4.1.6.- Bombas Geho.

- Bombas de desplazamiento positivo, pistón diafragma.

##### Rango de operación.

- Tipos ZPR, TZP, TZPM, ZPM, hasta 75% sólidos, 8 mm, Viscosidad 8.000 centipoise
- Tipos DHC, DHT, hasta 80-90% sólidos, 15 a 80 mm, Viscosidad 50.000 a 100.000 centipoise.

**Figura N° 4.1.1. Funcionamiento de bomba geho (desplazamiento positivo)**



Fuente: Wheir Minerals-Piston Diaphragm Pump GEHO TZPM.

## **CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES DE MANTENCIÓN**

### **5.1.- Recomendaciones de mantención.**

#### **5.1.1.- Puesta en marcha.**

- ✓ Verificar que impulsor no esté rozando con los revestimientos.
- ✓ Verificar sentido de giro del motor.
- ✓ Abrir agua de sello, en bombas de sello hidráulico.
- ✓ En lo posible comenzar operación con agua y luego introducir pulpa.
- ✓ Cebear bomba, abriendo válvulas de succión y descarga.
- ✓ Poner en marcha el equipo.
- ✓ Verificar el correcto funcionamiento de la bomba, tomando temperatura y vibraciones.

#### **5.1.2.- Actividades frecuentes de mantención.**

- ✓ Lubricación, cambio de aceite y grasa.
- ✓ Alineamiento (poleas, correas y gap).
- ✓ Termo grafía, medición de temperatura en la caja porta rodamientos.
- ✓ Cambio de sello prensa estopa.
- ✓ Cambio de camisa.

### **5.1.3.- Actividades de control.**

- ✓ Control de parámetros (Vibraciones, temperatura, Ruidos, Operacionales).
- ✓ Verificar fugas.
- ✓ Inspección Visual.
- ✓ Cambio de Componentes.
- ✓ Registro de Vida Útil.
- ✓ Registro de patrones de desgaste.
- ✓ Agua de Sello.
- ✓ Presión de agua de sello (prensa estopa).
- ✓ La prensa debe filtrar gotas de agua limpia.
- ✓ Si la prensa presenta un exceso de agua limpia después de ser apretada, se debe revisar si el flujo de agua es el adecuado o excesivo.

### **5.1.4.- Lubricación porta rodamientos.**

- ✓ Lubricar según lo indicado en la hoja lubricación data, para cada tamaño de bomba.

**Figura N°5.1 Cartilla de Lubricación.**

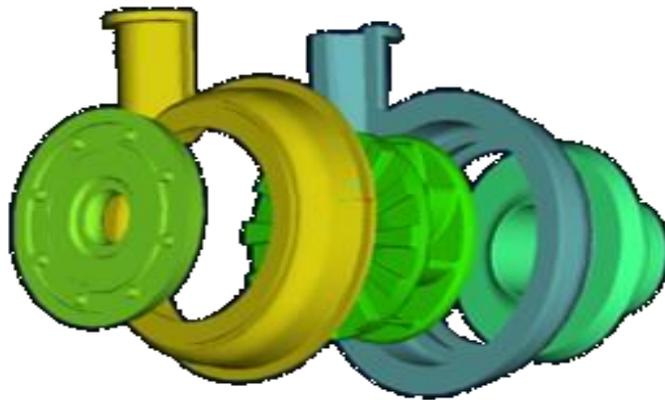
 	<h2><u>Lubrication Data</u></h2>	<b>CARTILLA DE LUBRICACIÓN</b>
	Type of Lubrication: ..... Grease	Tipo de lubricación: Grasa
	Type of Lubrication System: ..... Grease Fittings / Low Pressure Grease Gun	Sistema de lubricación: pistola de grasa y fitting
	Recommended Lubricant: ..... Extreme Pressure Lithium Complex Soap Base Grease	Lubricación Recomendada: grasa a base de litio
	Recommended Lubricant Manufacturer: ..... Chevron Dura-Lith Grease EP NLG12, Mobil AW2 or equal	Fabricante recomendado: <u>Mobil AW2, grasa EP NLG12</u>
	Quantity of Lubricant - Pump End Bearing: ..... Initial fill: 2.1 oz. / 63 grams Refill: 0.7 oz. / 21 grams	Cantidad de lubricación bomba y rodamiento: 63 gr. Película Inicial y relleno 21 gr/ 255gr película inicial-relleno <u>85 grs.</u>
	Quantity of Lubricant - Drive End Bearing: ..... Initial fill: 9.0 oz. / 255 grams Refill: 3.0 oz. / 85 grams	Tiempo entre servicio: 1 mes o 728 hrs.
	Recommended Time Between Service: ..... 1 month (728 hours) (based on continuous service)	Consumo anual: 1,3 Kg. Puntos de lubricación.
Approximate Annual Consumption: ..... 2.8 Lbs. / 1.3 kilograms		
Lubrication Points: ..... Pump End and Drive End Bearings		

La lubricación es vital para la vida útil de los rodamientos, no debe ser precaria ni excesiva. En ambos casos la película del lubricante nos puede llevar a tener temperaturas elevadas y dar comienzo a fallas catastróficas en los componentes internos móviles.

### 5.1.5.- Precauciones en el cambio de componentes.

- ✓ No calentar camisa de eje o eje.
- ✓ No golpear impulsor (metálico).
- ✓ No aplicar calor al impulsor.
- ✓ No aplicar grasa ni lubricantes a revestimientos, usar vaselina sólida o agua.

**Figura N° 5.2. Precauciones en el cambio de componentes.**



Montaje de revestimiento de goma, plato de succión y descarga.

5.1.6.- Listado de bombas Warman horizontales Cerro Negro Norte.

**Tabla N° 5.1. Listado de bombas horizontales Warman.**

<b>LISTADO BOMBAS HORIZONTALES CNN</b>		
<b>BOMBA</b>	<b>cantidad de equipos</b>	<b>TAG</b>
Warman 550 MCR	4	3400-PU-05/06/07/08
Warman 8x6 F-AH	3	3500-PU-41/042/043
Warman 8/6 FF-AHPP	4	4210-PP-101/102/103/104
Warman 12x10 F-AH	3	3500-PU-0021/22/23
Warman 12x10 F-AH	2	3500-PU-0026/27
Warman 10x10 SRH	2	3500-PU-030/031
Warman 14x12 SRH	3	3300-PU-001/002/003
Warman 16x14 SRH	4	3400-PU-009/010/011/012
Warman 4x3 SRH	2	2200-PU-0035/0036
Warman 6x6 SRH	3	3600-PU-034/035/036
Warman 6x6 SRH	2	2200-PU-0001/0002
Warman 6x6 SRH	1	2200-PU-0008
Warman 6x6 SRH	1	2200-PU-0021
Warman 8x8 SRH	3	3400-PU-0015/0016/0049
Warman 8x8 SRH	3	3400-PU-0013/0014/0048
	40	

Fuente: Se indica listado de bombas disponibles en faena en base a inventario interno.

## 5.2.- Tipos de sellos fijos y móviles.

### 5.2.1.- Sellado de partes fijas (estacionarios).

Los sellos fijos permiten la hermeticidad entre cámaras, para evitar el traspaso de fluidos de una cámara a otra.

**Figura N° 5.3. Silicona, gasket, teflón y empaquetaduras**

Silicona



Gasket



Teflón



Empaquetaduras

Fuente: Tipos de sellos fijos en pasta, líquido y sólido (imágenes de catálogos).

**Figura N° 5.2. O'Rings.**



- O'rings de nitrilo, epdm, viton, etc. Sellos para piezas fijas.

### **5.2.2.-Sellado de partes móviles**

Los sellos móviles permiten la hermeticidad entre cámaras, para evitar el traspaso de fluidos de una cámara a otra, siendo una fija y una móvil.

**Figura N° 5.5. Retenes.**



Fuente: Catalogo de retenes SKF.

- Uno de los sellados más comunes entre una parte fija y una móvil, son los retenes.

**Sello de prensa estopa.**

**Figura N° 5.6. Prensa estopa.**



Fuente: Catálogo Chesterton.

· Sello muy utilizado en bombas de plantas, trabajo húmedo con un goteo constante de refrigeración en el eje de la bomba.

## Sello mecánico simple de resorte

**Figura N° 5.7. Sello mono resorte.**



Fuente: Catálogo sellos VAZEL.

- Sello muy utilizado en bombas centrífugas, helicoidales, verticales, etc. Es un sellado entre superficies de contacto denominadas espejos.

## **Evolución del sellado de partes móviles.**

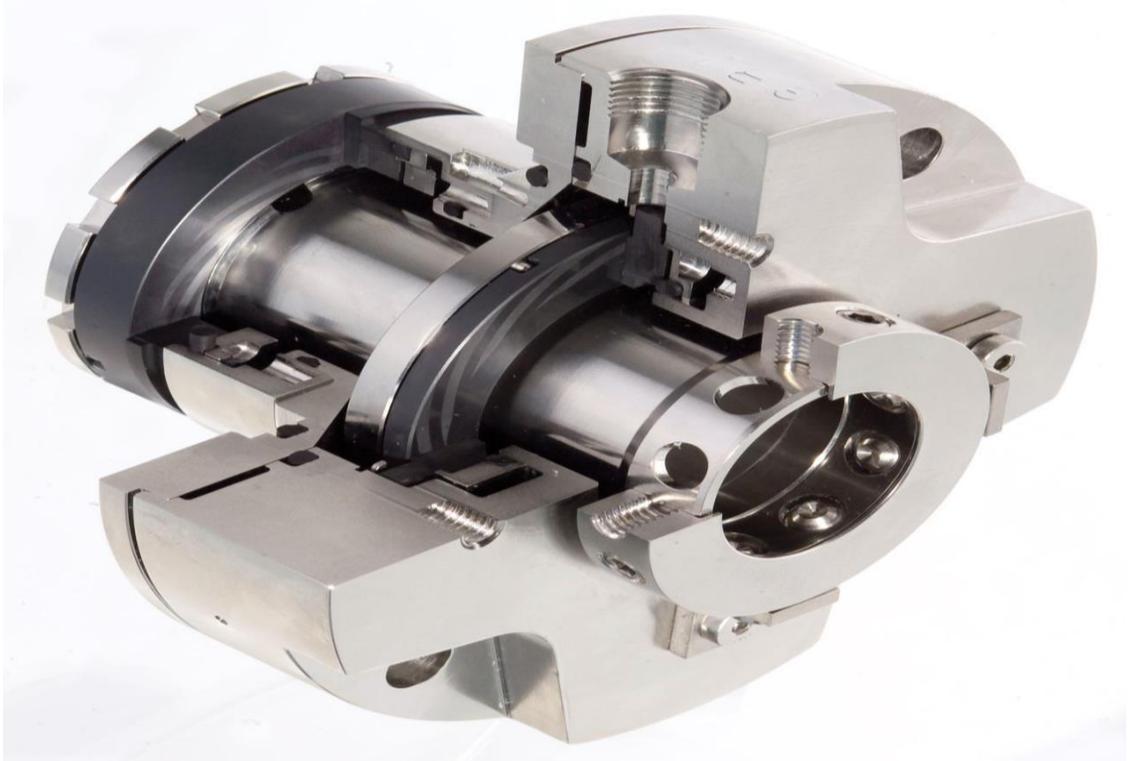
**Figura N° 5.8. Evolución del sello mecánico.**



Fuente: Imagen Publicitaria Sellos John Crane.

- Fabricación de sellos espejos de cerámicos, carbono, tungsteno, etc. Ajustados con resorte, hasta llegar al Sello Mecánico con pasajes internos de refrigeración. Aumentando su durabilidad en el tiempo y de libre mantenimiento.

**Figura N° 5.9. Sello mecánico.**



Fuente: Catalogo John Crane.

- Sello mecánico, Cartridge John Crane. La versión de diseño para el libre mantenimiento de los componentes, sólo mantener su línea de refrigeración, evitando contactos periódicos de mantenimiento.

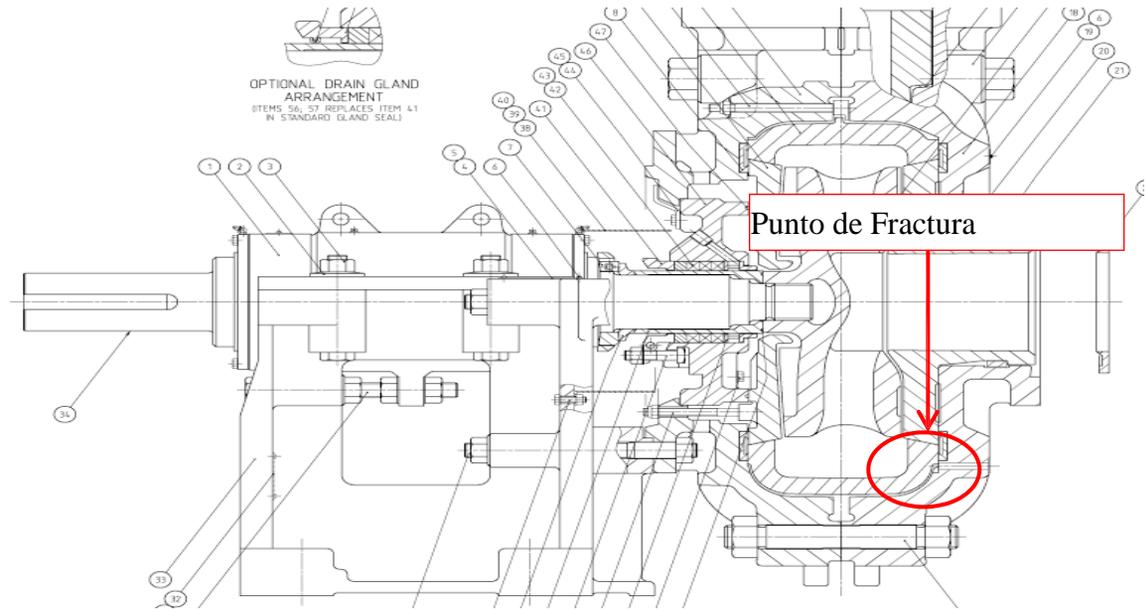
## CAPÍTULO VI

### PROBLEMA EN COMPONENTE DE BOMBAS

#### 6.1.- Problema N°. 1 fractura de revestimiento metálico

Bomba de alta presión del último tren de bombas de concentra ducto a Puerto Totoralillo.

Figura N°6.1. Último tren de bombas de alta presión.



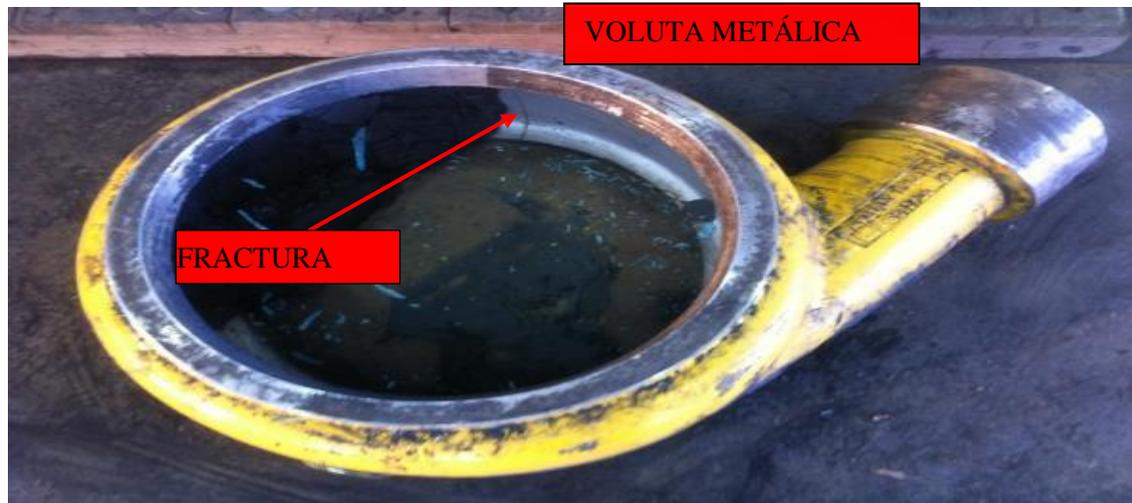
**Fuente:** Manual de partes bomba Warman, Weir Minerals.

Bomba centrífuga de alta presión, que impulsa el concentrado de hierro hacia el Puerto Punta Totoralillo, a través del ducto de concentrado, llamado concentraducto.

### **6.1.1.- Comienzo de la problemática N° 1**

Han existido reiteradas fracturas de los revestimientos metálicos (Volutas), por lo que se requiere una pronta necesidad de normalizar este último tren de bomba, que es el más importante por llevar el concentrado final a Puerto Punta Totoralillo. Se solicita ayuda al vendedor de la marca para una posible solución, por lo que se realizaron todos los cambios de acuerdo con el fabricante en los torques correspondientes, sin tener una respuesta al problema, debido a que se siguen fracturando sólo al recibir la carga sin entrar en operación. Pero al momento de contar con una sola bomba buena en operación hacia el puerto, de las cuatro que componen el tren de bomba, se entrega una solución técnica, por parte de los integrantes de esta mejora continua, la cual detecta que el asiento cónico de la voluta donde se encuentra con los platos de succión y marco (Frame), existe una altura mínima en el plato que al momento de estar instalado en la voluta y ser torquados, de acuerdo a su conicidad excede su presión contra la voluta, sin quebrarla al momento de armar, pero al momento de recibir la carga sin necesidad de poner en servicio la bomba esta se quiebra. La solución es suplir esa altura mínima con empaquetadura de 1/8 de Pulgada, esto genera que la conicidad del plato no exceda su presión sobre la voluta.

**Figura N°6.2. Fractura de revestimiento metálico (voluta).**



Fuente: Imagen capturada de la voluta física utilizada en planta.

Revestimiento metálico (voluta) fracturado, 3 KIT cambiados los 3 presentaron la misma falla. No logran operar.

**Figura N°6.3. Altura de plato succión con asentamiento cónico sobre la voluta.**



Fuente: Imagen capturada de voluta y plato de succión utilizado en planta.

**Figura N°6.4. Fabricación de 02 empaquetaduras para ambas caras de la voluta y asentamiento de los platos.**



Fuente: Imagen capturada de Klinger físico utilizado en planta.

### 6.1.1.1.- Bomba Warman de alta presión reparada.

**Figura N°6.5. Bomba de alta presión del último tren de bomba.**



Fuente: Imagen capturada de bomba Warman reparada, lista para ser instalada.

Bomba de alta presión del último tren de bomba de envío de concentrado a puerto.

Es reparada en Servicio Técnico de Taller CNN-CAP con su mejora y es entregada al área húmeda encargada de concentra ducto para su instalación.

Actualmente operando sin problemas y sin generar costos asociados, en espera de una respuesta técnica de los representantes de la marca.

## Análisis de falla aplicando la metodología de los 5

**Tabla N°6.1. Problema N° 1**

<b>Problema N°1</b>			
5 ¿Por qué?			
¿Por qué fuga la bomba?	¿Por qué se fractura la voluta?	¿Por qué hay exceso de torque?	Se realiza armado de acuerdo con los torques recomendados por fabricante.
5 ¿Por qué?			
¿Por qué se fractura la voluta, solo al recibir la carga?	¿Por qué el metal esta con mucha tensión?	¿Por qué el plato tiene una pequeña altura sobre la voluta? ¿Cómo el asentamiento es cónico, se ajusta demasiado al torqurear?	
Análisis causa de raíz. La altura del plato y el asentamiento cónico permite un ajuste excesivo.			

### 6.1.2.- Gráficos estadísticos de problema N° 1

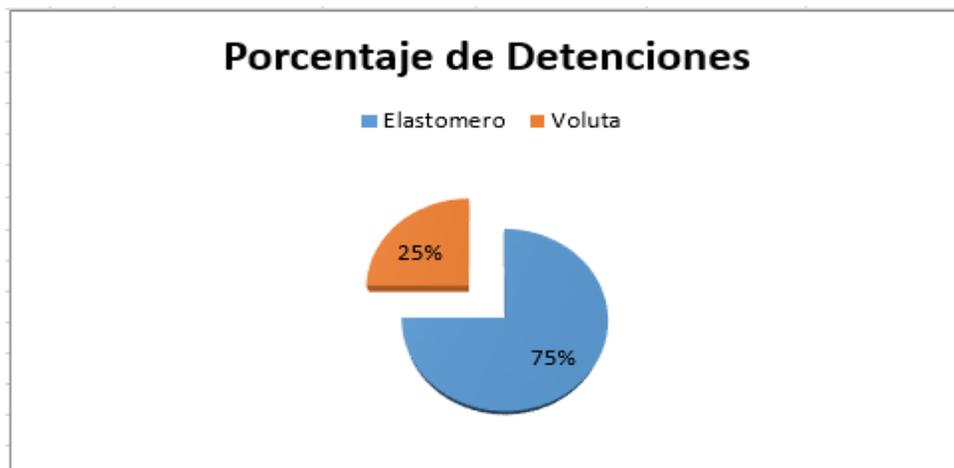
**Tabla N°6.2. Evaluado en 18 meses (12960 horas de operación)**

Evaluado en 18 meses (12960 horas de operación)				
Ítem	Componente	Detenciones	% Acumulado	%
1	Elastómero	6	75	75
2	Voluta Metálica	2	100	25

<b>Total Detenciones</b>	<b>8</b>
--------------------------	----------

Fuente: Datos estadísticos realizados en Excel.

**Gráfico N°6.1. Porcentaje de detenciones**



Fuente: Imagen de gráfico realizado de los datos estadísticos de Excel.

- En 18 meses de operación, existen 6 detenciones para realizar cambios de revestimientos elastómeros V/S solo 2 cambios de volutas metálicas.

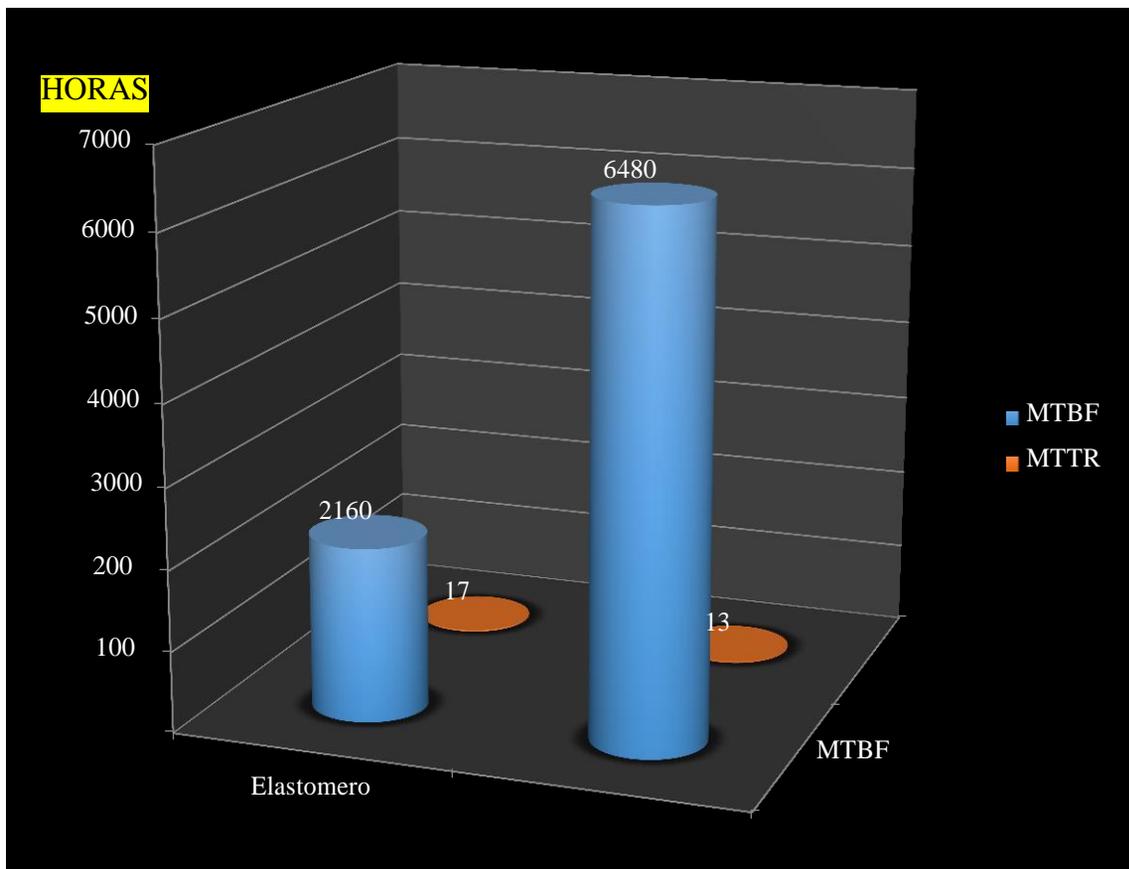
### 6.1.3.- Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) y Tiempo Medio Reparación (MTTR) de los 02 tipos de revestimiento en operación (voluta-elastómero)

**Tabla N°6.3. MTBF y MTTR**

12960 Hrs. de Operación	MTBF	MTTR
ELASTOMERO	2160 Hrs	17Hrs
VOLUTA	6480 Hrs	13Hrs

Fuente: Datos utilizados en Excel para realizar cálculos de tiempo medio entre fallas.

**Gráfico N°6.2. MTBF y MTTR**



Fuente: Gráfico realizado de los datos estadísticos de los tiempos entre fallas.

- Tiempo medio entre falla (tiempo intercambio de repuesto) del revestimiento elastómero es cada 2160 horas. Siendo el tiempo medio entre falla o tiempo de intervención de la voluta metálica es de cada 6480 horas.

**6.2.- Problema N° 2 falla prematura de sello mecánico, por la línea de agua de sello contaminada.**

En primera instancia, al realizar el primer cambio de sello mecánico Drimax se detecta contaminación en la cámara de refrigeración que es proveniente del agua de sello.

Se informa y se entrega posible solución. Entregar agua limpia al sello con un estanque sellado de agua limpia recirculada con una bomba, proyecto que es bien recibido.

Como el agua estaba contaminada, por este motivo se decide proteger el sello internamente del agua con barro y particulado, instalando retenes opuestos, Lo que es bien acogido y es ejecutado, actualmente es monitoreado sin presentar problemas y libre de mantenimiento sin generar costos asociados, sin necesidad de las visitas semanales de técnicos para ajustes como lo necesita el sello prensa estopa y sin detenciones antes semanales-mensuales por cambio de camisa.

**Tabla N°6.4. Problema no. 2**

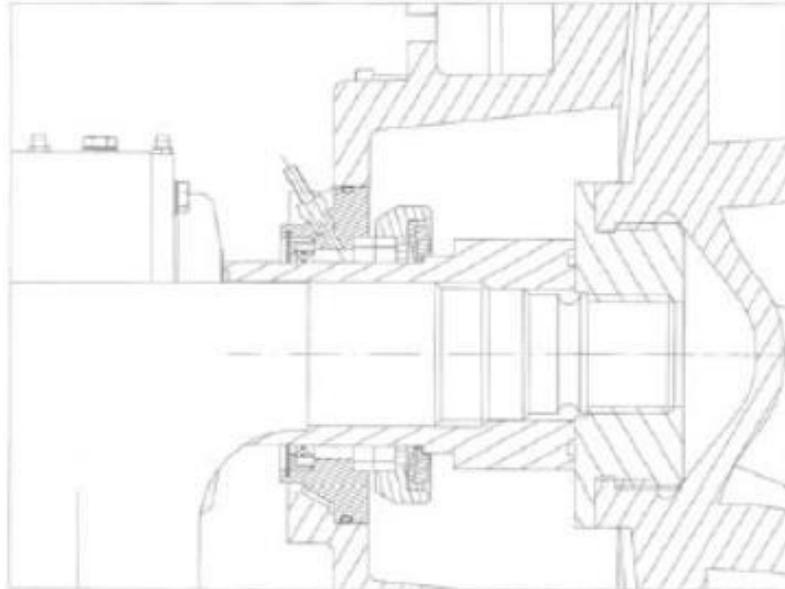
<b>Problema N°2</b>		
5 ¿Por qué?		
¿Por qué fuga el sello mecánico?	¿Por qué se desprende material del labio del retén?	¿Por qué hay barro en la cámara de refrigeración?
Análisis causa de raíz. Barro en la línea de agua de refrigeración		

### 6.2.1.- Sello DRIMAX (características técnicas de fábrica).

Figura N°6.8. Características técnicas de sello mecánico DRIMAX.

#### *Sello Mecánico driMAX*

- Opera en circuitos altamente abrasivos.
- Las partes de desgaste del sello individual, son fácilmente reemplazables en terreno, sin la necesidad de herramientas especiales.
- No se necesita agua a presión, ni dilución, o sistemas auxiliares de sellado.
- Facilidad para ajustar el sello, si se requiere debido a desgaste.
- El ajuste del anillo de desgaste se hace sin tocar este sello.
- Diseño hidráulicamente balanceado.



**Fuente:** Manual de partes de sellos Drimax.Co.

Este es un sello de mayor costo económico en un principio v/s un sello convencional prensa estopa, utilizándolo correctamente es ganancia en el tiempo.

A la fecha se han cambiado 21 sellos en 12 meses de acuerdo con registro de salida de la bodega, agotando stock. Motivo por el que se debió ejecutar rápidamente la solución de retenes opuestos (Valor aprox. De c/sello Drimax 1.800.000 +H/H y Costos de producción por detención).

Este sello es un avance de la ingeniería en los sellos mecánicos conocido, su costo es más elevado, pero de libre mantención, no necesita ajustes semanales ni cambios periódicos de empaquetaduras, donde necesariamente se debe detener el equipo al tener sellos de prensa estopa. Este sello puede trabajar mínimo libremente 6 meses con un caudal de agua sello bajísimo ya que no necesita agua a presión como el sello prensa estopa, el agua es solo para refrigerar.

**Figura N°6.9. Imagen de sello mecánico DRIMAX.**



**Fuente:** Imagen capturada de sello original nuevo de planta.

**Figura N°6.10. Imagen interior del barro incrustado en la cámara de refrigeración del sello mecánico DRIMAX.**



**Fuente:** Imagen capturada de sello retirado en mal estado.

El barro mostrado en la imagen ingresa del agua de la línea de refrigeración y se aloja bajo el labio del retén, generando fricción y actúa en forma de lija generando desprendimiento del labio del retén. Ocasionando fugas y pérdidas por el retén.

Se desmonta sello Drimax desde bomba FLSmidth Millmax de los espesadores y se aprecia la contaminación interna de su cámara de refrigeración afectando a los sellos espejo y reten, dejándolo fuera de servicio por pérdida de material debiendo detener la bomba para coordinar el cambio de este. Se confecciona informe Técnico y se informa al sector de área húmeda lugar donde opera el equipo, sobre el problema directo que está generando la contaminación del agua de sello, se plantea la solución de entregar agua limpia al sello con un estanque sellado de agua limpia recirculada con un tren de bomba.

**Figura N°6.11. Retén dañado en sello mecánico DRIMAX.**



**Fuente:** Imagen capturada en desarmado de sello en planta.

Al desmontar sellos, hay presencia de material en el interior del sello y el retén mordido con desprendimiento de material generando filtración (el particulado actúa como una pasta abrasiva entre las superficies de contacto al estar trabajando).

Como se observa no se alcanzó a dañar los espejos del sello, se propone la idea de recuperar y comprar retenes dañados (anteriormente se cambiaba completo el sello), y en el caso que los sellos espejos presentaran daños, estos también se pueden recuperar del mismo modo que se recuperan las bombas hidráulicas de pistones (Lapeado). Los integrantes de esta segunda mejora continua solicitan la gestión de la adquisición de retenes y realizar recuperación.

**Figura N°6.12. Retener opuestos.**



**Fuente:** Imagen capturada en instalación de doble sello labio en sello mecánico.

Como no se podrá mejorar la condición del agua sello que permanece con barro, se decide proteger el sello mecánico internamente del ingreso de agentes contaminantes a la cámara refrigerante. Se realiza la instalación de 2 retenes opuestos, como necesitamos un bajo caudal de refrigeración, (no como los sellos de prensa estopa, que necesitan una elevada presión de agua de sello), los retenes son solo para evitar que se introduzca barro interior-exterior ajustando el resorte, solo es para lavar y refrigerar internamente la cámara, no es necesario agua a presión. El sello es completamente desarmado, todas sus piezas son lavadas y se pulen levemente los espejos a traslape, se realiza el armado de un sello el cual será utilizado como prueba, quedando en etapa de seguimiento.

## **Bomba FL Smidth Millmax de espesadores.**

**Figura N°6.13. Bomba reparada.**



Desde Servicio Técnico de Taller CNN-CAP la bomba FLSmidth Millmax es reparada con sello mecánico recuperado-modificado para poner a prueba, es entregada a la unidad de área húmeda espesadores y es enviada a ser instalada en bomba N°4 espesador N°1.

Con monitoreo y seguimiento desde la puesta en marcha (actualmente 6 meses de operación libre de mantenimiento).

### **6.2.2.- Tablas de cálculo de consumo de agua, de sello mecánico**

Análisis de costo beneficio, que avala los costos y beneficios que significa recuperar los sellos mecánicos de la segunda y tercera mejora continua de la tesis. Reduciendo notoriamente los costos hídricos, según tabla adjunta de los fabricantes.

**Tabla N°6.5. Beneficio total.**

Se demuestra el bajo consumo de agua que tienen los equipos al utilizar los sellos mecánicos y el ahorro económico en el tiempo. Y la baja cantidad de eventos, solo 04 anuales por mantenimiento, no así los sellos prensa estopa que constantemente deben ser asistidos, aumentando costos por horas hombre, repuestos y horas de detención.

<b>BENEFICIO TOTAL, por equipo en operación,</b>			
<b>Anual</b>			
	<b>Beneficio hídrico, m3/h</b>	<b>Beneficio mantención, eventos</b>	<b>TOTAL BENEFICIO ECONOMICO ANUAL POR EQUIPO EN OPERACIÓN</b>
<b>Ahorro hídrico</b>	35069,76	4	
<b>Ahorro económico</b>	<b>\$21.041.856</b>	<b>\$7.803.084</b>	<b>\$28.844.940</b>

<b>Beneficio Ahorro), 7,5 meses por equipo en operación</b>			
<b>Volumen agua, m3 , 7,5 meses</b>	<b>Eventos en 7,5 meses</b>	<b>AHORRO TOTAL</b>	<b>Valor de sello prueba contra resultados, 7 meses</b>
21918,6	2,5	7,5 meses de operación	
<b>\$13.151.160</b>	<b>\$4.876.928</b>	<b>\$18.028.088</b>	<b>\$16.796.300</b>

<b>Flujo agua de sello</b>	
4,1	M3/H
Valor de m3 de agua	\$600

<b>Agua de sello consumida, sistema sello hidráulico (SRH)</b>			
<b>Horas utilización agua anual</b>	<b>Volumen, m<sup>3</sup>, mensual</b>	<b>Volumen, m<sup>3</sup>, anual</b>	<b>Costo Anual, agua</b>
8640	2952	35424	\$21.254.400
Considerando una utilización del 100 % del tiempo del agua de sello, con sello SRH			

Continuidad Tabla 6.5

<b>Agua de sello consumida, sistema sello Mecánico.</b>			
Horas utilización agua operación 6 meses	Volumen, m3, mensual	Volumen, m3, anual	Costo Anual, agua
86,4	29,52	354,24	\$212.544
Considerando una utilización del 1 % del tiempo del agua de sello, con sello SRC			

<b>Ahorro, por costos de mantención por equipo operando. Se considera cambio de camisa cada 2 meses</b>			
Costo por mantención	Mantención general, 2 al año, duración 6 meses revestimientos, eventos	Mantención por cambio de camisa, cada 2 meses	Costo por repuestos anual, camisa, anillo y empaques
\$1.000.000	2	4	\$950.771
Total costo mantención por cambio de camisa Anual			\$7.803.084

**Fuente:** Weir-Minerals planta. Datos con valores reales en pesos, registrados en los tiempos de seguimiento de operación.

**6.3.- Problema N° 3 reemplazos de sellos mecánicos por sellos prensa estopa.**

**6.3.1.- Tren de bombas KSB-SPY (Sentinas).**

**Figura N°6.14. Tren de bombas de agua de proceso KSB-SPY (Sentinas).**



**Fuente:** Imagen capturadas del tren de bombas sentina de planta.

Punto crítico de esta estación de bombas, es que al tener bombas fuera de servicio en esta línea afecta directamente en el proceso de la planta. Disminuyendo su capacidad de producción, ya que este tren de bombas abastece con el agua de proceso, la cual es vital para el trabajo de la planta.

**Tabla N°6.6. Problema N° 3**

5 ¿Por qué?			
¿Por qué fallan los rodamientos de la caja porta rodamientos?	¿Por qué falla la lubricación?	¿Por qué agua del sello prensa estopa remueve la grasa?	¿Por qué el agua penetra directamente en la caja?
Análisis causa raíz. El agua destruye los rodamientos			

### **6.3.2.- Proceso de refrigeración del sello prensa de estopa.**

#### **Sistema de refrigeración.**

**Figura N°6.15. Agua de la prensa estopa.**



El agua de la prensa estopa actúa continuamente en forma directa sobre la tapa de la caja porta rodamientos, ingresando al interior de generando oxidación, pérdida de lubricación y corrosión en el interior. Transformándose en una falla en cadena catastrófica y en aumento, acortando la vida útil de los componentes del equipo. Además de incrementar el costo hídrico del agua en la planta.

### **6.3.3.- Puntos necesarios de normalizar y corregir antes de reparar**

Antes de esperar los resultados óptimos hay que controlar estos puntos no deseados en la operación y si es posible incluir una mejora para la cavitación.

## Carcasa de bomba Sentina.

**Figura N° 6.16. Desgaste abrasivo en carcasa.**



**Fuente:** Imagen de carcasa de la bomba.

Luego de desmontar la caja porta rodamientos, se observa la carcasa dañada y que trabajo sin anillo, generando ineficiencia en la bomba y cargas de recirculación en el rodete (Por ningún motivo se debe autorizar instalación sin anillo, ya sea el de carcasa o rodete).

### 6.3.3.1.- Caja porta rodamientos.

Desgaste al interior de la caja porta rodamientos.

Figura N°6.17. Desgaste en pista de trabajo de rodamientos en la caja porta rodamientos.



**Fuente:** Imagen capturada al desarmar caja porta rodamiento.

Por altas temperaturas se producen deformaciones, es necesario enviar a rectificar y recuperar las pistas de trabajo de los rodamientos (Enviar caja y rodamientos nuevos a maestranza, para control dimensional y metalizado).

### 6.3.3.2.- Desgaste corrosivo en rodamiento de caja porta rodamientos y eje

**Figura N° 6.18. Desgaste en rodamientos.**



**Fuente:** Imagen capturada del rodamiento retirado de la bomba en planta.

Rodamiento de la caja, con evidente ingreso de agua lo cual diluye y emulsiona la grasa haciéndola perder sus propiedades de lubricante, generando temperatura de trabajo por la falta de la grasa. Llevando a los rodamientos a su destrucción total.

### 6.3.3.3.- Sello mecánico.

**Figura N°6.19. Sello mecánico recuperado.**



**Fuente:** Imagen capturada equipo funcionando con sello mecánico.

Debido al daño irrecuperable que se genera al interior de la caja porta rodamientos, los integrantes de la tercera mejora continua de la presente tesis, deciden recuperar y poner en servicio un sello mecánico que recuperaron. Transformándose en el último sello mecánico instalado en las bombas sentinas, después de haber cambiado todas las bombas de este tren a sello prensa estopa. El sello mecánico es instalado en bomba N°148 del tren de bomba de agua de proceso de la planta. Confirmando y ratificando lo sostenido por los integrantes de la presente tesis, sobre la eficiencia de los sellos mecánicos cuando son bien utilizados y la reducción del consumo hídrico como se aprecia en la figura (ninguna gota de agua en el piso del equipo). Actualmente 9 meses de operación Libre de mantenimiento y un área limpia sin pérdidas hídricas (existen 2 en operación con sello mecánico).



## **CAPÍTULO VIII.**

### **CONCLUSIONES**

Optimizar la confiabilidad en los trenes de bombas usados en el proceso productivo de Minera Cerro Negro Norte, a través de las 3 mejoras continuas ejecutadas por los expositores, impacto directamente de forma positiva en los costos beneficio de CNN, Existen diversos métodos actuales en mantenimiento para poder resolver o determinar distintos tipos de fallas, sin embargo, en la industria actualmente se encuentran fallas de diseño que han sido imprevistas, las cuales son de envergadura y comprometen la operación de la planta.

En las tres intervenciones citadas de los trenes de bombas de CNN, se utilizaron criterios técnicos para determinar una acción correctiva, la que ayudó a conocer aún más los equipos y fortalecer la confianza de las distintas áreas al recibir las ideas y dejar ejecutarlas en beneficio de la planta, tomar conciencia que cada equipo por diseño tiene sus requerimientos especiales de fábrica los cuales deben respetarse para garantizar la vida útil del componente y además obtener el máximo rendimiento de cada componente.

La pregunta inquietante, si ya se inventó ¿por qué no se utilizan estos sellos que son trabajos de la ingeniería?, que son de gran aporte al cuidado de nuestra agua, que es tan escasa en nuestra zona y si los tenemos ¿por qué no se les brinda lo que necesitan para su operación óptima?

Estas intervenciones fueron de gran aporte en su momento y sirvieron para demostrar la eficiencia de los sellos mecánicos que son de libre mantenimiento y concebir hacia donde está dirigido el actual mantenimiento, que actualmente se encuentra en el mercado donde los equipos son más competitivos y con los mejores resultados en el tiempo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Weirminerals Netherlands, VULCO, Manual de instalación, operación y mantenimiento.

CNN server, servidor Minera Cerro Negro Norte, instructivos, registro, capacitaciones, planos.

Wheir Minerals-Piston Diaphragm Pump GEHO TZPM.

Catálogos corporativos de John Crane Company.