



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MODIFICACIÓN PARCIAL PLANTA EXTRACCIÓN POR SOLVENTES (SX)  
QUE CONSISTE EN CONVERTIR LA PLANTA DE SERIE A PARALELO EN  
SISTEMA DE BOMBEO MINERA MANTOS COPPER S.A. DIVISIÓN  
MANTOVERDE**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero de Ejecución en Mantenimiento Industrial

Profesor guía: Sr. Osvaldo Durán Artigas.

Carlos Enrique Cerda Ramírez

Copiapó, Chile 2021

## **DEDICATORIA**

A mis padres, mis hijos y mi señora que me acompañaron en esta etapa muy importante de vida de convertirme en profesional y poder aplicar en el mundo laboral mis conocimientos aprendidos a través del paso por la universidad.

**Atte.**

**Carlos Enrique Cerda Ramírez**

## **AGRADECIMIENTOS**

En mi etapa de paso por la universidad quiero agradecer a mi familia, hijos, profesores que me alentaron siempre en permanecer en mis sueños de terminar mi carrera, fue un camino difícil en muchas veces agotador, pero gracias a su apoyo esto no hubiera sido posible. A mis diversos compañeros de curso que gane en el paso por la Universidad de Atacama, gracias por las horas que nos pasamos estudiando entre risas y bromas fue duro, pero no fue imposible, extrañare las pláticas y los viajes que realizábamos a la universidad que nos dio pie a conocernos más, gane grandes amigos y grandes personas.

**Atte.**

**Carlos Enrique Cerda Ramírez**

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>MARCO INTRODUCTORIO</b> .....	1
1.1. Objetivo General. ....	1
1.2. Objetivos Específicos.....	1
1.3. Alcance del Proyecto.....	1
1.4. Metodología. ....	2
1.5. Antecedentes Generales. ....	2
<b>CAPÍTULO II</b> .....	4
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1. Descripción de la Empresa. ....	4
2.1.1. Historia.....	4
2.2.2. Historia de Mantos Copper S.A. en Chile.....	4
2.3. Descripción del Proceso.....	5
2.3.1. Mina. ....	5
2.3.2. Planta.....	6
2.3.3. Chancado, Aglomeración y Lixiviación Heap.....	6
2.3.4. Lixiviación Dump. ....	6
2.3.5. Diagrama General del Proceso Productivo. ....	7
2.3.6. Diagrama de Sistema de Bombeo (Bombas Verticales y Horizontales) PLS.....	8
2.3.7. Mantenimiento de Bomba Horizontal Booster.....	8
2.3.7.1. Espectrometría.....	9
2.3.7.2. Inspección y Análisis de Componentes.....	9
2.3.7.2.1. Voluta.....	9
2.3.7.2.2. Stuffing Box.....	9
2.3.7.2.3. Impulsor. ....	10
2.3.7.2.4. Cuerpo Porta Rodamientos. ....	11
2.3.7.2.5. Anillos de Desgaste. (Estacionario y Rotativo) .....	12
2.3.7.2.6. Eje de Bomba.....	13
2.3.7.3. Propuesta Técnica. ....	14
2.3.7.3.1. Componentes en buen Estado. ....	14

2.3.7.3.2. Trabajos.....	14
2.3.7.3.3. Trabajos de Reparación.....	15
2.3.7.3.4. Fabricaciones.....	15
2.3.7.3.5. Suministro y Reemplazo de Componentes Nuevos Suministro por parte de Proseal.....	15
2.3.8 Las reparaciones realizadas al equipo y/o componentes Bomba GP 3180 L.....	15
2.3.8.1.Trabajos.....	15
2.3.8.2.Trabajos de Reparación.....	16
2.3.8.3. Componentes Fabricados .....	16
2.3.8.4.Componentes Suministrados O Reemplazados.....	16
2.3.8.5. Registro Fotográfico.....	17
2.3.8.6 Tolerancias y Ajustes de Armado. ....	17
2.4. Estructura Departamento de Mantención Mina. ....	18
2.4.1. Misión y Visión de Mantención.....	18
2.4.2. Misión Corporativa del Mantenimiento.....	18
2.4.3. Visión Corporativa del Mantenimiento.....	18
2.4.4. Políticas de Mantención.....	19
2.4.5. Estrategia de Mantención.....	19
2.4.6. Gestión de Mantención.....	20
2.5. Mantenimiento y su Evolución.....	21
2.6. Mantenimiento.....	23
2.7. Tipos de Mantenimiento.....	23
2.7.1. Mantenimiento Correctivo.....	23
2.7.1.1. Mantenimiento Correctivo no Programado.....	23
2.7.1.2. Mantenimiento Correctivo Programado.....	23
2.7.2. Mantenimiento Preventivo.....	23
2.7.3. Mantenimiento Predictivo.....	24
2.8. Modelos de Mantenimiento.....	24
2.8.1. TQM (Mantenimiento de Calidad Total).....	24
2.8.2. TPM (Mantenimiento Productivo Total).....	24
2.8.3. RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).....	24

<b>CAPÍTULO III</b> .....	25
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	25
3.1. Introducción. ....	25
3.2. Ubicación del Proyecto. ....	26
3.3. Alcances. ....	26
3.4. Condiciones del Sitio. ....	26
3.5. Condiciones Generales de Diseño.....	27
3.5.1. Condiciones de Servicio.....	27
3.5.2. Características del Fluido.....	28
3.6. Puntos de Medición.....	28
3.7. Metodología. ....	30
3.7.1. Medición Curva Operacional Bomba Vertical.....	30
3.7.2. Medición Curva Operacional Bomba Booster. ....	31
3.7.3. Medición Curva Operacional Sistema General.....	32
3.8. Recursos. ....	33
3.8.1. Equipos y Elementos de Trabajo.....	34
3.8.2. Personal de Terreno.....	34
3.8.3. Equipo de Protección Personal (EPP). ....	34
3.9. Actividades Realizadas. ....	34
3.9.1. Levantamiento con Escáner Láser 3D.....	34
3.9.1.1. Área Planta Química SX. ....	34
3.9.1.2. Área Impulsión Bombas Booster PLS. ....	36
3.9.1.3. Área Impulsión Bombas PLS.....	38
3.10. Consideraciones de Cálculo. ....	40
3.10.1. Régimen Permanente. ....	40
3.10.2. Régimen Transiente. ....	40
3.11. Resultados Régimen Permanente.....	41
3.11.1. Escenario A. ....	41
3.11.2. Escenario B. ....	42
3.11.3. Escenario C. ....	44
3.12. Resultados Régimen Transiente.....	46

3.12.1. Situación Aumento de Capacidad de Calidad.....	46
3.13. Cálculo NPSH Disponible.....	47
3.14. Cálculo de Potencia.....	48
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>49</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>49</b>
4.1. Alcance y Resumen de los Trabajos Realizados.....	49
4.1.1. Etapa I. ....	49
4.1.2. Etapa II. ....	49
4.1.3. Plazo de Ejecución, Control de Avance y Reportabilidad. ....	60
4.1.3.1. Plazo de Ejecución Proyecto General. ....	60
4.1.3.2. Control de Avance.....	60
4.1.3.2.1. Control de Avance del Proyecto. ....	60
4.1.3.2.2. Control de Avance Específico Parada Mayor Planta Química. ....	63
4.1.3.3. Reportabilidad.....	65
4.1.4. Seguridad.....	66
4.1.5. Dotación de Personal.....	67
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>68</b>
<b>COSTOS DEL PROYECTO SERIE PARALELO</b> .....	<b>68</b>
5.1. Estimación de Costos. ....	68
5.2. Costos Incurridos por Contratos Adjudicados. ....	70
5.3. Costos Incurridos por Adquisición de Materiales.....	70
5.3.1. Disciplina Mecánica.....	71
5.3.2. Disciplina Piping HDPE y Acero Inoxidable.....	71
5.3.3. Disciplina Eléctrica, Instrumentación y Control. ....	71
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>73</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>73</b>
6.1. Conclusiones. ....	73
6.2. Recomendaciones.....	75
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>76</b>
ANEXO A.....	77
CARTA GANTT PROYECTO.....	77

ANEXO B.....	79
LOCALIZACIÓN PROYECTO.....	79
ANEXO C.....	80
CURVAS OPERACIONALES BOMBAS EXISTENTES.....	80
ANEXO D.....	82
HOJA DE REGISTRO DE CURVAS BOMBAS VERTICALES.....	82
ANEXO E.....	85
HOJA DE REGISTRO CURVAS BOMBAS BOOSTER.....	85
ANEXO F.....	88
HOJA DE REGISTRO CURVA SISTEMA GENERAL.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°2.1: Diagrama general del proceso productivo.....	7
Figura N°2.2: Bombas horizontales booster.....	8
Figura N°2.3: Voluta. ....	9
Figura N°2.4: Stuffing Box. ....	10
Figura N°2.5: Impulsor.....	10
Figura N°2.6: Chaveta. ....	11
Figura N°2.7: Cuerpo porta rodamientos. ....	11
Figura N°2.8: Cuerpo axial y anillo. ....	12
Figura N°2.9: Anillos de desgaste. ....	12
Figura N°2.10: Eje de bomba. ....	13
Figura N°2.11: Camisa de la bomba.....	14
Figura N°2.12: Registro fotográfico.....	17
Figura N°2.13: Organigrama Superintendencia Mantenición Mina.....	18
Figura N°2.14: Gestión de mantención actual.....	20
Figura N°2.15: Evolución del concepto de mantenimiento.....	21
Figura N°3.1: Mapa de ubicación empresa Minera Mantoverde. ....	26
Figura N°3.2: Ubicación zonas de medición capacidad de bombas.....	28
Figura N°3.3: Zona de medición de curvas de operación bombas verticales.....	29
Figura N°3.4: Zona de medición de curvas de operación bombas booster. ....	29
Figura N°3.5: Nube de puntos vista isométrica 1.....	35
Figura N°3.6: Nube de puntos vista isométrica 2. ....	35
Figura N°3.7: Nube de puntos vista isométrica 3.....	35
Figura N°3.8: Nube de puntos vista planta.....	36
Figura N°3.9: Nube de puntos vista isométrica 1.....	36
Figura N°3.10: Nube de puntos vista isométrica 2.....	37
Figura N°3.11: Nube de puntos vista isométrica 3.....	37
Figura N°3.12: Nube de puntos vista isométrico 4.....	37
Figura N°3.13: Nube de puntos vista isométrica 5.....	38
Figura N°3.14: Nube de puntos vista planta.....	38
Figura N°3.15: Nube de puntos vista isométrica 1.....	39

Figura N°3.16: Nube de puntos vista isométrico 2.....	39
Figura N°3.17: Nube de puntos vista isométrica - sala eléctrica.....	39
Figura N°3.18: Nube de puntos vista isométrico 2-sala eléctrica. ....	40
Figura N°3.19: Punto de operación bomba turbina, escenario A. ....	41
Figura N°3.20: Punto de operación bomba booster, escenario A.....	41
Figura N°3.21: Punto de operación bomba turbina, escenario B. ....	42
Figura N°3.22: Punto de operación bomba booster, escenario B.....	43
Figura N°3.23: Punto de operación bomba turbina, escenario C. ....	44
Figura N°3.24: Punto de operación bomba booster, escenario C.....	45
Figura N°3.25: Resultados análisis transiente parada de bombas turbinas. ....	46
Figura N°3.26: Resultados análisis transiente parada de bombas booster. ....	47
Figura N°4.1: Curva Op. Sist. v/s bomba booster y v/s bomba vertical.....	49
Figura N°4.2: Trabajos realizados por obras tempranas. ....	51
Figura N°4.3: Trazado exterior de líneas HDPE 630 y 560 (refino y pls). ....	53
Figura N°4.4: Plano general estructural y piping 4ta bomba booster.....	53
Figura N°4.5: Vista lateral estructural y piping 4ta bomba booster. ....	53
Figura N°4.6: Montaje de 500 metros. ....	54
Figura N°4.7: Sector turbinas. ....	54
Figura N°4.8: Área booster 1.....	55
Figura N°4.9: Área booster 2.....	55
Figura N°4.10: Área exterior planta SX.....	56
Figura N°4.11: Área panta interior SX.....	56
Figura N°4.12: Nuevo trazado línea HDPE 315 MM. ....	56
Figura N°4.13: Carretes de flujometro. ....	57
Figura N°4.14: Duo Check. ....	57
Figura N°4.15: Motor. ....	57
Figura N°4.16: Tableros eléctricos en instalación booster.....	58
Figura N°4.17: Trabajos eléctricos en SX.....	59
Figura N°4.18: Carta Gantt resumen del proyecto. ....	60
Figura N°4.19: Curva S avance proyectado v/s real.....	62
Figura N°4.20: Listado de informes semanales.....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°4.1: HH directas e indirectas.....	66
Gráfico N°4.2: Curva dotación real del proyecto.....	67
Gráfico N°5.1: Gráfica resumen estimación de costos.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°2.1: Composición del material. ....	9
Tabla N°2.2: Condición de fabricación rodamientos. ....	12
Tabla N°2.3: Características rodamientos. ....	18
Tabla N°3.1: Datos principales del lugar del proyecto.....	27
Tabla N°3.2: Parámetros Ambientales. ....	27
Tabla N°3.3: Condiciones de servicio. ....	28
Tabla N°3.4: Características del Fluido.....	28
Tabla N°3.5: Resultados escenario A.....	42
Tabla N°3.6: Resultados Escenario B. ....	43
Tabla N°3.7: Resultados Escenario C. ....	45
Tabla N°3.8: Cálculo NPSH disponible bomba turbina. ....	47
Tabla N°3.9: Cálculo potencia total para cada escenario.....	48
Tabla N°4.1: Listado de actividades faltantes de ejecutar.....	63
Tabla N°4.2: Carta Gantt de resumen parada mayor planta química. ....	64
Tabla N°4.3: Justificación de actividades. ....	65
Tabla N°5.1: Presupuesto estimativo del Proyecto. ....	68

## RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de título tiene como objetivo describir e implementar una modificación parcial en la planta de extracción por solventes (SX), los aspectos relevantes del proyecto asociados al proceso productivo en la planta serie paralelo en sistema de bombeo ejecutado en Minera Mantos Copper S.A. División Mantoverde, pretende un aumento en la productividad de la planta de extracción por solventes (SX), ya que es de vital importancia debido a que la realidad productiva está cambiando y se divide en dos etapas siendo la primera el estudio de ingeniería para verificación hidráulica entre los meses de enero y mayo del 2020, y la segunda etapa con el inicio de adquisiciones de equipos y materiales, trabajos de obras tempranas, ingeniería de detalles y construcción y montaje de obras entre los meses de abril del 2020 y marzo 2021. Dentro de los beneficios del proyecto se obtuvo la recuperación de cobre desde los inventarios impregnados de 300 a 500 Ton Cu<sub>f</sub>, por disminución en la concentración de PLS, el aumento del caudal de refino disponible para riego, la disminución de concentración de cobre en ILS, disminución de ciclo con ILS y aumento de ciclo con refino, favoreciendo la recuperación (0,5% de recuperación al año), implicando 260 Ton Cu<sub>f</sub> al año y aumento de refino para riego Dump (80 m<sup>3</sup>/h, equivalente a 60-70 toneladas adicionales por mes) y aumento de capacidad de PLS en la primera etapa a 1.500 m<sup>3</sup>/h. Finalmente, los puntos a señalar se destacan el alcance y resumen de los trabajos realizados, plazo de ejecución, control de avance y re-portabilidad, seguridad, dotación de personal y costos asociados al proyecto.

**Palabras Claves:** extracción por solventes (SX), tipos de mantenimiento, bombas, mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), lixiviación, mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento de calidad total (TQM).

# CAPÍTULO I

## MARCO INTRODUCTORIO

El presente proyecto de título se realiza en Minera Mantos Copper S.A. división Manto Verde, ubicada a 50 kilómetros al interior del puerto de Chañaral, región de Atacama. Como parte del mejoramiento, se desea aumentar el flujo de alimentación de PLS hacia la planta SX, logrando obtener un aumento de la disponibilidad de refino con el fin de poder optimizar la recuperación de cobre en la etapa de lixiviación el cual tiene por objetivo describir los aspectos relevantes del proyecto serie paralelo del sistema de bombeo ejecutado, ya que actualmente existen altos costos por este concepto

### **1.1. Objetivo General.**

Establecer la modificación parcial de la planta SX, que consiste en convertir la configuración de la planta de serie a paralelo en Minera Mantos Copper S.A. División Mantoverde.

### **1.2. Objetivos Específicos.**

- Justificar la recuperación de cobre desde Inventarios Impregnados (de 300 a 500 Ton Cu<sub>f</sub>), por disminución en la concentración de PLS (de 3 a 6 meses);
- Mostrar el aumento del caudal de refino disponible para riego;
- Registrar La disminución de concentración de cobre en ILS, disminución de ciclo con ILS y aumento de ciclo con refino, favoreciendo la recuperación (0,5% de recuperación al año, implicando 260 Ton Cu<sub>f</sub> al año), y
- Separar el aumento de refino disponible para riego Dump (80 m<sup>3</sup>/h, equivalente a 60-70 toneladas adicionales por mes).
- Resumir el aumento de capacidad de PLS en la primera etapa a 1.500 m<sup>3</sup>/h y el análisis de costos del proyecto en su conjunto.

### **1.3. Alcance del Proyecto.**

El presente proyecto corresponde al levantamiento de condiciones de terreno, mediante escáner láser 3D-, de los sistemas que se encuentran en las áreas Planta Química SX, Planta Bombas Booster PLS y Planta Bombas PLS.

#### **1.4. Metodología.**

Se considera la metodología de la gestión del mantenimiento basado en los diversos modelos que han evolucionado desde la historia de este, además por la particularidad del proyecto.

#### **1.5. Antecedentes Generales.**

Este proyecto se desarrollara en tres etapas siendo la primera etapa corresponde al estudio de ingeniería para verificación hidráulica entre los meses de enero y mayo del 2020. El estudio se concentra en el análisis de 3 alternativas de configuración del sistema y en el análisis del régimen de las transiente de presiones en el sector de turbinas y Booster.

La verificación hidráulica concluye que considerando un factor de ineficiencia por desgaste de bombas de un 5% de reducción en la curva de altura dinámica total (TDH) y la aplicación de un factor de seguridad 10% adicional sobre pérdidas de carga, el sistema tiene la capacidad de impulsar 1.480 m<sup>3</sup>/h, operando con 3 bombas verticales más 3 bombas Booster.

Adicionalmente se señala que el evento de transigente de parada de bombas Booster no causa sobrepresiones, en la línea que sobrepasen el PN10 de la cañería en comparación con el evento transiente de parada de bombas verticales que si genera sobrepresiones superiores a 10 bar desde la descarga de las bombas hasta los primeros 400 metros por lo que se recomienda reemplazar este tramo por cañería PN16. La segunda etapa corresponde a la adquisiciones de equipos y materiales, luego de finalizada la etapa 1 de verificación hidráulica se iniciaron a partir del día 15-04-2019 la adquisición de equipos y materiales de largo plazo como es el caso de una nueva bomba turbina (goulds pump de ITT), cañerías de HDPE 560 mm, 630 mm y 315 mm, Overhaul a bombas Booster (proveedor Proseal y mantención de motores de 150 HP (proveedor Borybor), válvulas mariposa de 16" y 20", válvulas mariposa con actuador eléctrico de 14" y 18", válvulas mariposa duo check de 14" y variadores de frecuencia (VDF). A partir del 30-09-2019 se da inicio al contrato de obras tempranas (por medio de un proceso de licitación adjudicada a las empresas Maestranza Asmecco y Ecocil) en donde su finalidad es poder ejecutar un listado de actividades de repotenciamiento a los equipos y sistema existente, previos a los trabajos de construcción y montaje y parada de

planta mayor, y la etapa tres corresponde al plazo de ejecución, control de avance y reportabilidad, el proyecto serie paralelo, fue programado durante un plazo de ejecución de 238 días corridos desde el 15 de abril del -2019- hasta el 23 de marzo del 2020 (con puesta de marcha incluida). En lo que respecta al control de avance durante el transcurso de los trabajos este fue desarrollado por medio de la carta Gantt del proyecto y su curva S (programado vs real) en forma semanal, finalmente el poder convertir la planta SX de serie a paralelo contempla beneficios , ya que dicha mejora engloba lo crítico de la gestión del mantenimiento con foco en los costos y beneficios, considerando la importancia de estos en la toma de decisiones corporativas de la minera.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Descripción de la Empresa.**

##### **2.1.1. Historia.**

La empresa se encuentra ubicada en la región de Atacama, a 56 kilómetros de la ciudad de Chañaral y a 900 metros sobre el nivel del mar. Comprende una mina a rajo abierto, plantas de chancado e instalaciones para el procesamiento de minerales oxidados. En 2019 produjo 62.239 toneladas de cobre fino.

Mantoverde tiene una dotación aproximada de 800 trabajadores, entre personal propio y contratistas de operación y proyectos.

Su propietario en la actualidad es Mantos Copper S.A. empresa Sudafricana, uno de los grupos mineros más grande del mundo. Posee Operaciones en África, Europa, Sudamérica, Australia y Asia.

Unidades de Negocio Mantos Copper S.A.:

- Mineral de hierro y manganeso.
- Carbón metalúrgico.
- Carbón térmico.
- Cobre.
- Níquel.
- Platino.
- Diamantes.
- Otros activos mineros e industriales.

##### **2.2.2. Historia de Mantos Copper S.A. en Chile.**

El Grupo Mantos Copper S.A. comenzó sus operaciones en Chile en 1980, adquiriendo 40% de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., la que explota el yacimiento del mismo nombre en la región de Antofagasta. En 1984 se convirtió en el socio mayoritario de esta empresa.

Entre 1988 y 1992 se hizo efectiva la opción de compra por el yacimiento de Mantoverde, ubicado en la región de Antofagasta, el cual pasó a formar parte de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.

En 1996, Anglo American adquirió 44% de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, cuyo yacimiento se encuentra en la I Región.

En 2000 aumentó a 99,97% su participación en la propiedad de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., hoy Anglo American Norte S.A.

En 2002, adquirió la Compañía Minera Disputada de Las Condes, hoy Anglo American Sur S.A. integrando a sus operaciones las divisiones El Soldado, Chagres y Los Bronces.

A partir de 2004, la empresa ha puesto en práctica importantes proyectos tales como el desarrollo Los Bronces, la optimización de Chagres y el rajo extendido de El Soldado.

En 2007 se aprobó e inició la construcción del Proyecto Desarrollo Los Bronces el cual contempla una inversión de entre US\$2.300 y US\$2.400 millones y tiene como objetivo construir nuevas instalaciones de molienda, de transporte de mineral y de concentración para aumentar la capacidad de producción de la División a un promedio de 400.000 toneladas de cobre fino por año.

En 2009 se anunció, el descubrimiento de dos importantes prospectos de cobre de alta calidad que son San Enrique Monolito y Los Sulfatos, ubicados cerca de los Bronces, que en conjunto poseen recursos inferidos que alcanzan a 2.100 millones de toneladas de mineral, lo que permitirá aumentar los recursos minerales de cobre de la compañía en un 50%.

### **2.3. Descripción del Proceso.**

#### **2.3.1. Mina.**

La operación de la mina es a rajo abierto y, su diseño está basado en bancos de 10 metros de altura en las fases de trabajo y 20 metros en las paredes finales, rampas interior mina de 10% de pendiente y caminos de 30 metros de ancho.

La actual operación considera la explotación de 5 rajos: Mantoverde Sur, Kuroki, Montecristo y Punto 62 superior e inferior. En el futuro cercano se planea la explotación de los rajos Celso y Laura en la medida que se va produciendo el agotamiento de los otros rajos. A la vez se está estudiando la explotación de sulfuros bajo los rajos actuales lo cual extenderá la vida útil de la mina hasta el 2035, proyecto en el cual se invertirá en una nueva flota de camiones y cargadores frontales, extensión del taller y una nueva planta para procesar los sulfuros, lo cual podría empezar a desarrollarse el 2022.

En la operación de la mina se utiliza tecnología convencional, basada en el uso de perforadoras montadas sobre orugas, cargadores frontales para la extracción y camiones para el traslado del mineral a planta, de los minerales marginales a stock y del material estéril a botaderos.

### **2.3.2. Planta.**

La Planta de Beneficio del mineral se divide en las siguientes áreas principales: chancado, aglomeración, lixiviación (Heap y Dump), extracción por solventes y electro-obtención.

### **2.3.3. Chancado, Aglomeración y Lixiviación Heap.**

El mineral proveniente de la mina (ROM), es enviado al circuito de reducción de tamaño y clasificación (chancado primario, secundario, terciario y planta de harnero). El producto es contactado con ácido sulfúrico concentrado y refino para formar mineral aglomerado, que es transportado a la etapa de lixiviación, mediante una serie de correas transportadoras y apilador radial, iniciando así el ciclo de riego mediante soluciones acidulada. Finalizado la etapa de lixiviación, el remanente o ripio es transportado a botadero, mediante el uso de un sistema compuesto por rotopala, correas transportadoras y apilador móvil.

### **2.3.4. Lixiviación Dump.**

El mineral dump es apilado a granulometría ROM, curado directamente sobre la pila mediante la adición de ácido sulfúrico concentrado y una solución ácida, finalizada la etapa de curado se inicia el ciclo de riego mediante soluciones aciduladas.

El drenaje rico en cobre, es transportado mediante canaletas y tuberías a las piscinas que alimentan la lixiviación heap y la extracción por solventes.

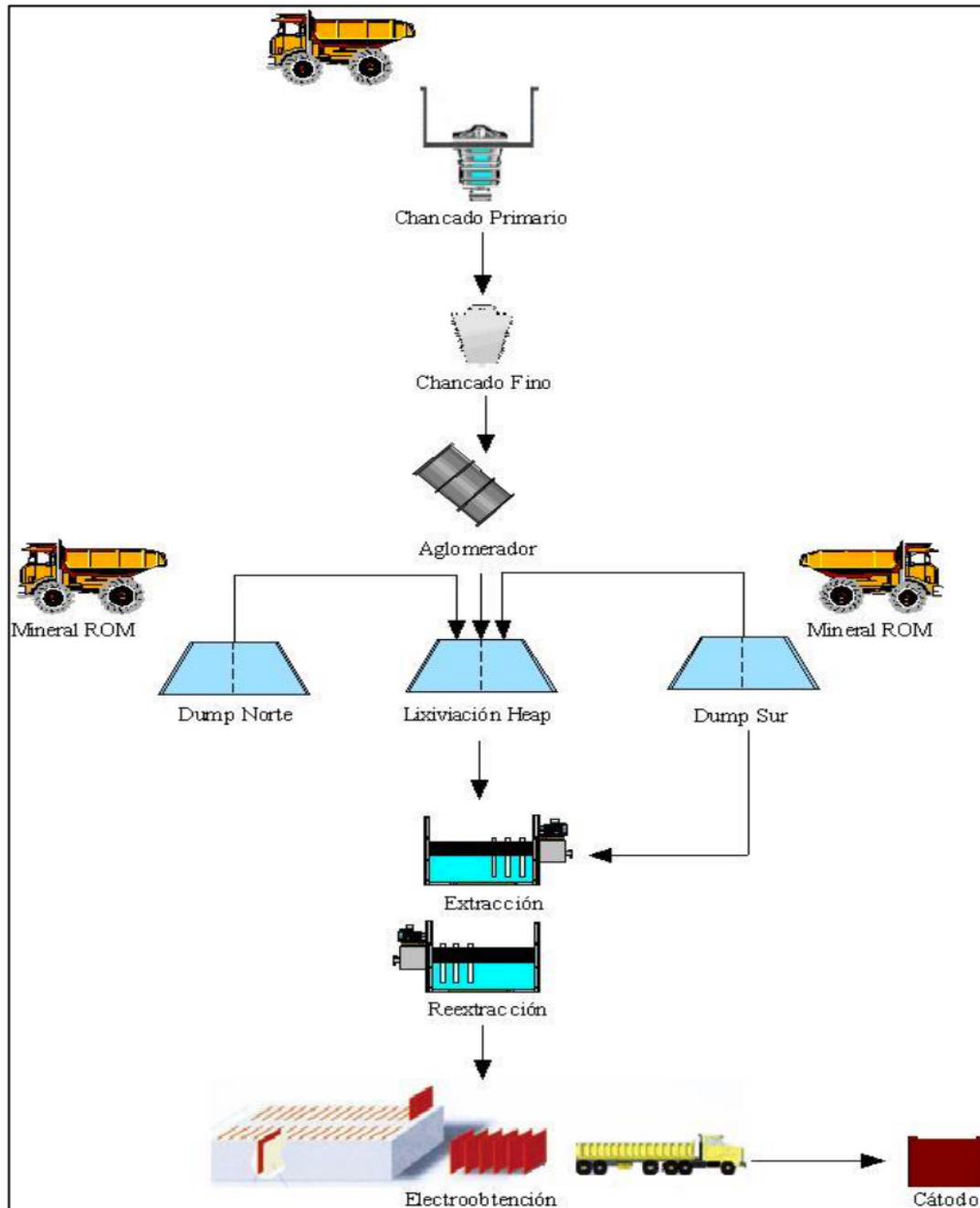
La solución rica (alta concentración de cobre), proveniente de lixiviación se envía a la planta de extracción por solventes, dónde se realiza la purificación líquido-líquido (solución rica-solución orgánica), obteniéndose una solución de sulfato de cobre libre de otras impurezas solubilizadas en la etapa de lixiviación (electrolito cargado).

El electrolito cargado de cobre es bombeado hacia la planta de electro-obtención, dónde por medio de la aplicación de corriente eléctrica continua a través del par ánodo / cátodo, se obtiene cobre metálico electro depositado y ácido sulfúrico que retorna al proceso de lixiviación.

### 2.3.5. Diagrama General del Proceso Productivo.

A continuación, en la figura 2.1, se muestra el diagrama general del proceso productivo que se lleva en la operación Mantoverde.

Figura N°2.1: Diagrama general del proceso productivo.

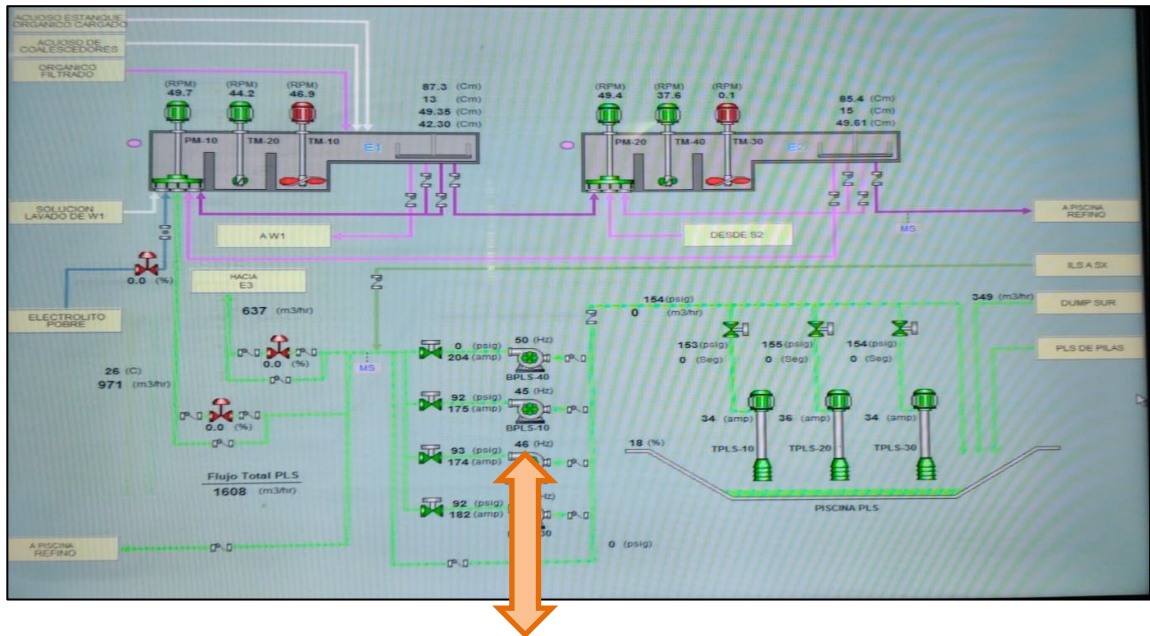


Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 2.3.6. Diagrama de Sistema de Bombeo (Bombas Verticales y Horizontales) PLS.

A continuación, en la figura 2.2 muestra el diagrama de bombas horizontales y una fotografía de dicha bomba cuando se encuentra en operación.

Figura N°2.2: Bombas horizontales booster.



Fuente: Especificaciones: marca GP, modelo 3180 L, tamaño 6x10-16.

### 2.3.7. Mantenimiento de Bomba Horizontal Booster.

Una bomba de refuerzo se usa para aumentar la presión del agua en una tubería de agua, pero también se puede usar para riego de jardines, para presurizar equipos de ósmosis inversa y para suministrar agua a presión.

### 2.3.7.1. Espectrometría.

A cada componente de la bomba se le realizó espectrometría para el reconocimiento de la composición metálica del material.

El instrumento utilizado corresponde al equipo portátil Thermo Scientific modelo XL3t-75755.

**Tabla N°2.1: Composición del material.**

Ítem	Cantidad	Componente	Material
1	01	Voluta	AISI 2205
2	01	Cuerpo porta rodamientos	A.C
3	01	Sello mecánico	-
4	01	Anillo estacionario	AISI 2205
5	01	Eje de bomba	AISI 2205

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 2.3.7.2 Inspección y Análisis de Componentes.

#### 2.3.7.2.1. Voluta.

A continuación, en la figura 2.3 se muestra la voluta sin signos de desgaste internos o externos, manteniendo un buen estado general. Se consideran trabajos de limpieza química y pulido mecánico previos a su reutilización.

**Figura N°2.3: Voluta.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

A continuación, en la figura 2.4 se muestra el Stuffing Box que ocupa la empresa para llevar a cabo su operación en materia del proceso productivo.

#### 2.3.7.2.2. Stuffing Box.

A continuación, en la figura 2.4 se muestra el Stuffing Box que ocupa la empresa para llevar a cabo su operación en materia del proceso productivo.

**Figura N°2.4: Stuffing Box.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

El elemento se presenta con leves desgastes tanto en la cámara de sellado como en su cara frontal. Para regularizar su estado actual, se procederá con el mecanizado de las zonas indicadas y limpieza química general.

**Nota:** El sello mecánico se encuentra con evidente desgaste exterior y se considera el reemplazo de la unidad. Nuevo sello será suministrado por Mantos Copper.

#### **2.3.7.2.3. Impulsor.**

A continuación, en la figura 2.5 se muestra el impulsor, debido a la solicitud del cliente Mantos Copper el impulsor actual será devuelto a sus instalaciones. Por otra parte, se fabricará un nuevo impulsor full por parte de Proseal.

**Figura N°2.5: Impulsor.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Nota:** La chaveta del elemento presenta desgaste impidiendo el correcto ajuste de los elementos. Para regularizar se procederá con la fabricación de una nueva chaveta en material SS-2205.

**Figura N°2.6: Chaveta.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

#### **2.3.7.2.4. Cuerpo Porta Rodamientos.**

A continuación, en la figura 2.7 se muestran los diversos cuerpos porta de rodamiento.

**Figura N°2.7: Cuerpo porta rodamientos.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Se aprecian evidentes signos de temperatura en los alojamientos de rodamientos, conllevando a un ovalamiento de la zona evidenciado mediante control metrológico. Tal condición será normalizada mediante la fabricación e instalación de insertos metálicos en los alojamientos de rodamientos, además de limpieza química, pulido mecánico y aplicación de pintura epóxica.

**Tabla N°2.2: Condición de fabricación rodamientos.**

Ajuste de Rodamientos	Diámetros [mm.]			
	Interior alojamiento	Exterior rodamiento	Huelgo requerido [mm.]	Estado de alojamiento
Rodamiento Radial	150.03 / 150.04	150.00	Máx. 0.01/ min -0.02	Rechazado
	Huelgo: 0.03 / 0.04			
Rodamiento Axial	159.95 / 159.86	160.00	Máx. 0.01/ min -0.02	Rechazado
	Huelgo: -0.05 / -0.14			

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Nota 01:** El cuerpo axial y el anillo de control axial presentan de igual manera signos de alta temperatura en su estructura, y ovalamiento del alojamiento de rodamiento. Se considera la fabricación de una nueva caja y un nuevo anillo en material Cast Iron.

**Figura N°2.8: Cuerpo axial y anillo.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Nota 02:** La tapa del lado radial presenta evidentes signos de corrosión afectando a su zona exterior y alojamiento de sellos. No puede ser recuperada, por lo que se considera la fabricación de una nueva tapa en material SAE-4340.

### 2.3.7.2.5. Anillos de Desgaste. (Estacionario y Rotativo)

A continuación, en la figura 2.9 se muestran los diversos anillos de desgaste.

**Figura N°2.9: Anillos de desgaste.**





Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

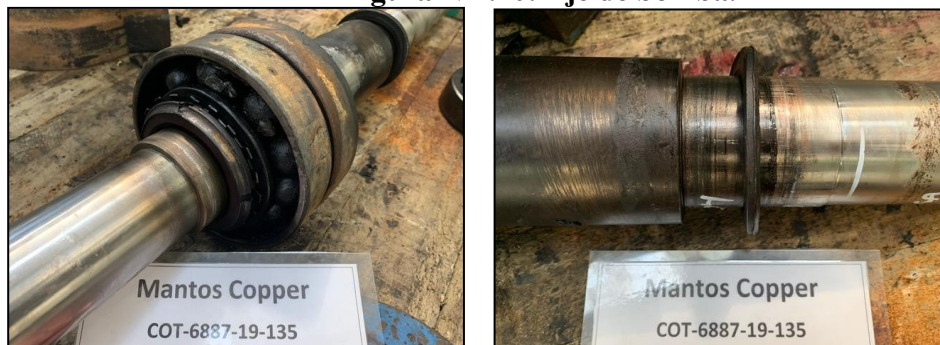
El anillo estacionario posee gran desgaste radial como se aprecia en la imagen. Debido a la fabricación del impulsor, también se considera la fabricación de un anillo rotativo.

Los dos anillos serán fabricados por parte de Proseal en material SS-2205.

#### 2.3.7.2.6. Eje de Bomba.

A continuación, en la figura 2.10 se muestra el eje de bombas.

**Figura N°2.10: Eje de bomba.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Se requiere su reemplazo, debido al gran desgaste existente en su estructura, y al agripamiento de rodamientos y signos de alta temperatura. El nuevo eje de bomba será suministrado por Mantos Copper – División Mantoverde.

**Nota:** La camisa de sello es recepcionada en malas condiciones, con desgaste en uno de sus extremos, por lo que es catalogada como irrecuperable. La nueva camisa será suministrada por Mantos Copper – División Mantoverde.

**Figura N°2.11: Camisa de la bomba.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### **2.3.7.3 Propuesta Técnica.**

#### **2.3.7.3.1. Componentes en buen Estado.**

A continuación, se listan aquellos componentes que no requieren reparación o fabricación, sino que serán recuperados mediante trabajos de limpieza química y pulido mecánico y podrán ser reutilizados:

- Soporte de cuerpo porta rodamientos.
- Tuerca de impulsor.
- 16 Perros de fijación.

#### **2.3.7.3.2. Trabajos.**

- Desarme y armado completo del equipo.
- Inspección de partes y piezas (metrología y ensayos no destructivos).
- Informe de evaluación.
- Lavado de partes y piezas.
- Recuperación de la voluta.
- Reemplazo de eje.
- Reemplazo de camisa.
- Pintura exterior de acuerdo con normativa de Mantos Copper.

- Marcar bomba de acuerdo con especificaciones de cliente.
- Pruebas hidrostáticas.
- Informe final.

#### **2.3.7.3.3. Trabajos de Reparación.**

- Reparación menor de Stuffing Box.
- Reparación mayor de Cuerpo porta rodamientos.

#### **2.3.7.3.4. Fabricaciones.**

- 02 Anillos de desgaste (estacionario y rotativo).
- Cuerpo porta rodamiento axial.
- Anillo de control axial.
- Tapa de cuerpo lado radial.
- Chaveta de impulsor.

#### **2.3.7.3.5. Suministro y Reemplazo de Componentes Nuevos Suministro por parte de Proseal.**

- Suministro kit de rodamientos.
- Suministro kit de pernería.
- Suministro kit de insumos:
  - O'rings.
  - Empaquetaduras.
  - Retenes.
  - Visor y venteo.

#### **Suministro por parte de Mantos Copper:**

- Suministro de sello mecánico.
- Suministro de eje de bomba.
- Suministro de camisa de sello.

### **2.3.8 Las reparaciones realizadas al equipo y/o componentes Bomba GP 3180 L**

#### **2.3.8.1. Trabajos.**

- 1.1 Desarme y armado completo del equipo.
- 1.2 Inspección de partes y piezas (metrología y ensayos no destructivos).
- 1.3 Informe de evaluación.
- 1.4 Lavado de partes y piezas.

- 1.5 Recuperación de la voluta.
- 1.6 Reemplazo de eje.
- 1.7 Reemplazo de camisa.
- 1.8 Pintura exterior de acuerdo con normativa de Mantos Copper S.A.
- 1.9 Marcar bomba de acuerdo con especificaciones de cliente.
- 1.10 Pruebas hidrostáticas.
- 1.11 Informe final.

#### **2.3.8.2. Trabajos de Reparación.**

- 2.1 Reparación menor de stuffing box.
- 2.2 Reparación mayor de cuerpo porta rodamientos.

#### **2.3.8.3. Componentes Fabricados**

- 3.1 02 Anillos de desgaste (estacionario y rotativo).
- 3.2 Cuerpo porta rodamiento axial.
- 3.3 Anillo de control axial.
- 3.4 Tapa de cuerpo lado radial.
- 3.5 Impulsor diámetro full 16”.
- 3.6 Chaveta de impulsor.
- 3.7 Camisa de sello mecánico.

#### **2.3.8.4. Componentes Suministrados O Reemplazados**

##### **Suministro por parte de Proseal:**

- 4.1 Kit de pernería.
- 4.2 Kit de insumos.
  - 4.2.1 O’rings.
  - 4.2.2 Empaquetaduras.

##### **Suministro por parte de Mantos Copper**

- 4.3 Sello mecánico.
- 4.4 Eje de bomba.
- 4.5 Kit de rodamientos.
- 4.6 Visor y venteo.
- 4.7 Retenes.
- 4.8 Taponos.

### 2.3.8.5. Registro Fotográfico.

A continuación, en la figura 2.12 se muestra el registro fotográfico de los trabajos realizados.

**Figura N°2.12: Registro fotográfico.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 2.3.8.6 Tolerancias y Ajustes de Armado.

A continuación, en la tabla 2.3, se muestran las características de las tolerancias y ajustes hacia los rodamientos radial y axial.

**Tabla N°2.3: Características rodamientos.**

Ajuste de Rodamientos	Diámetros [mm.]			Estado de alojamiento
	Interior alojamiento	Exterior rodamiento	Huelgo requerido [mm.]	
Rodamiento Radial	150.01	150.00	Máx. 0.01/ min -0.02	Aceptado
	Huelgo: 0.01			
Rodamiento Axial	160.01	160.00	Máx. 0.01/ min -0.02	Aceptado
	Huelgo: 0.01			

Fuente: Minera mantos Copper S.A.

**Nota:** A la fecha actual, el tipo de mantenimiento que se le otorga a las bombas horizontales booster gp 3180 l, es de tipo preventivo con una ruta cada 10 días mensuales.

## 2.4. Estructura Departamento de Mantención Mina.

### 2.4.1. Misión y Visión de Mantención.

La Superintendencia de Mantención Mina en su constante proceso de mejora ha definido en su plan estratégico la siguiente misión y visión corporativa:

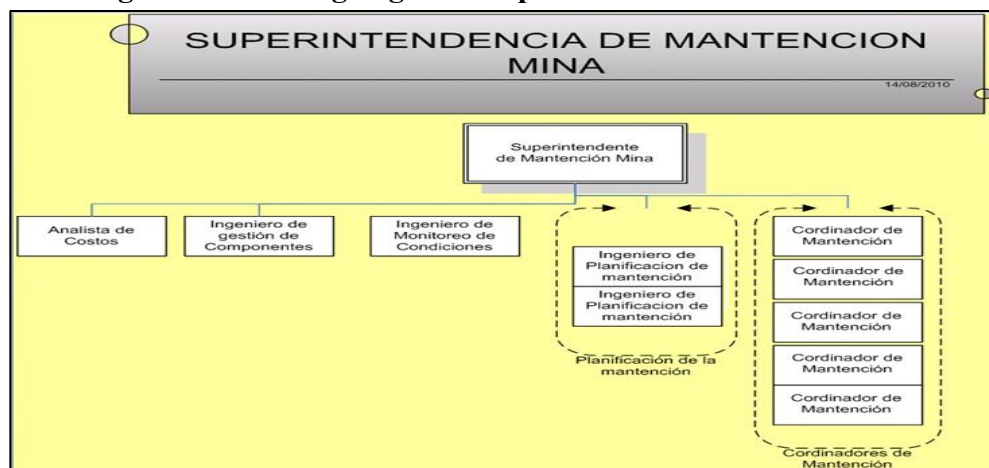
### 2.4.2. Misión Corporativa del Mantenimiento.

Gestionar el mantenimiento y las mejoras de nuestros activos, otorgando los más altos niveles de seguridad, confiabilidad y rendimiento a los equipos e instalaciones, para cumplir con los planes de producción establecidos, a un costo competitivo.

### 2.4.3. Visión Corporativa del Mantenimiento.

Ser líderes en el mantenimiento aplicando las mejores prácticas e innovaciones tecnológicas, para contribuir a que Mantos Copper S.A. desarrolle el mejor y más respetado negocio minero del mundo.

**Figura N°2.13: Organigrama Superintendencia Mantención Mina**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

#### **2.4.4. Políticas de Mantenimiento.**

Mantos Copper S.A., Operación Manto Verde, es una Empresa Minera que busca la excelencia en la producción de cobre y para lograr este objetivo, desarrolla sus actividades de mantenimiento, considerando los siguientes compromisos:

El personal de mantenimiento realiza su gestión, dentro de un marco ético, integro, de confianza y respeto al resto de la organización y sus terceros.

Elaborar un plan de mantenimiento que considere estas políticas, para determinar todas las estrategias y actividades, que debe cumplir la gestión de mantenimiento.

Crear un comité de mantenimiento corporativo (CMC), el cual es liderado por el Asesor Senior de mantenimiento e integrado por los representantes de mantenimiento de las distintas Divisiones de la Compañía.

Asegurar que el liderazgo en seguridad y el comportamiento orientado al cuidado personal, son valores fundamentales en todas las Organizaciones de mantenimiento. Asegurar que el plan estratégico de mantenimiento, sea preparado y actualizado cada año, consistente con los planes de mediano y largo plazo, de acuerdo a las necesidades del negocio y sus operaciones.

Asegurar la buena calidad, en la ejecución de las pautas de mantenimiento y órdenes de trabajo, que es fundamental, para lograr los objetivos establecidos en las especialidades mecánica, eléctrica e instrumentación.

#### **2.4.5. Estrategia de Mantenimiento.**

##### **Objetivo.**

Maximizar la Confiabilidad de los equipos de la Operación, para sostener una operación continua que permita lograr las metas de Máxima Seguridad, Máxima Producción a los más Bajos Costos.

##### **Áreas de Enfoque y Acción.**

- Competencias técnicas de personal propio y contratistas.
- Utilización de ELLIPSE (Programación, planificación y control)
- Uso de indicadores y variables.
- Mantenimiento Predictiva y Monitoreo de Condiciones.
- Repuestos y equipos Stand by.
- Estándares de Servicios Contratados.

- Exploración de Mejores Prácticas y Mejoramiento Continuo.
- Productividad del personal propio y contratista.
- Confiabilidad de proveedores y fabricantes de equipos.
- Análisis de Falla.

**Metas.**

**Seguridad.**

- Cero Accidente Con Tiempo Perdido.
- Cero Accidente Ambiental Nivel 2.
- Cero Enfermedades Profesionales.

**Producción y Costos.**

- De acuerdo al Budget (presupuesto) vigente para el año.
- Enfoque en los equipos críticos.

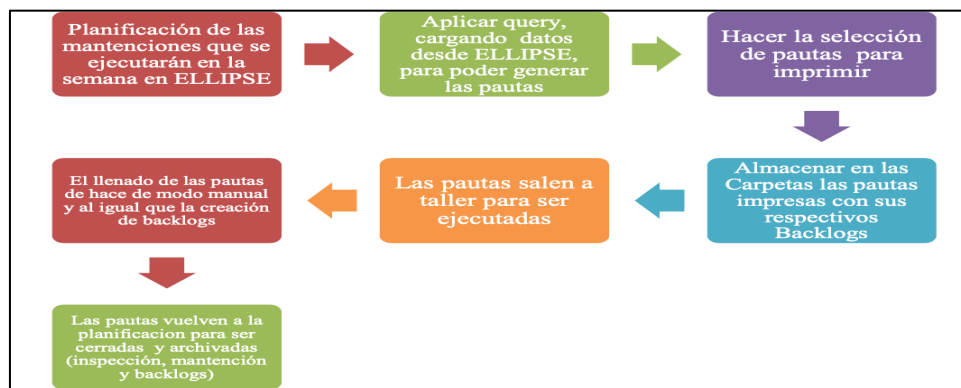
**Mejoramiento Continuo.**

- Ahorros siempre crecientes en los costos.
- Agregación de valor siempre creciente a los procesos.
- Aumento de Disponibilidades de Equipos y Flotas.

**2.4.6. Gestión de Mantención.**

La Superintendencia de Mantención Mina de la Operación Mantoverde tiene un modelo de gestión en mantención en el cual el objetivo principal es maximizar la confiabilidad de los equipos e instalaciones de la División, para sostener una operación continua que permita lograr las metas de máxima seguridad y máxima producción a los más bajos costos.

**Figura N°2.14: Gestión de mantención actual.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

## 2.5. Mantenimiento y su Evolución.

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Su concepto ha evolucionado desde una simple función de arreglar y reparar equipos para asegurar la producción, hasta la noción actual del mantenimiento con capacidad de prevenir fallas realizando inspecciones a los equipos con el fin de lograr optimizar el costo global de la mantención.

No obstante, lo anterior, las tareas de mantenimiento ocupan prioridades muy diferentes dependiendo de los tipos de industrias: [1]

- Prioridad crítica en centrales nucleares e industriales aeronáuticas.
- Prioridad Alta en industria de proceso.
- Prioridad Baja en empresas con bajos costos de detención.

Aunque aún existan empresas que operan con los conceptos más primitivos del mantenimiento, existen otras que van a la vanguardia incluyendo al mantenimiento dentro del concepto de calidad total de la empresa.

En la práctica se pueden distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento ilustrados en la figura 2.15.

**Figura N°2.15: Evolución del concepto de mantenimiento.**

1 <sup>ra</sup> GENERACION		2 <sup>da</sup> GENERACION		3 <sup>ra</sup> GENERACION		4 <sup>ta</sup> GENERACION	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparar Averías</li> <li>• Mantenimiento Correctivo</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación entre Probabilidades de falla y edad.</li> <li>• Mantenimiento Correctivo Programado</li> <li>• Sistemas de Planificación</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento Preventivo Condicional</li> <li>• Análisis Causa Efecto</li> <li>• Participación de Producción (TPM)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de Mantenimiento</li> <li>• Calidad Total</li> <li>• Compromiso de todos los Departamentos</li> <li>• Mantenimiento Basado en el Riesgo</li> </ul>	

Fuente: [1].

### **Mantenimiento Primera Generación.**

Esta generación cubre el periodo desde la revolución industrial hasta después de la segunda guerra mundial, aunque todavía se utiliza en muchas industrias. Durante esta generación el mantenimiento se ocupaba solo de arreglar las averías, lo que en la actualidad se conoce como mantenimiento correctivo.

### **Mantenimiento Segunda Generación.**

Entre la segunda guerra mundial y fines de 1970 se identificó la relación entre la edad de los equipos y su probabilidad de falla. En este periodo se realizaban sustituciones preventivas de los equipos basados en su antigüedad de uso, es lo que actualmente conocemos como mantenimiento preventivo.

### **Mantenimiento Tercera Generación.**

Surge a principios de 1980. En esta generación se comienzan a realizar estudios de causa- efecto para averiguar el origen raíz de las fallas. Esto es lo que se conoce en la actualidad como mantenimiento predictivo. Esta detección precoz de síntomas incipientes permite tomar acciones antes de que las consecuencias sean intolerables. En este periodo se comienza a integrar el área de producción en las tareas de detección de fallas. [2]

### **Mantenimiento Cuarta Generación.**

Aparece a principios de 1990. El mantenimiento se integra como una parte importante del concepto de “Calidad Total”, este concepto indica que:

“Se concibe al mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también, otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como una fuente de beneficios, contrario al antiguo concepto de mantenimiento como mal necesario.” [1]

En esta generación surge el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR), el cual indica que la posibilidad, que una máquina falle y sus consecuencias asociadas para la empresa son un riesgo que se debe gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad de un equipo a un costo mínimo.

Esta metodología requiere de un cambio de mentalidad de los trabajadores y deben tratar con las siguientes herramientas:

- **Ingeniería del Riesgo:** Determinar las consecuencias de fallos que son aceptables y cuáles no lo son.

- **Análisis de Confiabilidad:** Identificar tareas preventivas factibles de realizar y rentables, que aseguren que el equipo trabajará sin fallas en un periodo de tiempo dada cierta probabilidad.
- **Mejora de la Mantenibilidad:** Reducir tiempos de reparación, reducir los esfuerzos de mantención y bajar los costos de sustitución.

## **2.6. Mantenimiento.**

En toda industria se utilizan activos los cuales deben cumplir un proceso productivo. Este activo, está expuesto a deterioros ya sea por el medio ambiente de trabajo, el uso inadecuado, etc. Para evitar dicho deterioro debemos realizar un plan de mantenimiento preventivo. Dicho de otra forma, el mantenimiento se preocupa que el activo cumpla con su vida útil.

## **2.7. Tipos de Mantenimiento.**

Los tipos de mantenimientos son los siguientes:

### **2.7.1. Mantenimiento Correctivo.**

Consiste en la reparación o cambio de pieza por falla del activo, este tipo de mantenimiento se divide en:

#### **2.7.1.1. Mantenimiento Correctivo no Programado.**

Este tipo de mantenimiento consiste en que el activo debe repararse inmediatamente ya que su parada implica el corte de la producción, por lo que la reparación del activo debe ser lo más rápido posible.

#### **2.7.1.2. Mantenimiento Correctivo Programado.**

Al igual que el mantenimiento correctivo no programado corrige la falla del activo, la diferencia es que su importancia no es mayor ya que no interfiere con la producción, por lo cual se puede programar para realizar la reparación en un futuro próximo sin interferir con las tareas de producción.

### **2.7.2. Mantenimiento Preventivo.**

Consiste en intervenciones periódicas, programadas con el objetivo de disminuir la cantidad fallas del activo. No obstante, estos no se eliminan completamente.

Al utilizar mantenimiento preventivo genera nuevos costos para la empresa, pero disminuyen las fallas y los costos de reparación, ya que disminuyen en cantidad y complejidad.

### **2.7.3. Mantenimiento Predictivo.**

Este tipo de mantenimiento usa equipos e instrumentos para la adquisición de datos, para predecir alguna anomalía que podría producir fallas en los activos.

## **2.8. Modelos de Mantenimiento.**

Los modelos de mantenimiento son ideales a seguir, deben estar comprobados matemáticamente. Los más importantes son:

### **2.8.1. TQM (Mantenimiento de Calidad Total).**

Este modelo da énfasis en el mantenimiento de calidad total, para que se logre este objetivo todos los departamentos de la empresa deben estar comprometidos con el mantenimiento, desde la gerencia hasta el ayudante de taller, ya que, si se logra esto, mejorará sustancialmente el mantenimiento de toda la organización.

### **2.8.2. TPM (Mantenimiento Productivo Total).**

Busca el mejoramiento de las operaciones de la empresa, mejorando la actitud y la destreza de todo el personal, desde el gerente hasta el trabajador de terreno y el funcionamiento del equipo por medio del entrenamiento del personal que busca directamente el cambio de conducta de las personas. En un esfuerzo en conjunto busca obtener la maximización de la efectividad del equipo por medio de un sistema de mantenimiento programado que cubre el total de su vida útil.

### **2.8.3. RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).**

La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también, está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre el personal de mantenimiento y los operadores.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Introducción.

El presente capítulo tiene por objetivo describir los aspectos relevantes del proyecto serie paralelo ejecutado en dos etapas siendo la primera el estudio de ingeniería para verificación hidráulica entre los meses de enero y mayo del 2020, y la segunda etapa con el inicio de adquisiciones de equipos y materiales, trabajos de obras tempranas, ingeniería de detalles y construcción y montaje de obras entre los meses de abril del 2020 y marzo 2021.

Entre los puntos a señalar se destacan el alcance y resumen de los trabajos realizados, plazo de ejecución, control de avance y reportabilidad, seguridad, dotación de personal y costos asociados al proyecto.

El proyecto de Modificación Parcial Planta extracción por solventes (SX) que consiste en convertir la planta de Serie a Paralelo considera los siguiente:

- La recuperación de cobre desde inventarios impregnados (de 300 a 500 Ton  $Cu_f$ ), por disminución en la concentración de PLS (de 3 a 6 meses);
- El aumento del caudal de refino disponible para riego
- La disminución de concentración de cobre en ILS, disminución de ciclo con ILS y aumento de ciclo con refino, favoreciendo la recuperación (0,5% de recuperación al año, implicando 260 Ton  $Cu_f$  al año), y
- Aumento de refino disponible para riego Dump (80 m<sup>3</sup>/h, equivalente a 60-70 toneladas adicionales por mes).
- Aumento de capacidad de PLS en la primera etapa a 1.500 m<sup>3</sup>/h.

Con el fin de lograr los objetivos, se requiere realizar un estudio del sistema de impulsión de PLS existente con los siguientes supuestos:

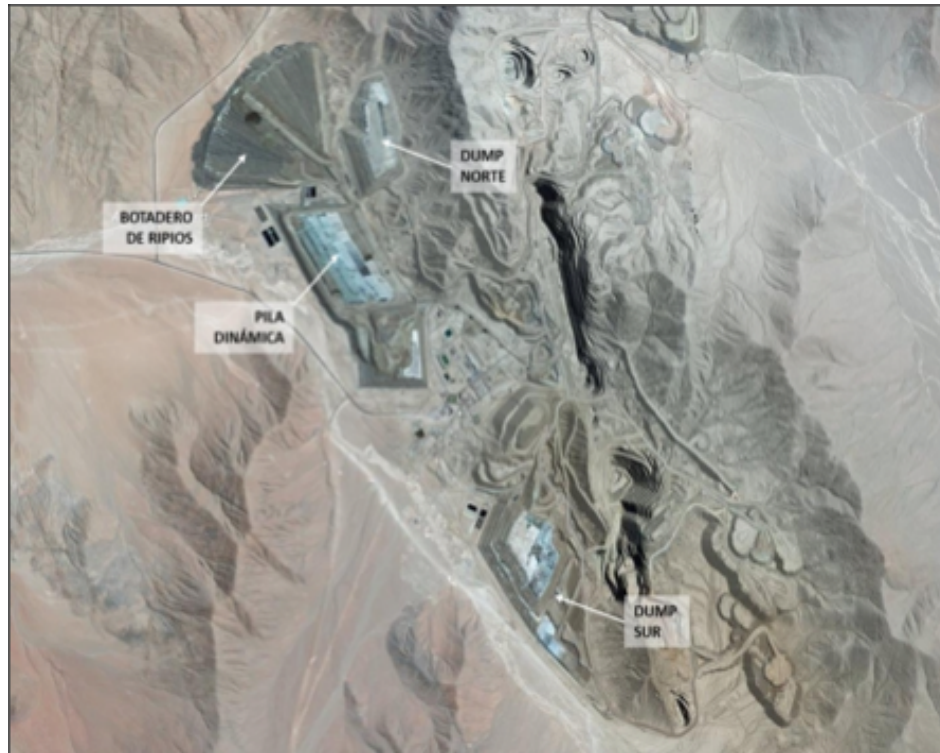
- Considerar bombas de PLS con una capacidad de 575 m<sup>3</sup>/h. Con los ajustes, cambios y mantenciones adecuadas, sería posible alcanzar el 90% de su capacidad (510 m<sup>3</sup>/h), es decir, alrededor de 1500 m<sup>3</sup>/h en conjunto.
- Línea de PLS de 560 mm de diámetro, con PN-10. Pensando en un caudal de 1500 m<sup>3</sup>/h, la velocidad interna del fluido no superaría los 2 m/s.

- Existe capacidad eléctrica instalada para incorporar una bomba en la estación de bombeo Booster existente.

### 3.2. Ubicación del Proyecto.

La operación de minera Mantoverde (MV) está localizada en la III región, a 900 m.s.n.m y a 56 km al sureste de la ciudad de Chañaral. Latitud: 26° 33' (Sur) Longitud: 70° 19' (Oeste). Los dueños de la operación son la empresa minera de Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.1: Mapa de ubicación empresa Minera Mantoverde.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 3.3. Alcances.

El presente proyecto corresponde al procedimiento de determinación de curvas operacionales (caudal y altura TDH) de bombas verticales y bombas booster pertenecientes al sistema de impulsión de PLS.

También se determinará la pérdida de carga del sistema, constituido por las bombas verticales y horizontales, comprendido entre la piscina de PLS y la descarga en SX.

### 3.4. Condiciones del Sitio.

La tabla 3.1. y 3.2 detallan las condiciones del sitios donde se realizará el proyecto.

**Tabla N°3.1: Datos principales del lugar del proyecto.**

Parámetro		Valor	Unidad
Ubicación		56	kilómetros al SurEste de Chañaral
Coordenadas UTM WGS84	Norte	7.062.000	m
	Este	369.000	m
Altitud		900	msnm
Promedio anual de agua lluvia	Normal	20	mm/año
	Máximo	30	mm/año
Clasificación y Parámetro Sísmico.	Nch 2369 of. 2003	3	Zona
	Nch 2369 of. 2003	2%	Amortiguamiento Acero
	Nch 2369 of. 2003	II	Suelo
	Nch 2369 of. 2003	C3	Estructura
Presión Barométrica	Máxima	93	kPa
	Media	92	kPa
	Mínima	91	kPa
Viento	Velocidad media anual	10,5	km/h
	Velocidad de diseño	60	km/h
	Dirección que prevalece	WNW	-
Humedad Relativa	Máxima	90	%
	Media	20	%
	Mínima	NIL	
Tasa de evaporación de Ripios		3 a 4	%
Condiciones locales de ambiente		Corrosivo, presencia polvo en suspensión y de neblina ácida.	

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Tabla N°3.2: Parámetros Ambientales.**

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura mínima	0,8	° c
Temperatura media anual	14,4	° c
Temperatura máxima	29	° c
Precipitación promedio anual	34	mm
Precipitación máxima 24 horas (T=100 años)	94	mm
Velocidad media anual del viento	2,9	m/s

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 3.5. Condiciones Generales de Diseño.

#### 3.5.1. Condiciones de Servicio.

Las instalaciones y equipos deberán diseñarse y seleccionarse para las condiciones climáticas y geográficas del lugar de emplazamiento. La tabla 3.3 muestra las condiciones de servicio:

**Tabla N°3.3: Condiciones de servicio.**

Condiciones de Servicio	
Horas por día	24
Días por semana	7
Días por año	365

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 3.5.2. Características del Fluido.

La siguiente tabla 3.4 muestra las características del fluido.

**Tabla N°3.4: Características del Fluido.**

Tramo	Valor	Unidad
Densidad de solución PLS	1.200	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad cinemática PLS	2,3 x 10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /s

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 3.6. Puntos de Medición.

La realización de mediciones de puntos operacionales, se realizarán en tres (3) zonas del sistema de impulsión de PLS: 1) Zona piscina de PLS (bombas verticales); 2) Zona llegada a bombas Booster; 3) Zona SX. La figura 3.2, indica la ubicación de estas zonas en el sistema de impulsión de PLS.

**Figura N°3.2: Ubicación zonas de medición capacidad de bombas.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

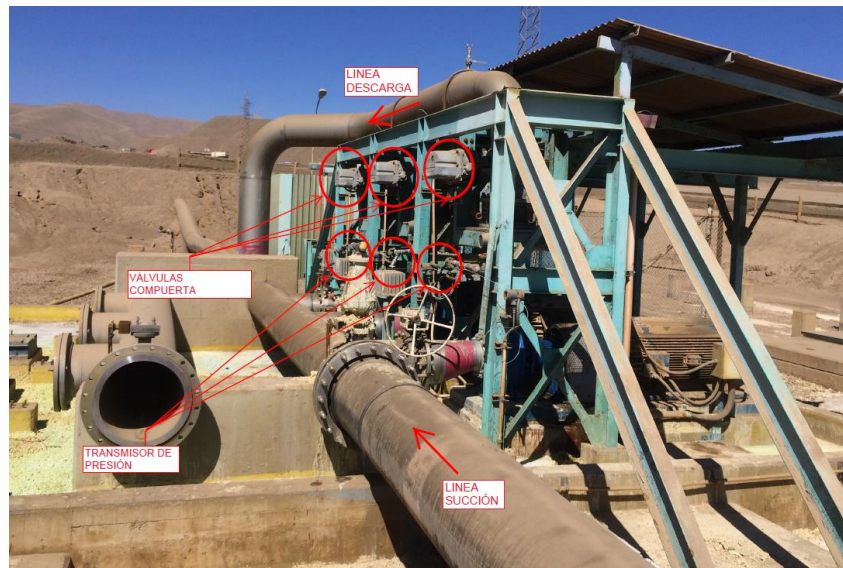
Las figuras 3.3 y 3.4, muestran registros fotográficos de las zonas de medición en piscina de PLS (bombas verticales) y bombas booster, indicando los instrumentos disponibles para realizar las pruebas.

**Figura N°3.3: Zona de medición de curvas de operación bombas verticales.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.4: Zona de medición de curvas de operación bombas booster.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Tal como indican las figuras anteriores, tanto el sistema de bombas verticales como el sistema de bombas booster, cuentan con sistema de medición de presión a través de transmisor de presión y manómetro.

### **3.7. Metodología.**

El presente documento tiene por objetivo medir la capacidad de impulsión del sistema de bombeo de PLS, considerando las capacidades individuales de cada bomba vertical y cada bomba booster y la capacidad total del sistema. Para esto se realizará registro de tres pares de puntos caudal, altura (Q,TDH) por prueba, los cuales corresponden al 30%, 60% y 100% de apertura de la válvula de compuerta y los TDH correspondientes. Las curvas operacionales de fábrica de bombas se incluyen en el Anexo C.

#### **3.7.1. Medición Curva Operacional Bomba Vertical.**

Esta prueba consiste en la construcción de las curvas operacionales de cada una de las tres (3) bombas verticales ubicadas en la piscina de PLS. Para cumplir con este propósito, el sistema debe contar con los siguientes requerimientos mínimos:

- Realizar la prueba entre el manifold de descarga de bombas y la llegada a bombas booster.
- Asegurar que la cañería se encuentre llena de agua y sin bolsas de aire.
- Contar con un reservorio de agua, en sector piscina de PLS, que tenga la capacidad suficiente para realizar la prueba.
- Contar con un punto definido para la descarga de agua de prueba en zona de bombas booster.
- Tener todas las bombas desconectadas del sistema.
- Válvula de compuerta descarga manifold cerrada.
- Flujómetro operativo y calibrado.
- Transmisores de presión y manómetros operativos y calibrados.

Satisfechos los requerimientos indicados anteriormente, se debe realizar el siguiente procedimiento para la construcción de la curva operacional de las bombas verticales TAG 371-014- 010, 371-014-020 y 371-014-030; este procedimiento debe ser en forma separada para cada bomba.

1. Encender una (1) bomba vertical.

1. Abrir la válvula de compuerta al porcentaje que indica la hoja de registro de prueba (Ver Anexo D). Este porcentaje corresponde a 30%, 60% y 100%.
2. Registrar en la hoja correspondiente, presión en la descarga de la bomba y caudal en la línea, en función de los porcentajes de abertura de la válvula de compuerta.
3. Una vez finalizada la prueba, detener bomba vertical y aislar el sistema cerrando la válvula de compuerta en la línea de descarga de bomba correspondiente.

Al finalizar el proceso de medición de curvas operacionales de bombas verticales, se debe haber registrado tres (3) hojas de datos, las cuales deben ser nombradas de acuerdo a lo siguiente:

- **Hoja de Datos N°1:** Curva Operacional Bomba Vertical N°1, TAG 371-014-010.
- **Hoja de Datos N°2:** Curva Operacional Bomba Vertical N°2, TAG 371-014-020.
- **Hoja de Datos N°3:** Curva Operacional Bomba Vertical N°3, TAG 371-014-030.

### **3.7.2. Medición Curva Operacional Bomba Booster.**

Esta prueba consiste en la construcción de las curvas operacionales de cada una de las tres (3) bombas booster. Para cumplir con este propósito, el sistema debe contar con los siguientes requerimientos mínimos. (ver anexo E)

- Realizar la prueba entre el manifold de descarga de bombas booster y la llegada a SX.
- Asegurar que la cañería se encuentre llena de agua y sin bolsas de aire.
- Contar con un reservorio de agua, en sector piscina de PLS, que tenga la capacidad suficiente para realizar la prueba.
- Contar con un punto definido para la descarga de agua de prueba en sector SX.
- Tener todas las bombas desconectadas del sistema.
- Válvula de compuerta descarga manifold cerrada.
- Flujómetro operativo y calibrado
- Transmisores de presión y manómetros operativos y calibrados
- Se debe contar con la operación con válvula 100% abierta, de una bomba vertical, la cual suministrará agua a cada una de las bombas booster.

Satisfechos los requerimientos indicados anteriormente, se debe realizar el siguiente procedimiento para la construcción de la curva operacional de las bombas booster TAG 371-013- 010, 371-013-020 Y 371-013-030; este procedimiento debe ser en forma separada para cada bomba.

1. Encender una (1) bomba booster
2. Abrir la válvula de compuerta al porcentaje que indica la hoja de registro de prueba (Ver Anexo C) Este porcentaje corresponde a 30%, 60% y 100%.
3. Registrar en la hoja correspondiente, presión en la descarga de la bomba y caudal en la línea, en función de los porcentajes de abertura de la válvula de compuerta.
4. Una vez finalizada la prueba, detener bomba vertical y aislar el sistema cerrando la válvula de compuerta en la línea de descarga de bomba correspondiente.

Al finalizar el proceso de medición de curvas operacionales de bombas booster, se debe haber registrado tres (3) hojas de datos, las cuales deben ser nombradas de acuerdo a lo siguiente:

- Hoja de Datos N°4: Curva Operacional Bomba Booster N°1, TAG 371-013-010.
- Hoja de Datos N°5: Curva Operacional Bomba Booster N°2, TAG 371-013-020.
- Hoja de Datos N°6: Curva Operacional Bomba Booster N°1, TAG 371-013-030.

### **3.7.3. Medición Curva Operacional Sistema General.**

Esta prueba consiste en la construcción de curva operacional del sistema en general, operando las tres (3) bombas verticales y las tres (3) bombas booster. Para cumplir con este propósito, el sistema debe contar con los siguientes requerimientos mínimos.

- Realizar la prueba entre el manifold de descarga de bombas verticales y la llegada a SX.
- Asegurar que las cañerías se encuentren llenas de agua y sin bolsas de aire.
- Contar con un reservorio de agua, en sector piscina de PLS, que tenga la capacidad suficiente para realizar la prueba.
- Contar con un punto definido para la descarga de agua de prueba en sector SX.
- Tener todas las bombas desconectadas del sistema.
- Válvula de compuerta descarga manifold cerrada.
- Flujoímetro operativo y calibrado.

- Transmisores de presión y manómetros operativos y calibrados.

Satisfechos los requerimientos indicados anteriormente, se debe realizar el siguiente procedimiento para la construcción de la curva operacional del sistema, considerando la operación simultanea de las bombas verticales TAG 371-014-010, 371-014-020 Y 371-014-030 y las bombas booster TAG 371-013-010, 371-013-020 Y 371-013-030.

1. Las tres (3) bombas verticales y las tres (3) bombas booster, se encuentran detenidas y aisladas con sus válvulas de descargas cerradas.
2. Encender la bomba vertical TAG 371-014-10 y bomba booster 371-013-010 con válvulas de descargas 100% abiertas, el resto de las bombas deben estar detenidas y válvulas de descargas cerradas.
3. Una vez estabilizado el sistema (no hay variación de flujo en matriz principal), registrar en la hoja correspondiente Sistema 1+1, presiones y caudal en la línea, de acuerdo con lo indicado en diagrama.
4. Funcionando las bombas TAG 371-014-10 y TAG 371-013-10, encender la bomba vertical TAG 371-014-20 y bomba booster 371-013-020 con válvulas de descargas 100% abiertas.
5. Una vez estabilizado el sistema (no hay variación de flujo en matriz principal), registrar en la hoja correspondiente Sistema 2+2, presiones y caudal en la línea, de acuerdo con lo indicado en diagrama.
6. Finalmente partir con la bomba vertical TAG 371-014-30 y bomba booster 371-013-030 con válvulas de descargas 100% abiertas, el resto de las bombas todas funcionando con válvulas de descargas 100% abiertas.
7. Una vez estabilizado el sistema (no hay variación de flujo en matriz principal), registrar en la hoja correspondiente Sistema 3+3, presiones y caudal en la línea, de acuerdo a lo indicado en diagrama.

Al finalizar el proceso de medición de curva operacional del sistema, se debe haber registrado una (1) hoja de dato, la cual debe ser nombrada de acuerdo a lo siguiente:

- **Hoja de Datos N°7:** Curva Operacional Sistema General. (Ver Anexo F).

### **3.8. Recursos.**

Los recursos aportados por el Diseñador para realizar el levantamiento de las condiciones de terreno son:

### **3.8.1. Equipos y Elementos de Trabajo.**

- Equipo scanner láser 3D, FARO 120.
- Trípode.
- Esferas de referencia.

### **3.8.2. Personal de Terreno.**

El personal que participó en la visita terreno fue:

- Un (1) Ingeniero de Proyecto.

### **3.8.3. Equipo de Protección Personal (EPP).**

- Casco con barbiquejo.
- Lentes semi herméticos claros y oscuros.
- Calzado de seguridad.
- Guantes de cabritilla.
- Chaleco reflectante.
- Bloqueador solar.
- Protección auditiva tipo copa.
- Buzo tipo piloto Antiácido.
- Protección respiratoria con filtro respiratorio de 2 vías.

## **3.9. Actividades Realizadas.**

El trabajo considera la realización de levantamiento de las instalaciones mediante escaneo láser 3D de las tres áreas de interés indicadas.

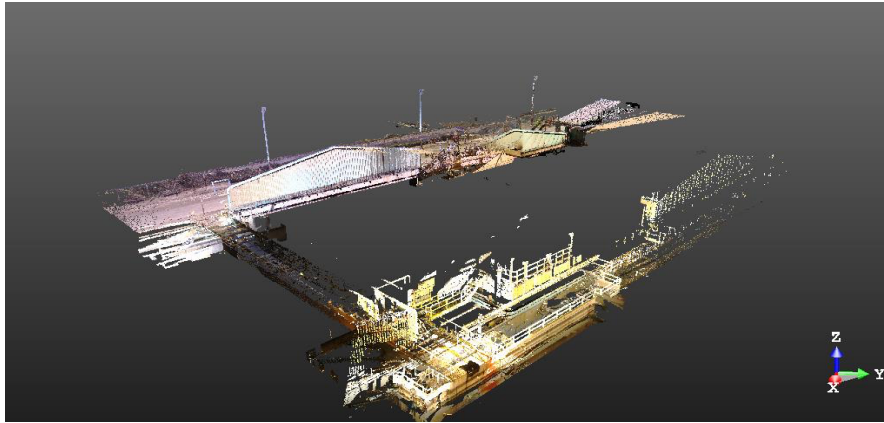
### **3.9.1. Levantamiento con Escáner Láser 3D.**

Se realizaron un total de 18 disparos con el escáner láser 3D, que permitieron cubrir las tres áreas, cada disparo tomó 25 minutos aproximadamente dando como resultado tres nubes de puntos integradas que se utilizarán para ver disponibilidad de espacios y posibles interferencias para las distintas soluciones a estudiar durante la siguiente fase de ingeniería.

#### **3.9.1.1. Área Planta Química SX.**

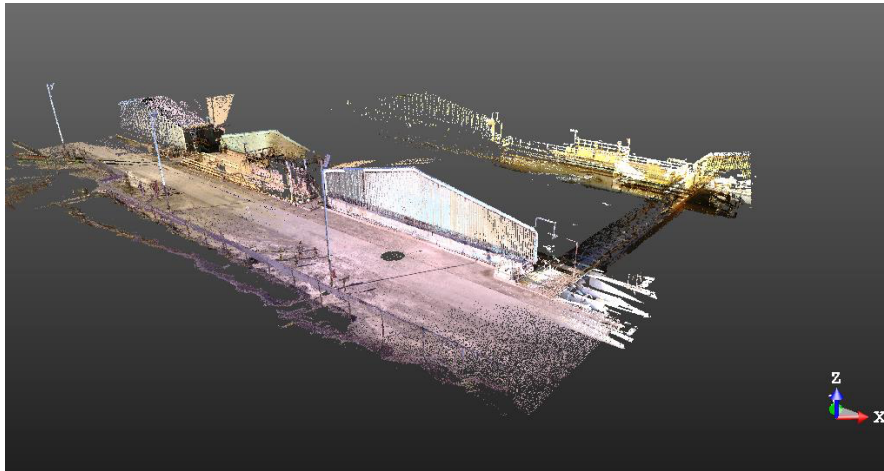
A continuación, en las figuras 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 se muestra nube de punto integradas de planta química SX.

**Figura N°3.5: Nube de puntos vista isométrica 1.**



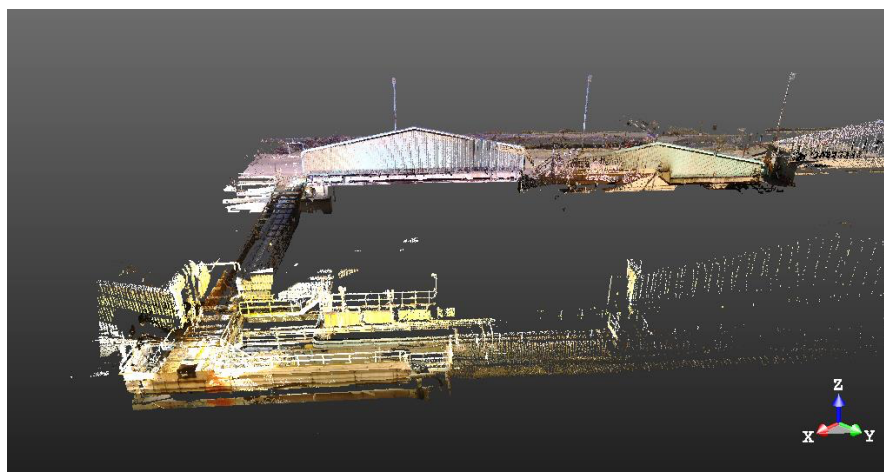
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.6: Nube de puntos vista isométrica 2.**



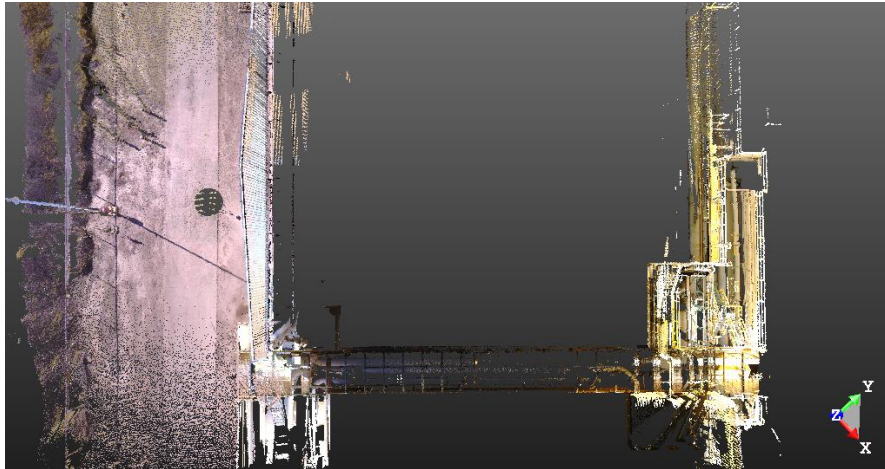
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.7: Nube de puntos vista isométrica 3.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.8: Nube de puntos vista planta.**

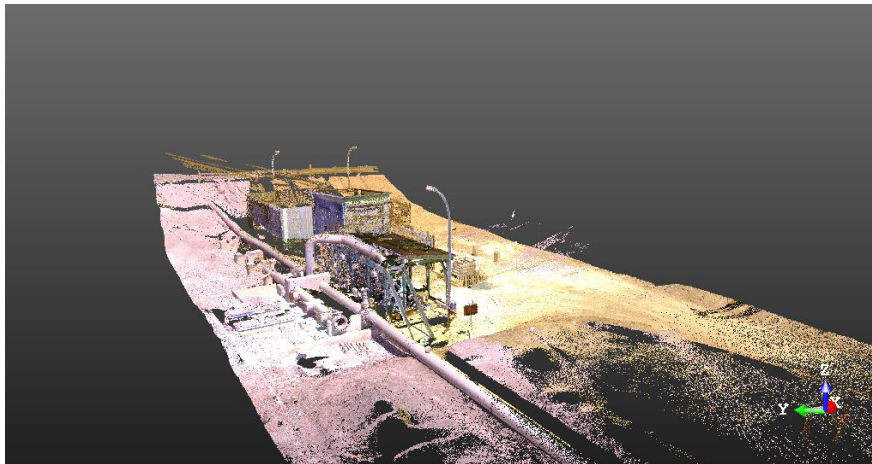


Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### **3.9.1.2. Área Impulsión Bombas Booster PLS.**

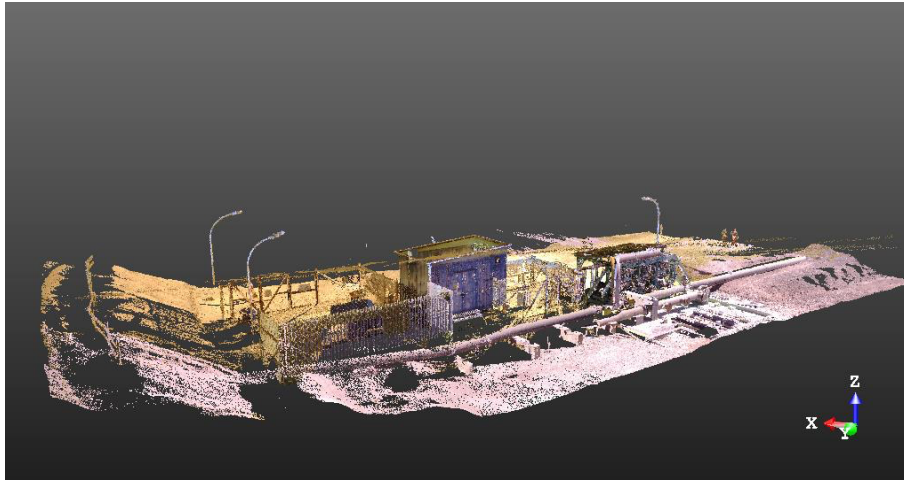
A continuación, en las figuras 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14 se muestra la nube de puntos integradas del Sistema de Impulsión Bombas Booster PLS:

**Figura N°3.9: Nube de puntos vista isométrica 1.**



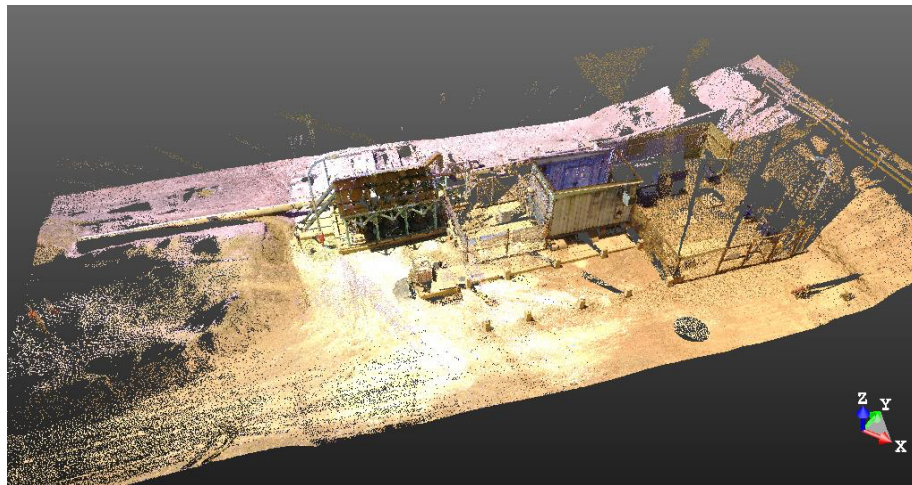
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.10: Nube de puntos vista isométrica 2.**



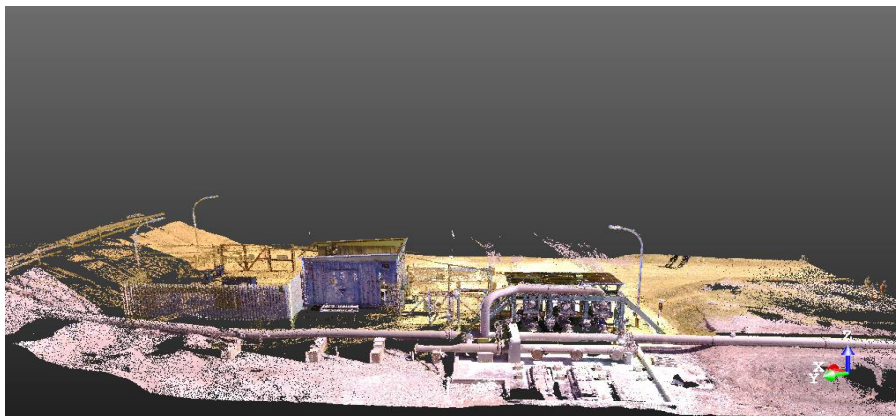
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.11: Nube de puntos vista isométrica 3.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.12: Nube de puntos vista isométrico 4.**



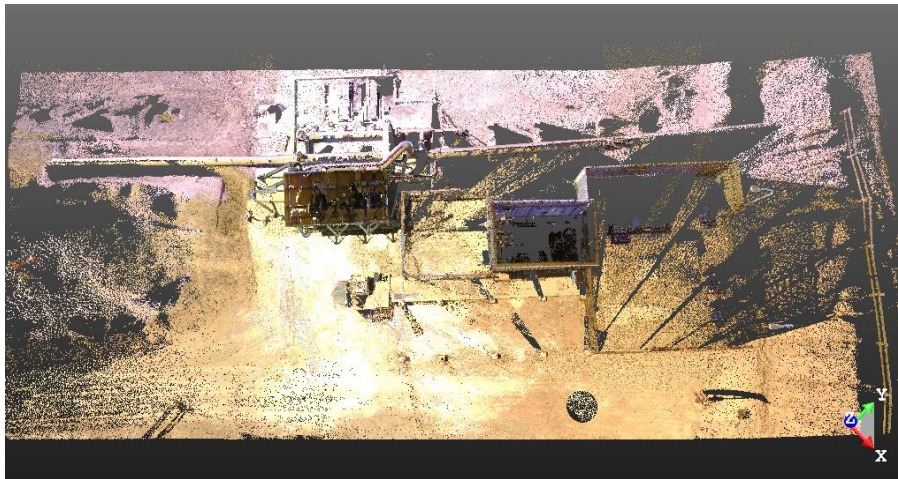
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.13: Nube de puntos vista isométrica 5.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.14: Nube de puntos vista planta.**

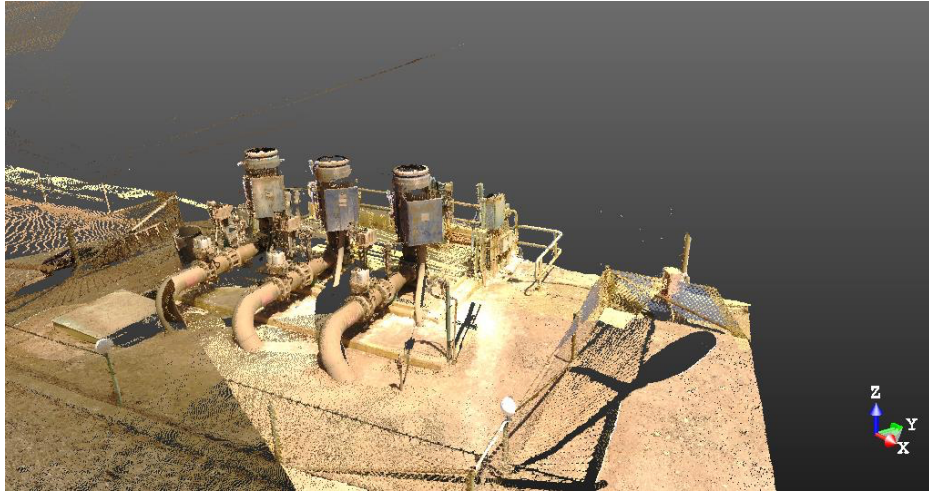


Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### **3.9.1.3. Área Impulsión Bombas PLS.**

A continuación, en las figuras 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18 se muestra la nube de puntos integradas de Sistema de Impulsión Bombas PLS:

**Figura N°3.15: Nube de puntos vista isométrica 1.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.16: Nube de puntos vista isométrico 2.**



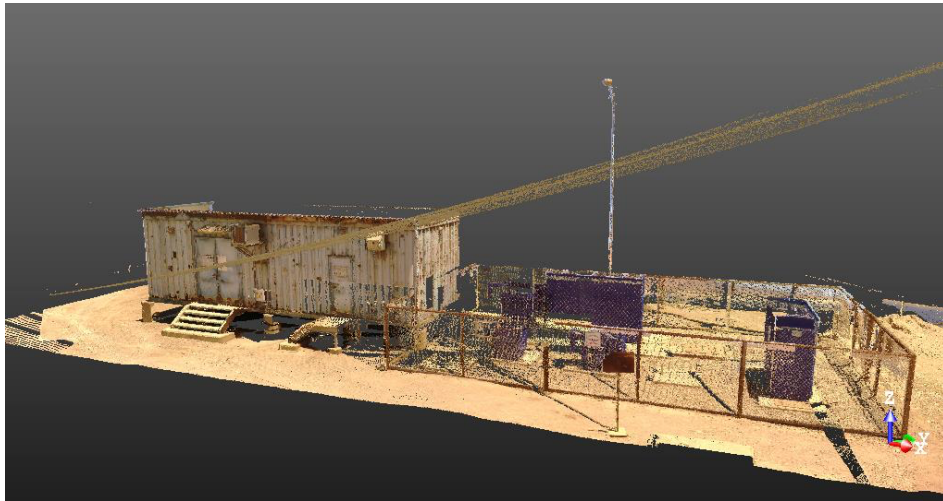
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.17: Nube de puntos vista isométrica - sala eléctrica.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.18: Nube de puntos vista isométrico 2-sala eléctrica.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### **3.10. Consideraciones de Cálculo.**

Para la realización del cálculo hidráulico se utilizó, el software Hammer v8i. A continuación, se muestran los criterios de diseño para régimen permanente y régimen transiente.

#### **3.10.1. Régimen Permanente.**

- Caudal total aumento de capacidad: 1.500 m<sup>3</sup>/h.
- Velocidad en matriz principal no superior a 2,5 m/s
- Coeficiente de rugosidad Darcy 0,05 mm
- Presión de descarga en SX: Atmosférica
- Factor de Seguridad caudal impulsado: 10%

**Nota:** Debido a que se desconoce la condición mecánica actual del sistema de impulsión de PLS, se considera la disminución de un 10%-15% (factor de seguridad) sobre el flujo calculado. La capacidad real de impulsión de las bombas está sujeto a la realización de pruebas hidráulicas.

#### **3.10.2. Régimen Transiente.**

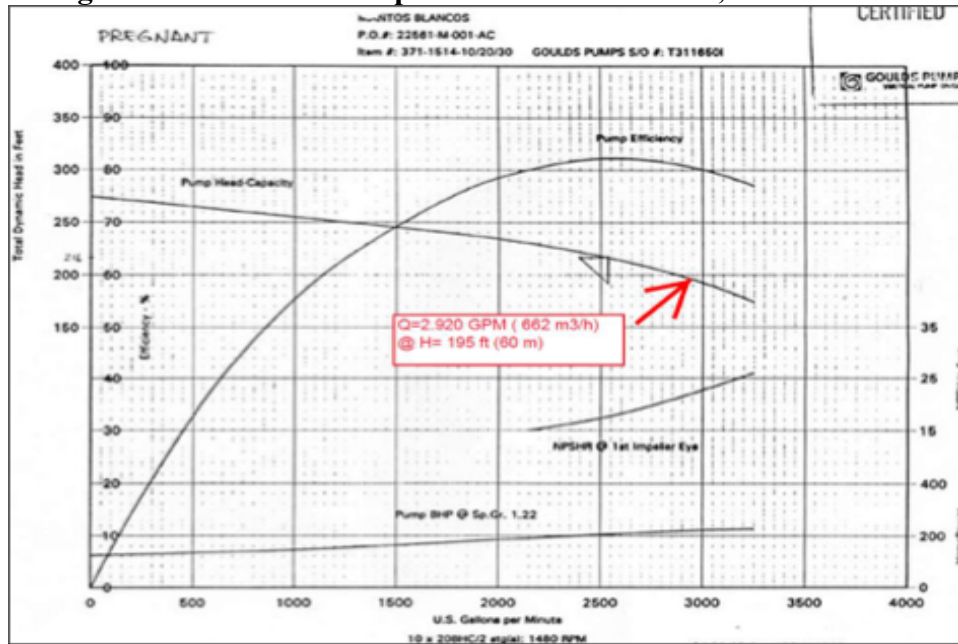
- Evento transiente: Parada simultánea de bombas.
- Tiempo de simulación: 20 minutos.
- Paso de Tiempo 0,01 segundo.

### 3.11. Resultados Régimen Permanente.

#### 3.11.1. Escenario A.

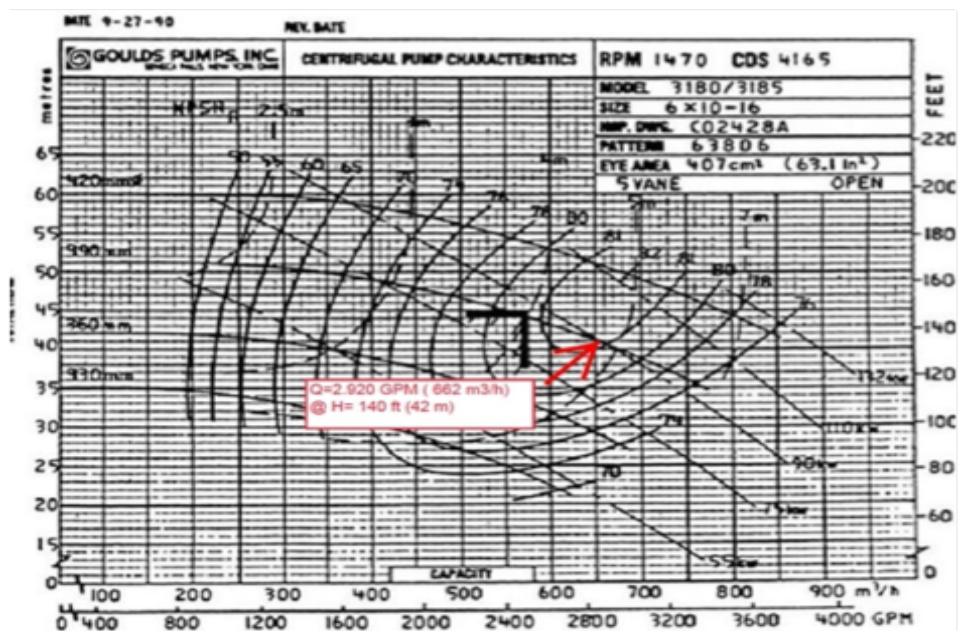
Para este escenario, las siguientes figuras muestran el punto de operación en la curva de la bomba de turbina y la bomba booster, respectivamente.

Figura N°3.19: Punto de operación bomba turbina, escenario A.



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Figura N°3.20: Punto de operación bomba booster, escenario A.



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

La siguiente tabla 3.5 muestra los resultados para el escenario A.

**Tabla N°3.5: Resultados escenario A.**

Ítem	Valor	Unidad
Cantidad de bombas turbinas operando	2	-
Cantidad de bombas booster operando	2	-
Punto de Operación por bomba turbina	Q=663 m <sup>3</sup> /h @ 60 mcl	
Punto de Operación por bomba booster	Q=663 m <sup>3</sup> /h @ 43 mcl	
Caudal total Impulsado	1.325	m <sup>3</sup> /h
Caudal total Impulsado - 10%	1.193	m <sup>3</sup> /h

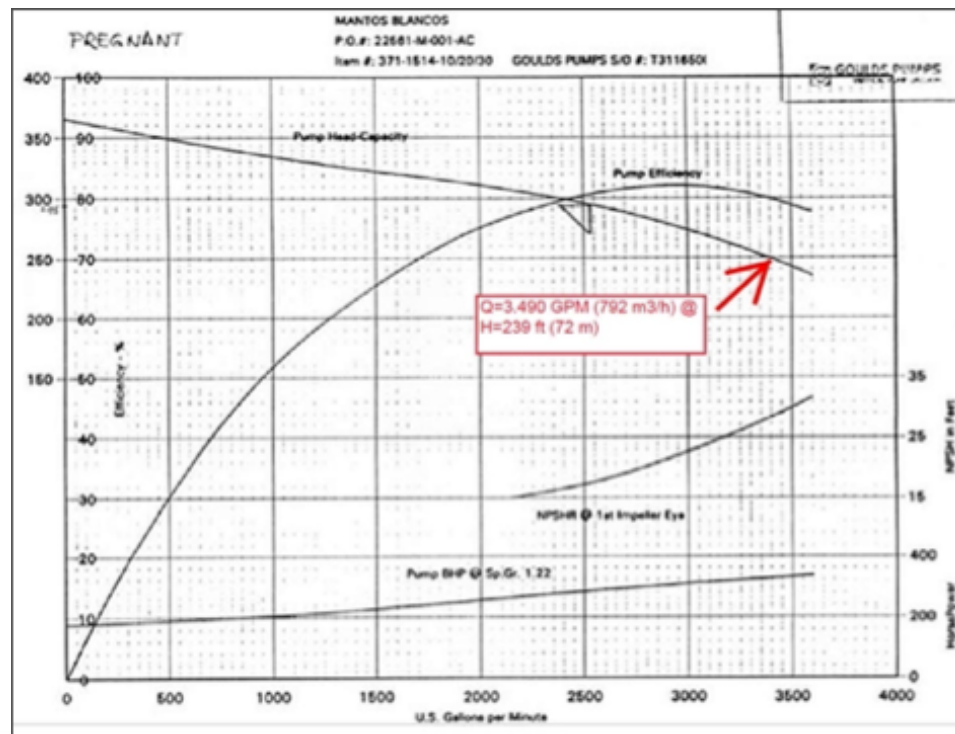
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

De acuerdo con los resultados de la tabla 3.5, el sistema tiene una capacidad de impulsión de 1.193 m<sup>3</sup>/h, utilizando la configuración de bombas 2+1 de turbina y bombas 2+1 booster, por lo tanto, bajo estas condiciones, el sistema no tiene la capacidad de impulsión para aumento de capacidad a 1.500 m<sup>3</sup>/h.

### 3.11.2. Escenario B.

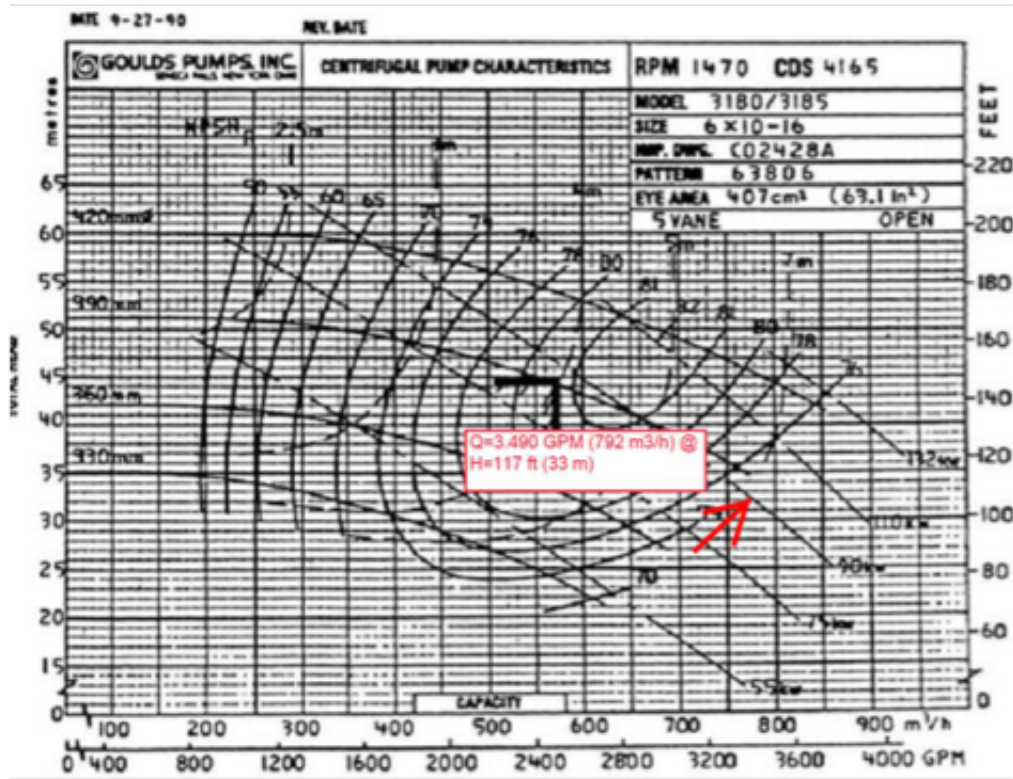
Para este escenario, las siguientes figuras muestran el punto de operación en la curva de la bomba de turbina y la bomba booster, respectivamente.

**Figura N°3.21: Punto de operación bomba turbina, escenario B.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.22: Punto de operación bomba booster, escenario B.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Tabla N°3.6: Resultados Escenario B.**

Ítem	Valor	Unidad
Cantidad de bombas turbinas operando	2	-
Cantidad de bombas booster operando	2	-
Punto de Operación por bomba turbina	Q=792 m³/h @ 72 mcl	
Punto de Operación por bomba booster	Q=792 m³/h @ 33 mcl	
Caudal total Impulsado	1.584	m³/h
Caudal total Impulsado - 10%	1.425	m³/h

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

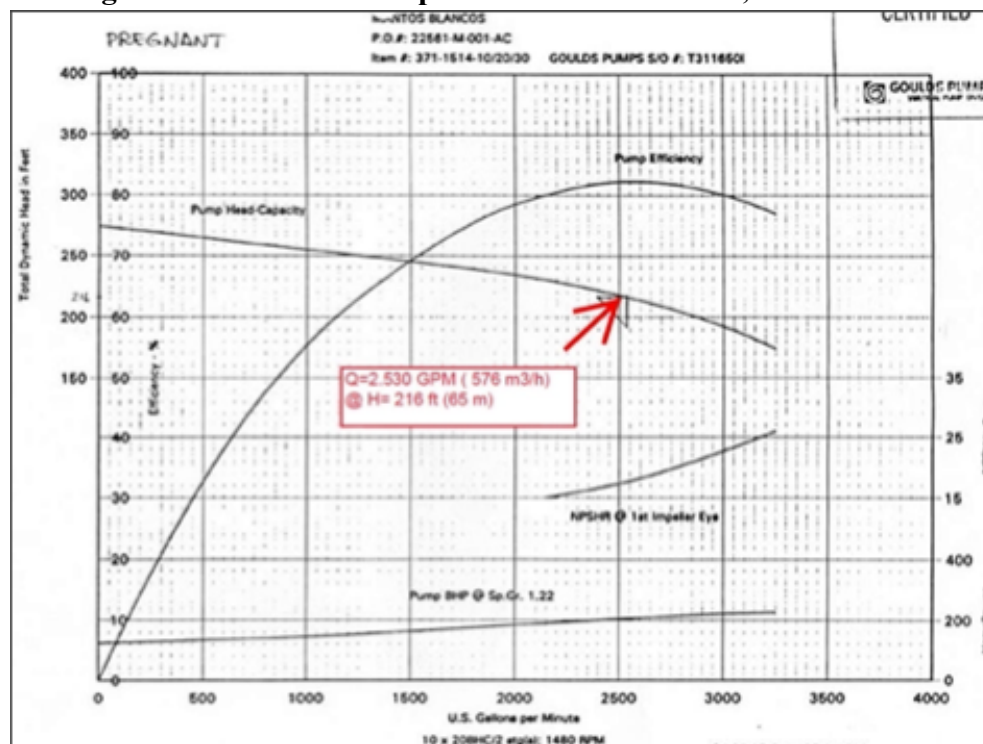
La tabla anterior indica que, para este escenario, se tiene un caudal total impulsado de 1.425 m³/h (considerando la aplicación del factor de seguridad), y sin factor de seguridad se tiene un caudal de 1.584 m³/h, por lo tanto, se tiene un caudal cercano al requerido para aumento de capacidad. Cabe destacar que, para esta configuración de bombas, la bomba de turbina indicada en la tabla 3.6, opera a su máxima capacidad de

caudal, saliéndose del punto de operación nominal. Esto podría causar operación bajo un punto de menor eficiencia y problemas de cavitación.

### 3.11.3. Escenario C.

Este escenario considera operar bajo una configuración 3+1 (agregar una tercera bomba), tanto para las bombas turbina como para las booster. Alternativamente, se puede aumentar la capacidad de impulsión de las bombas existentes, aumentando el tamaño del impulsor de cada bomba, tanto para las bombas de turbina como para las bombas booster<sup>1</sup>.

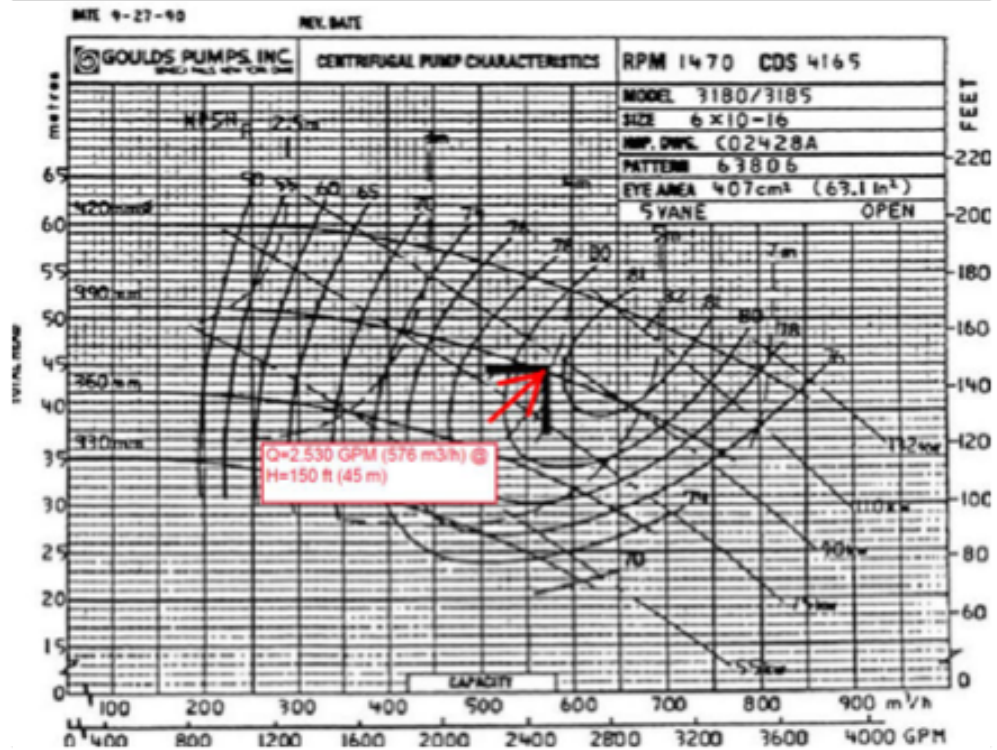
**Figura N°3.23: Punto de operación bomba turbina, escenario C.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

<sup>1</sup> Por el momento no es posible evaluar escenario de aumento de capacidad de impulsión, mediante aumento de tamaño de impulsores de bombas, debido a que solo se cuenta con curvas según tamaño de impulsor de bombas booster.

**Figura N°3.24: Punto de operación bomba booster, escenario C.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Los gráficos anteriores indican, que al operar con una tercera bomba de turbina y una tercera bomba booster, estas operan en sus puntos de diseño.

La tabla 3.7 muestra los resultados del aumento de capacidad de caudal, considerando la operación simultánea de una tercera bomba de turbina y una tercera bomba booster.

**Tabla N°3.7: Resultados Escenario C.**

Ítem	Valor	Unidad
Cantidad de bombas turbinas operando	3	-
Cantidad de bombas booster operando	3	-
Punto de Operación por bomba turbina	Q=576 m³/h @ 65 mcl	
Punto de Operación por bomba booster	Q=576 m³/h @ 45 mcl	
Caudal total Impulsado	1.732	m³/h
Caudal total Impulsado - 10%	1.559	m³/h

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

De acuerdo con los resultados obtenidos y mostrados en la tabla 3.7, al utilizar la configuración de 3+1 en bombas de turbina y 3+1 en bombas booster, el sistema alcanza una capacidad de impulsión de 1.559 m³/h.

### 3.12. Resultados Régimen Transiente.

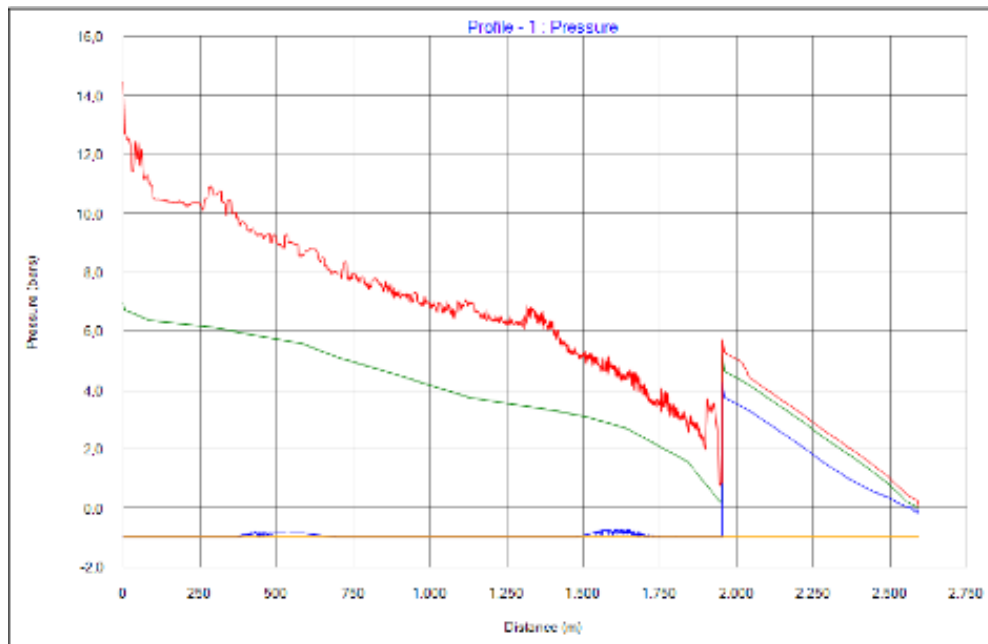
#### 3.12.1. Situación Aumento de Capacidad de Calidad.

Se presentan los resultados para régimen transiente del sistema de impulsión de PLS para la situación de aumento de capacidad a 1.500 m<sup>3</sup>/h.

La codificación de colores de los resultados es la siguiente:

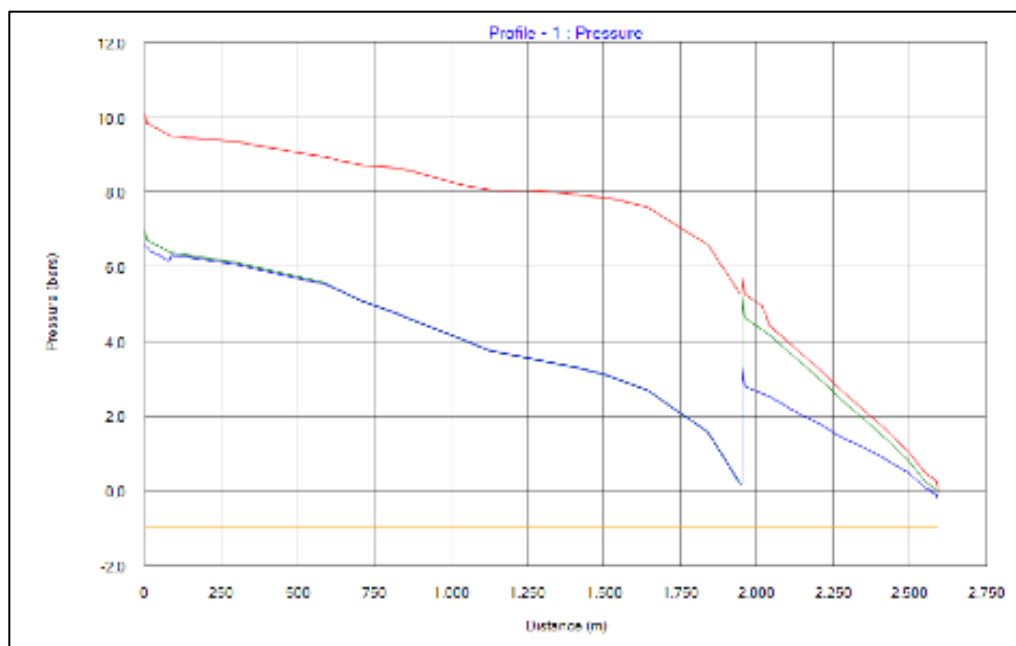
- Línea color rojo: envolvente de presión máxima.
- Línea de color verde: presión en régimen permanente.
- Línea de color azul: envolvente de presión mínima.
- Línea de color violeta: presión de vapor PLS.

**Figura N°3.25: Resultados análisis transiente parada de bombas turbinas.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°3.26: Resultados análisis transiente parada de bombas booster.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

De los resultados del análisis transiente, se observa que el caso de parada de bombas booster no genera sobrepresiones que superen los 10 bar de la cañería DN560 PN10, sin embargo, para el transiente de parada de bombas turbina, se observa una sobrepresión que supera los 10 bar en la parte inicial de la línea, extendiéndose la sobrepresión hasta 400 m posteriores al inicio de la línea. Dada esta situación, se recomienda reemplazar este tramo por una cañería PN16.

### 3.13. Cálculo NPSH Disponible.

La tabla 3.8 muestra el cálculo del NSPH disponible para el sistema de bombas tipo turbina:

**Tabla N°3.8: Cálculo NPSH disponible bomba turbina.**

Ítem	Valor	Unidad
Presión atmosférica @ 755 msnm	9,40	mca
Pérdida de carga en la succión	0,04 / 0,05	mcl / mca
Presión de vapor @ 30°C	0,43	mca
Factor de seguridad	0,5	mca
NPSH disponible	8,8	mca
NPSH requerido	7,0	mca

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### 3.14. Cálculo de Potencia.

La tabla 3.9 muestra el cálculo de la potencia estimada para la situación de aumento de capacidad de caudal en cada una de las bombas de turbina:

**Tabla N°3.9: Cálculo potencia total para cada escenario.**

ITEM	Escenario A	Escenario B	Escenario C
Cantidad de Bombas Turbina	2	2	3
Cantidad de Bombas Booster	2	2	3
Potencia por bomba Turbina (HP)	220	300	200
Potencia por bomba Booster (HP)	200	200	134
Potencia total requerida (HP)	840	1.000	1.002

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

De la tabla anterior, se muestra que, para impulsar el caudal requerido, se necesita tener una potencia instalada de al menos 1.000 HP (750 kW).

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Alcance y Resumen de los Trabajos Realizados.

##### 4.1.1. Etapa I.

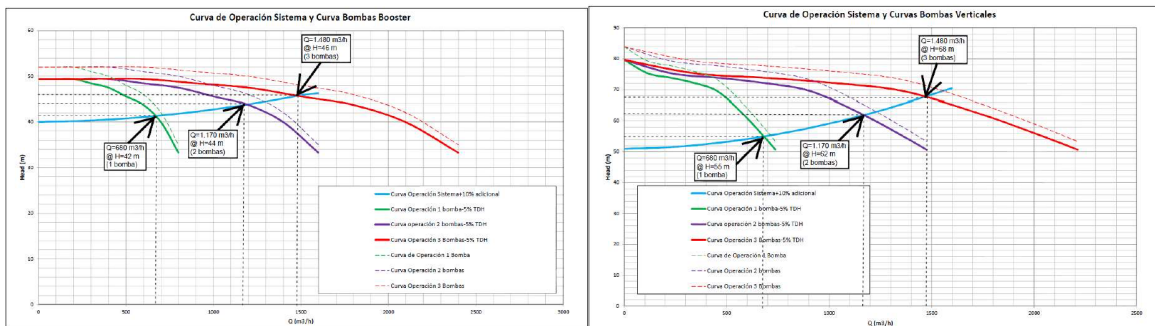
##### Estudio de Ingeniería para Verificación Hidráulica.

El estudio se concentra en el análisis de 3 alternativas de configuración del sistema y en el análisis del régimen de las transiente de presiones en el sector de turbinas y booster.

La verificación hidráulica concluye que considerando un factor de ineficiencia por desgaste de bombas de un 5% de reducción en la curva de TDH y la aplicación de factor de seguridad 10% adicional sobre pérdidas de carga, el sistema tiene la capacidad de impulsar 1.480 m<sup>3</sup>/h, operando con 3 bombas verticales+3 bombas booster.

Adicionalmente se señala que el evento transiente de parada de bombas booster no causa sobrepresiones en la línea que sobrepasen el PN10 de la cañería en comparación con el evento transiente de parada de bombas verticales que si genera sobrepresiones superiores a 10 bar desde la descarga de las bombas hasta los primeros 400 metros por lo que se recomienda reemplazar este tramo por cañería PN16. [1]

**Figura N°4.1: Curva Op. Sist. v/s bomba booster y v/s bomba vertical**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

##### 4.1.2. Etapa II.

##### Adquisiciones de Equipos y Materiales.

Luego de finalizada la etapa 1 de verificación hidráulica se iniciaron a partir del día 15-04-2019 la adquisición de equipos y materiales de largo plazo como es el caso de una nueva bomba turbina (goulds pump de ITT), cañerías de HDPE 560 mm, 630 mm y 315 mm, overhaul a bombas booster (proveedor Proseal y mantención de motores de 150 HP

(proveedor Borybor), válvulas mariposa de 16” y 20”, válvulas mariposa con actuador eléctrico de 14” y 18”, válvulas mariposa duo check de 14” y variadores de frecuencia (VDF).

### **Ejecución de Obras Tempranas.**

A partir del año 2019 se da inicio al contrato de obras tempranas (por medio de un proceso de licitación adjudicada a las empresas Maestranza Asmecco y Ecocil), donde su finalidad es poder ejecutar un listado de actividades de repotenciamiento a los equipos y sistema existente, previos a los trabajos de construcción y montaje y parada de planta mayor.

Entre las actividades ejecutadas durante el plazo de 4 meses se destacan:

- Cambio de válvulas de 14” y 16” en sector turbinas y estación booster.
- Cambio de bombas turbinas desde piscina ILS (mayor impulsor) hacia piscina PLS.
- Cambio de bombas booster repotenciadas (overhaul) durante mantenciones programadas.
- Cambio de motores de 350 HP desde piscina ILS (mayor potencia) hacia piscina PLS.
- Cambio de motores de 150 HP con mantención de equipos al día.
- Demolición sección muro para atraveso de cañerías corrugadas.
- Excavación de terreno y posterior relleno compactado
- Instalación de camisa para atraveso.
- Equipos de movimiento de tierra (Bulldozer D8 y excavadora PC300) para generar
- plataforma para cañerías y atravesos de camino.
- Etc.

**Figura N°4.2: Trabajos realizados por obras tempranas.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Respecto a la dotación de personal y equipos establecidos y utilizados en ambos contratos se señala:

Contrato obras tempranas Maestranza Asmecco:

- 2 maestros mecánicos; 3 maestros OCCC; 2 soldadores; 3 maestros eléctricos; 1 operador de camión pluma; 1 supervisor mecánico y 1 supervisor eléctrico.

Contrato obras tempranas Ecocil:

- 1 equipo Bulldozer y 1 equipo excavadora PC 300.
- 1 supervisor y 2 operadores de equipo.

### **Ingeniería de Detalle.**

La ingeniería de detalles adjudicada a la empresa M&S (en el mes de octubre del 2019), se realizar con la finalidad de poder validar los estudios realizados en la etapa 1 del proyecto (verificaciones hidráulicas) y generar los documentos necesarios (planos y memoria de cálculo), para fabricar, construir, y montar todas las obras proyectadas en las disciplinas mecánicas, obras civiles, piping, P&ID y eléctricas para las áreas de turbinas, booster y SX (exterior e interior).

En forma adicional la empresa M&S realiza la verificación hidráulica para la línea de refino que va desde piscina de turbinas (refino) hasta dump sur.

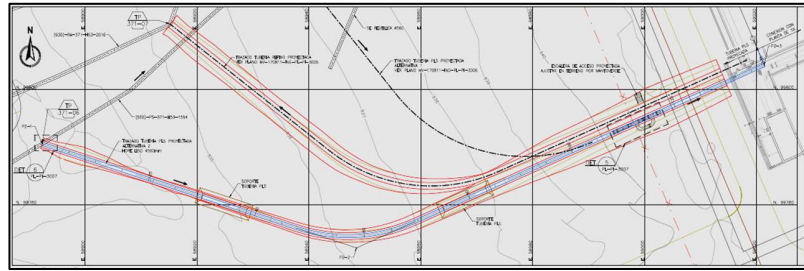
Se generaron 53 documentos (entre planos y memorias de cálculos) de los cuales 11 documentos corresponden a la disciplina de instrumentación, 10 a la disciplina eléctrica, 3 a la disciplina de obras civiles, 4 a la disciplina estructural, 2 a la disciplina mecánica, 22 a la disciplina de piping y 1 documento correspondiente al informe final.

La ingeniería de detalles se concentra en la ejecución de lo siguiente:

- Planos y memoria de cálculo para la construcción de fundaciones (planta, secciones, formas y armaduras) para cuarta bomba booster.

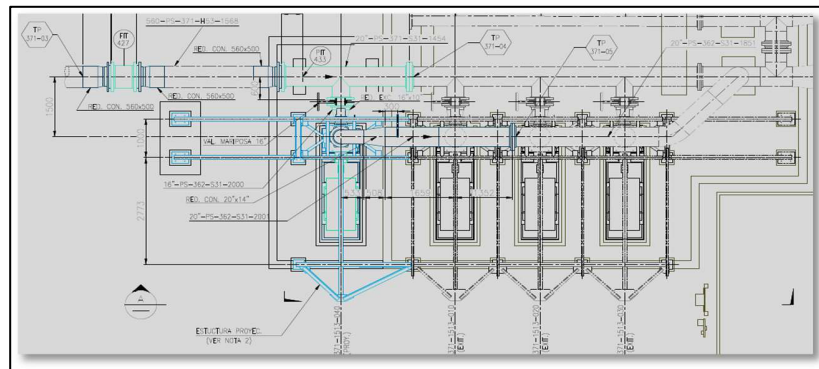
- Planos y memoria de cálculo para la fabricación y montaje de estructura extensión y soportación de válvulas y piping de descarga para cuarta bomba y extensión de techumbre.
- Planos y memoria de cálculo para la fabricación y montaje de estructura soportación interior en SX (línea HDPE 315 mm electrolito pobre).
- Listado de materiales y filosofía de control de la línea PLS.
- Diagramas de lazo para el área turbinas, booster y SX.
- Plano de planta de canalizaciones de instrumentación en área booster.
- Plano diagrama de conexionado de válvulas de 18" en área SX.
- Listado de materiales y diagramas unilineales en área turbinas y booster.
- Plano disposición de equipos y diagrama elemental de control en área booster.
- Plano de disposición de malla a tierra y diagrama de interconexiones en área booster.
- Plano disposición general de canalizaciones y diagrama de interconexiones en área SX.
- Memoria de cálculo sistema de impulsión PLS.
- Plano de P&ID, planta y perfil longitudinal en sector turbinas.
- Plano general piping y manifold de succión y descarga en área booster.
- P&ID general, plano general disposición de tuberías, plano trazado tubería de refino y pls proyectada, planos de secciones y detalles línea de refino y pls y planos de detalles by pass en sector exterior SX.
- Plano general disposición de tuberías de PLS, refino y electrolito pobre, planos de secciones y detalles de línea interior SX.
- Memoria de cálculo verificación sistema de impulsión línea de refino.
- Y finalmente informe general de cierre.

**Figura N°4.3: Trazado exterior de líneas HDPE 630 y 560 (refino y PLS).**



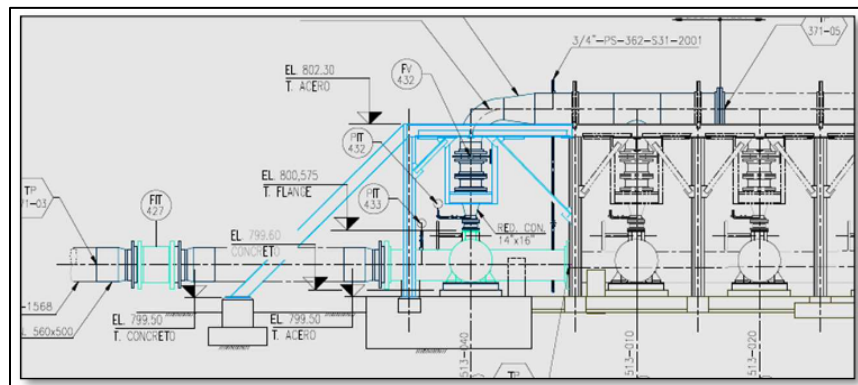
Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°4.4: Plano general estructural y piping 4ta bomba booster.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°4.5: Vista lateral estructural y piping 4ta bomba booster.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos en la ingeniería de detalles se puede describir que el sistema de impulsión y conducción de solución de PLS desde la piscina de turbinas hasta la planta SX satisface los nuevos requerimientos operacionales del proceso, el cual estableció el flujo de diseño en 1.450 m<sup>3</sup>/h. [2]

Además, se confirma que las presiones máximas registradas durante la simulación del transiente “detención del sistema de impulsión”, no superaran las presiones máximas

admisibles de las cañerías de HDPE de 560 mm (22") de diámetro. Considerando que se utilizó, un factor de seguridad de 20% sobre la presión de trabajo nominal para determinar las sobrepresiones eventuales que resista la cañería.

**Nota:** Queda pendiente hasta el término de los trabajos de construcción y montaje (en las distintas disciplinas) la confección de los planos as built una vez que las empresas ejecutoras realicen la red line a los planos de la ingeniería de detalles.

### Obras de Construcción y Montaje.

A partir del 18-12-2019 se da inicio al contrato N° 4500026025 correspondiente a las obras de construcción y montaje cuya adjudicación fue realizada a la empresa Ingeniería y servicios Choapa Ltda. en la cual dentro de su alcance se contempló la ejecución de las siguientes obras:

#### En Área Turbinas:

- Montaje de 500 metros de cañería 630 mm PN16 desde sector turbinas (ver figuras 4.6 y 4.7)
- Fabricación y montaje manifold HDPE en 10", 8" y 6" para habilitación de válvulas antiarriete.
- Fabricación y montaje de estructura de soportación manifold antiarriete.

**Figura N°4.6: Montaje de 500 metros.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°4.7: Sector turbinas.**

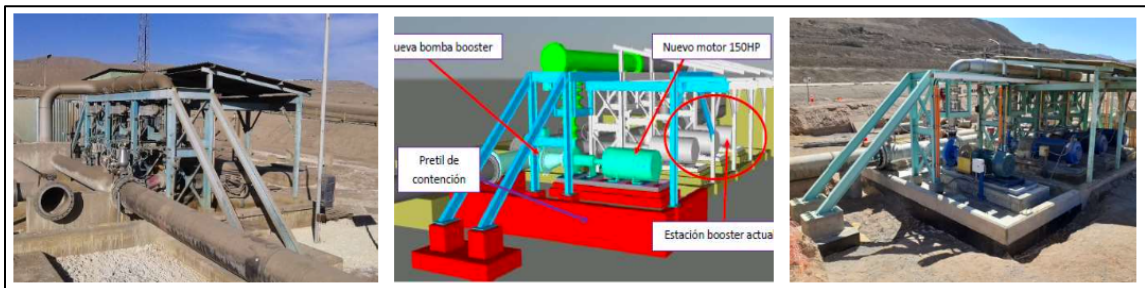


Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### En Área Booster:

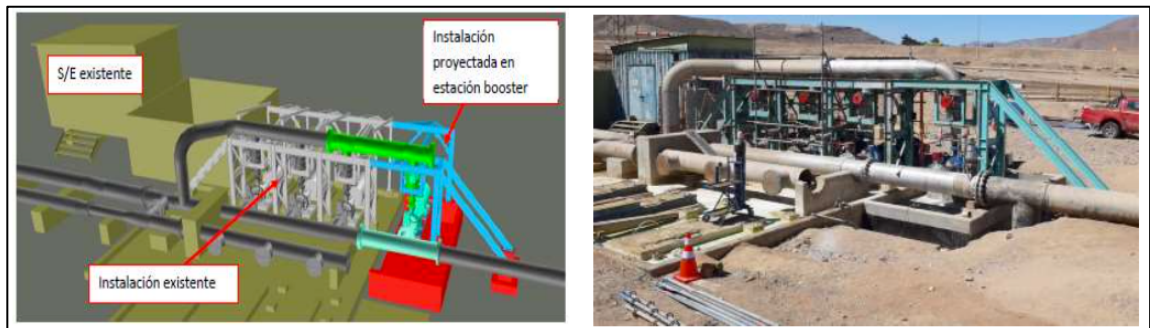
- Ejecución de montaje electromecánico e instrumentación (OCC) para fundaciones, losa y pretil de contención para 4ta bomba.
- Fabricación y montaje de piping acero inoxidable para succión y descarga de 4ta bomba.
- Instalación de planchas de techumbre.
- Fabricación y montaje de estructura para soportación de bomba y válvulas, extensión de techumbre, estructura anclaje motor de 150 HP.
- Recorte de línea PLS e instalación de nuevo stubend HDPE 560 mm PN 10.

**Figura N°4.8: Área booster 1.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°4.9: Área booster 2.**

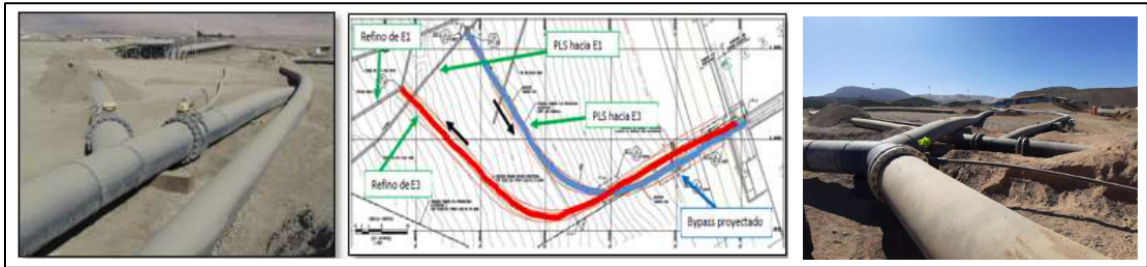


Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

### En Área Exterior Planta SX:

- Fabricación y montaje de spool (by pass) en HDPE 20" y 18".
- Montaje de cañería HDPE 560 mm PN 10.
- Montaje de cañería HDPE 630 mm PN 6.
- Tie in cañería 560 y 630 mm (PLS y refino) a líneas existentes.

**Figura N°4.10: Área exterior planta SX.**

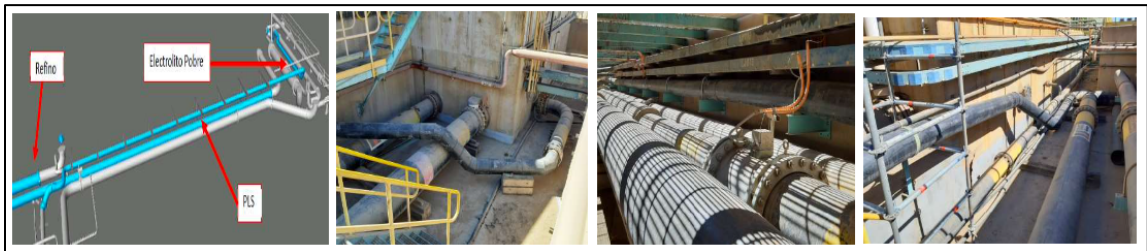


Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**En Área Interior Planta SX:**

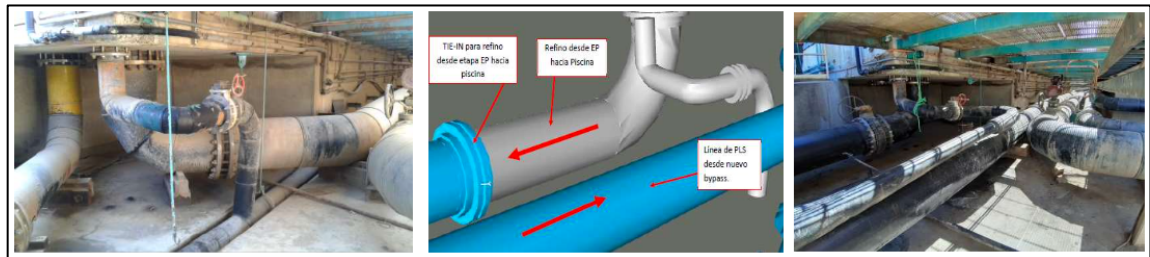
- Modificación piping de HDPE existente en 630 mm.
- Modificación piping de HDPE existente en 400 mm.
- Modificación piping de HDPE existente en 315 mm.
- Montaje de cañería HDPE 315 mm PN 10.
- Tie in cañería HDPE 630 y 560 mm (refino y PLS) y 400 mm (electrolito pobre) a líneas existentes.

**Figura N°4.11: Área planta interior SX.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°4.12: Nuevo trazado línea HDPE 315 MM.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

En forma adicional al alcance del contrato la empresa Ingeniería y Servicios Choapa, se le adjudico la ejecución de los siguientes trabajos mecánicos consideradas como mejoras a

las líneas de PLS y refino de manera de asegurar el flujo de ingreso proyectado a SX (1450 m<sup>3</sup>/h) y de salida de refino hacia dump sur de (570 m<sup>3</sup>/h).

Cabe destacar que los trabajos adicionales no implicaron un aumento de plazo en el contrato dado que estos trabajos debían ser ejecutados durante la mantención mayor de la planta química.

- Reparación descarga a piscina PLS.
- Fabricación y montaje carrete HDPE flujometro bombas booster (ver figura 4.13)
- Cambio de válvula neumática en by pass existente.
- Cambio de válvulas duo check en piscina refino (ver figura 4.14)
- Cambio de válvulas actuadoras en piscina de refino
- Suministro adicional de materiales línea PLS
- Mantención y cambio de motor bomba turbina 20. (ver figura 4.15)
- Suministro de materiales cuadro de válvulas línea de refino.
- Reparación reducción inox 22"x20" manifold de succión.

**Figura N°4.13: Carretes de flujometro.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°4.14: Duo Check.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Figura N°4.15: Motor.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Por otro lado, a partir del 18-12-2019 se da inicio al contrato N°4500026026 correspondiente a las obras eléctricas, montaje de estructuras y soportaciones, cuya adjudicación fue realizada a la empresa Elecmas EIRL en donde dentro de su alcance se contemplan la ejecución de las siguientes actividades:

**En Área Booster:**

- Suministro e instalación de soportaciones metálicas.
- Suministro e instalación de bandejas portaconductores (ver figura 4.16)
- Instalación y recambio de dispositivos de instrumentación.
- Suministro e instalación de alumbrado sector bombas
- Suministro e instalación de tablero partir- parar (ver figura 4.16)
- Suministro, tendido y conexionado de cables de fuerza, control, instrumentación y alumbrado en dispositivos de terreno y equipos sala eléctrica (ver figura 4.16)
- Suministro e instalación de tablero metálico e interruptor general VDF nueva bomba en interior sala eléctrica.
- Instalación, conexionado, programación y enlaces de control Drop PLC (backplane, fuentes de poder, modulo adaptador, tarjetas entrada/salida digital y análogas, bornes de conexión).
- Suministro y conexionado de cables en tablero.

**Figura N°4.16: Tableros eléctricos en instalación booster.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**En Área SX:**

- Suministro e instalación de soportaciones metálicas.
- Suministro e instalación de tableros para instrumentación y alumbrado (ver figura 4.17)

- Suministro, instalación y conexionado de dispositivos de instrumentación y alumbrado.
- Suministro y tendido de cables de instrumentación y alumbrado desde terreno a sala eléctrica planta química.
- Realizar conexionado de cables de instrumentación y alumbrado en terreno y en tarjetas sistema PLC y tablero de distribución existentes en sala eléctrica (ver figura 4.17)
- Programación de lógica PLC y enlaces de comunicación con sala operador planta.
- Pruebas y puesta en servicio.

**Figura N°4.17: Trabajos eléctricos en SX.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

En forma adicional al alcance del contrato, a la empresa Elecmas EIRL se le adjudico la ejecución de los siguientes trabajos eléctricos, instrumentación y control:

- Normalización canalización y cableado instrumentación turbinas PLS.
- Habilitación eléctrica de flujómetro línea PLS y normalización de canalización transmisor de presión.
- Cambio de VDF bomba 10 booster.
- Cambio de VDF bombas turbinas refino N°70 y N°80.
- Habilitación eléctrica de actuadores válvulas moduladas.
- Cambio de VDF bombas 301 y 302.
- Cambio de ubicación by pass.
- Reacondicionamiento de sala eléctrica.
- Soportes de hormigón apoyo sala eléctrica.
- Malla a tierra.

Cabe destacar que los trabajos adicionales no implicaron un aumento de plazo dado que deben ser ejecutados durante el tiempo de vigencia del contrato.

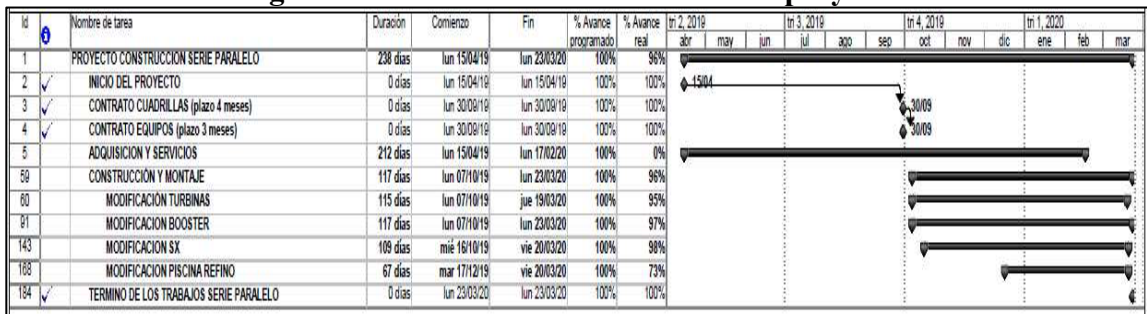
#### 4.1.3. Plazo de Ejecución, Control de Avance y Reportabilidad.

##### 4.1.3.1. Plazo de Ejecución Proyecto General.

El proyecto serie paralelo, fue programado durante un plazo de ejecución de 238 días corridos desde el 15 de abril del 2019 hasta el 23 de marzo del 2020 (con puesta en marcha incluida).

En lo que respecta al control de avance durante el transcurso de los trabajos este fue desarrollado por medio de la carta Gantt del proyecto y su curva S (programado v/s real) en forma semanal (ver figura 4.18).

**Figura N°4.18: Carta Gantt resumen del proyecto.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

##### 4.1.3.2. Control de Avance.

###### 4.1.3.2.1. Control de Avance del Proyecto.

La planificación del proyecto fue ejecutada pensando en la puesta en marcha del nuevo sistema de impulsión PLS durante la mantención mayor de la planta química, es por esto que durante el transcurso del tiempo se debió realizar dos reprogramaciones en la planificación de acuerdo a lo descrito a continuación:

- **Programación original:** Plazo de ejecución 192 días corridos, (fecha termino 17-01-20).
- **Reprogramación N°1:** Plazo de ejecución 217 días corridos, (fecha termino 21-02-20). La nueva fecha de término se debe a un cambio en el inicio de la mantención mayor de la planta química, planificado en el Budget 2020 para el mes de febrero, por otra parte, existió una vulnerabilidad al programa, asociado a los documentos entregables por parte de la empresa de Ingeniería M&S para la ejecución de las obras civiles para la cuarta bomba booster, sumado a esto a las

dificultades asociadas a la llegada de materiales (por dificultades de tránsito) ante las contingencias sociales.

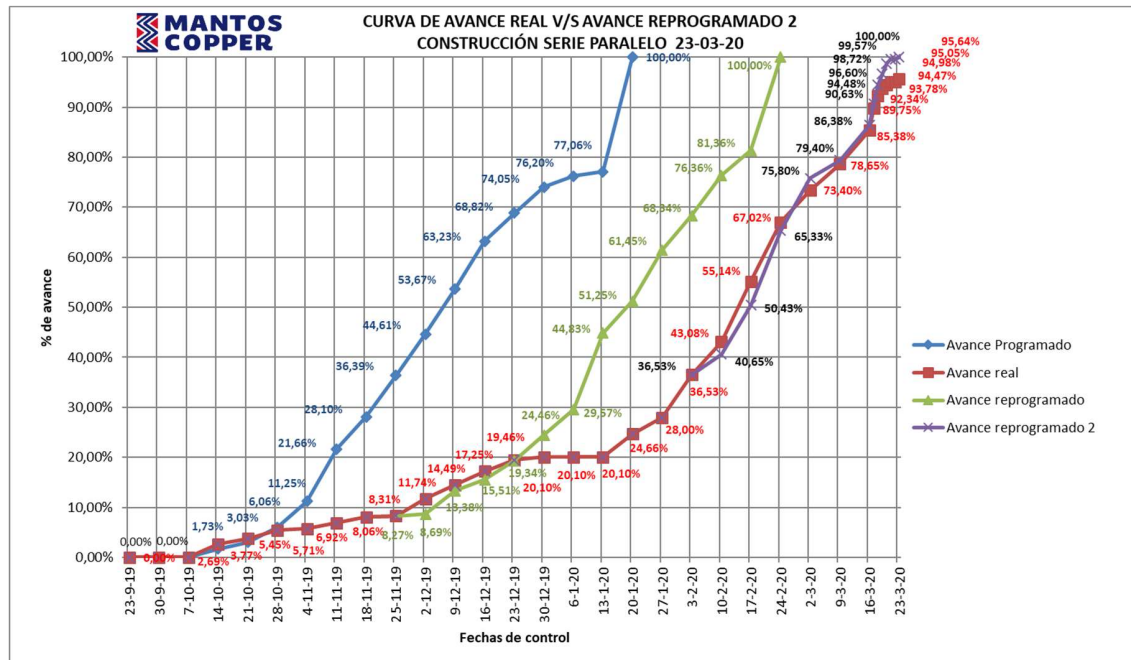
Al momento de ejecutar la reprogramación N°1 el avance real del proyecto era de un 8,06 %.

- **Reprogramación N°2:** Plazo de ejecución 238 días corridos, (fecha término 23-03-20). La nueva fecha de término se debe a un nuevo cambio en el inicio de la mantención mayor de la planta química, el cual se reprograma para el mes de marzo, por otra parte, hasta esa fecha existía un retraso general en las obras de todas las áreas del proyecto (turbinas, booster, SX) debido a un retraso en el inicio de los trabajos por parte de la empresa Ingeniería Choapa (aprobación de carpeta de arranque). Al momento de ejecutar la reprogramación N°2 el avance real del proyecto era de un 36,53%.

Finalmente, y de acuerdo a la reprogramación N°2 con fecha de término el 23-03-20, se registra un avance real del 95,6% v/s un avance programado del 100%, la diferencia entre ambos avances se justifica principalmente a partidas que aún no se han logrado completar en un 100% o que aún no se pueden ejecutar debida a:

- Retrasos en la entrega de equipos y/o componentes por parte del proveedor y que deben ser ejecutadas durante una próxima detención de la línea PLS y/o refino.
- Replanificación de actividades posterior al descanso del personal que participo de la mantención mayor y que deben ser ejecutadas dentro de un plazo máximo de 15 días.
- Replanificación de actividades para ejecución en próxima detención de línea PLS debido a interferencias presentadas durante detención mayor del 16-03-20.

**Figura N°4.19: Curva S avance proyectado v/s real.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Las actividades del programa Gantt que no se han completado o ejecutado y que alcanzan el 4,36 % para lograr el 100% del proyecto son:

**Tabla N°4.1: Listado de actividades faltantes de ejecutar.**

<b>ACTIVIDADES FALTANTES DE EJECUTAR</b>	<b>AVANCE REAL AL 23-03-20</b>	<b>AVANCE PONDERADO POR EJECUTAR</b>
<b>MODIFICACIÓN TURBINAS</b>		
Reposición de material excavado	90%	0,085%
Instalación de manifold hdpe y válvulas antiarriete	50%	0,638%
Tie in manifold de descarga antiarriete	0%	0,426%
Cambio de transmisores de presión (3 unid)	95%	0,064%
<b>MODIFICACION BOOSTER</b>		
Fabricación y montaje de estructura soportación bomba y techumbre	80%	0,596%
Instalación techumbre ampliación	0%	0,426%
Instalación luminaria exterior	90%	0,043%
<b>MODIFICACION SX</b>		
Fabricación y montaje de soportación de cañería	92%	0,170%
Instalación de flujometro	50%	0,213%
Instalación de valvula electrica	50%	0,213%
Conexión de valvulas e instrumentos	50%	0,213%
<b>MODIFICACION PISCINA REFINO</b>		
Recambio válvula mariposa 14" full en acero inox 316 con actuador electrico en turbina 70	0%	0,426%
Recambio válvula mariposa 14" full en acero inox 316 con actuador electrico en turbina 80	0%	0,426%
Conexión de valvulas con actuador electrico	0%	0,426%

<b>Avance real al 23-03-20</b>	95,64%
<b>Avance por ejecutar</b>	4,36%

<b>Avance programado al 23-03-20</b>	100,00%
--------------------------------------	---------

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

Cabe destacar que todas las actividades descritas en el cuadro adjunto no tienen implicancia en la operación de las líneas de PLS y refino para poder impulsar los 1.450 m<sup>3</sup>/h y 570 m<sup>3</sup>/h proyectados respectivamente, ya que son mejoras en infraestructura y cambios de equipos existentes por nuevos. [3]

#### **4.1.3.2.2. Control de Avance Específico Parada Mayor Planta Química.**

De manera de poder llevar un control más exhaustivo durante los 6 días de la parada mayor de la planta química se realizó, un programa Gantt con su respectiva curva de seguimiento (por horas) en donde permitió controlar en forma diaria los avances respecto a la planificación, y además reportar las desviaciones oportunamente en caso que las hubiera (ver figura 4.2).

**Tabla N°4.2: Carta Gantt de resumen parada mayor planta química.**

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Avance programado	% Avance real	Gantt Chart													
							Jun 16 mar	mar 17 mar	mié 18 mar	jue 19 mar	vie 20 mar	sa	do	lun	mar	vie	dom	lun	mar	vie
1	PROYECTO CONSTRUCCIÓN SERIE PARALELO	112 horas	lun 16/03/20	sab 21/03/20	100%	88%	[Gantt bar for task 1]													
2	INICIO DE MANTENCIÓN	0 horas	lun 16/03/20	lun 16/03/20	100%	100%	[Gantt bar for task 2]													
3	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	112 horas	lun 16/03/20	sab 21/03/20	100%	88%	[Gantt bar for task 3]													
4	MODIFICACIÓN TURBINAS	107 horas	lun 16/03/20	vie 20/03/20	100%	80%	[Gantt bar for task 4]													
17	MODIFICACION BOOSTER	105 horas	lun 16/03/20	vie 20/03/20	100%	95%	[Gantt bar for task 17]													
35	MODIFICACION SX	112 horas	lun 16/03/20	sab 21/03/20	100%	91%	[Gantt bar for task 35]													
49	MODIFICACION PISCINA REFINO	83 horas	lun 16/03/20	jue 19/03/20	100%	66%	[Gantt bar for task 49]													
83	TERMINO DE LOS TRABAJOS SERIE PARALELO	0 días	sab 21/03/20	sab 21/03/20	100%	0%	[Gantt bar for task 83]													

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

El programa consistió en la ejecución de los trabajos que necesariamente requerían de la detención de las líneas de PLS y refino, (consideradas en la Gantt general del proyecto), para lo cual se planificaron 112 horas efectivas en turno día.

El avance real alcanzado fue de un 88,9%, los restantes 11,1% que no se lograron ejecutar se deben a interferencias presentadas durante la ejecución de los trabajos y además, por retrasos en la entrega de equipos por parte de proveedores en los cuales estaban comprometidos sus estregas durante las fechas de la mantención mayor.

Cabe destacar que cada uno de los trabajos planificados en la Gantt especifica de la parada de planta se encuentran consideradas en la Gantt general del proyecto.

Las justificaciones a los trabajos que no se lograron ejecutar fueron reportados durante el término de cada jornada de la detención mayor.

**Tabla N°4.3: Justificación de actividades.**


















ACTIVIDADES QUE SE EJECUTARAN POSTERIORMENTE	% INCIDENCIA	% INCIDENCIA A LA FECHA	JUSTIFICACION
Montaje de visores digitales de transmisores de presión (4 unidad)	0,52%	0,52%	Proveedor indica que no logrará suministrar a tiempo los equipos dentro del plazo de la mantención, su instalación posterior no impide la puesta en marcha de la operación de la línea para aumento de flujo.
Conexión de instrumentación y control flujometro de 500 mm	1,04%	1,04%	Esta tarea se programó pensando en que el proveedor lograria cumplir fecha de entrega del equipo dentro del plazo de la mantencion. No obstante se trabajó en un plan alternativo adelantando un atraso en la entrega por esto en su reemplazo se instalará un carrete de HDPE para instalarlo en una futura mantención.
Instalación de visores digitales para transmisores de presión (4 unidad)	0,52%	0,52%	Proveedor indica que no logrará suministrar a tiempo los equipos dentro del plazo de la mantención, su instalación posterior no impide la puesta en marcha de la operación de la línea para aumento de flujo. (mismo Proveedor)
Recambio válvula mariposa 14" full en acero inox 316 con actuador electrico en turbina 70	1,04%	1,04%	De acuerdo a lo indicado por vendor, el actuador de la valvula debe ser mecanizado en su machón de acople, además de la fabricación de bracket(elemento de unión bracket válvula) y finalmente la ejecución de la calibración y ajustes de equipo.
Recambio válvula mariposa 14" full en acero inox 316 con actuador electrico en turbina 80	1,04%	1,04%	El plazo de entrega de los equipos inicialmente eran para este viernes 20 sin embargo por plan de contingencia por COVID-19 del vendor (Zurich Chile) estan trabajando con turnos reducidos, por lo cual no cumplirán fecha de entrega. La no ejecución de este trabajo no impide la puesta en marcha de la línea para mayor flujo, dado que es una mejora de los equipos existentes (cambio por nuevos)
Conexión y pruebas de funcionamiento de valvulas con actuador electrico	1,38%	1,38%	La actividad es sucesora a la instalación de la actividad de recambio valvula de 14".
Recambio de valvula electrica 18" en by pass existente	2,07%	2,07%	Recambio de válvula se posterga para proxima mantencion, debido a que las válvulas de corte (mariposas y duo check) aguas arriba al by pass de ingreso al pump mixer E1 no cortaron flujo.
Conexión electrica y de control de actuador de valvula electrica 18" en by pass	1,04%	1,04%	Solo se podra ejecutar una conexión de valvula de 18" (by pass nuevo de ingreso a S2) debido que la válvula del by pass existente se posterga para proxima mantencion.
Pruebas de servicio de válvulas 18" falla al cierre	0,43%	0,43%	
Tie in manifold de descarga antiarriete	2,07%	2,07%	La actividad no sera posible ejecutar debido a que el sector de ejecución del tie in (interior camara de registro) se encuentra inundada con solución PLS. Se realizan intentos de bombeo de la solución pero resultan insatisfactorias debido al alto nivel de la piscina de PLS.
<b>11,1%</b>		<b>11,1%</b>	

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

#### 4.1.3.3. Reportabilidad.

Desde la fecha de inicio de los trabajos planificados en la carta Gantt se realizaron y reportaron 18 informes semanales hasta antes del inicio de la mantención mayor y 5 informes diarios durante esta (mediante vía correo electrónico)

**Figura N°4.20: Listado de informes semanales.**

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
 20200302 Informe semanal N18 Serie Paralelo	07-03-2020 8:19	Microsoft Excel W...	1.197 KB
 20200224 Informe semanal N17 Serie Paralelo	27-02-2020 19:51	Microsoft Excel W...	2.785 KB
 20200217 Informe semanal N16 Serie Paralelo	21-02-2020 14:41	Microsoft Excel W...	1.831 KB
 20200210 Informe semanal N15 Serie Paralelo	15-02-2020 16:06	Microsoft Excel W...	3.440 KB
 20200120 Informe semanal N14 Serie Paralelo	22-01-2020 15:24	Microsoft Excel W...	2.487 KB
 20200116 Informe semanal N13 Serie Paralelo	17-01-2020 23:02	Microsoft Excel W...	4.842 KB
 20200106 Informe semanal N12 Serie Paralelo	09-01-2020 15:14	Microsoft Excel W...	599 KB
 20191230 Informe semanal N11 Serie Paralelo	31-12-2019 11:28	Microsoft Excel W...	1.571 KB
 20191223 Informe semanal N10 Serie Paralelo	24-12-2019 16:03	Microsoft Excel W...	1.957 KB
 20191216 Informe semanal N9 Serie Paralelo	20-12-2019 11:28	Microsoft Excel W...	1.718 KB
 20191209 Informe semanal N8 Serie Paralelo	13-12-2019 16:26	Microsoft Excel W...	1.809 KB
 20191202 Informe semanal N7 Serie Paralelo	06-12-2019 12:53	Microsoft Excel W...	1.503 KB
 20191125 Informe semanal N6 Serie Paralelo	28-11-2019 23:40	Microsoft Excel W...	947 KB
 20191118 Informe semanal N5 Serie Paralelo	22-11-2019 10:33	Microsoft Excel W...	1.312 KB
 20191111 Informe semanal N4 Serie Paralelo	13-11-2019 13:25	Microsoft Excel W...	4.019 KB
 20191104 Informe semanal N3 Serie Paralelo	07-11-2019 12:31	Microsoft Excel W...	577 KB
 20191029 Informe semanal N2 Serie Paralelo	30-10-2019 15:19	Microsoft Excel W...	11.262 KB

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

En cuanto a los informes semanales estos fueron realizados de acuerdo a la siguiente información:

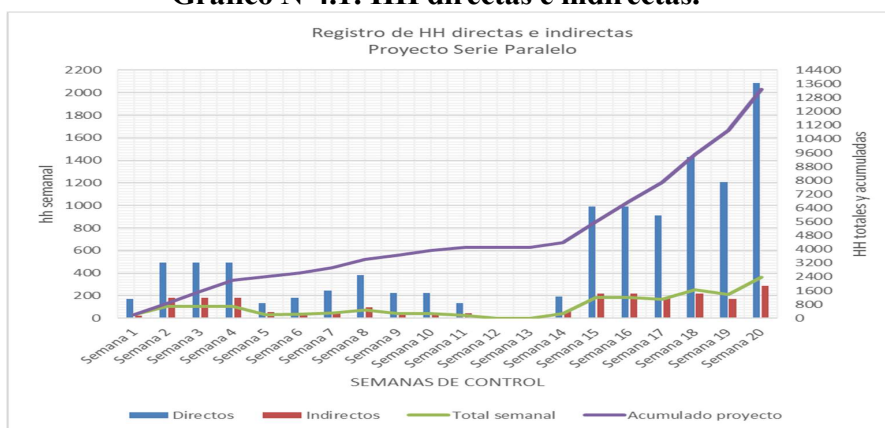
- Reportes de seguridad.
- Actividades relevantes en ejecución y ejecutadas durante el periodo.
- Resumen de actividades Gantt de avance.
- Curva S de avance reprogramado v/s avance real.
- Reporte de administración de recursos y acreditaciones.
- Próximas coordinaciones
- Amenazas a la programación.
- Imágenes ilustrativas de la ejecución de los trabajos.

#### 4.1.4. Seguridad.

En cuanto a lo que respecta a seguridad, se debe señalar lo siguiente:

- No se reportaron incidentes durante los 238 días de ejecución de los trabajos y en especial durante los 6 días de la mantención mayor en donde se concentraron la mayor cantidad de actividades en forma paralela y de dotación de personal.
- Se registró un total de 13.284 HH entre personal directo e indirecto, siendo 10.986 HH directas y 2.298 HH indirectas (ver gráfico 4.1). La contabilización de HH se realiza a partir del día 07-10-19, fecha en la cual se da inicio a los contratos de obras tempranas y que permitieron ejecutar todos los trabajos preparativos para la mantención mayor como por ejemplo cambio de válvulas, motores y bombas en estación booster y turbinas (repotenciamientos de impulsión).

**Gráfico N°4.1: HH directas e indirectas.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

- No se reportó ni detecto personal que haya arrojado positivo en los controles de alcotest en todo el tiempo de ejecución del proyecto.
- Con el apoyo del área SHEQ de Mantoverde, se realizó revisión de las carpetas de arranque de las empresas colaboradoras del proyecto y se realizaron los siguientes cursos para el personal que intervino durante la mantención mayor.
  - Primeros auxilios.
  - Sustancias y residuos peligrosos.
  - Cuidado de manos.
  - Bloqueo SX-EW.

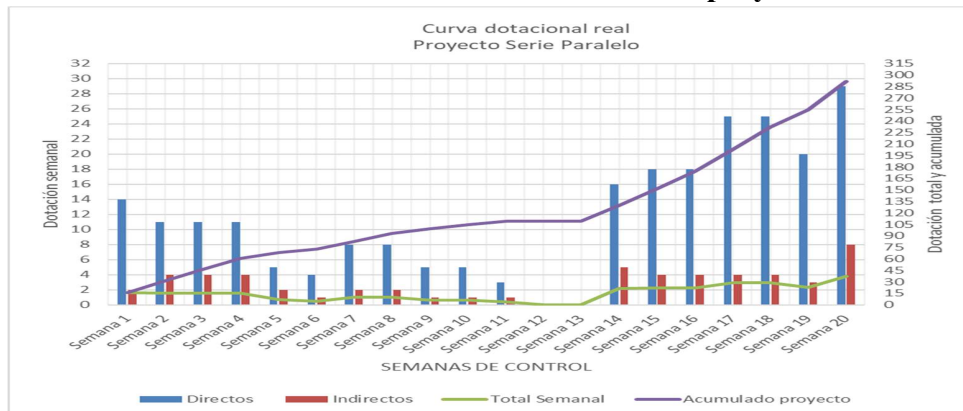
#### 4.1.5. Dotación de Personal.

Los trabajos fueron ejecutados en sus distintos frentes y disciplinas por 6 empresas colaboradoras:

- Maestranza Asmecco contrato obras tempranas.
- Maestranza Asmecco contrato Multidisciplinario.
- Ingeniería y Servicios Choapa.
- Elecmas.
- Elecon.
- Mantención Mantoverde (Schwager)

La dotación considerada por cada empresa para los trabajos planificados fue la óptima por lo que no se registraron atrasos de actividades asociados al recurso de mano de obra (ver gráfico 4.2).

**Gráfico N°4.2: Curva dotación real del proyecto.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

## CAPÍTULO V

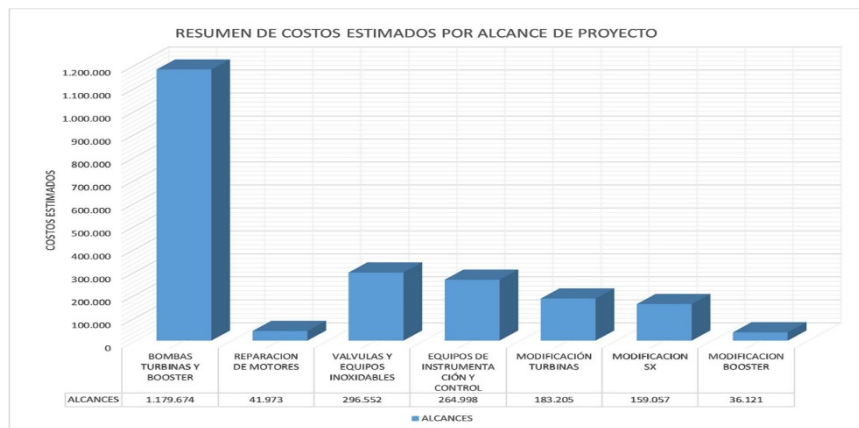
### COSTOS DEL PROYECTO SERIE PARALELO

#### 5.1. Estimación de Costos.

En forma paralela a la definición del alcance del proyecto, fue realizada la estimación de costos, de manera de ir controlando los distintos recursos que se están adquiriendo ya sea por medio de compras (adquisiciones) y mano de obra y equipos (por medio de contratos adjudicados).

Los costos estimados se describen en el siguiente gráfico 5.1 y tabla 5.1.

**Gráfico N°5.1: Gráfica resumen estimación de costos.**



Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

**Tabla N°5.1: Presupuesto estimativo del Proyecto.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	FC PRECIO	CANT. TOTAL	ADQUISICIONES		CONSTRUCCION Y MONTAJE		GRAN TOTAL US\$
						P.UNIT.	P.TOTAL	P.UNIT.	P.TOTAL	
						US\$	US\$	US\$	US\$	
<b>1.0</b>	<b>BOMBAS TURBINAS Y BOOSTER</b>									
1,1	Adquisición turbina 600 m3/h	gl	1	1,10	1	770.000	770.000	7.000	7.000	777.000
1,2	Adquisición booster 640 m3/h	gl	1	1,00	1	90.000	90.000	7.000	7.000	97.000
1,3	Overhaul turbinas	un	2	1,00	2	55.000	110.000	7.000	14.000	124.000
1,4	Overhaul booster	un	4	1,00	4	40.000	153.674	7.000	28.000	181.674
	<b>Subtotal</b>									<b>1.179.674</b>
<b>2.0</b>	<b>REPARACION DE MOTORES</b>									
2.1	Reparación motores 350 HP	un	2	1,20	2	4.795	9.589	7.000	14.000	23.589
2.2	Reparación motores 150 HP	un	2	1,20	2	2.192	4.384	7.000	14.000	18.384
	<b>Subtotal</b>									<b>41.973</b>
<b>3.0</b>	<b>VALVULAS Y EQUIPOS INOXIDABLES</b>									
3.1	Válvula Mariposa 16" Full en Acero Inoxidable 316 con Caja Reductora.	un	4	1,20	4	6.247	24.988	648,0	2.592	27.580
3.2	Válvula Mariposa 14" Full en Acero Inoxidable 316 con Actuador Eléctrico.	un	7	1,20	7	7.745	54.215	504,0	3.528	57.743
3.3	Válvula Retención Duo Check 14" Full en Acero Inoxidable 316, Asiento Metal	un	7	1,20	7	3.580	25.060	504,0	3.528	28.588
3.4	Válvula Mariposa 20" Wafer en Material 316 SST con Caja Reductora	un	3	1,20	3	15.490	46.470	894,0	2.682	49.152
3.5	Válvula Mariposa 18" Wafer en Material 316 SST, Motorizada con Falla al Cierre	un	2	1,20	2	10.365	20.730	744,0	1.488	22.218
3.6	Válvula Retención Duo-Check 20" en Material 316 SST	un	2	1,20	2	6.982	13.964	894,0	1.788	15.752

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	FC PRECIO	CANT. TOTAL	ADQUISICIONES		CONSTRUCCION Y MONTAJE		GRAN TOTAL
						P.UNIT.	P.TOTAL	P.UNIT.	P.TOTAL	
						US\$	US\$	US\$	US\$	
3.7	Válvula Mariposa 14" Full en Acero Inoxidable 316 con Actuador Eléctrico. (refino)	un	2	1,20	2	7.745	15.490	504,0	1.008	16.498
3.8	Válvula Retención Duo Check 14" Full en Acero Inoxidable 316, Asiento Metal. (refino)	un	2	1,20	2	5.990	11.980	504,0	1.008	12.988
3.9	Válvula Mariposa 16" Full en Acero Inoxidable 316 con Caja Reductora. (Booster refino).	un	3	1,20	3	6.620	19.860	648,0	1.944	21.804
3.10	Válvula Mariposa 14" Full en Acero Inoxidable 316 con Actuador Eléctrico (Booster refino)	un	3	1,20	3	7.745	23.235	504,0	1.512	24.747
3.11	Válvula Retención Duo Check 14" Full en Acero Inoxidable 316, Asiento Metal (Booster refino)	un	3	1,20	3	5.990	17.970	504,0	1.512	19.482
	<b>Subtotal</b>									296.552
<b>4.0</b>	<b>EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL</b>									
4.1	Variador de velocidad motor 400 HP 400 V; Modelo: Altivar ATV660C31Q4X1 (Piscina refino)	un	2	1,20	2	25.500	51.000	6.000,0	12.000	63.000
4.2	Variador de velocidad motor 150 HP 400 V; Modelo: Altivar ATV660C11Q4X1 (Booster)	un	2	1,20	2	19.500	39.000	6.000,0	12.000	51.000
4.3	Flujometro doppler 560 mm	un	7	1,20	7	4.020	28.140	774,0	5.418	33.558
4.4	Transmisor de presión	un	10	1,20	10	4.000	40.000	192,0	1.920	41.920
4.5	Manometro 300 psi	un	10	1,20	10	3.000	30.000	156,0	1.560	31.560
4.6	Drop PLC	un	1	1,20	1	40.000	40.000	3.960,0	3.960	43.960
	<b>Subtotal</b>									264.998
<b>5.0</b>	<b>MODIFICACIÓN TURBINAS</b>									
5.1	Excavación de terreno en sector de recambio piping	m3	125	1,20	125	0,0	0	62,4	7.800	7.800
5.2	Retiro tubería existente 560 mm	mt	400	1,20	400	0,0	0	8,4	3.360	3.360
5.3	Instalación de tubería HDPE 630 mm PN 16 (fitting incluido)	mt	400	1,20	400	295,0	118.000	120,0	48.000	166.000
5.4	Reposición de material excavado	m3	125	1,20	163	0,0	0	37,2	6.045	6.045
	<b>Subtotal</b>									183.205
<b>6.0</b>	<b>MODIFICACION SX</b>									
6.1	Perfilado de terreno exterior, excavación cruce de camino	m3	68	1,20	68	0,0	0	62,4	4.243	4.243
6.2	Demolición sección muro para atraveso (e=25 cm)	m2	4	1,20	4	0,0	0	882,0	3.528	3.528
6.3	Instalación de camisa y cañería de atraveso 630 mm y 560 mm en camino	mt	34	1,20	34	9,0	305	51,6	1.754	2.059
6.4	Relleno compactado y normalización de camino	m3	68	1,20	88	0,0	0	61,2	5.410	5.410
6.5	Modificación e instalación de nuevo piping exterior refino HDPE 630 mm (fitting incluido)	mt	108,0	1,20	108	150,0	16.200	120,0	12.960	29.160
6.6	Modificación e instalación de nuevo piping exterior PLS HDPE 560 mm (fitting incluido)	mt	120,0	1,20	120	178,0	21.360	96,0	11.520	32.880
6.7	Modificación e instalación de piping interior SX (electrolito pobre) fitting incluido	mt	108,0	1,20	108	66,0	7.128	80,4	8.683	15.811
6.8	Modificación de piping interior SX (refino, PLS ) fitting incluido	gl	1,0	1,20	1	12.520,0	12.520	12.000,0	12.000	24.520
6.9	Fabricación y montaje by pass HDPE línea PLS	gl	1,0	1,20	1	30.000,0	30.000	2.820,0	2.820	32.820
6.10	Fabricación y montaje de soportación de cañería	kg	1.500,0	1,20	1	4,5	6.750	3,2	3.240	6.753
6.11	Pruebas y puesta en marcha	gl	1,0	1,20	1	0,0	0	1.872,0	1.872	1.872
	<b>Subtotal</b>									159.057
<b>7.0</b>	<b>MODIFICACION BOOSTER</b>									
7.1	Saneamiento del área (reubicación luminaria exterior)	gl	1,0	1,20	1	0,0	0	1.590,0	1.590	1.590
7.2	Excavación de terreno para ampliación de losa de fundación.	m3	8,0	1,20	8	0,0	0	62,4	499	499
7.3	Mejoramiento de terreno para ampliación de losa de fundación.	m3	4,0	1,20	5	0,0	0	37,2	193	193
7.4	Construcción de losa, fundación y pretil de contención para ampliación (Hormigon H25, enfierradura A63-42 y moldaje)	m3	4,0	1,20	4	400,0	1.600	444,0	1.776	3.376
7.5	Fabricación y montaje de estructura soportación bomba y techumbre	kg	797,0	1,20	877	4,5	3.945	3,2	2.841	6.786
7.6	Instalación techumbre ampliación	m2	10,0	1,20	10	13,0	130	108,0	1.080	1.210
7.7	Montaje de 4ta bomba booster	un	1,0	1,20	1	0,0	0	1.590,0	1.590	1.590
7.8	Modificación piping existente para conexión de 4ta bomba	gl	1,0	1,20	1	1.030,0	1.030	10.500,0	10.500	11.530
7.9	Obras eléctricas, instrumentación y control.	gl	1,0	1,20	1			1.872,0	1.872	1.872
7.10	Equipo de aire acondicionado	un	1,0	1,20	1	4.103	4.103	1.500,0	1.500	5.603
7.11	Pruebas y puesta en marcha	gl	1,0	1,20	1	0,0	0	1.872,0	1.872	1.872
	<b>Subtotal</b>									36.121
	<b>COSTO DIRECTO</b>									2.161.580
	<b>COSTO INDIRECTO</b>									
	<b>GASTO GENERAL Y UTILIDAD</b>	%						15%		313.429
	<b>CONTINGENCIAS</b>	%						10%		216.158
	<b>OWNER</b>	%								300.000
	<b>INGENIERIAS</b>									200.000
	<b>Subtotal</b>									1.029.587
	<b>TOTAL INVERSIÓN SERIE PARALELO</b>						1.862.820		298.760	3.191.167

Fuente: Minera Mantos Copper S.A.

De acuerdo con lo indicado en la tabla 5.1, se tiene a la fecha la estimación de costos original a variado ya que el alcance de los trabajos en las distintas áreas se ha modificado, por ejemplo:

- A las bombas y motores turbinas de PLS existentes no se realizarán overhaul, sino que reparación y recambio por las de ILS.
- Se ha planificado la instalación de un manifold con 2 válvulas antiarriete a la salida de turbinas por la transiente de sobrepresión.
- Se incorporó el recambio de válvulas de 14” en piscina de refino.
- Se incorporó la instalación de un equipo de aire acondicionado a la sala eléctrica de estación booster.
- Se eliminó la instalación de un drop de PLC sector SX ya que se conexionará directo hasta la sala eléctrica.

### **5.2. Costos Incurridos por Contratos Adjudicados.**

Como ya fue descrito en el presente proyecto las obras de construcción y montaje fueron adjudicadas a la empresa Ingeniería y Servicios Choapa, en cuanto a los montos del contrato podemos describir lo siguiente:

- Costo del presupuesto estimativo: \$ 324.703.720.
- Costo ofertado por empresa adjudicada: \$ 273.617.131.
- Costo obras adicionales \$ 52.031.093.
- Costo total obras de construcción y montaje: \$ 325.648.224.

Por otro lado, en cuanto al contrato de obras eléctricas adjudicado a la empresa Eleemas EIRL, podemos indicar lo siguiente:

- Costo del presupuesto estimativo: \$ 50.353.464.
- Costo ofertado por empresa adjudicada: \$ 36.433.112.
- Costo obras adicionales \$ 33.827.845.
- Costo total obras de construcción y montaje: \$ 70.260.957.

### **5.3. Costos Incurridos por Adquisición de Materiales.**

Para poder ejecutar los trabajos planificados dentro del alcance del proyecto, se debió realizar el abastecimiento de los materiales, equipos, componentes de todas las disciplinas las cuales fueron adquiridas por medio de licitaciones del área de abastecimiento.

Entre los materiales, equipos y componentes más importantes que debieron realizarse debido al largo plazo de entrega por parte de los distintos proveedores tenemos:

### **5.3.1. Disciplina Mecánica.**

- Válvulas mariposa de 14" con actuador eléctrico (para el área de turbinas PLS, booster PLS y turbinas de refino).
- Válvulas duo check de 14" (para el área de turbinas PLS, booster PLS y turbinas de refino)
- Válvulas mariposa de 16" con caja reductora (para el área de booster PLS)
- Válvulas mariposa de 18" con actuador eléctrico (para el nuevo by pass de ingreso a E3).
- Válvulas mariposas de 20" con caja reductora (para el nuevo by pass de ingreso a E3)
- Bomba turbina con impulsor de 645 m<sup>3</sup>/h y bomba booster con impulsor de 640 m<sup>3</sup>/h.

### **5.3.2. Disciplina Piping HDPE y Acero Inoxidable.**

- Fiting AISI 316L de 16", 6", 14", 3", 1",
- Flange acero inoxidable ANSI clase 150 de 22", 20", 14", 3",
- Cañería acero inoxidable AISI 316L de 22", 20", 16", 14", 10", 6", 1"
- Junta de expansión de 6"-.
- Fiting en HDPE PN10 PEE 100 de 450 mm, 500 mm, 560 mm y 630 mm.
- Tubería en HDPE PN 10 PEE 100 de 450 mm, 500 mm, 560 mm, 630 mm.
- Tubería en HDPE PN 6 PEE 100 de 630 mm.
- By pass de acero inoxidable para entrada a pump mixer E3.

### **5.3.3. Disciplina Eléctrica, Instrumentación y Control.**

- Subestación unitaria de 100 KVA 13,8 K.
- Cables VDF apantallado, cables 7x14 AWG, 5x14 AWG.
- Equipo compacto de 60.000 BTU/HR.
- Motor 150 HP 380 volt 1490 RPM con base adaptadora para booster PLS.
- Motor de 350 HP para turbinas PLS.
- Variador de velocidad motor 400 HP 400 volt.
- Variador de velocidad motor 150 HP 400 volt
- Transmisor de presión y manómetros 45-1279-SS-04L-0-300-PSI- ASCHCR.

- Flujo metros de 450 mm y 500 mm.
- Tablero armario poliéster 400 mm.
- Adaptador MA, Conector BMXFTB2010, Blackplane 10 Slots, fuente de poder, tarjeta de entrada y salida digital, etc.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones.

En el presente proyecto de título se realizó la verificación hidráulica del sistema de impulsión de PLS, sobre la base de la información disponible, obteniéndose las siguientes conclusiones:

#### Análisis de Escenarios.

- **Escenario A:** Operación de bombas de turbina 2+1, con punto de operación 2.530 GPM 216 ft y operación de bombas booster 2+1, con punto de operación 2.510 GPM 138 ft. Este sistema tiene capacidad de impulsar  $1.325 \text{ m}^3/\text{h}$ -10%= $1.195 \text{ m}^3/\text{h}$ , no satisfaciendo requerimiento de aumento de capacidad de impulsión.

Consumo de potencia: 800 HP

- **Escenario B:** Operación de bombas de turbina 2+1, con punto de operación 2.530 GPM 295 ft y operación de bombas booster 2+1, con punto de operación 2.510 GPM 138 ft.

Este sistema tiene capacidad de impulsar  $1.584 \text{ m}^3/\text{h}$ -10%= $1.425 \text{ m}^3/\text{h}$ , no satisfaciendo requerimiento de aumento de capacidad de impulsión, sin embargo, se acerca a la capacidad de impulsión requerida ( $1.500 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Cabe destacar que, bajo esta configuración, las bombas de turbina operan fuera de su punto nominal y a máxima capacidad de flujo, lo cual podría causar inconvenientes operacionales tales como mayor consumo de potencia y cavitación.

Consumo de potencia total: 1.000 HP.

- **Escenario C:** Operación de bombas de turbina 3+1, con punto de operación 2.530 GPM 216 ft y operación de bombas booster 3+1, con punto de operación 2.510 GPM 138 ft.

Sistema tiene capacidad de impulsar  $1.732 \text{ m}^3/\text{h}$ -10%= $1.558 \text{ m}^3/\text{h}$ , satisfaciendo requerimiento de impulsión.

Consumo de potencia total: 1.000 HP Régimen transiente

El evento transiente de parada de bombas booster no causa sobrepresiones en la línea que sobrepasen el PN10 de la cañería.

El evento de parada de bombas de turbina genera sobrepresiones superiores a 10 bar desde la descarga de las bombas hasta los primeros 400 m. Se recomienda reemplazar este tramo por cañería PN16.

Todos los resultados están condicionados a la situación actual del sistema de impulsión. Se ha considerado un factor de ineficiencia del orden del 10% por esta situación, que debe ser corroborado por DMV (división mantos verde).

En el presente informe se ha podido describir las distintas etapas del proyecto tanto en su alcance (trabajos proyectados), planificación y control (de avance, de seguridad, dotación y costos) y que ha permitido a la fecha del término de la parada mayor de la planta química lograr el objetivo propuesto y comprometido de poder impulsar a la planta SX un caudal de 1.450 m<sup>3</sup>/h por la línea de PLS y un caudal de 570 m<sup>3</sup>/h por la línea de refino hacia el dump sur.

En resumen, el escenario elegido por la compañía es el C de las principales obras de mejoramiento y repotenciamiento de los sistemas de impulsión fueron cumplidos satisfactoriamente y que han permitido obtener los caudales descritos anteriormente, entre los plazos estipulados, con calidad en sus ejecuciones (puestas en marcha de las líneas), entre los costos proyectados en Budget 2019 y 2020 y sobre todo con seguridad (0 accidentes e incidentes durante todo el proyecto).

En el presente documento se realizó la verificación hidráulica del sistema de impulsión de PLS, sobre la base de la información disponible identificada en el punto 5 Documentos de referencia. obteniéndose las siguientes conclusiones:

### **Análisis de Alternativas**

- **Alternativa A.1:** Para una configuración de 3 bombas verticales+3 bombas booster, operando simultáneamente y considerando curvas de bombas de fábrica “nuevas” (full capacidad), sin aplicación de factores de seguridad y suponiendo una presión de descarga atmosférica (P=0), el sistema tiene capacidad de impulsión de 1.732 m<sup>3</sup>/h.

Es importante notar que esta alternativa corresponde a un escenario ideal de impulsión, por lo tanto, el caudal calculado para la alternativa A.1, corresponde a un **caudal máximo “teórico”**.

**Alternativa A.2:** Para una configuración de 3 bombas verticales+3 bombas booster, operando simultáneamente, considerando curvas de bombas de fábrica “nuevas” (full capacidad) y la aplicación de factor de seguridad 10% adicional sobre pérdidas de carga, el sistema tiene capacidad de impulsión de 1.600 m<sup>3</sup>/h.

**Alternativa A.3:** Al considerar un factor de ineficiencia por desgaste de bombas de un 5% de reducción en la curva de TDH y la aplicación de factor de seguridad 10% adicional sobre pérdidas de carga, el sistema tiene la capacidad de impulsar 1.480 m<sup>3</sup>/h, operando con 3 bombas verticales+3 bombas booster. [5]

### **Régimen transiente**

- El evento transiente de parada de bombas booster no causa sobrepresiones en la línea que sobrepasen el PN10 de la cañería.
- El evento transiente de parada de bombas verticales genera sobrepresiones superiores a 10 bar desde la descarga de las bombas hasta los primeros 400 m. Se recomienda reemplazar este tramo por cañería PN16.

### **6.2. Recomendaciones.**

**Dados los resultados entregados por el proyecto, se recomienda realizar las siguientes acciones:**

- Se debe realizar un levantamiento detallado de todas las variables que pueden inducir a un error en la modelación, tales como: diámetros y espesor (PN) de cañerías, gravedad específica de solución de PLS, levantamiento topográfico, identificar y levantar restricciones tanto en la succión como en la descarga del sistema de impulsión.
- Se deben realizar pruebas a las bombas para determinar su real capacidad y establecer la curva del sistema antes de proceder a realizar cualquier modificación o mejoras. Una vez realizadas las pruebas descritas anteriormente y para asegurar las condiciones de operación, se recomienda aumentar tamaño de impulsor (en el tamaño superior siguiente) tanto de las bombas verticales como de las booster. Se requiere el reemplazo de todas sus partes húmedas sometidas a desgastes. Se ha verificado con el proveedor que para estas nuevas condiciones no hay un aumento en la capacidad instalada del motor, pero se recomienda revisar la potencia instalada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MONCHY, François. Teoría y práctica del mantenimiento industrial. Masson, 1990. 367p. ISBN: 8431105240.
- [2] Archivo 362pd134.dwg “P&ID PLS / Pumping System to SX”, Bechtel-SK, febrero 1996.
- [3] Documento MV-18079-ING-LP-PI-001\_RC “Análisis Hidráulico Sistema Impulsión PLS”, M&S, marzo 2019.
- [4] Archivo “Respuesta RFI N°1 Ítem 9 y 16 (hoja de datos y curva bombas)”, Mantoverde, Mantos Copper, enero 2019.
- [5] Correo electrónico “Información de Bomba 3180 L Proveedor ITT, De Javier Mora V. Mantos Copper, marzo 2019.
- [6] Correo electrónico “MV-170811-ING// RFI N°2”, De Rodrigo Guerra, Mantos Copper, mayo 2019.
- [7] Archivo TUBERÍA PLS 17 12 2018.pdf “TUBERIA PLS”, Luis Carmona C, diciembre 2018.
- [8] Archivo “Modificación Planta SX Aumento de Capacidad.pptx”, Mantos Copper Modificación Parcial Planta SX, agosto 2018.

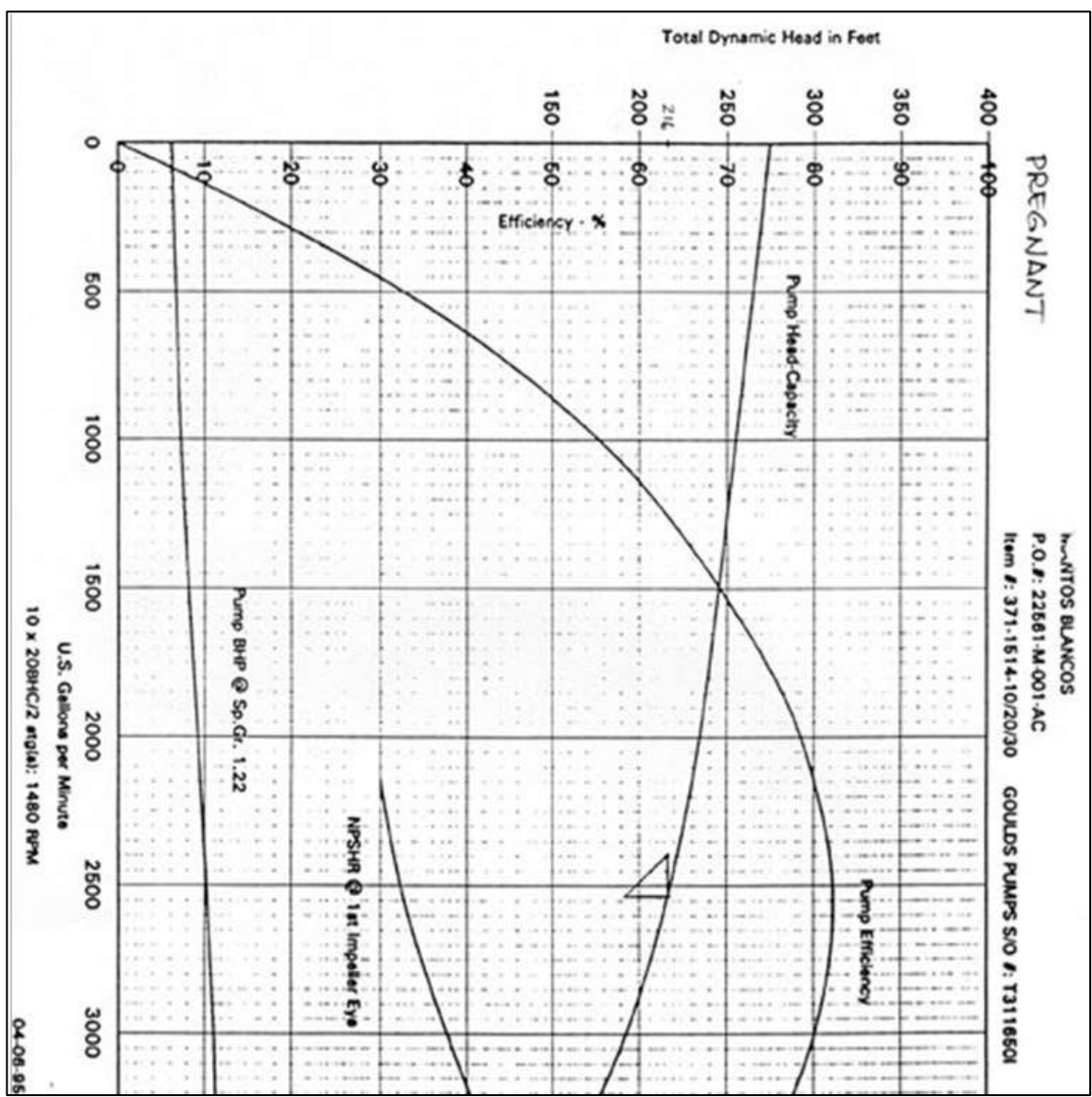






# ANEXO C

## CURVAS OPERACIONALES BOMBAS EXISTENTES



**Model: 3180      Size: 6x10-16      Group: L      50Hz      RPM: 1470      Stages: 1**

Job/Inq.No. : @  
 Purchaser : MANTOS COPPER S.A.  
 End User : MANTOS COPPER S.A.  
 Item/Equip.No. : ITEM 001 (Base Offer)  
 Service :  
 Order No. :  
 Issued by : Yang Lau Lichiock  
 Quotation No. : CQC 19-190021\_3180  
 Rev. : 0  
 Date : 01/11/2019  
 Certified By :

**Operating Conditions**

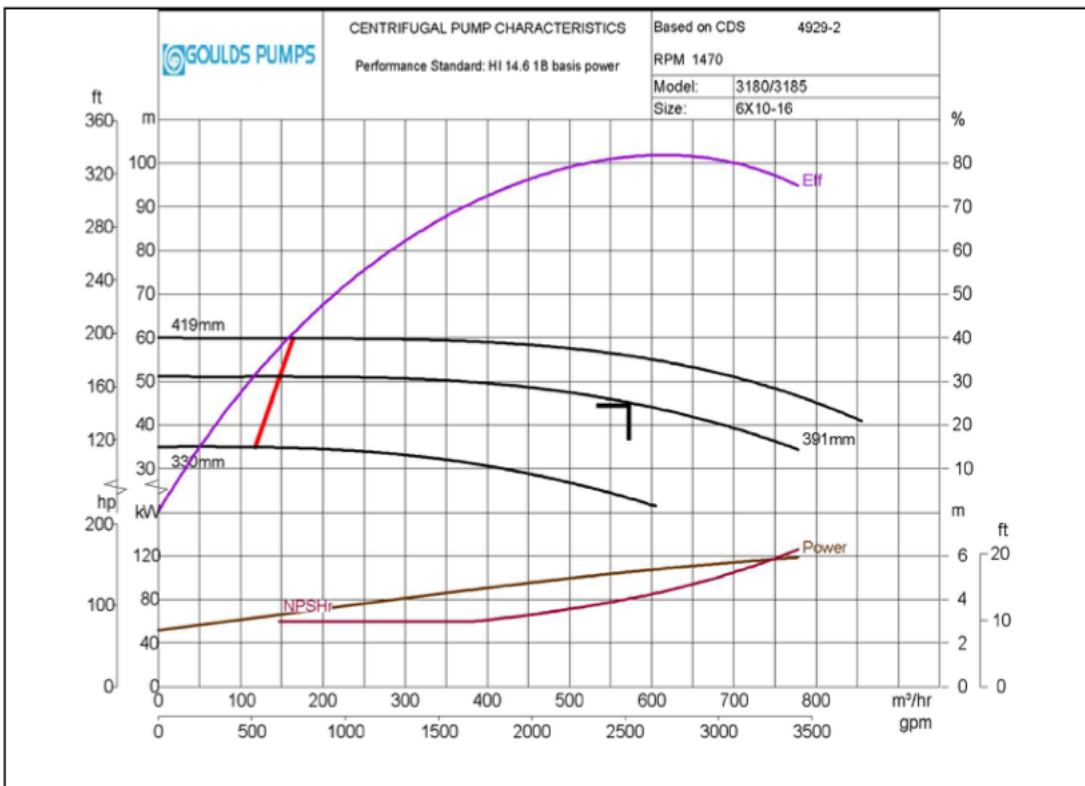
Liquid: PREGNANT SOLUTION  
 Temp.: 16.0 deg C  
 S.G./Visc.: 1.220/3.000 cp  
 Flow: 575.00 m³/hr  
 TDH: 45.00 m  
 NPSHa:  
 Solid size:

**Pump Performance**

Published Efficiency: 81.5 %  
 Rated Pump Efficiency: 81.5 %  
 Rated Total Power: 105.44 kW  
 Non-Overloading Power: 118.01 kW  
 Imp. Dia. First 1 Stg(s): 391 mm  
 NPSHr: 4.05 m  
 Max. Solids Size: 32.00 mm  
 Suction Specific Speed: 12,701 m³/hr,m  
 Min. Hydraulic Flow: 148.98 m³/hr  
 Min. Thermal Flow: N/A  
 Shut off Head: 51.14 m  
 % Susp. Solids (by wtg):

Vapor Press:

**Notes:** 1. Curve shown is at ambient temperature conditions.



Viscosity corrections have been performed in accordance with HI 9.6.7-2015

## ANEXO D

### HOJA DE REGISTRO DE CURVAS BOMBAS VERTICALES

HOJA DE DATOS N°1-CURVA OPERACIONAL BOMBA VERTICAL N°1 TAG 371-014-010																			
DATOS CLIENTE					DATOS BOMBA VERTICAL														
RAZÓN SOCIAL	MANTOS COPPER				TIPO DE BOMBA	VERTICAL													
UBICACIÓN					TAG BOMBA	371-1514-010													
DIRECCIÓN					FABRICANTE	GOULDS PUMPS													
RAZÓN SOCIAL					MODELO	371-1514-010													
RAZÓN SOCIAL					N° DE SERIE														
PRUEBA HIDRÁULICA					FLUIDO DE PRUEBA														
EMPRESA A CARGO					ITEM	VALOR		UNIDAD											
FECHA PRUEBA					NOMBRE FLUIDO														
NOMBRE ENCARGADO					DENSIDAD														
MÉTODO MEDICIÓN PRESIÓN	MANOMETRO / TRANSMISOR PRESIÓN				VISCOSIDAD														
MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL	FLUJÓMETRO				TEMPERATURA														
VALORES CURVA DE OPERACIÓN																			
% ABERTURA	CORRIENTE (I)		FLUJO (Q)		PRESIÓN P1		PRESIÓN P2												
	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD											
30%																			
60%																			
100%																			
OBSERVACIONES																			

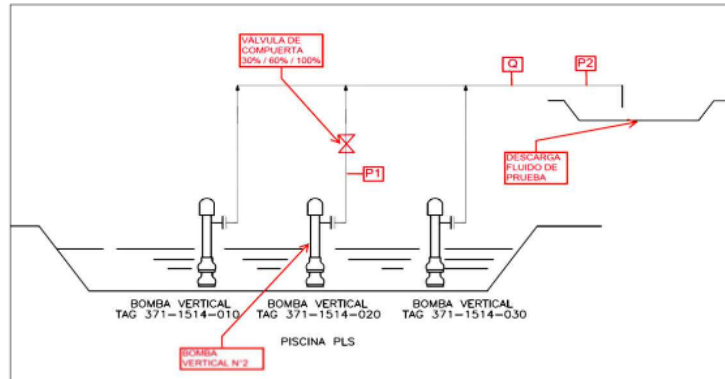
**HOJA DE DATOS N°2-CURVA OPERACIONAL BOMBA VERTICAL N°1 TAG 371-014-020**

DATOS CLIENTE		DATOS BOMBA VERTICAL	
RAZÓN SOCIAL	MANTOS COPPER	TIPO DE BOMBA	VERTICAL
UBICACIÓN		TAG BOMBA	371-1514-020
DIRECCIÓN		FABRICANTE	GOULDS PUMPS
RAZÓN SOCIAL		MODELO	
RAZÓN SOCIAL		N° DE SERIE	

PRUEBA HIDRÁULICA		FLUIDO DE PRUEBA		
EMPRESA A CARGO		ITEM	VALOR	UNIDAD
FECHA PRUEBA		NOMBRE FLUIDO		
NOMBRE ENCARGADO		DENSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN PRESIÓN	MANOMETRO / TRANSMISOR PRESIÓN	VISCOSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL	FLUJÓMETRO	TEMPERATURA		

**VALORES CURVA DE OPERACIÓN**

% ABERTURA	CORRIENTE (I)		FLUJO (Q)		PRESIÓN P1		PRESIÓN P2									
	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD								
30%																
60%																
100%																



**OBSERVACIONES**

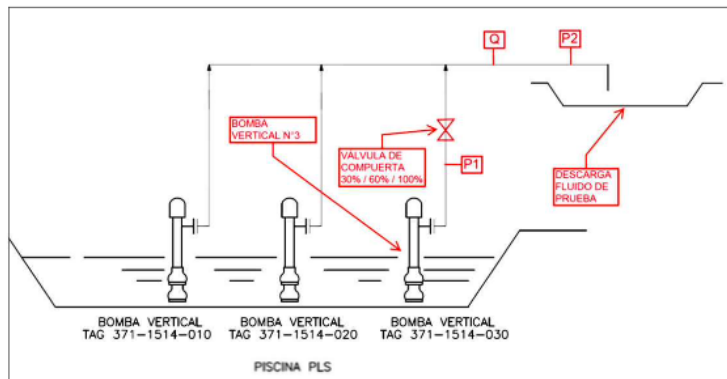
**HOJA DE DATOS N°3-CURVA OPERACIONAL BOMBA VERTICAL N°1 TAG 371-1514-030**

DATOS CLIENTE		DATOS BOMBA VERTICAL	
RAZÓN SOCIAL	MANTOS COPPER	TIPO DE BOMBA	VERTICAL
UBICACIÓN		TAG BOMBA	371-1514-030
DIRECCIÓN		FABRICANTE	GOULDS PUMPS
RAZÓN SOCIAL		MODELO	
RAZÓN SOCIAL		N° DE SERIE	

PRUEBA HIDRÁULICA		FLUIDO DE PRUEBA		
EMPRESA A CARGO		ITEM	VALOR	UNIDAD
FECHA PRUEBA		NOMBRE FLUIDO		
NOMBRE ENCARGADO		DENSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN PRESIÓN	MANOMETRO / TRANSMISOR PRESIÓN	VISCOSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL	FLUJÓMETRO	TEMPERATURA		

**VALORES CURVA DE OPERACIÓN**

% ABERTURA	CORRIENTE (I)		FLUJO (Q)		PRESIÓN P1		PRESIÓN P2											
	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD										
30%																		
60%																		
100%																		



**OBSERVACIONES**

## ANEXO E

### HOJA DE REGISTRO CURVAS BOMBAS BOOSTER

HOJA DE DATOS N°4-CURVA OPERACIONAL BOMBA BOOSTER N°1 TAG 371-1513-010													
DATOS CLIENTE					DATOS BOMBA VERTICAL 100%				DATOS BOMBA BOOSTER				
RAZÓN SOCIAL	MANTOS COPPER				TIPO DE BOMBA	VERTICAL			TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA			
UBICACIÓN					TAG BOMBA	371-1514-010			TAG BOMBA	371-1513-010			
DIRECCIÓN					FABRICANTE	GOULDS PUMPS			FABRICANTE	GOULDS PUMPS			
RAZÓN SOCIAL					CAUDAL DE PRUEBA				MODELO				
RAZÓN SOCIAL					ALTURA DE PRUEBA				N° DE SERIE				

PRUEBA HIDRÁULICA					FLUIDO DE PRUEBA						
EMPRESA A CARGO					ITEM	VALOR			UNIDAD		
FECHA PRUEBA					NOMBRE FLUIDO						
NOMBRE ENCARGADO					DENSIDAD						
MÉTODO MEDICIÓN PRESIÓN	MANOMETRO / TRANSMISOR PRESIÓN				VISCOSIDAD						
MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL	FLUJÓMETRO				TEMPERATURA						

VALORES CURVA DE OPERACIÓN														
% ABERTURA	CORRIENTE (I)		FLUIDO (Q)		PRESIÓN P1		PRESIÓN P2		PRESIÓN P3		PRESIÓN P4			
	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD		
30%														
60%														
100%														

OBSERVACIONES													

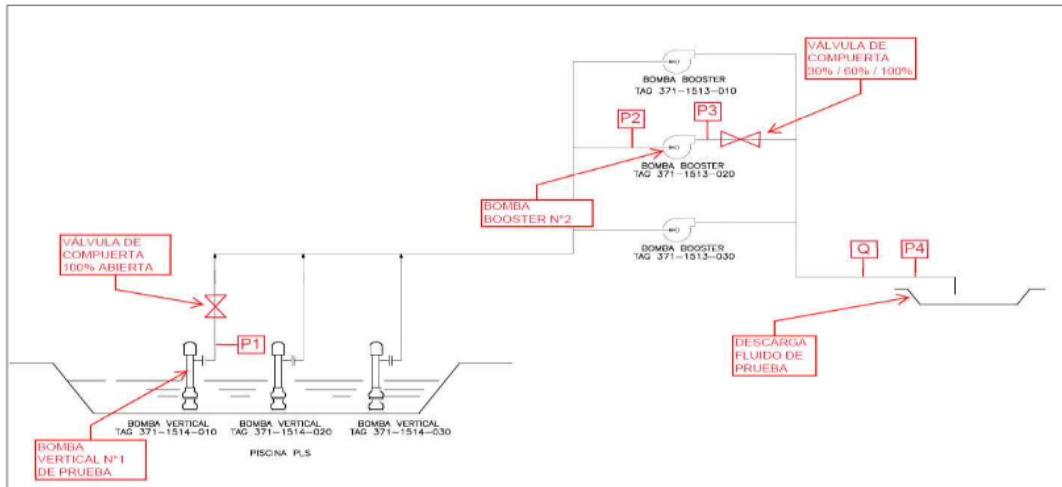
**HOJA DE DATOS N°5-CURVA OPERACIONAL BOMBA BOOSTER N°2 TAG 371-1513-020**

DATOS CLIENTE		DATOS BOMBA VERTICAL 100%		DATOS BOMBA BOOSTER	
RAZÓN SOCIAL	MANTOS COPPER	TIPO DE BOMBA	VERTICAL	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA
UBICACIÓN		TAG BOMBA	371-1514-010	TAG BOMBA	371-1513-020
DIRECCIÓN		FABRICANTE	GOULDS PUMPS	FABRICANTE	GOULDS PUMPS
RAZÓN SOCIAL		CAUDAL DE PRUEBA		MODELO	
RAZÓN SOCIAL		ALTURA DE PRUEBA		N° DE SERIE	

PRUEBA HIDRÁULICA		FLUIDO DE PRUEBA		
EMPRESA A CARGO		ITEM	VALOR	UNIDAD
FECHA PRUEBA		NOMBRE FLUIDO		
NOMBRE ENCARGADO		DENSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN PRESIÓN	MANOMETRO / TRANSMISOR PRESIÓN	VISCOSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL	FLUJÓMETRO	TEMPERATURA		

**VALORES CURVA DE OPERACIÓN**

% ABERTURA	CORRIENTE (I)		FLUJO (Q)		PRESIÓN P1		PRESIÓN P2		PRESIÓN P3		PRESIÓN P4							
	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD						
30%																		
60%																		
100%																		



**OBSERVACIONES**

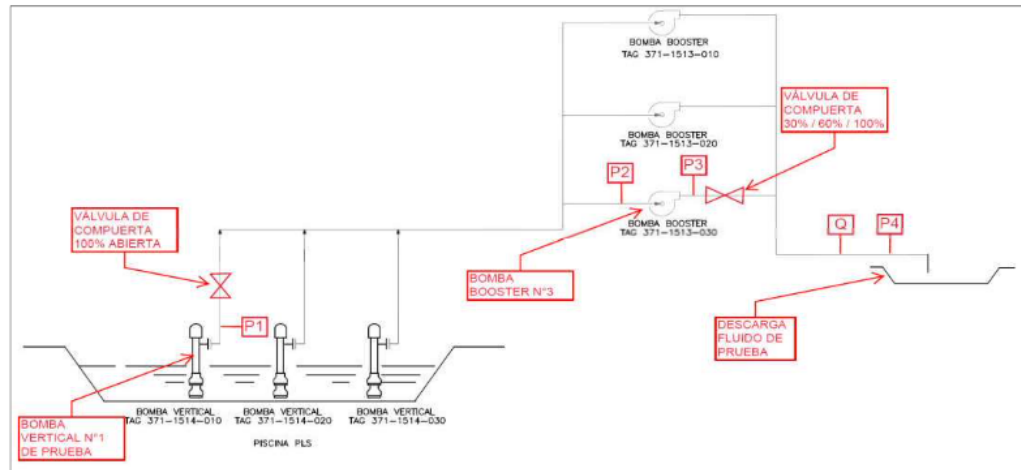
**HOJA DE DATOS N°6-CURVA OPERACIONAL BOMBA BOOSTER N°3 TAG 371-1513-030**

DATOS CLIENTE		DATOS BOMBA VERTICAL 100%		DATOS BOMBA BOOSTER	
RAZÓN SOCIAL	MANTOS COPPER	TIPO DE BOMBA	VERTICAL	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA
UBICACIÓN		TAG BOMBA	371-1514-010	TAG BOMBA	371-1513-030
DIRECCIÓN		FABRICANTE	GOULDS PUMPS	FABRICANTE	GOULDS PUMPS
RAZÓN SOCIAL		CAUDAL DE PRUEBA		MODELO	
RAZÓN SOCIAL		ALTURA DE PRUEBA		N° DE SERIE	

PRUEBA HIDRÁULICA		FLUIDO DE PRUEBA		
EMPRESA A CARGO		ITEM	VALOR	UNIDAD
FECHA PRUEBA		NOMBRE FLUIDO		
NOMBRE ENCARGADO		DENSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN PRESIÓN	MANOMETRO / TRANSMISOR PRESION	VISCOSIDAD		
MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL	FLUJÓMETRO	TEMPERATURA		

**VALORES CURVA DE OPERACIÓN**

% ABERTURA	CORRIENTE (I)		FLUIDO (Q)		PRESIÓN P1		PRESIÓN P2		PRESIÓN P3		PRESIÓN P4							
	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD						
30%																		
60%																		
100%																		



**OBSERVACIONES**

## ANEXO F

### HOJA DE REGISTRO CURVA SISTEMA GENERAL

DATOS CLIENTE											
RAZÓN SOCIAL	MANTOS COPPER										
UBICACIÓN											
DIRECCIÓN											
RAZÓN SOCIAL											
RAZÓN SOCIAL											

PRUEBA HIDRÁULICA						FLUIDO DE PRUEBA			
EMPRESA A CARGO				ITEM	VALOR	UNIDAD			
FECHA PRUEBA				NOMBRE FLUIDO					
NOMBRE ENCARGADO				DENSIDAD					
MÉTODO MEDICIÓN PRESIÓN	MANÓMETRO / TRANSMISOR PRESIÓN			VISCOSIDAD					
MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL	FLUJÓMETRO			TEMPERATURA					

VALORES CURVA DE OPERACIÓN																			
SISTEMA	CORRIENTE (I) BOMBA VERTICAL		CORRIENTE (II) BOMBA BOOSTER		FLUJO		PRESIÓN P1		PRESIÓN P2		PRESIÓN P3								
	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD							
1-1																			
2-2																			
3-3																			

OBSERVACIONES

