UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO – CHILE

“MEJORA DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO EN SALAS DE BOMBEO DE AGUA EN PLANTA CONCENTRADORA DET”

AUTOR: DIEGO ABRAHAM MADRID MIRANDA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO.

PROFESOR GUÍA: **ING. RAFAEL MENA YANSEN.**

PROFESOR CORREFERENTE: **MBA. RENE VALDENEGRO OYANEDER.**

MAYO – 2019

ADVERTENCIA

Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece sincera y profundamente a la Superintendencia Mantenimiento Productos Finales, a la Unidad Planificación y Confiabilidad Plantas Productos Finales de Codelco El Teniente por la oportunidad de llevar a cabo mi trabajo de título en la División.

A todo el personal del área de mantenimiento mecánica RAG (espesamiento y recirculación), por la buena disposición y el tiempo empleado de resolver las dudas que se presentaron durante la realización del trabajo, por tantas enseñanzas que dejaron en mí y por todos los consejos entregados y los buenos momentos compartidos. Gracias por la oportunidad de conocer las labores más importantes del Ingeniero Civil Mecánico.

A Don Rafael Mena, mi profesor guía en esta memoria de título, que en los momentos difíciles estuvo ahí para ayudarme. Gracias por su paciencia, sus consejos y por motivarme a hacer las cosas de la mejor manera.

A mis amigos, Diego, Fidel, Daniel, Javier, Daniela, Alejandra, etc., por la amistad otorgada, y por nunca dejar de estar en las buenas y más aún en las malas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Abraham y Adriana, por ser ejemplos para seguir adelante y por la paciencia que han tenido durante toda esta etapa. Este trabajo es el producto de todo lo que me han enseñado, ya que siempre han sido unas personas honestas, entregadas a sus trabajos y que siempre han podido salir adelante.

A mis hermanas Carolina, Pamela y Romina; por los consejos y apoyo que me han ayudado a no decaer. Agradezco su paciencia y preocupación por su hermano menor. Gracias por estar en este momento tan importante para mí.

A mis queridos sobrinos: Cristóbal, Javiera, Mario, Josefa, Martin, Víctor y a mi sobrino nieto Facundo por todo ese amor y alegría que siempre me entregan.

A mi "marmota" preciosa Fran, gracias por tu amor, por ser como eres, por ser la mujer con los mejores sentimientos que he conocido, por presionarme a terminar esto, por aguantarme y por creer en mis capacidades. Gracias por todo bonita, te amo.

A mi tío Raúl Madrid Devia (QEPD) que desde siempre fue una gran inspiración como persona y como profesional. "Promesa cumplida".

Todos ustedes han mostrado un camino para mi muy importante y me han ayudado profundamente a definirme cada vez más como persona. ¡gracias totales!

RESUMEN

Este documento se presenta una revisión a la estrategia de mantenimiento en las salas que conforman sistema de bombeo de aguas clarificadas recuperadas a partir del proceso de espesamiento de relaves en la Planta Concentradora de la División El Teniente de Codelco, y una propuesta de mejora para garantizar la continuidad de marcha de los procesos de molienda y flotación.

La revisión a la estrategia de mantenimiento consistió en ejecutar un levantamiento de la información disponible respecto a las fallas generadas y registradas en las salas de bombeo durante el periodo septiembre 2016 – septiembre 2017.

A partir esa información, se realizó un análisis de criticidad para los componentes de los equipos. Junto con esto, se presentan los lineamientos de la estrategia actual de mantenimiento llevada a cabo en el área.

Posteriormente, también a través de un análisis de criticidad se establecieron los principales modos de fallas para cada uno de los eventos registrados en las salas de bombas. Como resultado de este proceso, se elaboró una propuesta de mejoramiento del plan de mantenimiento de las salas de bombeo de aguas recuperadas que incluye actividades, pautas de trabajo, y el listado de repuestos de las bombas analizadas.

Se determinó que la implementación de la estrategia de mantenimiento predictivo o de monitoreo de condiciones requiere amplio control de parámetros de rendimiento y/o condición de los equipos de bombeo. Para esto, se requiere del aumento de cantidad mediciones y parámetros a controlar, lo que manifiesta la necesidad de adquisición de equipos de medición y la incorporación de actividades de análisis predictivo lubricante.

También se hizo evidente la existencia de diferencias entre las condiciones de diseño y las condiciones actuales de operación de las salas de bombeo, esto justifica la necesidad de controlar la calidad del fluido proveniente del “overflow” de los espesadores (agua clarificada).

ABSTRACT

This document presents a review of the maintenance strategy in the rooms that make up the clarified water pumping system recovered from the tailing thickening process in the Concentrator Plant of Codelco's El Teniente Division, and an improvement proposal to guarantee the continuity of the process of grinding and flotation.

The revision to the maintenance strategy consisted of executing a survey of the available information regarding the failures generated and registered in the pumping rooms during the period September 2016 - September 2017.

Based on this information, a criticality analysis was performed for the components of the equipment. Along with this, the guidelines of the current maintenance strategy carried out in the area are presented.

Subsequently, also through a criticality analysis, the main failure modes were established for each of the events recorded in the pump rooms. As a result of this process, a proposal was made to improve the maintenance plan of the reclaimed water pumping rooms that includes activities, work guidelines, and the list of spare parts of the pumps analyzed.

It was determined that the implementation of the strategy of predictive maintenance or monitoring of conditions requires ample control of performance parameters and / or condition of the pumping equipment. For this, it is necessary to increase the quantity of measurements and parameters to be controlled, which indicates the need for the acquisition of measuring equipment and the incorporation of predictive lubricant analysis activities.

It also became evident the existence of differences between the design conditions and the current operating conditions of the pumping rooms; this justifies the need to control the quality of the fluid coming from the “overflow” of thickeners (clarified water).

GLOSARIO

cm	:	centímetro
DIN	;	Deutsches Institut für Normung
ISO	:	International Organization for Standardization
kg	:	Kilogramo
KPI	:	Key Performance Indicator
m	:	Metro
m^3	:	Metro cúbico
mm	:	milímetro
seg	:	Segundo
N	:	Newton
Lt	:	Litro
GPM	:	Gotas por minuto

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN xvii

OBJETIVOS xx

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA 1

1.1. MISIÓN 1

1.2. VISIÓN 2

1.3. PLAN ESTRATÉGICO 2

1.4. UBICACIÓN 2

1.5. ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN 4

2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD ESPESAMIENTO Y RECIRCULACIÓN ... 5

2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES 10

2.2. EQUIPOS PRINCIPALES UNIDAD ESPESAMIENTO DE RELAVES Y RECUPERACIÓN DE AGUA 12

2.3. BOMBA WORTHINGTON 6FRBH-223 (SALA 1) 32

2.4. BOMBA EUROFLO 300ESC-104 (SALA 2 Y 4) 35

2.5. BOMBA ENSIVAL 70DDS300 (SALA 3) 40

2.6. BOMBA WORTHINGTON GEAREX D1 (ALIMENTACIÓN FLOCULANTE ESPESADORES R-2 a R-9) 41

2.7. BOMBA MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E (ALIMENTACIÓN FLOCULANTE R-10) 43

2.8. CONTEXTO OPERACIONAL 47

3. RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES Y PRINCIPALES CAUSAS DE FALLA 57

3.1. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°1 58

3.2. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°2 63
3.3. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°3 67
3.4. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°4 73
3.5. DETENCIONES SALA DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE 75
3.6. DETENCIONES GLOBAL SALAS IMPULSIÓN (SALAS N°1, 2 Y 3) .. 77
3.7. MODOS DE FALLA Y CAUSAS PRINCIPALES 83
4. PLAN DE MANTENIMIENTO 93
4.1. DISPONIBILIDAD 93
4.2. ACTIVIDADES ACTUALES DE MANTENIMIENTO 95
4.3. FALENCIAS OBSERVADAS 108
5. PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO 112
6. ELABORACIÓN DE PAUTAS Y CATASTRO DE REPUESTOS 116
6.1. ELABORACIÓN DE PAUTAS 116
6.2. CATASTRO DE REPUESTOS 116
7. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS 122
8. CONCLUSIONES 124
9. BIBLIOGRAFÍA 126

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Distribución de Divisiones de Codelco Chile. 1
Ilustración 2: Ubicación de las instalaciones Codelco División El Teniente..... 3
Ilustración 3: Organigrama General Unidad Espesamiento y Recirculación División El Teniente. 5
Ilustración 4: Mapa Colon Bajo, Gerencia de Plantas. (Fuente Google Earth). 10
Ilustración 5: Diagrama de Flujo Unidad Espesamiento y Recirculación. 11
Ilustración 6: Diagrama de Flujo Sistema Dosificación Floculante. 11
Ilustración 7: Partes principales espesador de relaves. 18
Ilustración 8: Configuración diaria de Bombas en Sistema de Impulsión RAG..... 21
Ilustración 9: Tipos de anillos de desgaste. 24
Ilustración 10: Partes principales bomba centrifuga doble succión, partida horizontalmente (API BB-1). 25
Ilustración 11: Partes principales bomba centrifuga succión simple, carcasa tipo voluta (API OH-1)..... 26
Ilustración 12: Partes principales bomba de engranajes helicoidal doble. 29
Ilustración 13: Partes principales bomba de tornillo. 31
Ilustración 14: Plano seccional bomba WORTHINGTON 6FRBH-223. 32
Ilustración 15: Despiece extremo húmedo bomba Worthington 6FRBH-223. 33
Ilustración 16: Despiece soporte rodamientos bomba Worthington 6FRBH-223. 33
Ilustración 17: Plano seccional bomba EUROFLO 300ESC-104 (116). 35
Ilustración 18: Despiece carcasa, impulsor y anillo desgaste bomba EUROFLO ESC. 36
Ilustración 19: Despiece soporte rodamiento bomba EUROFLO ESC. 36
Ilustración 20: Despiece eje y componentes de acoplamiento bomba EUROFLO ESC. 37
Ilustración 21: Despiece componentes del sello bomba EUROFLO ESC. 38
Ilustración 22: Plano seccional bomba ENSIVAL 70DDS300. Fuente: Documento disponible en área mantenimiento mecánico RAG. 40

Ilustración 23: Plano seccional bomba WORTHINGTON GEAREX D1. Fuente: Documento disponible en área mantenimiento mecánico RAG. 42
Ilustración 24: Plano despiece bomba MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E. 44
Ilustración 25: Alojamiento rodamientos bomba MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E. 44
Ilustración 26: Diagrama Funcional Bombas Recuperadoras de Agua. 47
Ilustración 27: Diagrama Funcional Bombas Dosificadoras de Floculante. 48
Ilustración 28: Mineral Tratado [ton/día] y Consumo de Aguas [lt/seg]. Septiembre 2016 - Septiembre 2017. 50
Ilustración 29: Aporte de agua fresca y agua recirculada al consumo total de agua. . 50
Ilustración 30: Procedencia agua consumida en planta concentradora. 51
Ilustración 31: Make Up Septiembre 2016 - Septiembre 2017. 52
Ilustración 32: Tendencia en tasa de recirculación en concentradora de la minería del cobre 2012 - 2017. 53
Ilustración 33: Tasa de Recirculación Concentradora (%) Septiembre 2016 - Septiembre 2017. 54
Ilustración 34: Porcentaje de sólidos en zonas límites del proceso de espesamiento de relaves. 56
Ilustración 35: Grafico Pareto N° Detenciones Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017. 60
Ilustración 36: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017. 62
Ilustración 37: Grafico Pareto N° Detenciones Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 65
Ilustración 38: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 67
Ilustración 39: Grafico Pareto N° Detenciones Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 70
Ilustración 40: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 72

Ilustración 41: Grafico Pareto N° Detenciones Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017. 75
Ilustración 42: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017. 76
Ilustración 43: Grafico Pareto N° Detenciones Salas Impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017. 79
Ilustración 44: Grafico Pareto Tiempos Detención Salas Impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017. 81
Ilustración 45: Fuga de fluido. 84
Ilustración 46: Fuga desde pasador articulación válvula check sala N°3 88
Ilustración 47: Sucesión ON-OFF. 93
Ilustración 48: Agua de rebose de espesador de relaves. 111
Ilustración 49: Piscina de succión de agua recuperada en sala N°2. 112
Ilustración 50: Catastro de repuestos WORTHINGTON 6FRBH-223. 117
Ilustración 51: Catastro de repuestos EUROFLO 300ESC-104 118
Ilustración 52: Catastro de repuestos ENSIVAL 70DDS300. 118
Ilustración 53: Catastro de repuestos EUROFLO 300ESC-116 119
Ilustración 54: Catastro de repuestos WORTHINGTON GEAREX D1. 119
Ilustración 55: Propuesta de catastro de repuestos MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E 121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Tramos acceso a División El Teniente. 4
Tabla 1-2: Datos de Producción El Teniente año 2016..... 4
Tabla 2-1: Espesadores disponibles Área Espesamiento y Recuperación. 14
Tabla 2-2: Especificaciones Espesadores de Relaves R-2 a R-7. 15
Tabla 2-3: Especificaciones Espesador R-9. 15
Tabla 2-4: Especificaciones Espesador R-10. 16
Tabla 2-5: Listado piezas bomba WORTHINGTON 6FRBH-223. 34
Tabla 2-6: Listado piezas bomba EUROFLO 300ESC-104 (116)..... 39
Tabla 2-7: Listado piezas bomba ENSIVAL 70DDS300. 41
Tabla 2-8: Listado piezas bomba WORTHINGTON GEAREX D1. 42
Tabla 2-9: Listado piezas Bomba MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E. 45
Tabla 2-10: Tratamiento Total Proceso Concentrado y Consumo Agua Fresca Septiembre 2016 - Septiembre 2017. 49
Tabla 2-11: Indicadores Make Up..... 51
Tabla 2-12: Tasa de recirculación aguas recuperadas. 53
Tabla 2-13: Flujo y Tasa de recirculación de agua en concentradora, Región de O'Higgins, periodo 2009 - 2017. 54
Tabla 2-14: Promedio mensual porcentaje de solidos alimentación y descarga en espesadores de relaves..... 55
Tabla 3-1: Lista N° Detenciones Sala N°1 RAG Periodo 2016 – 2017..... 58
Tabla 3-2: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017. 59
Tabla 3-3: Lista Tiempos Detención Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017. 60
Tabla 3-4: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017..... 61
Tabla 3-5: Lista N° Detenciones Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017..... 63
Tabla 3-6: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 64
Tabla 3-7: Lista Tiempos Detención Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 65

Tabla 3-8: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 66
Tabla 3-9: Lista N° Detenciones Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 68
Tabla 3-10: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 69
Tabla 3-11: Lista Tiempos Detención Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 70
Tabla 3-12: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 71
Tabla 3-13: Lista N° Detenciones Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017. 73
Tabla 3-14: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017. 73
Tabla 3-15: Lista Tiempos Detención Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017. 74
Tabla 3-16: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017. 74
Tabla 3-17: Lista N° Detenciones Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017. 75
Tabla 3-18: Lista Tiempos Detención Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017. 76
Tabla 3-19: Lista N° Detenciones Salas impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017. 77
Tabla 3-20: Lista (Corregida) N° Detenciones Salas impulsión RAG (1, 2, 3), Periodo 2016 – 2017. 78
Tabla 3-21: Lista Tiempos Detención Salas impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017. 80
Tabla 3-22: Lista (Corregida) Tiempos Detención Salas impulsión RAG (1, 2, 3), Periodo 2016 – 2017. 80
Tabla 3-23: Componente Critico S.1, S.2 y S.3, RAG. 81
Tabla 3-24: Componente Critico S.4. RAG. 82
Tabla 3-25: Componente Critico S.Floculante. RAG. 82
Tabla 3-26: Modos de Falla Sala impulsión N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017. 84

Tabla 3-27: Causas fallas Sala impulsión N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017. 85
Tabla 3-28: Modos de Falla Sala impulsión N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 86
Tabla 3-29: Causas fallas Sala impulsión N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 87
Tabla 3-30: Modos de Falla Sala impulsión N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 87
Tabla 3-31: Causas fallas Sala impulsión N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 88
Tabla 3-32: Modos de Falla Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017. 89
Tabla 3-33: Causas fallas Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017. ... 89
Tabla 3-34: Modos de Falla Sala dosificación Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017. 90
Tabla 3-35: Causas fallas Sala dosificación Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017. 90
Tabla 3-36: Listado modos de falla principales equipos bombeo de aguas recuperadas, apoyo de impulsión y dosificación Floculante RAG. 91
Tabla 3-37: Listado causas de falla principales equipos bombeo de aguas recuperadas, apoyo de impulsión y dosificación Floculante RAG. 91
Tabla 4-1: Horas Detención Equipos Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017. 94
Tabla 4-2: Horas Detención Equipos Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017. 94
Tabla 4-3: Horas Detención Equipos Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017. 95
Tabla 4-4: Horas Detención Equipos Sala apoyo impulsión N°4 RAG Periodo 2016 – 2017. 95
Tabla 4-5: Horas Detención Equipos Sala Floculante RAG Periodo 2016 – 2017. ... 95
Tabla 4-6: Inspecciones semanales y mensuales mantenimiento mecánico bombas y taller RAG, Periodo 2016 – 2017. 96
Tabla 4-7: Inspecciones semestrales mecánicas bombas RAG Periodo 2016 – 2017. 97
Tabla 4-8: Cambios semestrales bombas RAG Periodo 2016 – 2017. 97
Tabla 4-9: Mantenimiento en grúas y monorrieles salas RAG Periodo 2016 – 2017. 98
Tabla 4-10: Inspecciones eléctricas, instrumentación y sintomáticas bombas RAG Periodo 2016 – 2017. 99
Tabla 4-11: Mantenimiento eléctrico, instrumentación, bombas RAG Periodo 2016 – 2017. 100

Tabla 4-12: Programación Actividades de Mantenimiento Cambio de Bombas y Conjunto Rotórico, Aguas Recuperadas, Periodo 2016 – 2017. 106
Tabla 4-13: Estrategia de Cambio de Bombas Centrifugas impulsión Aguas Recuperadas, Año 2018/2019. 107
Tabla 5-1: Listado propuestas actividades mantenimiento sala impulsión aguas recuperadas y dosificación floculante, RAG. 114

INTRODUCCIÓN

Para La Corporación Nacional del Cobre de Chile CODELCO, División El Teniente, el procesamiento de mineral en la Planta Concentradora, específicamente, los procesos de Molienda y Flotación son trascendentales para la obtención de productos finales (cátodos, ánodos de cobre) o de productos intermedios (concentrado de cobre), estos procesos antes mencionados demandan un elevado consumo de agua para el desarrollo de sus operaciones.

En la gestión del recurso hídrico de la Planta existen tres elementos fundamentales: la oferta de "Agua Fresca", agua proveniente de ríos y que se captura mediante bocatomas, por parte del área de Aguas Industriales; la recuperación y distribución de aguas obtenidas en los espesadores de relaves (Unidad de Espesamiento y Recirculación); y la demanda (el requerimiento de agua de los procesos de molienda y flotación). Esta demanda debe ser solventada por medio del suministro de Agua Fresca y del suministro de Aguas Recuperadas, buscando aumentar la recuperación y disminuir la demanda. Esta necesidad es la que busca satisfacer la Unidad de Espesamiento y Recirculación.

El proceso de distribución de aguas recuperadas se lleva a cabo mediante sistemas de bombeo en las Salas de Bombeo de Aguas Recuperadas (Colón Bajo). Las detenciones imprevistas de los sistemas anteriormente mencionados alteran la continuidad de marcha de los procesos de Molienda y Flotación, pudiendo bajo algunos escenarios producir la detención parcial o total del proceso.

Estos motivos explican y justifican la consideración del proceso de Espesamiento y Recuperación de Aguas, así como del insumo agua como críticos para la producción de cobre que se lleva a cabo en la División.

El mantenimiento se entiende como un proceso critico que genera un aporte real al negocio en términos de disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad de equipos e

instalaciones, calidad de productos y servicios, seguridad de personal e instalaciones y cuidado medioambiental.

Si bien económicamente el mantenimiento sigue siendo un costo de operación y, por lo tanto, debe minimizarse, el enfoque actual de la estrategia de mantenimiento ha dejado de basarse sólo en actividades de tipo correctivo, siendo el objetivo minimizar los costos globales de operación, desarrollando servicios de mantenimiento lo más infrecuentemente posible, pero resguardando la disponibilidad de los activos en los procesos productivos. Por lo tanto, es de suma importancia contar con una estrategia optima de mantenimiento adecuada a condiciones actuales del proceso, para lograr desarrollar esta actividad de una manera más eficiente, continua y dentro de condiciones límite permitidas para operar.

Para lograr lo anteriormente mencionado se hace necesario identificar componentes, modos y causas de falla críticas, de este modo al contrastar con la estrategia actual de mantenimiento, se logra realizar una evaluación de esta y de la implementación del mantenimiento basado en condición (CBM), para posteriormente efectuar propuestas de mejora a lo que se está realizando.

El mantenimiento basado en condición persigue poner en evidencia, con la mayor anticipación posible, defectos, desvíos o síntomas de falla que se manifiestan sobre las piezas o componentes de los equipos de funcionamiento antes de la falla funcional de estos, con la ayuda de instrumentos o pruebas no destructivas minimizando el perjuicio sobre el servicio o la producción. Esto permite reducir los tiempos de paradas no programadas, evitar la falla catastrófica o mitigar las consecuencias de esta, optimizar recursos (mano de obra y materiales), aprovechar al máximo la vida útil del componente, etc.

El siguiente Trabajo de Titulo presenta la Mejora de la Estrategia de Mantenimiento en Salas de Bombeo de Agua en Planta Concentradora DET a partir de la evaluación de la estrategia actual y presenta como resultado las recomendaciones a efectuar en

términos de actividades a ejecutar, componentes a controlar y equipos necesarios para llevar a cabo de mejor manera el mantenimiento basado en condición.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo de Título tiene por propósito la Revisión de la Estrategia actual de Mantenimiento en las Salas de Bombeo de Aguas del Área Espesamiento y Recirculación (impulsión de agua recuperada a proceso productivo y dosificación de floculante a proceso espesamiento) en la Planta Concentradora de la División El Teniente– incluido el monitoreo de condiciones – para mejorar o complementar los aspectos relacionados al mantenimiento. Se realizará un levantamiento y gestión de información con documentos técnicos e indicaciones de los fabricantes de equipos o componentes mayores utilizados en estos sistemas con el fin de identificar oportunidades de mejora a la estrategia de mantenimiento.

Los objetivos específicos para lograr los objetivos principales antes señalados son:

1. Recopilar antecedentes e identificación de principales causas de falla.
2. Elaborar propuesta de reformulación al actual plan de mantenimiento, individualizando actividades requeridas, duración, frecuencia de ejecución y los recursos necesarios.
3. Elaborar pautas para el plan de mantenimiento, incorporando las indicaciones de fabricantes.
4. Generar catastro de repuestos analizando los elementos que pueden ser sustituidos por elementos alternativos.
5. Presentar los procedimientos técnicos para trabajos específicos, con identificación de riesgos y medidas de control.
6. Estimar el presupuesto requerido para el desarrollo del plan de mantenimiento.

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

La Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) es una empresa autónoma del Estado Chileno, especializada en la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos.

Es el primer productor de cobre del mundo y una de las compañías más rentables de la industria. Es la principal empresa y motor del desarrollo de Chile.

A la fecha cuenta con ocho divisiones, las cuales se definen como todas aquellas instalaciones y/o yacimientos donde se llevan a cabo operaciones de la gran minería del cobre.

En la Ilustración 1 se observa la ubicación de las divisiones de Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, Salvador, Andina, Ventanas (Fundición y Refinería) y El Teniente, las cuáles se localizan en cuatro regiones de Chile.

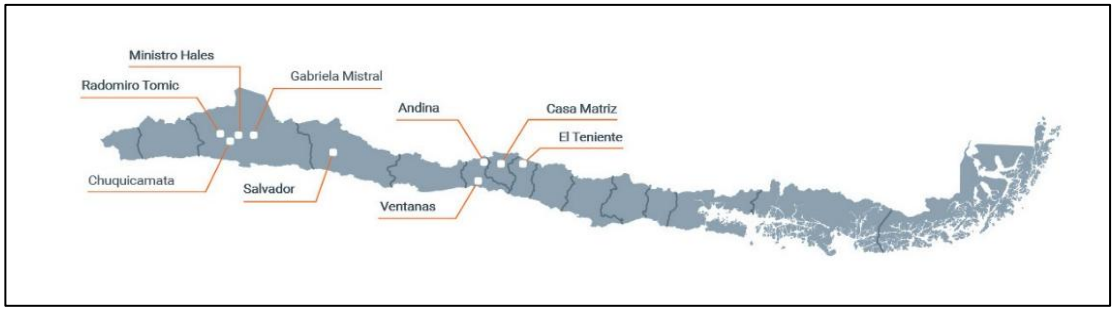

Ilustración 1: Distribución de Divisiones de Codelco Chile.

1.1. MISIÓN

Desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros y relacionados en Chile y en el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico y los respectivos aportes al Estado.

1.2. VISIÓN

Continuar siendo el productor de cobre más grande del mundo y la empresa que más contribuye a la economía chilena.

1.3. PLAN ESTRATÉGICO

Este queda definido en las metas del “Pacto Estratégico” de la División El Teniente:

- Erradicar accidentes fatales, así como disminuir y erradicar progresivamente enfermedades profesionales.
- Situar a Codelco en primer cuartil de costos de la industria.
- Gestionar eficientemente el desarrollo integral de las personas.
- Lograr promedio de 45 horas anuales de capacitación de los trabajadores.
- Cumplir los planes ambientales, como la disminución, en un 30% durante los próximos 10 años, del consumo de agua fresca en sus procesos productivos.
- Relacionarse armónica y respetuosamente con las comunidades.

1.4. UBICACIÓN

La Ilustración 2 presenta la ubicación de la División El Teniente en la comuna de Machalí, en plena cordillera de Los Andes, entre los 2.200 y los 3.200 metros sobre el nivel del mar. Está distante a 80 kilómetros al sur de Santiago y 54 kilómetros dirección Noroeste de Rancagua, capital de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

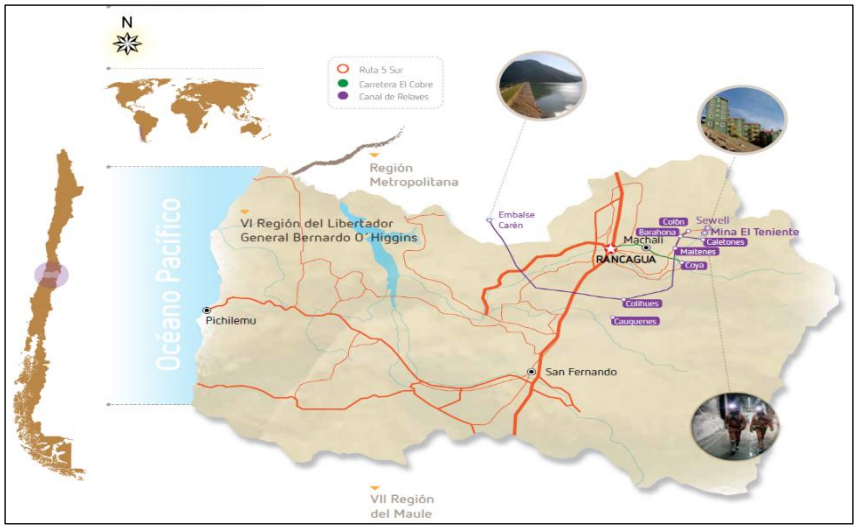

Ilustración 2: Ubicación de las instalaciones Codelco División El Teniente.

Se trata de la Mina Subterránea más grande del mundo y desarrolla su actividad en torno al yacimiento ubicado en la Mina El Teniente, y en las localidades de Rancagua, Colón, Sewell, Caletones, Coya y tranque de relaves Carén.

1.4.1. ACCESO

La principal vía de acceso es la Carretera Presidente Eduardo Frei Montalva, también conocida como Carretera del Cobre (H-25), la que une la ciudad de Rancagua con los yacimientos de El Teniente.

Después de cruzar el límite comunal de Rancagua, la ruta llega hasta las afueras de Machalí, donde se inicia el tramo en pendiente.

El camino llega hasta el puesto de control de Codelco denominado Maitenes, que permite el acceso a Caletones, La Junta Colón (Alto y Bajo), Sewell, y el Adit 42 – área de acceso a la mina El Teniente –. Las distancias de los tramos antes mencionados se especifican en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Tramos acceso a División El Teniente.

Tramo	Longitud de Tramo (Km)
Rancagua – Maitenes	25
Maitenes – Colón / Variante Caletones	33
Caletones – La Junta	7
Colón – Sewell	4
Sewell – Adit 42	10

1.5. ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN

Según los datos presentados en la Tabla 1-2, actualizados a diciembre de 2016, la División El Teniente produce aproximadamente 475.000 toneladas métricas anuales de concentrados de cobre que son materia prima fundamental para obtener el metal refinado. Además, coloca en los mercados alrededor de 6.700 toneladas métricas de molibdeno al año

Tabla 1-2: Datos de Producción El Teniente año 2016.

Tipo de explotación	Mina subterránea y Mina a Rajo Abierto
Operación	Desde 1905
Productos	Concentrado de Cobre
Ubicación	Machalí, Región del Libertador Bernardo O'Higgins
Dotación propia	4.524 trabajadores
Producción	475.339 toneladas métricas de cobre fino
Molibdeno	6.683 toneladas métricas finas
Costo directo (D1)	126,1 c/lb (9% inferior a ejercicio 2015)
Costo y gastos totales	214,6 c/lb

2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD ESPESAMIENTO Y RECIRCULACIÓN

La Unidad de Espesamiento y Recirculación, debe su existencia a la necesidad divisional de encausar los residuos líquidos generados en las Unidades Proceso Flotación Convencional y Proceso Flotación SAG. El siguiente organigrama, presentado en la Ilustración 3, destaca la posición del área de Mantenimiento RAG (Espesamiento y Recirculación), área en la cual se enfocará el estudio, parte de la Unidad de Mantenimiento PPC – RAG, la que junto a la Unidad de Planificación y Confiabilidad de Plantas Productos Finales, conforman la Superintendencia de Mantenimiento Productos Finales, perteneciente a la Gerencia de Plantas, parte de la Gerencia de Operaciones de la División El Teniente.

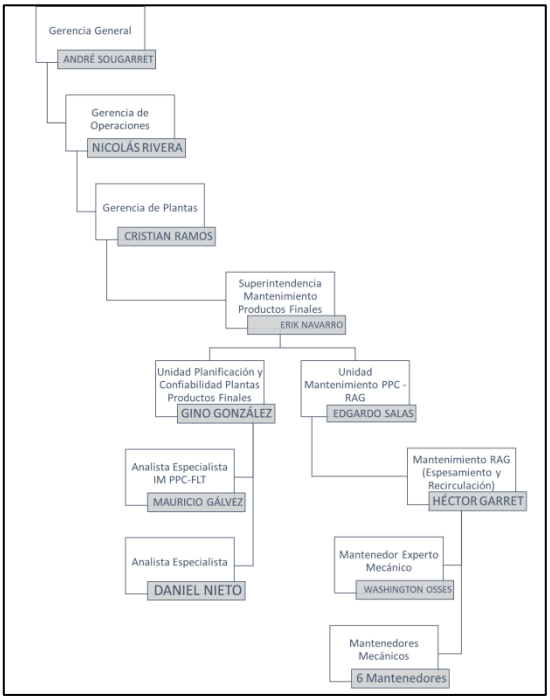

Ilustración 3: Organigrama General Unidad Espesamiento y Recirculación División El Teniente.

Estos procesos antes mencionados (Flotación Convencional y SAG) utilizan un consumo alto de agua de proceso, con lo cual se crea un gran volumen de residuos líquidos (Relaves), los que poseen una concentración de sólidos del orden de 30% a 33%.

Los relaves generados, son procesados en la Unidad de Espesamiento y Recirculación, logrando recuperar agua y relaves con una concentración de sólido mayor.

Los relaves provenientes de los procesos de Flotación, previo paso por la Planta PTRA, ingresan al cajón de alimentación CA-6 y se distribuyen a:

- 7 espesadores de relaves de 325 pies diámetro cada uno, identificados como: R-2, R-3, R-4, R-5, R-6. R-7 y R-9, su alimentación es directa para el R-2 y R-9 y a través de un canal de alimentación a los otros, desde allí los relaves son direccionados a cada espesador por una tubería que los alimenta en la parte central o “feedwell”.
- 1 espesador de 38 metros de diámetro identificado como R-10. Su alimentación es directa desde el cajón de traspaso del R9 y es enviado a través de una tubería hasta la parte central o “feedwell”.

Las cargas de relave son distribuidas en forma directa a los R-2 y R-9, y los demás Rs 3-4-5-6-7 por medio de un cajón de madera que capta la carga que va por la canal de madera que lleva el flujo general, esta alimentación se realiza en función del tonelaje total de producción de las plantas en servicio, el relave de entrada al espesador.

Otra entrada al proceso de recuperación es la incorporación del ex-Ril 30, agua de proceso de los Espesadores N°1 y N°2, las aguas de lavado de piso y otras del Proceso de Filtro y Secado (Caletones), impulsadas por bomba al Cajón Portezuelo conduciéndola hasta el canal San Carlos que conduce las aguas recuperadas de los espesadores 2-3-4-5-6 que alimentan la sala N°3 de recuperación.

Los refinos son aguas acidas con pH 3, proveniente de la Planta CuSx, ingresando por lo general al cajón CA-6 con pH 1,5 a 2.2 o a la canal de relaves Km. 0.

Paralelamente se adiciona al espesador, un compuesto químico denominado genéricamente como floculante, mediante cañerías desde la Planta de Reactivos y Cal hasta un estanque de dosificación ubicado en la Sala de Floculantes del Proceso.

Los floculantes son polímeros orgánicos de cadena larga y alta masa molecular, solubles en agua, que al establecer puentes entre partículas forman una partícula con un mayor tamaño aparente.

El flujo de floculante impulsado hacia los espesadores dependerá de las necesidades operacionales, como mantener el torque dentro de un rango normal, es decir, no sobrepasar el 40% de este, garantizar el control de solidos de descarga en el orden del 54 – 58%, el nivel de agua clara dentro del espesador, entre otros. Adicionalmente desde el circuito de la Planta PTR se adiciona agua limpia a la línea de alimentación de floculante a los Espesadores para la dilución y transporte del floculante hacia los espesadores.

Este floculante es dosificado mediante un sistema de bombas (1 en servicio y otro "stand by") y su respectivo "loop" de cañería individual para cada espesador y tiene por objeto acelerar el proceso de decantación de los sólidos contenidos en los relaves capturando las partículas en suspensión, separando estas partículas del agua y conteniéndolas en el fondo del espesador. Al mismo tiempo, estando el espesador en operación (en movimiento) con rastras cortas y largas (sistema de agitación mecánica del espesador), hacen que los relaves decantados vayan siendo arrastrados secuencialmente a los conos de descarga.

Las cargas decantadas al finalizar el proceso de recuperación son descargadas a través de los conos en la zona inferior de los espesadores hacia un canal que reúne las descargas de todos los recuperadores R-2 a R-7, guiándolas al empalme con el canal de relaves en Km 0. Por otra parte, el recuperador R-9, cuenta con una descarga independiente a través de un canal, el que empalma con el cajón inferior del Km 0, el que conduce los relaves hacia el embalse Caren por 86 Km, a su vez el espesador recuperador R-10, descarga los relaves a través de los conos en la zona inferior hacia

un canal que guía este material hacia el canal de relaves. El sólido promedio de los relaves de descarga se encuentra entre el 54% a 58%

Por otro lado, estando el espesador en operación normal se producen reboses de agua recuperada a una canal exterior del espesador llamada vertedero que está instalado en cada recuperador, transportando el agua recuperada a un canal llamado canal San Carlos, el cual las conduce a las Salas de Bombas para ser impulsadas a los estanques de almacenamiento y posteriormente ser distribuidos según necesidad a los procesos a través de un "loop" de cañerías. La cantidad de agua (300 a 400 L/seg.) que se recupera en cada recuperador depende del tonelaje alimentado y del tiempo de residencia de la carga de relaves en el recuperador y la adición de floculante, sin embargo, debe cumplir con la exigencia de producción de Agua Recuperada, establecida mediante el indicador "Make Up" (m3 Agua Fresca por Tonelada Procesada), el cual está establecido en un límite que no debe superar el 0,75

La conducción de agua recuperada que sale de los vertederos, hasta el canal San Carlos, captando todas las aguas de los Espesadores, las que convergen en las salas de impulsión:

- Sala de Bombeo N°1: Esta sala es alimentada ya sea desde el R-6, por medio de sus compuertas manuales, pueden alimentar esta sala, la Sala N°3 o ambas según sea la necesidad del caso y eventualmente puede ser alimentada por el R-7, también por medio de compuertas manuales, las que pueden alimentar esta sala, la sala N°2 o ambas y por último, recibe toda el agua recuperada en el proceso de espesamiento de concentrado descrito en el punto anterior. En esta sala operan 7 bombas centrifugas que realizan la impulsión de esta agua hacia la Planta de Molienda Convencional (PMC).
- Sala de Bombeo N°2: Esta sala recibe agua recuperada desde la sala N°1, por medio de los conductos de rebose, cuando se supera la capacidad de las piscinas de esta sala, también puede ser alimentada por el R-7, tal como se mencionó anteriormente, además de recibir flujo de agua

recuperada desde el espesador R-10. En dicha sala se encuentran operando 5 bombas centrifugas que envían el agua obtenida en el proceso a dos estanques denominados “Cabeza Convencional” y “Africano”, los que se unen entre sí por medio de vasos comunicantes, y alimentan a la Molienda Convencional.

- Sala de Bombeo N°3: El agua que es recuperada por los espesadores R-2, R-3, R-4, R-5, R-9 y R-10 se dirigen directamente a la sala N°3, por otro lado, el espesador R-6, en caso de eventualidad puede enviar el agua obtenida hacia esta sala en vez de enviar a sala N°1. La sala N°3 cuenta con 4 bombas centrifugas que alimentan los estanques “Arios 2 y 3”, los que suministran agua para los procesos de molienda SAG 1, SAG 2 y al molino Unitario.
- Sala de Bombeo N°4: La sala de bombas N.º 4 es una sala de circuito cerrado de apoyo desde el estanque Africano N°1 por impulsión de bombas 287 y 288 hacia los estanques Arios y desde los estanques Arios por gravedad hacia el estanque Africano N°1 y estanque Cabeza Convencional. La dirección del flujo de agua (por impulsión o gravitacional) depende de las necesidades de agua en los estanques referidos.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Para mayor referencia de la ubicación de los equipos de Espesamiento de Relaves, Salas de Impulsión de Aguas Recuperadas, Estanques de Almacenamiento de Aguas Recuperadas y Plantas Procesos Productivos se presentan la Ilustración 4, obtenida desde el software "Google Earth", mientas que para la comprensión de los Procesos de Espesamiento de Relaves y Recirculación de Agua Recuperada (Ilustración 5) y Dosificación de Floculante (Ilustración 6), se presentan los Diagramas de Flujo de ambos procesos antes mencionados.

Ilustración 4: Mapa Colon Bajo, Gerencia de Plantas. (Fuente "Google Earth").

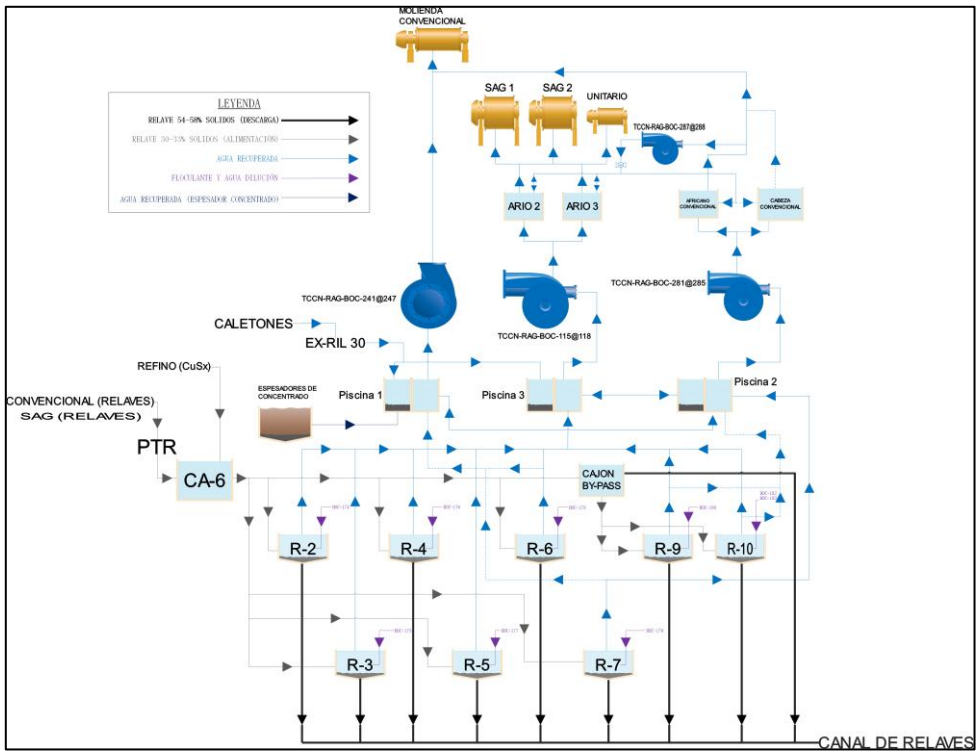

Ilustración 5: Diagrama de Flujo Unidad Espesamiento y Recirculación.

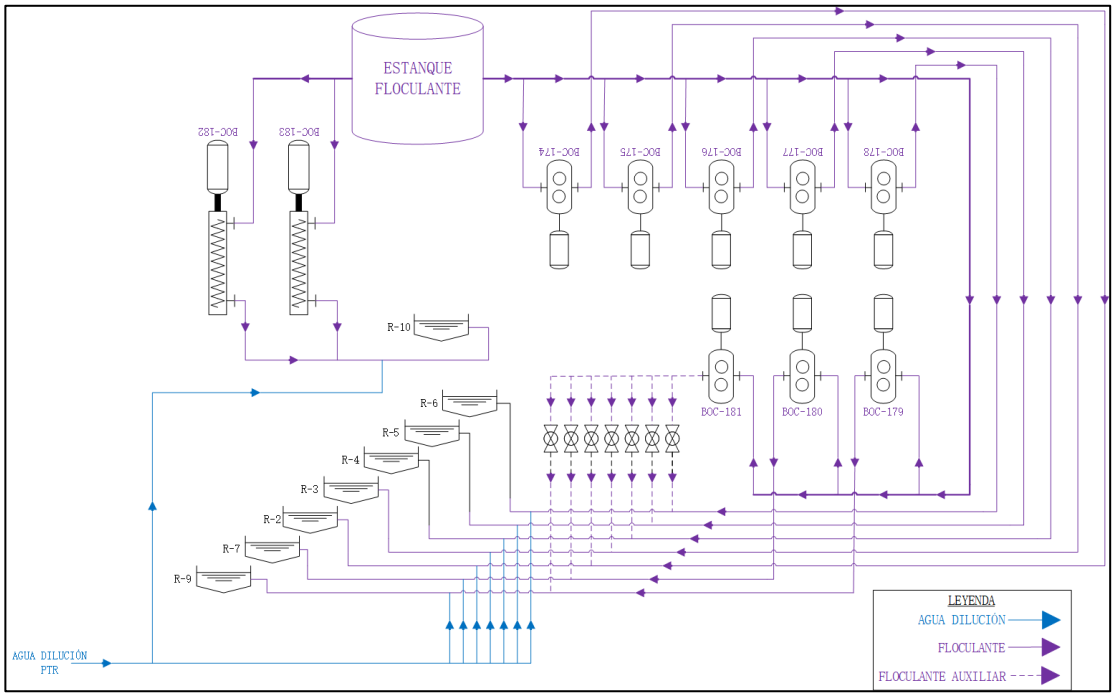

Ilustración 6: Diagrama de Flujo Sistema Dosificación Floculante.

2.2. EQUIPOS PRINCIPALES UNIDAD ESPESAMIENTO DE RELAVES Y RECUPERACIÓN DE AGUA

De acuerdo con lo señalado en la descripción del proceso de espesamiento y recirculación, junto con los objetivos del trabajo, se concluye que los equipos principales de la Unidad son los siguientes:

- Espesadores de Relaves.
- Bombas Centrifugas de Impulsión de Aguas Recuperadas.
- Bombas Dosificadoras de Floculante.

2.2.1. ESPESADORES DE RELAVES

Como se ha mencionado en el presente trabajo el uso eficiente del recurso hídrico requiere la maximización del proceso de recirculación de aguas, la que, para la planta concentradora de colon, se realiza en las operaciones de espesamiento y disposición de relaves, los que poseen una cantidad mayor de agua respecto al concentrado, por ende, posee un potencial mayor para recircular agua al proceso.

El espesamiento es la primera operación de separación solido – líquido que sigue a la etapa de concentración, que se lleva a cabo sobre el relave que sale de las plantas con forma de pulpas con sólidos del orden de 30 – 33%. Con el espesamiento se obtiene, por una parte, una pulpa con mayor concentración de solidos (54 – 58%), el que es enviado a la canal de relave, y por la otra, un flujo de agua clara.

La operación de los espesadores se basa en la sedimentación de las partículas. Una partícula sólida en un fluido de menor densidad cae con una velocidad de sedimentación que se alcanza cuando se equilibra la fuerza de gravedad y la fuerza de resistencia del fluido. Esta velocidad de sedimentación depende del diámetro de la partícula, el peso específico relativo entre el sólido y el fluido, y la viscosidad del fluido.

Los equipos de espesamiento en la Unidad de Espesamiento y Recirculación son:

- Espesadores de Convencionales
- Espesadores Alta Capacidad

El Espesamiento Convencional de pulpas se realiza en estanques cilindro-cónicos, que cuentan con un mecanismo que hace girar rastras que facilitan la descarga del producto espesado por la parte inferior. La alimentación de la pulpa llega a un pozo circular en el centro del espesador, diseñado para minimizar la agitación y obtener así agua clara que rebasa a una canaleta periférica para su evacuación.

Los espesadores convencionales son de gran diámetro y baja altura, construido en concreto.

Con el tiempo, los espesadores convencionales han evolucionado hacia los denominados espesadores de alta capacidad ("High Rate Thickener" = HRT), caracterizados por una gran reducción en el tamaño y área de sedimentación requerida para igual flujo de sólidos. Esta evolución ha sido posible gracias al diseño de sistemas mejorados de alimentación al espesador que mejora la mezcla de la pulpa con el floculante, y por lo tanto las condiciones para la floculación. Con el desarrollo de los espesadores HRT se comprobó la generación de productos espesados con mayor porcentaje de sólidos (56%), necesaria para facilitar la disposición del relave y recuperar una mayor cantidad de agua.

Los Espesadores de Alta Capacidad ("HRT Thickener") están diseñados para ofrecer una eficiente floculación y distribución de alimentación en el "feedwell", capaces de producir material de descarga inferior con una tensión de torsión mayor a los espesadores Convencionales.

El control operacional del espesamiento está centrado fundamentalmente en evitar sobrecargas y embancamientos, lo que requiere controlar variables como la presión hidráulica de giro, amperaje del motor y torque mecánico de las rastras, así como el flujo y porcentaje de sólidos en la descarga. A través de lazos de control, situaciones anómalas se pueden controlar levantando automáticamente las rastras, o bien actuando sobre la alimentación al espesador. La observación de la claridad del agua

que rebosa y su altura en el espesador, también entrega información sobre la forma en que está operando el equipo.

Los equipos de espesamiento disponibles en la Unidad Espesamiento y recirculación se presentan en la Tabla 2-1, mientras que las especificaciones de estos equipos se muestran en las Tablas Tabla 2-2, Tabla 2-3 y Tabla 2-4.

Tabla 2-1: Espesadores disponibles Área Espesamiento y Recuperación.

Nombre	Tipo Espesador	Marca
R-2	Espesador convencional	EIMCO
R-3	Espesador convencional	EIMCO
R-4	Espesador convencional	EIMCO
R-5	Espesador convencional	EIMCO
R-6	Espesador convencional	EIMCO
R-7	Espesador convencional	EIMCO
R-9	Espesador convencional	DORR OLIVER
R-10	Espesador alta capacidad	OUTOTEC

Tabla 2-2: Especificaciones Espesadores de Relaves R-2 a R-7.

ESPESADOR DE RELAVES R-2 a R-7				
CONDICIONES DE OPERACIÓN			**CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**	
Alimentación	**Procedencia**	Flotación	**Tipo**	Autodilución
		SAG-Convencional	**Diámetro Espesador**	325 Pies
	Flujo de sólidos	847 ton/h	**Diámetro "Feed Well"**	20 Pies
	Flujo de agua	2.179 m³/h	**Altura "Feed Well"**	5 Pies
	Flujo de pulpa	3.026 m³/h	**Altura Mayor Espesador**	20 Pies 7,25 pulg.
	% de sólidos	28	**Altura Menor Espesador**	8 Pies
	Densidad Pulpa	1,21 ton/m³	**Velocidad Rotación Rastra**	0,0245 RPM
DESCARGA	**% Sólidos**	55	**Potencia, RPM Motor**	2 x 15 hp, 1000 RPM
REBALSE	**Agua Recuperada**	1.498 m³/h	**Fabricante**	EIMCO

Tabla 2-3: Especificaciones Espesador R-9.

ESPESADOR DE RELAVES R-9				
CONDICIONES DE OPERACIÓN			**CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**	
ALIMENTACIÓN	**Procedencia**	Flotación	**Tipo**	Sin Autodilución
		SAG-Convencional	**Diámetro Espesador**	325 Pies
	Flujo de sólidos	[-] ton/h	**Diámetro "Feed Well"**	20 Pies
	Flujo de agua	[-] m³/h	**Altura "Feed Well"**	5 Pies
	Flujo de pulpa	[-] m³/h	**Altura Mayor Espesador**	20 Pies 7,25 pulg.
	% de sólidos	28	**Altura Menor Espesador**	8 Pies
	Densidad Pulpa	1,21 ton/m³	**Velocidad Rotación Rastra**	0,0245 RPM
DESCARGA	**% Sólidos**	55	**Potencia, RPM Motor**	2 x 15 hp, 1000 RPM
REBALSE	**Agua Recuperada**	1.498 m³/h	**Fabricante**	DORR OLIVER

Tabla 2-4: Especificaciones Espesador R-10.

ESPESADOR DE RELAVES R-10				
CONDICIONES DE OPERACIÓN			**CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**	
ALIMENTACIÓN	**Procedencia**	Flotación	**Tipo**	Autodilución
		SAG-Convencional	**Diámetro Espesador**	38 m
	Flujo de sólidos	974 ton/h	**Diámetro "Feed Well"**	
	Flujo de agua	m³/h	**Altura "Feed Well"**	
	Flujo de pulpa	2.430 m³/h	**Altura Pared Espesador**	2,8 m
	% de sólidos	32	**Pendiente del Fondo**	1:6
	Densidad Pulpa SG	1.252	**Velocidad Rotación Rastra**	0,0245 RPM
DESCARGA	**% Sólidos**	56	**Potencia, RPM U. Hidráulica // Motor H**	18,5 kW, 49 lts/min // 154 bar, 194 RPM
REBALSE	**Agua Recuperada**	16,136 m³/h	**Fabricante**	OUTOTEC

La Ilustración 7 presenta los principales componentes de los espesadores de relaves los que se detallan a continuación:

- Tanque, estanque o depósito: Los espesadores están constituidos por un estanque cilíndrico sobre una porción de cono invertido de poca profundidad, las dimensiones de los diámetros de los estanques son mucho mayores comparados a la altura de este, el cono en el fondo ayuda al movimiento de los sólidos concentrados hacia la zona de descarga, el área del tanque circular debe ser lo suficientemente grande como para que ninguna partícula sólida salga por el "overflow" (líquido alimentado) y la altura lo suficiente para lograr una pulpa a la concentración deseada. Por lo tanto, la función principal del tanque es el de proporcionar un tiempo de permanencia para producir una pulpa a la concentración deseada y un líquido claro en la descarga a la canaleta de fluido recuperado.

- Sistema motriz: Compuesto por el o los motores y el sistema reductor de velocidad. Su función es la de proporcionar la fuerza de accionamiento, el torque, para mover los brazos de las rastras y paletas contra la resistencia de los sólidos sedimentados.
- Eje de accionamiento: Eje que soporta las rastras del espesador.
- Rastrillo o rastra: Es una estructura formada por un conjunto de varillas de acero la cual va unida al eje principal. Su movimiento es a muy bajas revoluciones por minuto, 0.03-0.05 RPM, siendo impulsado por un motor eléctrico a través de un sistema reductor de velocidad. La función principal de la rastra es desplazar la carga precipitada hacia el centro del tanque, justo encima del cono de descarga, evitando que se asiente demasiado la pulpa, de tal manera de facilitar su evacuación. Los espesadores poseen cuatro rastras, dos cortas y dos largas, equipadas con cuchillas (“Blades”) para barrer la totalidad del fondo del espesador una vez por revolución.
- Jaula: Sirve de apoyo a las rastras y transfiere el movimiento proporcionado por el sistema reductor de velocidad suministrado por el motor eléctrico.
- Puente: El puente del espesador es una estructura que se extiende a lo largo del radio del espesador (R-2 a R-9) o a lo largo de todo el diámetro del espesador (R-10), esta estructura soporta el peso del sistema de alimentación (“feedpipe” y “feedwell”) y sirve como plataforma de acceso al centro del espesador.
- Recibidor de carga (“feedwell”): Es un tanque cilíndrico de poca altura, el que está encargado de recibir y acondicionar la pulpa alimentada al equipo. Sirve para disipar energía, traducida en una disminución de la velocidad de entrada de la pulpa, esto permite dejarla caer al estanque sin producir agitación, pero su principal característica es repartir de manera uniforme el líquido alimentado. Está en la parte superior del eje.

- Cono de descarga: Se encuentra en el centro del fondo del tanque del espesador, sirve para sacar la carga asentada hacia las bombas de salida de la pulpa, para ser enviada a los filtros en caso de tratarse de concentrados o directamente a relave en el caso de los recuperadores de agua.
- Canal de rebalse (“Launder”): Está ubicado en la parte superior de la periferia del tanque del espesador, su función principal es evacuar el agua recuperada. Se utilizan placas con vertederos entallados para asegurar un flujo uniforme a lo largo de la superficie del espesador. La descarga final es mediante la caja de rebalse (“Overflow box”).
- “Piping” o red de alimentación (“Feedpipe”): Es la línea que alimenta de pulpa al espesador, esta llega directamente al centro de este y se conecta de forma tangencial al “feedwell”.

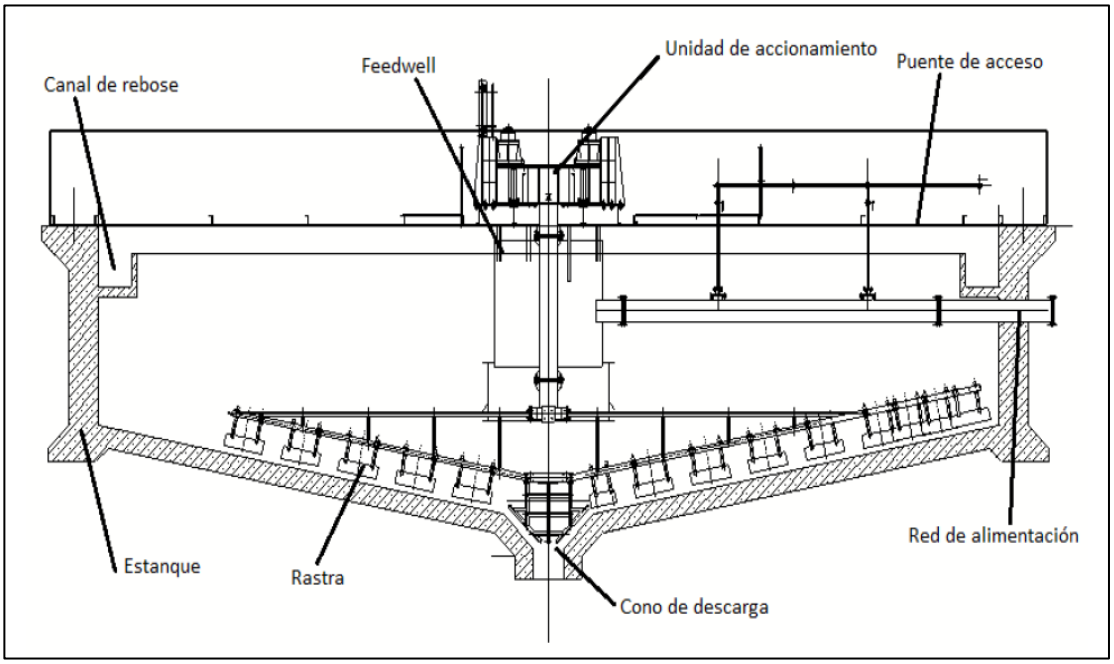

Ilustración 7: Partes principales espesador de relaves.

2.2.2. BOMBAS CENTRIFUGAS IMPULSORAS DE AGUAS RECUPERADAS

Posterior al proceso de Espesamiento, se debe impulsar el agua Recuperada desde los vertederos de los espesadores hacia los estanques de acumulación de aguas, o directamente a proceso productivo según sea la necesidad. Para esto, el proceso de recirculación se lleva a cabo en 4 salas de impulsión dispuestas según se muestra en el Plano del Sistema Recuperación de Agua, como en el Mapa de la Unidad Espesamiento y Recirculación.

En estas salas se cuenta con una batería de bombas centrifugas para cumplir con dicho propósito, estas se encargan de captar las Aguas Recuperadas ubicadas en las piscinas de cada una de las salas de impulsión (excepto la sala 4, que opera a modo de apoyo a los Estanques Arios), para posteriormente conducir el fluido siguiendo el principio de funcionamiento de este tipo de bombas.

En las bombas centrifugas, la energía mecánica es transmitida al fluido por un elemento rotativo principal denominado rotor, rodete o impulsor, el que imprime al líquido el movimiento de rotación que le proporciona el motor de accionamiento, transformándose luego, parte en energía cinética y parte en presión. El fluido entra por el centro del rotor, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida. El caudal a una determinada velocidad de rotación depende de la resistencia al movimiento en la línea de descarga.

Las características de los equipos de impulsión de aguas recuperadas (bombas centrifugas) son las siguientes:

- Giro Horizontal: Las bombas centrífugas con el eje de giro horizontal tienen el motor a la misma altura. Este tipo de bombas se utiliza para el

funcionamiento en seco. El líquido llega siempre a la bomba por medio de una tubería de aspiración.

- Flujo Radial: Este rodete envía por una fuerza centrífuga, el flujo del fluido en dirección radial hacia la periferia de aquel. La carga de velocidad es convertida a carga de presión en la descarga de la bomba. Por lo general, los alabes (aletas) de estos rodetes están curvados hacia atrás.

Los equipos en la Unidad de Espesamiento y Recirculación, disponibles para la impulsión de agua son:

- Sala de Impulsión N°1 (7 equipos): Bombas Centrifugas Horizontales de Carcasa tipo Voluta WORTHINGTON 6FRBH-223 de 10'' x 6'' (succión x descarga), cuya capacidad de impulsión es de 128 [lt/seg] cada una. Esta sala impulsa directamente al Proceso Molienda Convencional.
- Sala de Impulsión N°2 (5 equipos): Bombas Centrifugas Horizontales de Doble Succión y Carcasa Partida EUROFLO ESC 300-104, de 300 x 250 mm, con una capacidad de porteo de 333 [lt/seg] cada una. Esta sala impulsa directamente al estanque Africano Convencional.
- Sala de Impulsión N°3 (4 equipos): Bombas Centrifugas Horizontales de Doble Succión y Carcasa Partida ENSIVAL MORET de 14'' x 12'' con capacidad de 2136 m3/hr [593 lt/seg] cada una. Esta sala impulsa directamente a los estanques Arios (2 y 3), los cuales alimentan al Proceso Molienda SAG y Molino Unitario.
- Sala de (Apoyo) Impulsión N°4 (2 equipos): Bombas Centrifugas Carcasa Doble Partidas Horizontalmente EUROFLO ESC 300-104, de 300 x 250 mm, cuya diferencia con las bombas de la sala dos es que esta trabaja con un impulsor de mayor tamaño. Esta sala de impulsión tiene como función impulsar agua recuperada desde el Africano Convencional para prestar apoyo a los Estanques Arios, con una capacidad de porteo de 1200 m3/hr [330 lt/seg], en sentido contrario también desde Estanques Arios hacia Estanque Africano por la misma línea por acción de gravedad.

De acuerdo con la planilla “CONFIGURACIÓN DIARIA DE BOMBAS SISTEMAS DE IMPULSIÓN RAG SEMANA N10 al 14.03.2017” con fecha 15/03/17, se tiene la configuración para cada una de las salas de impulsión de aguas recuperadas

SALA	PPOSICIÓN BOMBA	TAG BOMBA	MARCA / MODELO	ESTADO	UBICACIÓN	OBSERVACION	CANTIDAD EQUIPOS
SALA N°1	Posición 241	BOCE N°01	Bombas Wortinthong 223	Equipo En/Serv	Sala N°1	Sin Observación	8
	Posición 242	BOCE N°02	Bombas Wortinthong 223	Equipo En/Serv	Sala N°1	Sin Observación	
	Posición 243	BOCE N°03	Bombas Wortinthong 223	Equipo En/Serv	Sala N°1	Sin Observación	
	Posición 244	BOCE N°04	Bombas Wortinthong 223	Equipo En/Serv	Sala N°1	Sin Observación	
	Posición 245	BOCE N°05	Bombas Wortinthong 223	Equipo En/Serv	Sala N°1	Sin Observación	
	Posición 246	BOCE N°06	Bombas Wortinthong 223	Equipo En/Serv	Sala N°1	Sin Observación	
	Posición 247	BOCE N°07	Bombas Wortinthong 223	Equipo En/Serv	Sala N°1	Sin Observación	
	-	*BOCE N°08*	*Bombas Wortinthong 223*	*Equipo Mtto/Taller*	*En Taller*	*Disponible conjunto rotorico en taller*	
SALA N°2	Posición 281	BOCE N°01	Euroflo	Equipo En/Serv	Sala N°2	Sin Observación	8
	Posición 282	BOCE N°02	Euroflo	Equipo En/Serv	Sala N°2	Sin Observación	
	Posición 283	BOCE N°03	Euroflo	Equipo En/Serv	Sala N°2	Sin Observación	
	Posición 284	BOCE N°04	Euroflo	Equipo En/Serv	Sala N°2	Sin Observación	
	Posición 285	BOCE N°05	Euroflo	Equipo En/Serv	Sala N°2	Sin Observación	
	-	*BOCE N°06*	*Euroflo*	*Equipo Mtto/Taller*	*Taller*	*Carcasa recuperada, armando conjunto rotorico para armar bomba*	
	-	*BOCE N°07*	*Euroflo*	*Equipo Mtto/Taller*	*Taller*	*pendiente revisar estdo carcasa*	
	-	*BOCE N°08*	*Euroflo*	*Equipo F/S MyR Mec.*	*Taller*	-	
SALA N°3	Posición 115	BOCE N°01	Ensival	Equipo En/Serv	Sala N°3	Operativa	8
	Posición 116	BOCE N°02	Ensival	Equipo En/Serv	Sala N°3	Operativa	
	Posición 117	BOCE N°03	Ensival	Equipo En/Serv	Sala N°3	Operativa	
	Posición 118	BOCE N°04	Ensival	Equipo En/Serv	Sala N°3	Operativa	
	-	*BOCE N°05*	*Ensival*	*Equipo F/S MyR Mec.*	*Mtza. GVP*	*Recuperación de Carcasa*	
	-	*BOCE N°06*	*Ensival*	*Equipo F/S MyR Mec.*	*Mtza. Osorio*	*Recuperación de Carcasa*	
	-	*BOCE N°07*	*Ensival*	*Equipo F/S MyR Mec.*	*Patio acopio RAG*	*Coordiando envia a Mtza.*	
	-	*BOCE N°08*	*Ensival*	*Equipo F/S MyR Mec.*	*En Taller*	*En Proceso aplicación de revestimiento cerámico*	
SALA N°4	Posición 287	BOCE N°01	Euroflo	Equipo En/Serv	Sala N°4	Sin Observación	2
	Posición 288	BOCE N°02	Euroflo	Equipo En/Serv	Sala N°4	Sin Observación	

Ilustración 8: Configuración diaria de Bombas en Sistema de Impulsión RAG.

A partir de los datos de la Ilustración 8 se concluye lo siguiente:

- Sala N°1: cuenta con un conjunto rotórico preparado en taller ante eventualidades. Por lo tanto, se dispone de ocho equipos para utilizar.
- Sala N°2: dispone de tres equipos de repuesto, estos pueden encontrarse ya sea en taller mantención mecánica o en maestranza, en caso de que se requiera una reparación más compleja. La cantidad de equipos total para cubrir las posiciones de la Sala N°2 (BOC-281 a BOC-285).
- Sala N°3: existen cuatro equipos para concepto de reposición, disponibles en taller o en maestranza para trabajos de reparación más específicos. El número de equipos para completar las posiciones disponibles (BOC-115 a BOC-118) son ocho bombas centrifugas.

Los principales componentes en las bombas centrifugas son:

- Carcasa – voluta: “Es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida…. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de

su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete”[1]. Dentro de los tipos de carcasa que existen se encuentran:

- Voluta simple: imprime grandes cargas radiales sobre el impulsor por efecto de la presión.
- Voluta gemela o doble voluta: menores cargas radiales sobre el impulsor por efecto de la presión. Usada en diseños de gran capacidad (≥1.500 rpm)

- Impulsor(es) o rodete(s): Es el corazón de la bomba centrífuga. “Formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), …, acelerándose y absorbiendo un trabajo. Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación”[2]. Se distinguen tres tipos de impulsores según su diseño:
    - De álabes aislados (abiertos)
    - Con una pared o disco lateral de apoyo (semiabierto)

[1] (Fernández Díez, 2017)
[2] (Fernández Díez, 2017)

- Con ambas paredes laterales (cerrados)

La definición de cada tipo de impulsor es la siguiente:

- Impulsor abierto: Impulsor sin cubierta en las paletas (álabes), puede ser total o parcial en bombas pequeñas para líquidos abrasivos y sólidos.
- Impulsor semiabierto: Impulsor cuyas paletas están cubiertas por un solo lado. Evita la acumulación de materias extrañas que se bombea atrás del impulsor e interfiera con la operación de la bomba y de la caja prensaestopas.
- Impulsor cerrado: Impulsor cuyas paletas están cubiertas por ambos lados; bombas para líquidos limpios.

• Anillos (Placas) de desgaste (carcasa, impulsor): Elementos instalados en las partes rotativas y estacionarias de las bombas, cumplen la función de evitar la recirculación del fluido desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión. La función de sellado se establece mediante el mantenimiento de pequeñas holguras entre los elementos rotativos (impulsor) y estacionarios (carcasa) para evitar el contacto. Son componentes de sacrificio que tienen a desgastarse con el tiempo por efecto del paso del fluido entre ellos. Su durabilidad se afecta en función de la cantidad y contenido de solidos que pasa entre ellos, lo que afecta, en consecuencia, la eficiencia de la bomba. "Para el servicio con líquidos abrasivos algunas veces se disponen placas laterales de desgaste de fácil intercambio, construidas con materiales especiales como el acero inoxidable que tiene mayor dureza, que no resulta costoso, ya que la carcasa de la bomba sigue siendo de fundición."[3]

[3] (Fernández Díez, 2017)

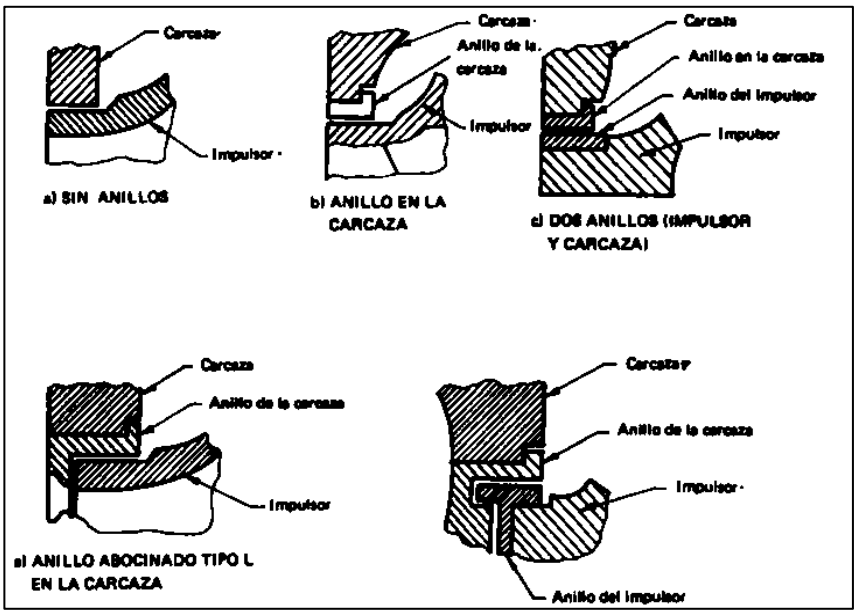

Ilustración 9: Tipos de anillos de desgaste.

- Prensaestopas, empaques y sellos: La función de estos elementos es restringir el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba. Como se trata de un dispositivo de restricción y no de sellado, requiere de una pequeña fuga de líquido para evitar la quemadura de la empaquetadura. Además, debe evitar y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.
- Eje: Es la pieza alrededor de la cual giran los elementos en la bomba centrífuga, contienen al/los impulsores. Junto con ellos, las camisas y otros elementos de desgaste rotativos. El rotor, girando acoplado al conductor, es quien imprime velocidad y presión al fluido dentro de la carcasa.
- Camisa: Instaladas en los ejes de la bomba, en las secciones de empaques o de los apoyos, donde se produce desgaste. Su función es servir como protección del eje, siendo un elemento de desgaste y cambio.
- Cámara – Soporte – Caja de Rodamientos: Lugar donde están alojados los rodamientos que balancean y absorben las cargas axiales y radiales generadas en la operación de la bomba, este elemento es el encargado de contener y/o distribuir el lubricante (aceite o grasa) hasta los rodamientos.

- Rodamientos: Sirven de soporte al eje o rotor de bomba en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba. Existen rodamientos antifricción y de deslizamiento (de fricción).
    - Antifricción: elementos rodantes ayudados por capas lubricantes liquidas o sólidas, hacen "rodar" la carga sobre ellos, impidiendo la fricción.
    - Deslizamiento: fabricados de material blando, que, ayudado por lubricante líquido y fuerzas hidrostáticas, mantienen al eje separado de las superficies del cojinete.
- Base: Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella.

A continuación, se presentan los componentes principales de las bombas centrifugas, tanto de doble succión (Ilustración 10), como de succión simple (Ilustración 11).

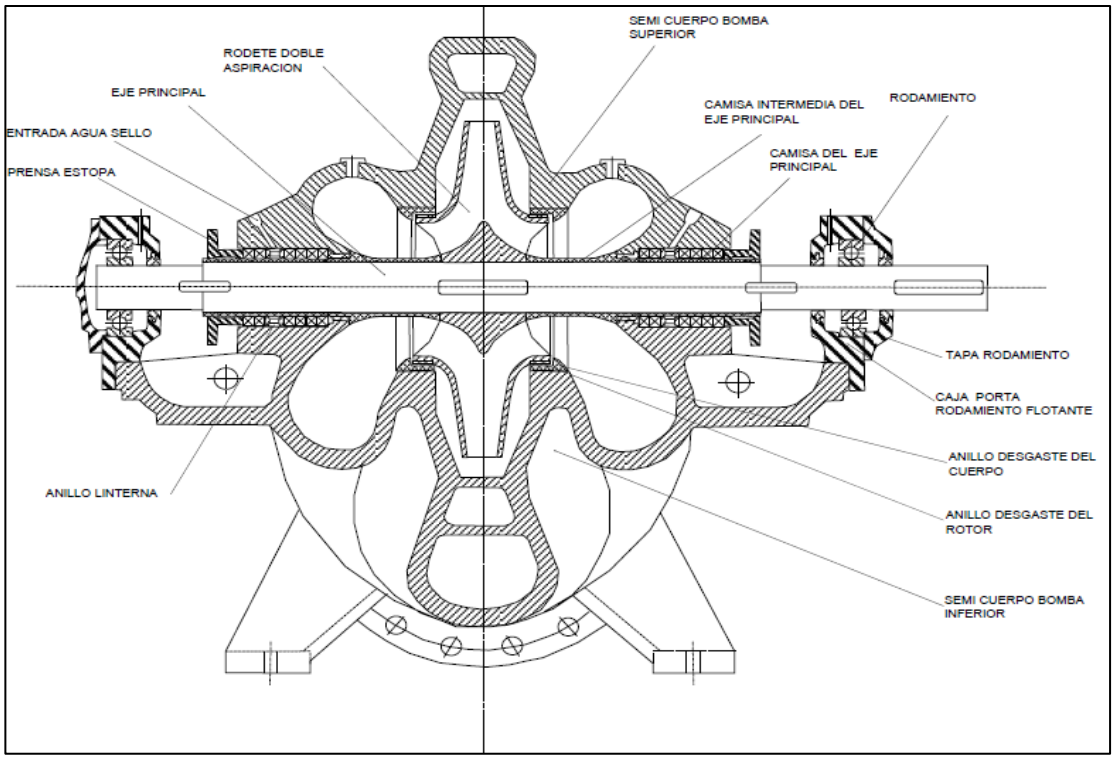

Ilustración 10: Partes principales bomba centrifuga doble succión, partida horizontalmente (API BB-1).

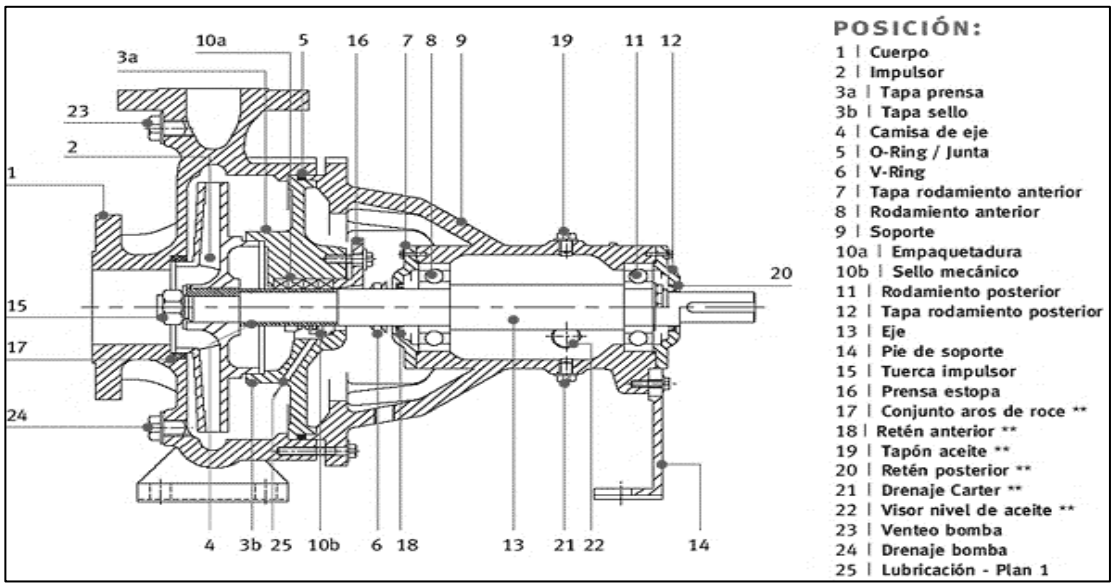

Ilustración 11: Partes principales bomba centrifuga succión simple, carcasa tipo voluta (API OH-1).

2.2.3. BOMBAS DOSIFICADORAS DE FLOCULANTE (ENGRANAJES HELICOIDALES / TORNILLO)

Los equipos en la Unidad de Espesamiento y Recirculación, disponibles en la sala de dosificación floculante para su impulsión hacia los espesadores de relaves son:

- Bomba de Engranajes Helicoidal (7 equipos + 1 “Stand-By”): Las bombas de engranaje que se utilizan en la sala de dosificación de floculantes son bombas de desplazamiento positivo de una etapa. El flujo de floculante a través de la bomba se logra mediante el movimiento progresivo de cavidades selladas formadas por el espacio entre los dientes de los rotores de bombeo (engranajes) y los orificios del cuerpo de la bomba. La recirculación del floculante (deslizamiento) se previene mediante el engrane entre los rotores de bombeo emparejados y el mantenimiento de holguras diametrales y axiales precisas entre los rotores de bombeo y el cuerpo de la bomba. Para eliminar el empuje hidráulico, los rotores de bombeo tienen un diseño doble helicoidal. El conjunto crítico de la bomba es el elemento rotatorio. Cada elemento rotatorio consiste en un eje de motriz y un eje conducido que se desplaza en ejes paralelos a una distancia central fija. Cada eje contiene rodamientos, un engranaje de distribución y un rodete de bombeo, además de los accesorios (tuercas de seguridad, espaciadores) necesarios para el montaje. Los engranajes de distribución mantienen el espacio libre entre y los rotores de bombeo accionados, eliminan el contacto entre los rotores y hacen girar el eje accionado. Los rodamientos de rodillos (Aguja) de alta resistencia eliminan el contacto radial entre los rotores de bombeo y los orificios del cuerpo y soportan la carga en los ejes producidos por la acción de bombeo. Los rodamientos fijos en un extremo posicionan los ejes axialmente y evitan el contacto entre los extremos de los rotores de bombeo y los alojamientos de los rodamientos. La lubricación de los rodamientos es proporcionada por el aceite contenido en las carcasas (sumideros). El sellado estándar del eje se

proporciona mediante empaquetaduras que viene instaladas con el collarín prensaestopas que requiere solo un ajuste menor antes del arranque de la bomba y durante las inspecciones de operación. Sus principales componentes son:

- Carcasa de la bomba: La carcasa de la bomba es de fundición con succión lateral y conexiones de descarga lateral. Es una pieza de retención de presión de una pieza (cuerpo) con conexiones de junta a los soportes y los flanges (bridas) de succión y descarga.
- Engranajes de bombeo (Rodete): Los engranajes de bombeo son engranajes de doble hélice ensamblados y montados en los ejes motriz y accionado para crear una acción de bombeo de desplazamiento positivo dentro del cuerpo de la bomba.
- Ejes: El eje de motriz está montado sobre rodamientos con el engranaje de bombeo (rotor) y el engranaje de distribución montado en el eje. Tiene una chaveta en el extremo motriz. El eje impulsado también está montado sobre rodamientos con el engranaje de bombeo y el engranaje de distribución montado sobre el eje.
- Engranajes de Distribución: Los engranajes de distribución de impulso están montados en los ejes motriz y conducidos con chavetas ubicadas con precisión para mantener los engranajes (rotores) de bombeo en engranados sin contacto entre sí.
- Rodamientos de la bomba y lubricación: Los rodamientos antifricción radial y de empuje están montados en cada eje para soportar las cargas inducidas. Se proporciona un baño de aceite en cada consola de la bomba para lubricar los cojinetes y los engranajes de sincronización. Se proporciona un medidor del sitio del aceite en la caja de engranajes y agujeros de nivel en la caja del cojinete frontal para determinar los niveles de aceite.

- Prensaestopas: La carcasa de la caja de empaquetadura está fijada tanto al cuerpo de la bomba como a los soportes para garantizar una alineación adecuada.
- Sello de eje: Los sellos mecánicos, unidos al eje de la bomba, sellan el líquido bombeado del ambiente. La empaquetadura con collarín prensaestopas se puede instalar como una opción.
- Sistema motriz: El conductor es normalmente un motor eléctrico. Se pueden instalar diferentes configuraciones de transmisión tales como motores de combustión interna, turbinas, motores hidráulicos, etc. que conducen a través de acoplamientos, correas, cajas de engranajes, ejes de transmisión, etc.

En la Ilustración 12se indica la ubicación de los componentes principales de la bomba de engranajes helicoidales.

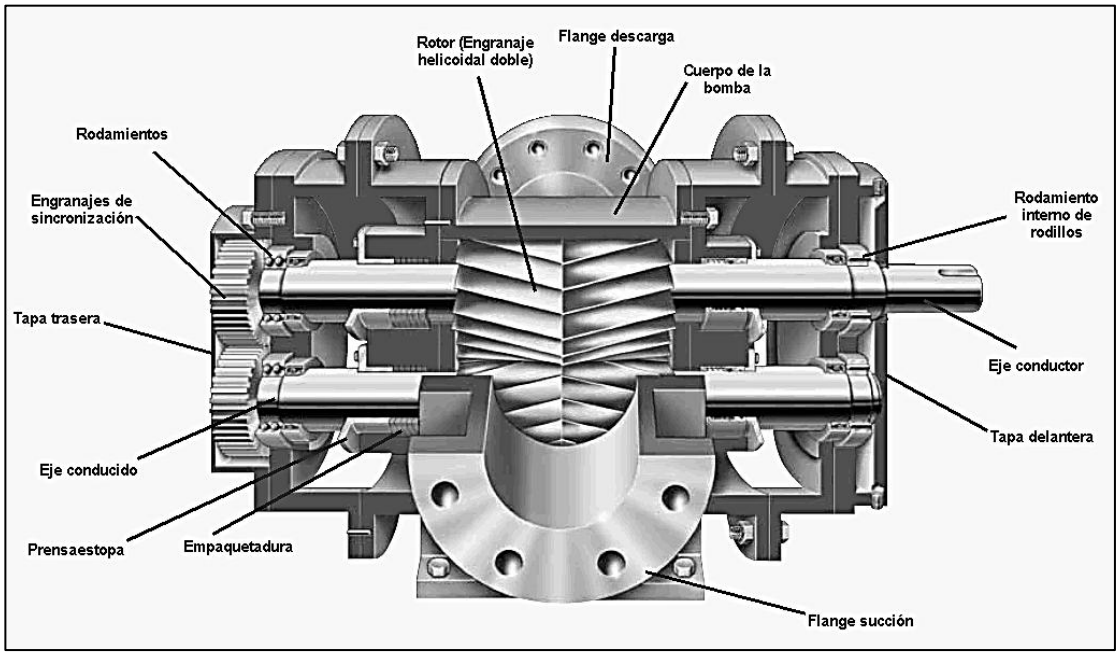

Ilustración 12: Partes principales bomba de engranajes helicoidal doble.

- Bomba de Tornillo Excéntrico (2 equipos): Es un tipo de bomba hidráulica considerada de desplazamiento positivo. Esta bomba utiliza un tornillo helicoidal excéntrico que se mueve dentro del estator y hace fluir el líquido

entre el tornillo y el estator. En la bomba rotativa de tornillo excéntrico el rotor y estator se tocan, en una sección transversal, en dos puntos respectivamente, que, completados a lo largo de los elementos de impulsión, forman dos líneas de estanqueidad. El contenido de las cámaras estancas que se forman por el giro del rotor es desplazado de forma axial y continuado desde la zona de aspiración a la de impulsión de la bomba. A pesar de la rotación del rotor, no se produce ninguna turbulencia. El hecho de que los volúmenes de las cámaras permanezcan constantes, excluye la fuerza de compresión, asegurando una impulsión extremadamente cuidadosa y casi exenta de pulsaciones Está específicamente indicada para bombear fluidos viscosos, con altos contenidos de sólidos, que no necesiten removerse o que formen espumas si se agitan. Como la bomba de tornillo desplaza el fluido, este no sufre movimientos bruscos. Sus principales componentes son:

- Rotor (1): Tiene forma de tornillo con una sección circular que gira sobre el estator de modo excéntrico, permitiendo el efecto de desplazamiento positivo que genera la impulsión del fluido.
- Estator (2): Es la parte fija sobre la cual gira el rotor.
- Transmisión y Junta (Articulación) (3): Soporta la fuerza axial y el par transmitido entre la conexión del rotor y el motor.
- Cuerpo (4): Es la estructura desde donde se impulsa el fluido. Disponible con muchos tipos de conexión.
- Motorización (5): Son los dispositivos que le dan movimiento a la bomba, aquí se encuentra el motor, el variador de engranajes, inversor, etc.
- Acoplamiento (6): Son los dispositivos que permiten la transmisión de energía de giro entre el motor, reductor, etc. y el eje propulsor de la bomba.
- Sello (7): Es la conexión entre la parte de fijación y la parte giratoria de la bomba para evitar la salida del fluido. La selección del tipo de sello depende del fluido a impulsar.

Los elementos señalados a anteriormente están enumerados de acuerdo con la disposición que se muestra en la Figura 3 16.

Los principales componentes de la bomba de tornillos se indican en la Ilustración 13.

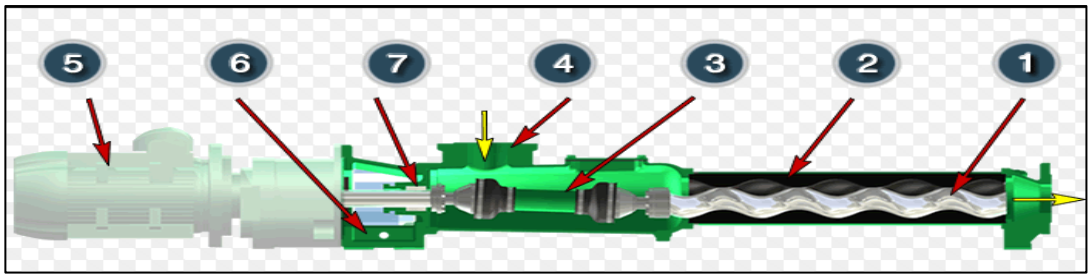

Ilustración 13: Partes principales bomba de tornillo.

2.3. BOMBA WORTHINGTON 6FRBH-223 (SALA 1)

Con base a la información recopilada en el manual de operación y mantenimiento de la bomba Worthington 6FRBH223, disponible en el taller de mantenimiento, se presenta la información referente a los componentes de la bomba y la disposición de estos en el armado general de la bomba. La Ilustración 14, presenta los componentes principales de la bomba centrifuga que operan en la sala de impulsión N°1.

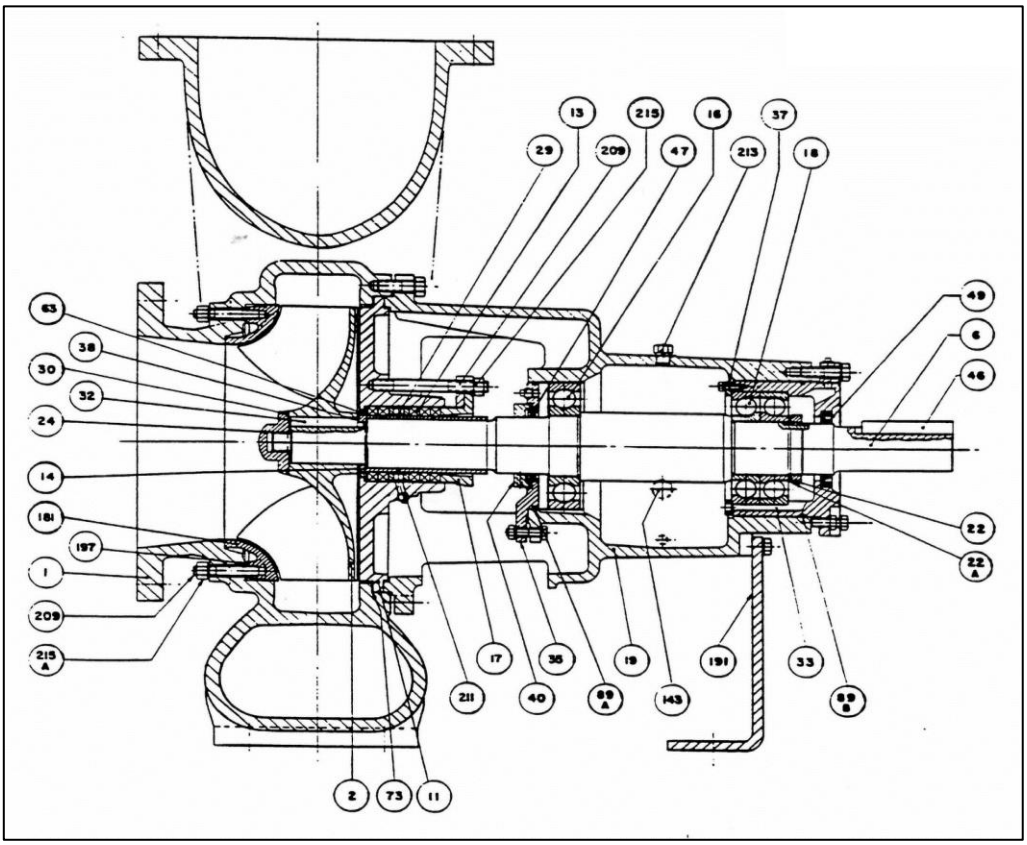

Ilustración 14: Plano seccional bomba WORTHINGTON 6FRBH-223.

Junto a este plano seccionado, la Ilustración 15 presenta el despiece de la bomba, tanto en su extremo húmedo (“Wet – End”), mientras que la Ilustración 16 presenta el despiece en el soporte de rodamientos

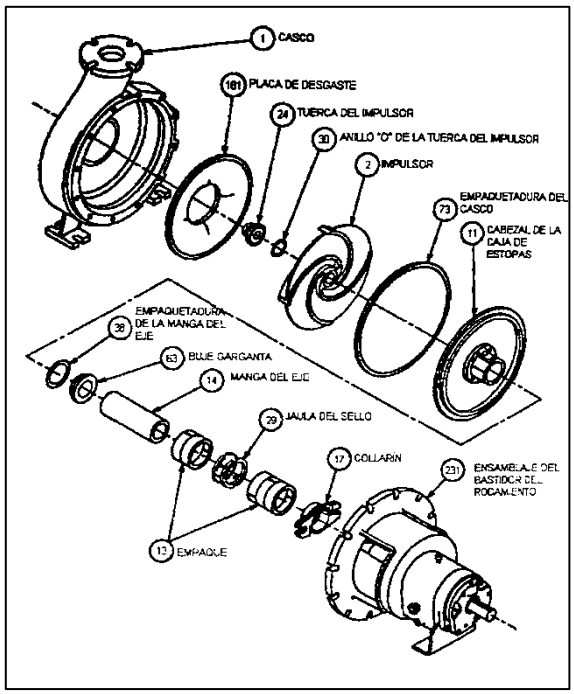

Ilustración 15: Despiece extremo húmedo bomba Worthington 6FRBH-223.

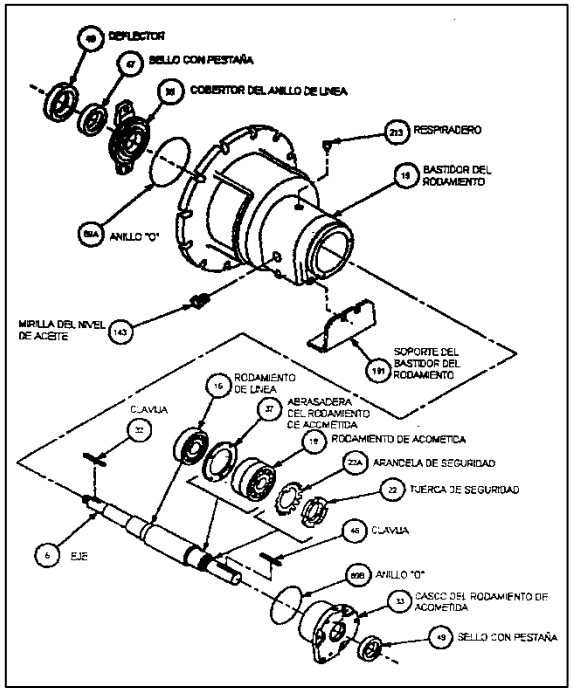

Ilustración 16: Despiece soporte rodamientos bomba Worthington 6FRBH-223.

De acuerdo con la información presentada en los planos seccional y de despiece presentados previamente, en la Tabla 2-5 se presenta la información y especificación

de los componentes principales que conforman la bomba centrifuga Worthington 6FRBH-223, obtenida tanto del manual de operación y mantenimiento antes mencionado, como desde el sistema de gestión SAP.

Tabla 2-5: Listado piezas bomba WORTHINGTON 6FRBH-223.

N°	Componente	N°	Componente	N°	Componente
1	Cuerpo / Caracol / Voluta / Casco	**24**	Tuerca copa (tuerca de impulsor)	**73**	Empaquetadura del casco (No Aplica)
2	Impulsor / Rodete	**29**	Anillo linterna (Partido) / Jaula del Sello (Partido)	**89-A / 89-B**	O' Ring
6	Eje	**30**	O' Ring de Tuerca Impulsor / O' Ring Copa	**143**	Mirilla nivel aceite 1 ¼'' Ø
11	Cabezal prensaestopas / Cabezal de la caja de estopas	**32**	Chaveta Impulsor	**181**	Placa desgaste
13	Empaquetadura Trenzada 5/8" Chesterton	**33**	Caja rodamiento posterior / Casto del Rodamiento de Acometida	**191**	Soporte caja de rodamientos / Soporte del Bastidor del Rodamiento
14	Camisa del Eje	**35**	Tapa Rodamiento de Línea / Cobertor del Anillo de Línea	**197**	3 Arandelas de sello de Placa desgaste
16	1 Rodamiento Bola SKF 6320 / Rodamiento de Línea	**37**	Anillo empalme o sujeción / Abrazadera Rodamiento de Acometida	**209**	3 Espárragos 5/8'' – 11 UNC x 3''
17	Collarín prensaestopas	**38**	Empaquetadura 70 Ø INT x 100Ø EXT x 1,7 / Junta de la Camisa del Eje	**209-A**	4 Espárragos ¾'' – 10 UNC x 7 ½''
18	2 Rodamientos bolas SKF 7318 de contacto angular / Rodamiento de Acometida	**40**	Deflector agua	**211**	2 Tapón ¼'' 18 NPT para Agua de Sello
19	Cubierta Caja Rodamientos / Recuperación Caja Rodamientos / Bastidor del Rodamiento	**46**	Chaveta Machón Acoplamiento	**213**	1 Tapón ¾'' NPT / Respiradero
22	1 Tuerca AN – 18 / Tuerca Seguridad	**47 / 49**	Sello con Pestaña (Aceite) / Sello Labio (Aceite)	**215**	4 Tuercas Hex ¾'' – 10 UNC
22-A	Arandela retención W18 / Arandela Seguridad	**63**	Buje Garganta	**215-A**	3 Tuercas Hex 5/8'' – 11 UNC (Placa desgaste)

2.4. BOMBA EUROFLO 300ESC-104 (SALA 2 Y 4)

La información para esta bomba se obtuvo a partir de la revisión del manual genérico para la serie ESC, el cual fue suministrado por personal de TECFLUID, junto con planos seccionales y de despiece suministrados por la empresa antes señalada.

En la Ilustración 17, se presenta los componentes principales de la bomba centrifuga que operan en la sala de impulsión N°2.

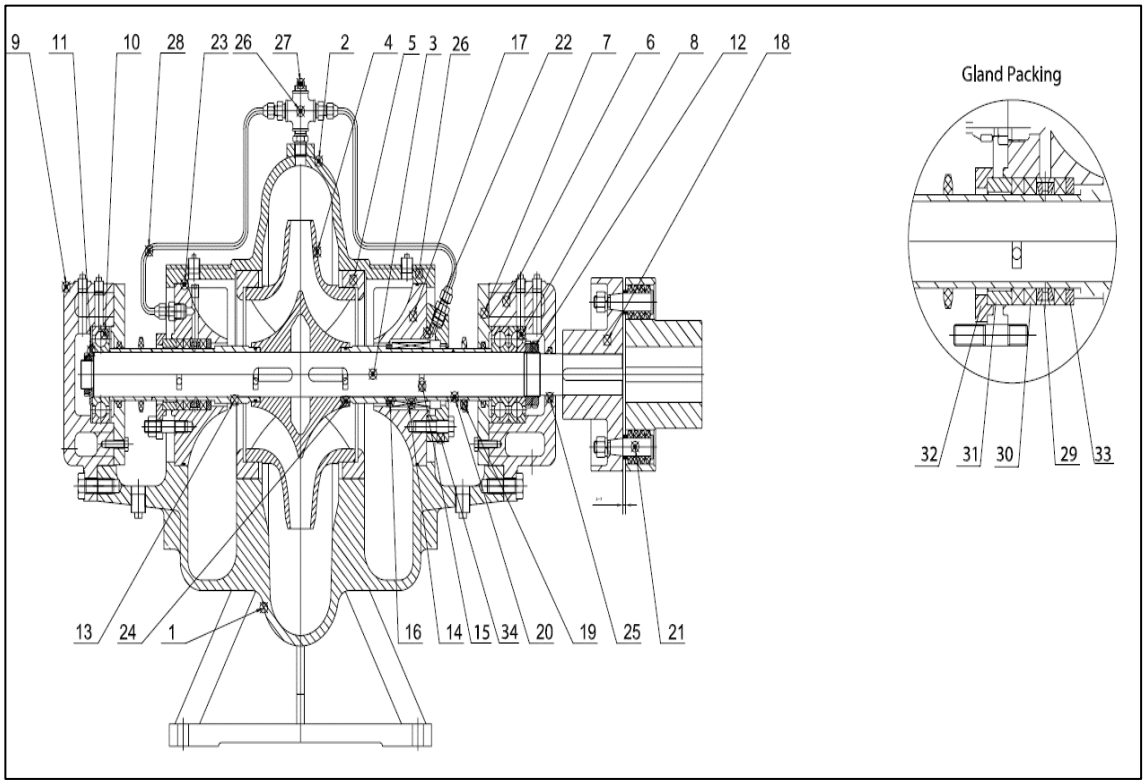

Ilustración 17: Plano seccional bomba EUROFLO 300ESC-104 (116).

De manera adicional y del mismo modo que para la sala N°1, se presenta el despiece de los equipos. Lo referente a la carcasa, impulsor y anillo desgaste se presenta en la Ilustración 18.

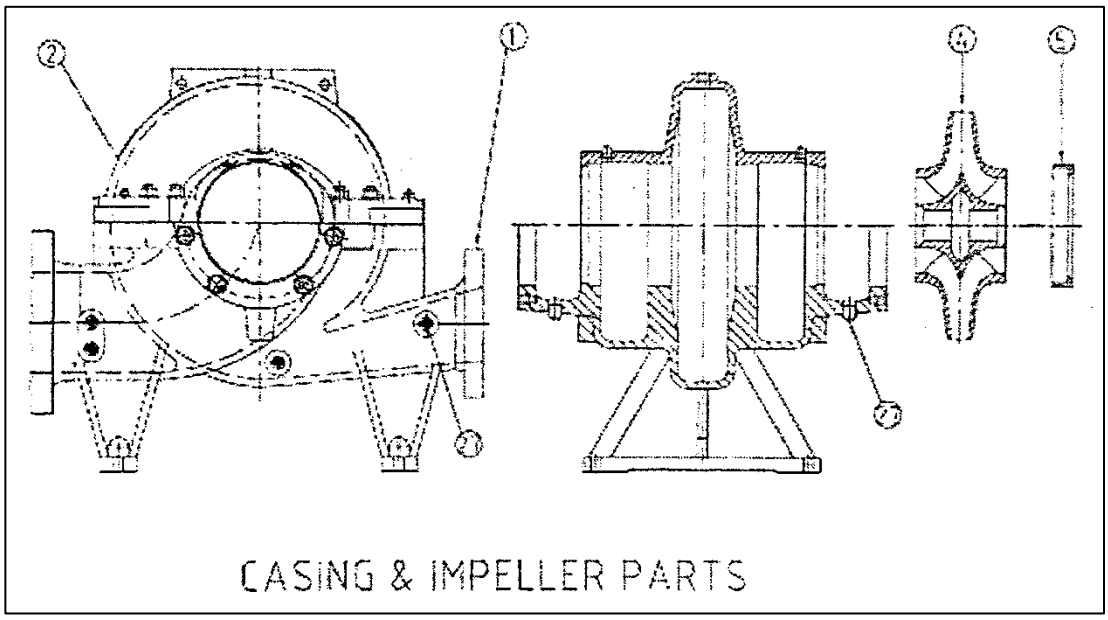

Ilustración 18: Despiece carcasa, impulsor y anillo desgaste bomba EUROFLO ESC.

En la Ilustración 19 se muestra encerrado en color rojo una disposición especial del soporte de rodamiento lado accionamiento o machón, a diferencia de lo indicado en el plano seccional, consiste en la instalación de solo un rodamiento de hilera de bolas ranura profunda junto con un espaciador como muestra la figura. Esta disposición es la que se utiliza para los equipos de la sala impulsión N°2.

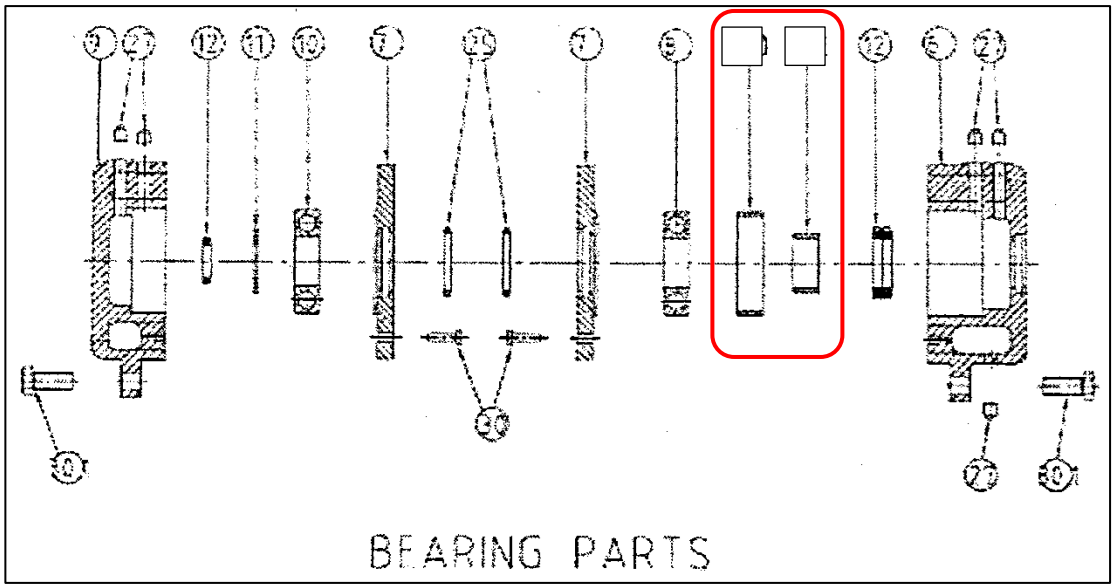

Ilustración 19: Despiece soporte rodamiento bomba EUROFLO ESC.

En la Ilustración 20, se utiliza para indicar la existencia de un “anillo” o buje espaciador (ítem 16.3) ubicados a los costados de la camisa del eje, este ítem no es mencionado en el plano seccional de la bomba que operan en la sala N°2. Se utilizará la identificación de ítem 16 del plano seccionado, utilizado para un elemento del sello mecánico, el que no aplica para los equipos funcionando en la sala.

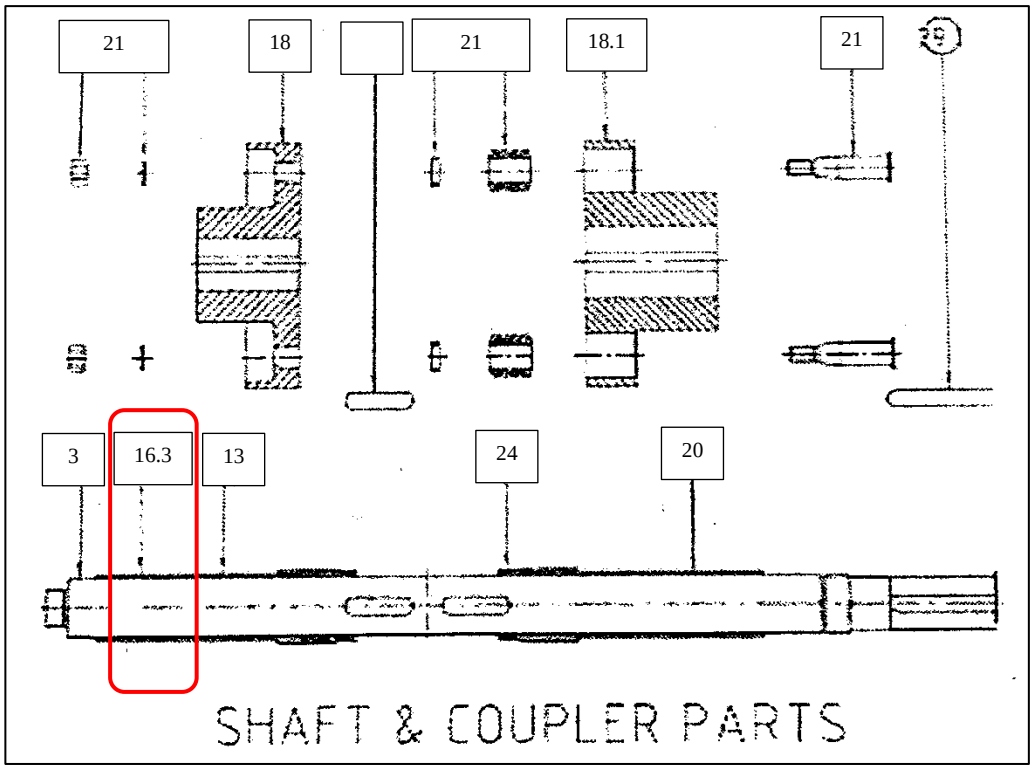

Ilustración 20: Despiece eje y componentes de acoplamiento bomba EUROFLO ESC.

En la Ilustración 21 se enfatiza la idea de la disposición del sello mediante empaquetaduras, al igual que lo indicado en el plano seccional.

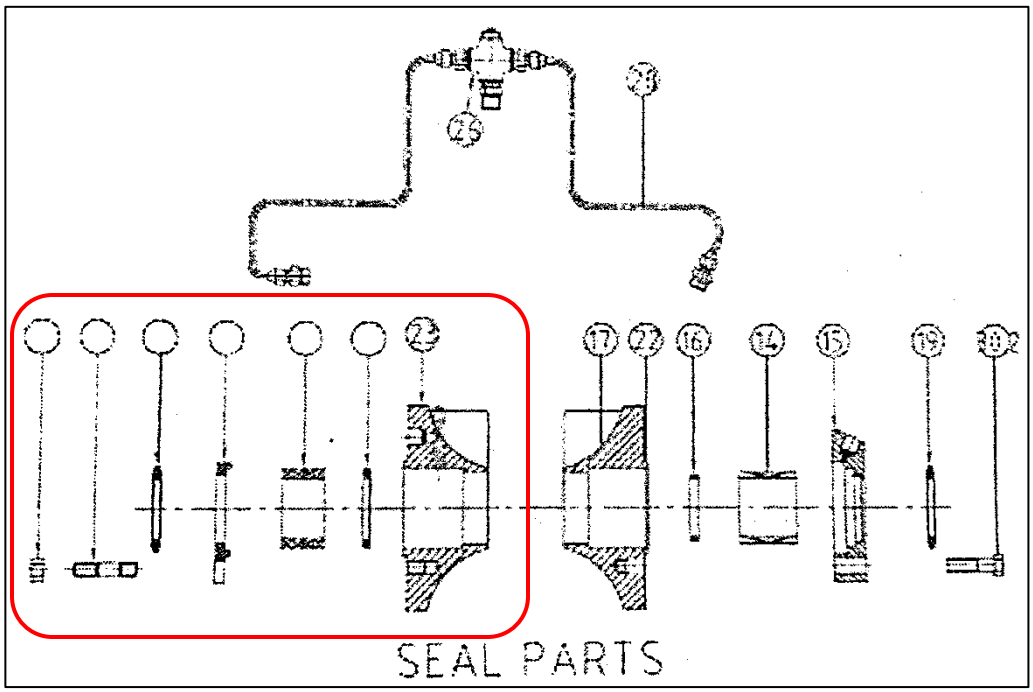

Ilustración 21: Despiece componentes del sello bomba EUROFLO ESC.

De acuerdo con la información presentada en los planos seccional y de despiece presentados previamente, en la Tabla 2-6 se presenta la información y especificación de los componentes principales que conforman la bomba centrifuga EUROFLO ESC-104 (también aplica para el modelo ESC-116 de la sala de impulsión N°4), obtenida tanto del manual de operación y mantenimiento antes mencionado, como desde el sistema de gestión SAP.

Tabla 2-6: Listado piezas bomba EUROFLO 300ESC-104 (116).

N°	Componente	N°	Componente
1	Carcasa Inferior	**18**	Cubos de acoplamiento (Acoplamiento Samiflex A5)
2	Carcasa Superior	**19**	Goma deflectora (No se usa actualmente)
3	Eje	**20**	O – ring de eje y camisa
4	Impulsor	**21**	Pasador y buje de acoplamiento (no aplica)
5	Anillo Desgaste Carcasa	**22**	Anillo partido prensaestopas
6	Caja de Rodamientos Lado Machón - Acoplamiento	**23**	O – ring de cámara de sello
7	Tapa Caja de Rodamientos Lados Libre / Machón	**24**	O – ring de impulsor y camisa
8	Rodamiento radial de una hilera bolas ranura profunda lado machón (Se usa un rodamiento y un espaciador de rodamiento)	**25**	Sello aceite
9	Caja de rodamientos Lado Libre	**26**	Cruce (No se utiliza por falta de línea agua sello)
10	Rodamiento radial de una hilera bolas ranura profunda lado libre	**27**	Tapón (No se utiliza por falta de línea agua sello)
11	Anillo circular externo (Actualmente no se usa)	**28**	Tubería de lavado (agua de sello) (No se utiliza por falta de línea agua sello)
12	Tuerca bloqueo rodamientos lado machón (acoplamiento)	**29**	Anillo linterna
13	Camisa del eje	**30**	Empaquetaduras
14	Sello mecánico (no aplica)	**31**	Anillo linterna exterior
15	Pasador	**32**	Collarín Prensaestopas
16	Anillo / Buje espaciador	**33**	Camisa de sello (empaquetado)
17	Cámara de sello	**34**	Plato del sello (No aplica)

2.5. BOMBA ENSIVAL 70DDS300 (SALA 3)

La información referente a los componentes de la bomba y la disposición de estos en el armado general de la bomba se obtiene en base a la información recolectada de manuales de operación del equipo y planos seccionados disponibles en la planta.

La Ilustración 22, presenta los componentes principales de la bomba centrifuga que operan en la sala de impulsión N°3.

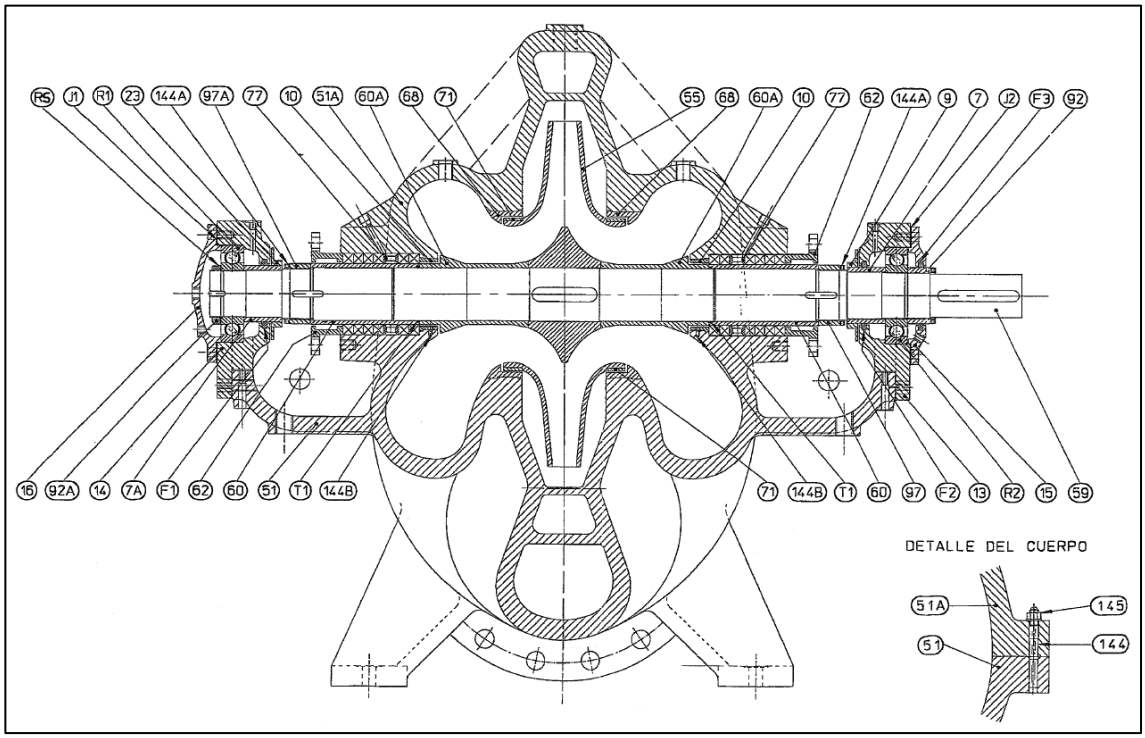

Ilustración 22: Plano seccional bomba ENSIVAL 70DDS300. Fuente: Documento disponible en área mantenimiento mecánico RAG.

De acuerdo con la información presentada en los planos seccional y de despiece presentados previamente, en la Tabla 2-7, se presenta la información y especificación de los componentes principales que conforman la bomba centrifuga ENSIVAL 70DDS300, obtenida tanto del manual de operación y mantenimiento antes mencionado, como desde el sistema de gestión SAP.

Tabla 2-7: Listado piezas bomba ENSIVAL 70DDS300.

N°	Componente	N°	Componente	N°	Componente
7	Anillo Retención Rodamientos Lado Machón (Acoplamiento) / Separador Rodamiento Lado Machón	**60**	Camisa (Cilíndrica) del Eje	**145**	Tuerca Unión Carcasa Superior – Inferior
7-A	Anillo Retención Rodamientos Lado Libre / Separador Rodamiento Lado Libre	**60-A**	Camisa (Cónica) Eje Intermedia	**146**	Tapón Sobre Codo de Descarga (no se muestra en plano)
9	Deflector Lado Machón / Disco Protección Lado Acoplamiento / Tapa Lado Machón	**62**	Collarín Prensaestopas / Prensaestopas / Gland.	**R1**	Rodamiento Rígido de una Hilera de Bolas SKF 6321C3 Lado Libre
10	Manguito de Fondo / Soporte Empaquetadura	**68**	Anillo Desgaste Carcasa	**R2**	Rodamiento Rígido de una Hilera de Bolas SKF 6321C3 Lado Machón
13	Caja Rodamientos Lado Machón (acoplamiento)	**71**	Anillo Desgaste Impulsor	**Rs**	Arandela de Seguridad / Fijación
14	Caja Rodamientos Lado Libre	**77**	Anillo Linterna / Linterna de Inyección	**F1**	Sello Grasa de Caja Rodamientos Lado Libre
15	Tapa Caja Rodamientos Abierta (Lado Machón o Acoplamiento)	**92**	Tuerca Fijación Rodamiento Lado Machón (Acoplamiento)	**F2**	Sello Grasa de Caja Rodamientos Lado Machón
16	Tapa Caja Rodamientos Ciega (Lado Libre)	**92-A**	Tuerca Fijación Rodamiento Lado Libre	**F3**	Sello Grasa Tapa Caja Rodamientos Abierta / Lado Machón
23	Deflector Lado Libre / Disco Protección Lado Libre / Tapa Lado Libre	**97**	Tuerca Fijación Camisa Lado Machón o Acoplamiento / Tuerca Impulsor Lado Machón	**T1**	O ‘Ring Camisa Eje – Camisa Cónica
51	Carcasa inferior	**97-A**	Tuerca Fijación Camisa Lado Libre / Tuerca Impulsor Lado Libre	**T2**	O ‘Ring sobre Tapón
51-A	Carcasa superior	**144**	Esparrago Unión Carcasa Superior – Inferior	**J1**	Junta Empaquetadura entre Tapa Caja y Caja Rodamientos Lado Libre
55	Impulsor / Rodete	**144-A**	Tornillo de la Tuerca Fijación Camisa Lado Libre / Machón	**J2**	Junta Empaquetadura entre Tapa Caja y Caja Rodamientos Lado Machón
59	Eje	**144-B**	Tornillo del Manguito de Fondo / Soporte Empaquetadura		

2.6. BOMBA WORTHINGTON GEAREX D1 (ALIMENTACIÓN FLOCULANTE ESPESADORES R-2 a R-9)

La escasa información respecto a este equipo requirió la solicitud de datos de operación y/o mantenimiento de estas bombas con personal de TECFLUID. La Ilustración 23 el plano seccional que presenta los componentes principales de la bomba de engranajes helicoidales que operan en la sala de dosificación de floculantes para los espesadores R-2 a R-9, esta se obtuvo a partir de un conjunto de planos disponibles en el área de mantenimiento mecánico de la zona de espesamiento y recirculación.

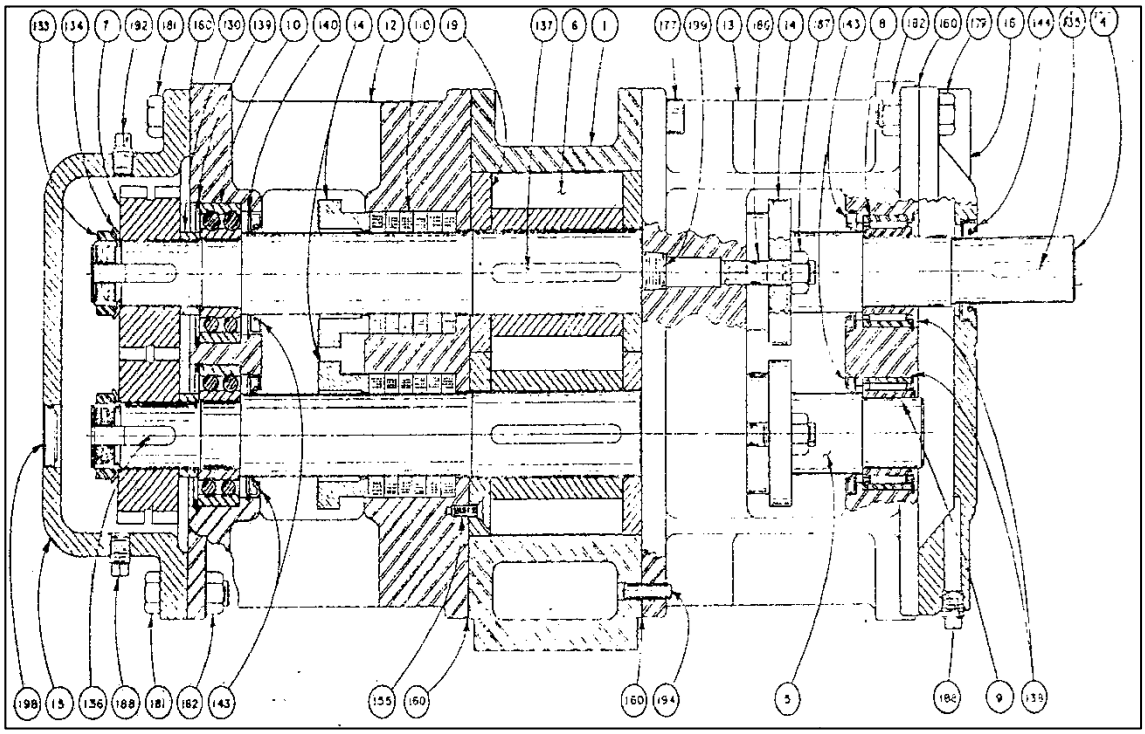

Ilustración 23: Plano seccional bomba WORTHINGTON GEAREX D1. Fuente: Documento disponible en área mantenimiento mecánico RAG.

A partir de la información obtenida en el plano seccionado de la bomba, y en mayor medida del manual de operación y mantenimiento del equipo, se puede confeccionar el listado de piezas asociadas a la bomba de engranajes helicoidales, el cual se presenta en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8: Listado piezas bomba WORTHINGTON GEAREX D1.

N°	Componente	N°	Componente
1	Cuerpo	**140**	Anillo de Presión / Retención – Soporte Trasero /

			Posterior
4	Eje Motriz	**143**	Sello del Soporte Frontal y Posterior
5	Eje Conducido	**144**	Sello Consola Frontal
6	Engranaje Rodete	**155**	Tornillo del Espaciador de Rotor (usado con ítem 19 solo en bombas construidas en acero inoxidable)
7	Engranajes de Distribución	**160**	Juntas (Empaquetaduras Planas)
8	Rodamiento Aguja	**170**	Placa Identificación (No se muestra en plano)
9	Aro Interno del Rodamiento	**171**	Flecha Sentido de Giro (No se muestra en plano)
10	Rodamiento de Bolas	**172**	Placa Identificación Descarga (No se muestra en plano)
12	Soporte Trasero / Posterior	**173**	Pernos Placa Identificación (No se muestra en plano)
13	Soporte Frontal	**177**	Pernos Cuerpo – Soporte
14	Collarín Prensaestopas / Gland	**179**	Pernos Soporte – Consola Frontal
15	Consola Trasera / Posterior	**181**	Pernos Soporte – Consola Posterior
16	Consola Frontal	**182**	Tuercas Soporte – Consolas
19	Espaciador del Rotor (cuando Rotor no es de ancho completo)	**186**	Esparrago del Collarín Prensaestopas
110	Empaquetadura	**187**	Tuerca del Esparrago del Collarín Prensaestopas
130	Anillo Espaciador Rodamiento Bola – Engranaje Distribución	**188**	Tapón / Conexión / Clavija
133	Tuerca de Bloqueo del Engranaje de Distribución	**192**	Tapón / Tubo / Respiradero
134	Arandela de Seguridad / Fijación del Engranaje de Distribución	**193**	Tubería Conexión (No se muestra en plano)
135	Chaveta del Acoplamiento	**194**	Pasador Soporte – Cuerpo
136	Chaveta del Engranaje de Distribución	**197**	Pasador Soporte – Consola Frontal
137	Chaveta del Rotor	**198**	Indicador Nivel Aceite
138	Anillo de Presión / Retención – Soporte Frontal	**199**	Enchufe
139	Anillo de Presión / Retención – Soporte Trasero / Posterior		

2.7. BOMBA MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E (ALIMENTACIÓN FLOCULANTE R-10)

La escasa información respecto a este equipo requirió la solicitud de datos de operación y/o mantenimiento de estas bombas con personal de TECFLUID, donde incluían planos de despiece del equipo, el que se muestra en las Ilustración 24 e Ilustración 25.

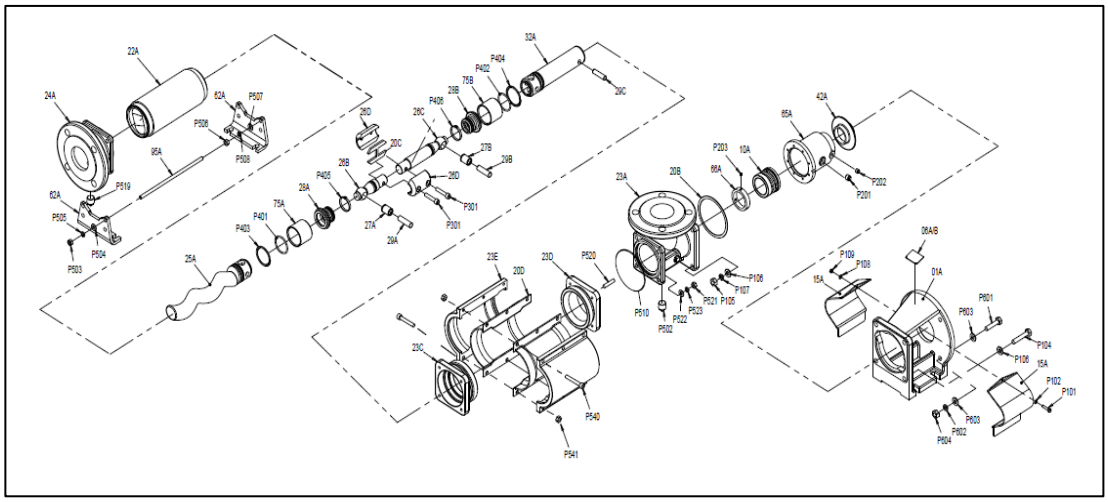

Ilustración 24: Plano despiece bomba MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E.

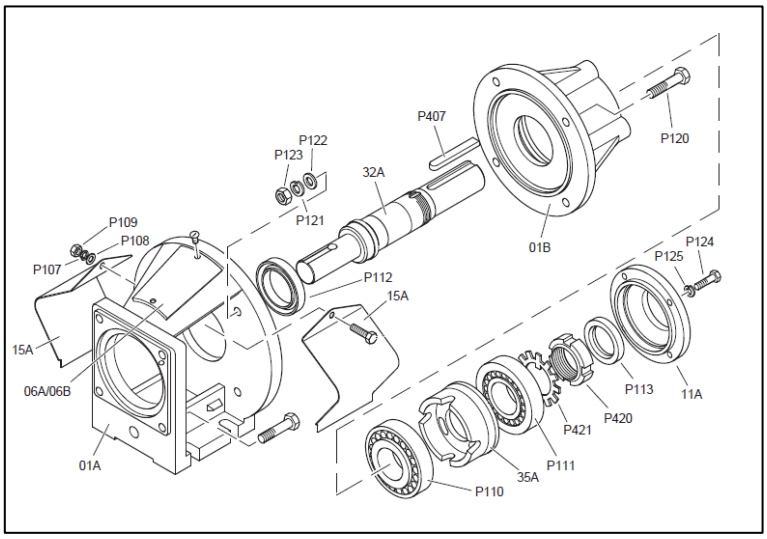

Ilustración 25: Alojamiento rodamientos bomba MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E.

A partir de la información obtenida en el manual de operación y mantenimiento del equipo, se puede confeccionar el listado de piezas asociadas a la bomba de tornillo excéntrico, el cual se presenta en la Tabla 2-9.

Tabla 2-9: Listado piezas Bomba MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E.

N°	Componente	N°	Componente	N°	Componente
01 A	Cuerpo	**P104**	Perno Cabeza Hexagonal	**P508**	Arandela Elástica
01 B	Alojamiento rodamientos	**P105**	Tuerca Hexagonal	**P510**	Anillo de Sellado
10 A	Sello Mecánico	**P106**	Arandela Plana	**P519**	Tapón Cónico
11 A	Tapa alojamiento rodamientos	**P107**	Arandela Elástica	**P520**	Esparrago
15 A	Guarda Lanzadera	**P109**	Tuerca Hexagonal	**P521**	Tuerca Hexagonal
20 B	Junta – Prensaestopas	**P110**	Rodamiento Lado Rotor	**P522**	Arandela Plana
20 C	Manguito – Junta	**P111**	Rodamiento Lado Acoplamiento	**P523**	Arandela Elástica
20 D	Junta Cámara de Succión	**P112**	Sello labio	**P540**	Tornillo de Cabeza Hueca
22 A	Estator	**P113**	Sello aceite	**P541**	Tuerca Hexagonal
23 A	Brida Cámara de Succión	**P120**	Perno cabeza Hexagonal unión alojamiento rodamiento - cuerpo	**P601**	Perno Cabeza Hexagonal
23 C	Ext Cámara Succión (Lado Estator)	**P121 (P602)**	Arandela Elástica	**P602**	Arandela Elástica
23 D	Ext Pieza Ext Cámara Succión (Lado Propulsor)	**P122 (P603)**	Arandela Plana	**P603**	Arandela Plana
24 A	Tapa Externa	**P123 (P604)**	Tuerca Hexagonal	**P604**	Tuerca Hexagonal
23 E	Mitades Cámara Succión	**P125**	Arandela Elástica		
25 A	Rotor	**P124**	Tuerca Hexagonal		
26 B	Barra Acoplamiento Dividida (Lado Rotor)	**P201**	Tapón Cónico		
26 C	Barra Acoplamiento Dividida (Lado Eje)	**P202**	Tapón Cónico		
26 D	Conjunto Mitades Manguito	**P203**	Tornillo sin Cabeza de Anillo Empalme		
27 A	Barra Acoplamiento	**P301**	Tornillo de Cabeza Hueca		
27 B	Barra Acoplamiento	**P401**	Anillo de Sellado		
28 A	Tapa Sellado	**P402**	Anillo de Sellado		
28 B	Tapa Sellado	**P403**	Anillo de Retención Espiral		
29 A	Pasador Barra Acoplamiento	**P404**	Anillo de Retención Espiral		
29 B	Pasador Barra Acoplamiento	**P405**	Tapa de Sellado de Tirante		

29 C	Pasador del Eje	**P406**	Tapa de Sellado de Tirante
32 A	Eje Propulsor	**P407**	Chavetero acople
35 A	Camisa Espaciadora	**P420**	Tuerca fijación rodamiento
42 A	Lanzadera	**P421**	Arandela fijación rodamiento
62 A	Pie (Base) de Apoyo	**P502**	Tapón Cónico
65 A	Alojamiento Sello Mecánico	**P503**	Tuerca Hexagonal
66 A	Anillo de Empalme	**P504**	Buje de Arandela Plana
75 A	Manguito Rotor / Eje	**P505**	Buje de Arandela Elástica
75 B	Manguito Rotor / Eje	**P506**	Tuerca Hexagonal
95 A	Varilla de Unión	**P507**	Arandela Plana

2.8. CONTEXTO OPERACIONAL

La unidad de Espesamiento y Recirculación cumple la función de recuperar la máxima cantidad de agua provenientes de los relaves que se originan en los procesos productivos por medio de los espesadores junto con hacer recircular de este recurso hacia los procesos de Concentrado (Unidad Proceso Molienda Convencional, Unidad Proceso Molienda y Flotación SAG, Unidad Proceso Molibdeno y Reactivos), o hasta los estanques de almacenamiento de agua para proceso (Estanque Cabeza Convencional, Africano, Arios N° 2 y 3). En la Ilustración 26 se presenta un diagrama funcional del proceso de recirculación de agua recuperada desde los espesadores hacia proceso productivo o hacia estanques acumuladores de agua recuperadas, dependiendo del caso.

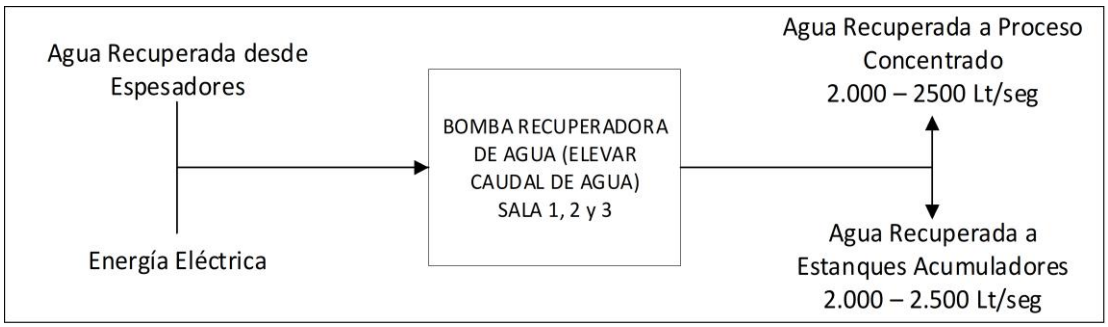

Ilustración 26: Diagrama Funcional Bombas Recuperadoras de Agua.

También se debe considerar el proceso llevado a cabo en la sala de floculantes. Esta es la sala donde se encuentran las bombas encargadas de abastecer floculante a los espesadores, con un caudal que fluctúa entre los rangos de 6 a 50 Lt/min, dependiendo de la cantidad de carga (relave) que este entrando a la alimentación de cada espesador.

Del mismo modo que para el proceso de recirculación, en la Ilustración 27 se presenta el diagrama funcional para el proceso de dosificación de floculante a proceso Espesamiento. Cabe señalar que los datos establecidos en ambos diagramas se obtuvieron de la ficha de proceso de la Unidad de Espesamiento y Recirculación.

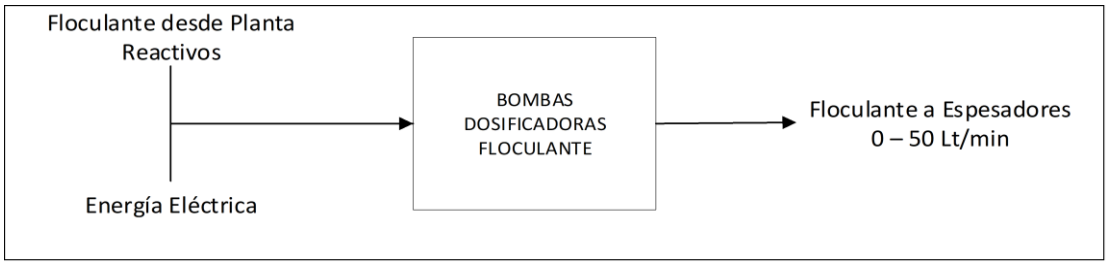

Ilustración 27: Diagrama Funcional Bombas Dosificadoras de Floculante.

Como unidades de producción en la unidad espesamiento y recirculación se deben considerar los caudales de agua recuperada, el flujo de agua fresca utilizada que se traduce en la capacidad de las bombas de entregar suficiente suministro de agua recuperada al proceso productivo.

Las toneladas diarias procesadas, por las plantas antes mencionadas, junto con el consumo de agua fresca requerida para llevar a cabo los procesos productivos (molienda y flotación) principalmente, se relacionan por medio del indicador denominado "Make Up" (1), clave en el proceso de recirculación.

$$\text{Make Up} = \frac{Consumo\ Agua\ Fresca}{Tonelada\ Mineral\ Procesado}\left[{m^3}/{ton}\right] \quad (1)$$

Estos valores, para el periodo Septiembre 2016 – Septiembre 2017, se presentan en la Tabla 2-10, obtenida de los informes de Consumo Especifico de Aguas y Balance de Aguas, disponibles vía sistema "PI Process".

Tabla 2-10: Tratamiento Total Proceso Concentrado y Consumo Agua Fresca Septiembre 2016 - Septiembre 2017.

(Sept-16/Sept-17)	Tratamiento Total	Agua Recirculada	Total Agua Fresca Usada		Consumo Agua Plantas	Make - Up
Promedio Mensual	**t/d**	**l/s**	**l/s**	**m^3/d**	**l/s**	**m^3/ton**
sept-16	*146.385,900*	2.208,666	1.420,313	*122.715,045*	3.628,979	0,838
oct-16	*144.792,758*	2.219,400	1.265,622	*109.349,778*	3.485,022	0,755
nov-16	*144.871,158*	2.028,960	1.290,177	*111.471,280*	3.319,137	0,769
dic-16	*129.809,316*	2.264,943	1.184,360	*102.328,671*	3.449,302	0,788
ene-17	*121.510,265*	2.055,093	1.083,427	*93.608,090*	3.138,520	0,770
feb-17	*146.055,468*	2.659,780	1.186,282	*102.494,783*	3.846,062	0,702
mar-17	*130.414,548*	2.297,154	1.107,383	*95.677,904*	3.404,537	0,734
abr-17	*133.011,000*	2.328,783	1.125,042	*97.203,663*	3.453,825	0,731
may-17	*129.171,103*	2.253,889	1.186,247	*102.491,701*	3.440,135	0,793
jun-17	*143.203,323*	2.328,885	1.215,145	*104.988,526*	3.544,030	0,733
jul-17	*143.483,935*	1.966,949	1.226,003	*105.926,664*	3.192,952	0,738
ago-17	*150.276,301*	2.180,774	1.373,104	*118.636,212*	3.553,879	0,789
sept-17	*150.767,351*	2.278,614	1.489,093	*128.657,651*	3.767,708	0,853
PROMEDIO TOTAL	***139.519,417***	**2.236,299**	**1.242,477**	***107.349,998***	**3.478,776**	**0,769**

Con estos valores, se establece en la Ilustración 28, una relación grafica que muestra la relación entre la producción generada y el flujo de agua recuperada suministrada, destacando la incidencia de los aportes de los tipos de agua al proceso (recuperada y fresca).

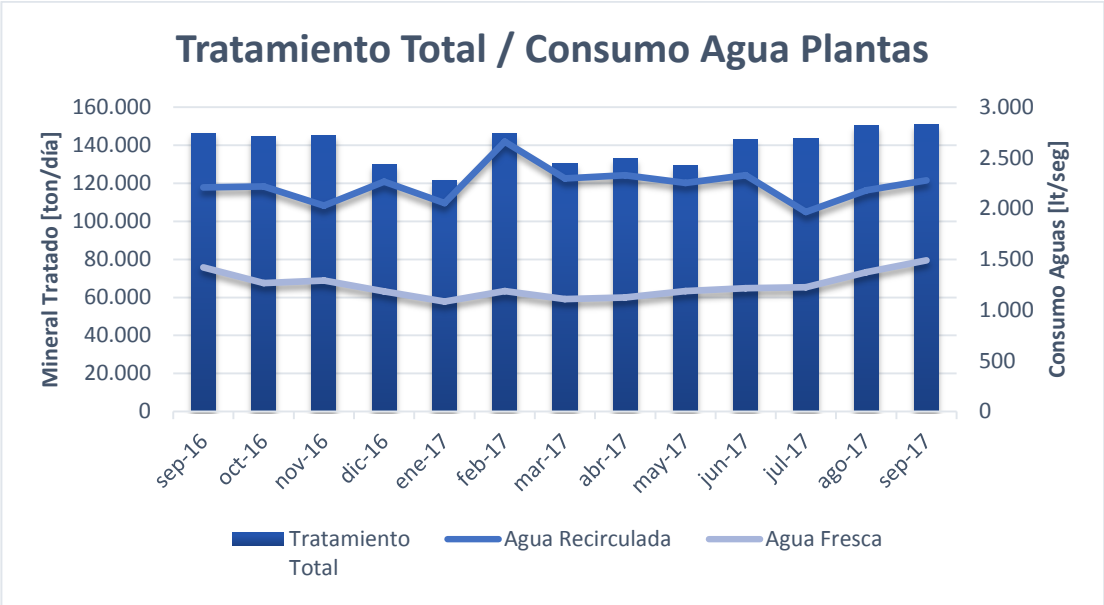

Ilustración 28: Mineral Tratado [ton/día] y Consumo de Aguas [lt/seg]. Septiembre 2016 - Septiembre 2017.

En la Ilustración 29 se muestra la influencia del aporte de agua recuperada al aporte total de agua para el proceso. Esto finalmente queda señalado de manera porcentual en la Ilustración 30. Estos gráficos y tablas establecen la importancia del suministro de agua recuperada al proceso productivo que se lleva a cabo.

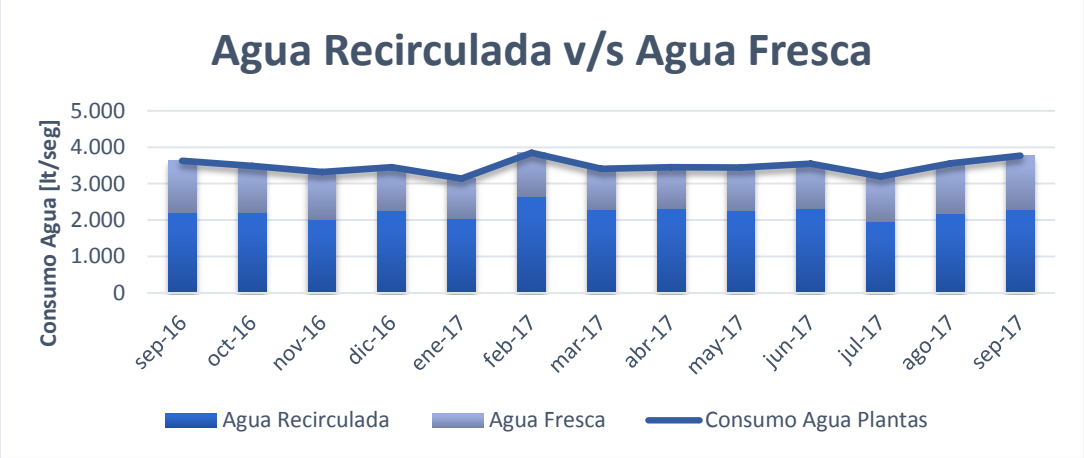

Ilustración 29: Aporte de agua fresca y agua recirculada al consumo total de agua.

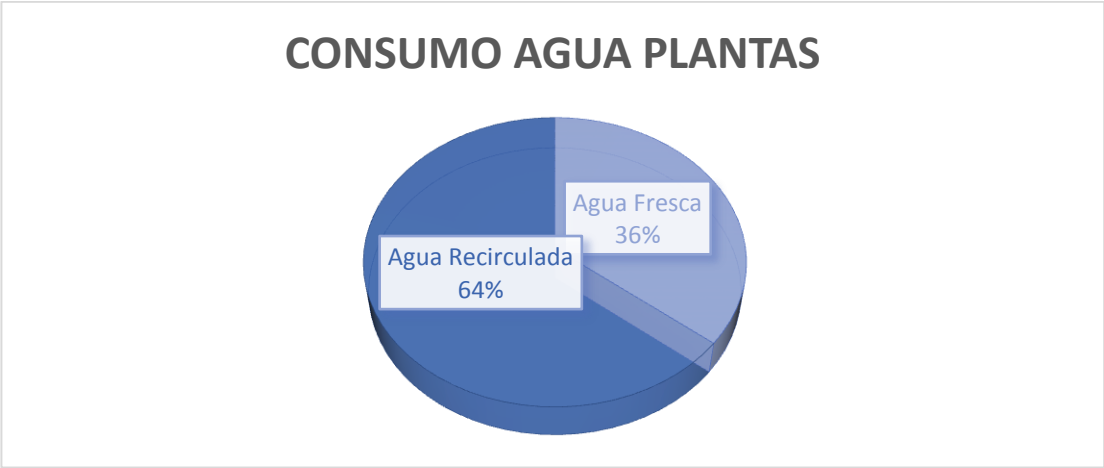

Ilustración 30: Procedencia agua consumida en planta concentradora.

De acuerdo con los valores del indicador "Make-Up" mensuales mostrados en la Tabla 2-10, junto con los parámetros establecidos en la ficha del proceso de la Unidad Espesamiento y Recirculación, presentados en la Tabla 2-11, se crea el grafico de la Ilustración 31, el que muestra el desempeño de la unidad de recuperación junto en función de los limites superior e inferior para el indicador antes mencionados, lo que evidencia un consumo de agua fresca por tonelada procesada en cumplimento con lo requerido en la ficha del proceso.

Tabla 2-11: Indicadores "Make Up".

Indicadores "Make Up"		
Límite Inferior	Promedio Anual Esperado	Límite Superior
0,70	0,75	0,90

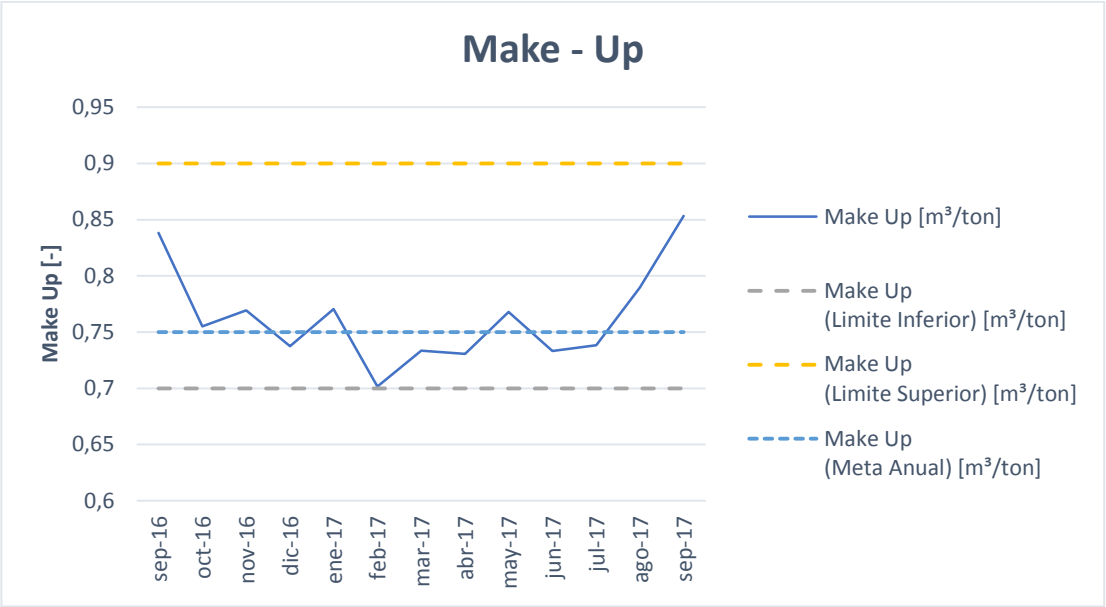

Ilustración 31: Make Up Septiembre 2016 - Septiembre 2017.

Para poder comparar de manera consistente la eficiencia de las empresas y su gestión se utiliza un indicador de eficacia que permita determinar el desempeño y los resultados de las determinaciones adoptadas para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Es por eso por lo que uno de los indicadores más relevantes corresponde a la tasa de recirculación. La tasa o porcentaje de recirculación (2) se obtiene dividiendo la cantidad total de agua recirculada por el total de agua utilizada en el proceso incluyendo la recirculación y el flujo neto de las reservas de agua.[4]

$$\text{Tasa Recirculación } (\%) = \frac{Consumo\ Agua\ (Total) - \ Agua\ (Fresca)}{Consumo\ Agua\ (Total)} \cdot 100 \ (2)$$

En el caso de la concentradora la recuperación de las aguas debe ser maximizada para minimizar el consumo de aguas continentales y disminuir la cantidad de descarga. Al ser un proceso muy intensivo en el uso del recurso, sobre todo por el proceso de flotación, es deseable reutilizar la mayor cantidad de agua posible. En la Tabla 2-12 se muestran los valores de la tasa de recirculación obtenidos en la planta para el periodo Septiembre 2016 – Septiembre 2017.

[4] (Comisión Chilena del Cobre, 2018)

Tabla 2-12: Tasa de recirculación aguas recuperadas.

Periodo	Consumo Agua Plantas [l/s]	Agua Fresca [l/s]	Agua Recirculada [l/s]	Tasa Recirculación [%]
sept-16	3,628.979	1,420.313	2,208.666	60.86%
oct-16	3,485.022	1,265.622	2,219.400	63.68%
nov-16	3,319.137	1,290.177	2,028.960	61.13%
dic-16	3,449.302	1,184.360	2,264.943	65.66%
ene-17	3,138.520	1,083.427	2,055.093	65.48%
feb-17	3,846.062	1,186.282	2,659.780	69.16%
mar-17	3,404.537	1,107.383	2,297.154	67.47%
abr-17	3,453.825	1,125.042	2,328.783	67.43%
may-17	3,440.135	1,186.247	2,253.889	65.52%
jun-17	3,544.030	1,215.145	2,328.885	65.71%
jul-17	3,192.952	1,226.003	1,966.949	61.60%
ago-17	3,553.879	1,373.104	2,180.774	61.36%
sept-17	3,767.708	1,489.093	2,278.614	60.48%
Total	**3,478.776**	**1,242.477**	**2,236.299**	**64.27%**

Según el informe "Consumo de agua en la minería del cobre al 2017" de COCHILCO, A nivel nacional la tasa de recirculación en las plantas concentradoras al año 2016 es de un 71% y un 75.7% para el año 2017 (ver Ilustración 32).

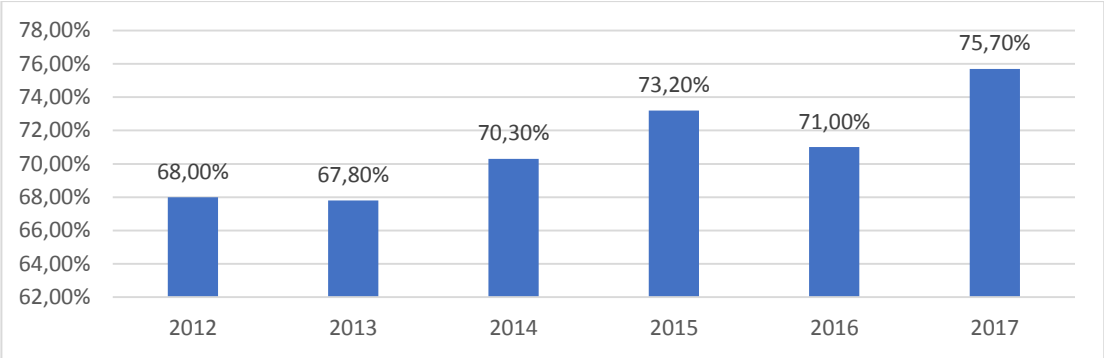

Ilustración 32: Tendencia en tasa de recirculación en concentradora de la minería del cobre 2012 - 2017.

A la vez, este informe muestra los índices de recirculación de agua en concentradora en el periodo 2009 y 2017 para la Región de O'Higgins, en lo que se refiere al flujo de agua recirculada en concentradora, como la tasa de recirculación en la

concentradora, esto se presenta en la Tabla 2-13, donde se aprecia que el valor de la tasa de recirculación en concentradora es muy cercano al valor obtenido con los datos obtenidos en la planta:

Tabla 2-13: Flujo y Tasa de recirculación de agua en concentradora, Región de O'Higgins, periodo 2009 - 2017.

Recirculación de agua en concentradora en la Región de O'Higgins									
Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Agua Recirculada en concentradora [Lts/seg]	1.209	3.058	3.244	2.493	2.515	2.547	3.315	3.569	3.566
Tasa de recirculación concentradora [%]	46,3%	67,0%	69,4%	64,2%	65,7%	67,0%	65,6%	65,5%	64,3%

Se representa gráficamente en la Ilustración 33, los valores obtenidos para la tasa de recirculación en concentradora para el periodo Septiembre 2016 – Septiembre 2017, a partir de los datos obtenidos en la planta, en este, se evidencia que existe un aumento de la recirculación en los meses pertenecientes en su mayoría al periodo estival, eso probablemente ante la disminución en el agua fresca debido a las temperaturas y su efecto en los deshielos cordilleranos, lo que genera la necesidad de suministrar más agua recuperada para satisfacer las demandas de proceso.

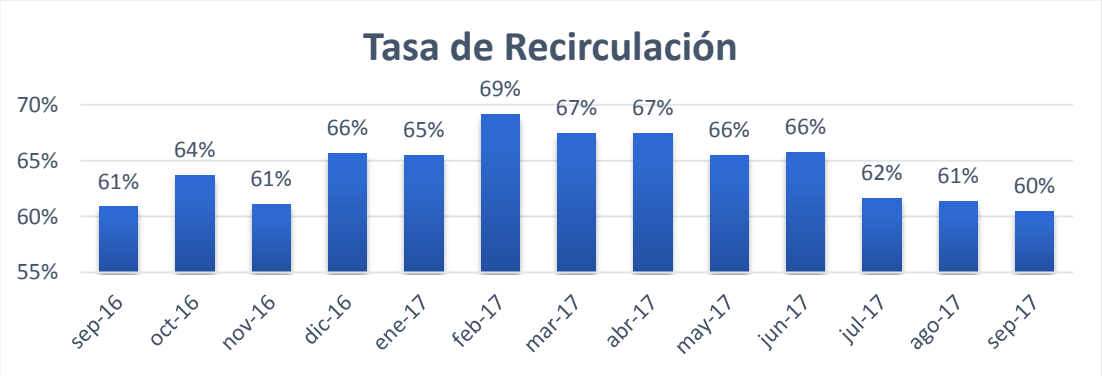

Ilustración 33: Tasa de Recirculación Concentradora (%) Septiembre 2016 - Septiembre 2017.

Además, como concepto básico en la hidráulica de Relaves, Los relaves son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas, formando una pulpa. La razón entre el

peso de los sólidos incluidos en la pulpa y el peso de la pulpa total se conoce como la concentración de sólidos en peso, o comúnmente conocido como porcentaje de solidos (3)[5]:

$$C_p(\%\,Solidos) = \frac{Peso\ o\ Flujo\ Masico\ de\ Solidos}{Peso\ o\ Flujo\ Masico\ de\ Pulpa} \cdot 100\ [-]\ (3)$$

Este indicador entrega la distribución del peso total de la pulpa entre peso del sólido y el peso del agua. También es un índice considerado para evaluar el desempeño del proceso de recuperación o recirculación de agua, el cual establece una relación proporcional entre el porcentaje de sólidos y la tasa de recuperación o recirculación del agua. A continuación, se presenta en la Tabla 2-14 los valores mensuales promedios de los porcentajes de solidos contenidos tanto en la alimentación y la descarga de los espesadores de relaves disponibles vía sistema "PI-Process", para el periodo Septiembre 2017 – Septiembre 2017.

Tabla 2-14: Promedio mensual porcentaje de solidos alimentación y descarga en espesadores de relaves.

Periodo	Solido Alimentación [%]	Solido Descarga [%]
sept-16	31.85%	51.45%
oct-16	31.73%	54.12%
nov-16	32.50%	53.41%
dic-16	32.11%	49.77%
ene-17	30.17%	51.57%
feb-17	30.29%	55.60%
mar-17	31.38%	52.94%
abr-17	32.17%	54.50%
may-17	25.77%	51.54%
jun-17	31.70%	54.80%
jul-17	31.18%	54.62%
ago-17	27.52%	53.10%
sept-17	31.54%	51.34%
Total	**30.76%**	**52.98%**

[5] (Cerda Bernal, Iván (Sonami))

Los valores obtenidos en la tabla anterior se presentan de modo gráfico en la Ilustración 34, adjuntando la información operacional sobre los limites superiores e inferiores de porcentaje de solido admisibles para la alimentación (30% y 33% respectivamente), como para la descarga (54% y 58% respectivamente) del proceso de espesamiento de relaves, estos valores forman parte de las especificaciones de entrada y salida de la ficha de proceso de la Unidad Espesamiento y Recirculación.

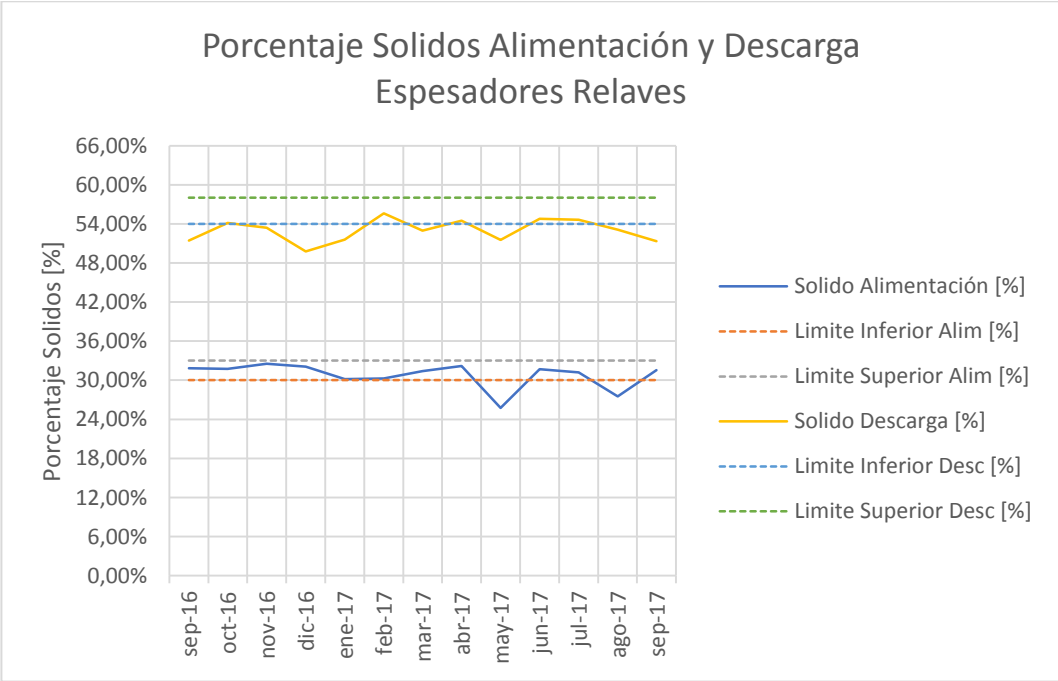

Ilustración 34: Porcentaje de sólidos en zonas límites del proceso de espesamiento de relaves.

Para más información respecto, revisar planilla Excel titulada “Consumo Especifico y “Make Up” Aguas Septiembre 2016 - Septiembre 2017” incluida en el material digital entregable.

3. RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES Y PRINCIPALES CAUSAS DE FALLA

Para realizar la recopilación de antecedentes respecto a las principales causas de fallas en los equipos de impulsión de aguas recuperadas, se recurrió como fuente de información a los datos extraídos desde el libro de bloqueo de equipos de la unidad espesamiento y recirculación, y de los reportes mensuales de disponibilidad generado en el área mantenimiento mecánico RAG (espesamiento y recirculación). Junto a esto, se realiza un levantamiento de los modos de falla y causas de falla en los equipos de bombeo estudiados en este trabajo (bombas centrifugas succión simple y doble y bombas de desplazamiento positivo). A partir de estas fuentes se genera una planilla de fallas (para más información se recomienda revisar planillas Excel "AMEF", "Disponibilidad SEPT2016 - SEPT2017" y "CAUSAS Y PROPUESTAS SALAS RAG", adjunta en material digital entregable), la cual abarca el periodo en estudio (01/09/16 – 29/09/17). En ella se establece el equipo involucrado, duración de la detención en horas, breve descripción del evento indicada en el libro de bloqueos y/o informe mensual de disponibilidad, componente involucrado, síntoma presentado, modo de falla, causa de falla entre otros. De este modo es posible determinar los componentes "críticos" que están involucrados en la mayoría de los eventos de detención de equipos, esto en términos de frecuencia de ocurrencia y tiempos de detención, para cada sala y a nivel general.

Cabe señalar que las detenciones en cada de una de las salas de impulsión, apoyo y floculante, fueron analizadas en función de la frecuencia de ocurrencia y el tiempo involucrado en cada tipo de detención.

3.1. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°1

Como se mencionó anteriormente se analiza la información adquirida de detenciones de los equipos para obtener los componentes críticos asociados a las detenciones más frecuentes y aquellas que invierten mayor cantidad de tiempo en la reposición de funcionamiento.

3.1.1. SEGÚN FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LAS DETENCIONES

Al analizar los elementos asociados a la mayoría de las detenciones ocurridas en los equipos de la sala N°1, presentadas en la Tabla 3-1, se tiene que los eventos con falta de información o de calidad defectuosa son las más frecuentes, ante esto, se decide hacer una ponderación de estos eventos a modo de distribuirlos entre los componentes identificados en las detenciones, hay que enfatizar que este procedimiento se llevó a cabo para efectuar el análisis completo de componentes frecuentemente involucrados en detenciones en todas las salas analizadas en este trabajo en donde se presentó este inconveniente.

Tabla 3-1: Lista N° Detenciones Sala N°1 RAG Periodo 2016 – 2017.

Componente	#	%(#)
-	12	21.05%
IMPULSOR	7	12.28%
MOTOR ELÉCTRICO	5	8.77%
RODAMIENTO	4	7.02%
VÁLVULA CHECK	4	7.02%
BASE BOMBA	4	7.02%
EMPAQUETADURA	3	5.26%
EJE	3	5.26%
CAÑERÍA	3	5.26%

El resultado de esta ponderación se presenta en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	#'	%'(#)	Diferencia
IMPULSOR	2	9	15.56%	3.27%
MOTOR ELÉCTRICO	1	6	11.11%	2.34%
RODAMIENTO	1	5	8.89%	1.87%
VÁLVULA CHECK	1	5	8.89%	1.87%
BASE ESTRUCTURAL	1	5	8.89%	1.87%
EMPAQUETADURA	1	4	6.67%	1.40%
EJE	1	4	6.67%	1.40%
CAÑERÍA	1	4	6.67%	1.40%
CONTROL ELÉCTRICO	1	4	6.67%	1.40%
CARCASA	1	3	4.44%	0.94%
CAMISA	1	3	4.44%	0.94%
ANILLO/PLATO DESGASTE	1	3	4.44%	0.94%
VÁLVULA COMPUERTA	0	1	2.22%	0.47%
VÁLVULA GUILLOTINA	0	1	2.22%	0.47%
ARRANCADOR	0	1	2.22%	0.47%
Total	**12**	**57**	**100.00%**	**21.05%**

A partir de estos datos, es posible realizar una clasificación de componentes “críticos” en el sentido de la incidencia en los eventos de detención de los equipos. Al ser esta una etapa de inicio del análisis de averías, y específicamente la determinación de las causas, utilizaremos una herramienta recomendada para esta fase como lo es el diagrama de Pareto. La Ilustración 35 presenta el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas centrifugas más vinculados a la cantidad de detenciones ocurridas en la sala de impulsión N°1 para el periodo evaluado.

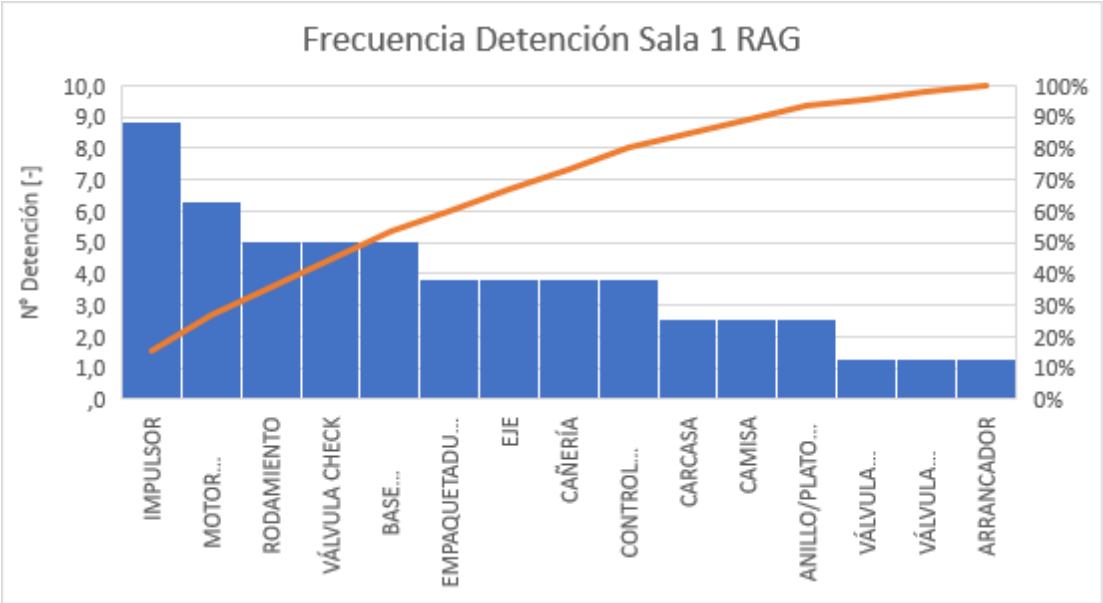

Ilustración 35: Grafico Pareto N° Detenciones Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.1.2. SEGÚN DURACIÓN DE LA DETENCIÓN

En términos de duración de detención de los equipos, los elementos asociados con mayores tiempos de detención están relacionados con las reparaciones en la base estructural de la bomba, el plato de desgaste, y la carcasa de la bomba centrifuga. Esto tiene cierta explicación con los tiempos invertidos en desacoplado de bomba, retiro de pernos base, retiro de bomba o desarme de esta junto con el retiro de componentes (plato desgaste) y a los tiempos de reparación de la base de la bomba. Esto se presenta en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Lista Tiempos Detención Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Tiempo (Hrs)	%(Tiempo)
BASE ESTRUCTURAL	818.00	25.93%
-	477.58	15.14%
ANILLO/PLATO DESGASTE	404.00	12.81%
CARCASA	280.00	8.88%
MOTOR ELÉCTRICO	272.75	8.65%
IMPULSOR	263.25	8.34%

Al igual que en el análisis en función de las frecuencias de ocurrencia de los eventos, se hace una ponderación de los datos sin información de falla o componente asociado o información incompleta. Los resultados se presentan en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	Tiempo' (Horas)	%'(Tiempo)	Diferencia
BASE ESTRUCTURAL	145.92	963.92	30.55%	4.63%
ANILLO/PLATO DESGASTE	72.07	476.07	15.09%	2.28%
CARCASA	49.95	329.95	10.46%	1.58%
MOTOR ELÉCTRICO	48.66	321.41	10.19%	1.54%
IMPULSOR	46.96	310.21	9.83%	1.49%
RODAMIENTO	28.63	189.13	6.00%	0.91%
CAÑERÍA	26.49	174.99	5.55%	0.84%
CAMISA	24.62	162.62	5.15%	0.78%
EJE	14.48	95.65	3.03%	0.46%
VÁLVULA CHECK	13.33	88.08	2.79%	0.42%
CONTROL ELÉCTRICO	2.41	15.95	0.51%	0.08%
EMPAQUETADURA	2.32	15.32	0.49%	0.07%
VÁLVULA COMPUERTA	0.98	6.48	0.21%	0.03%
ARRANCADOR	0.53	3.52	0.11%	0.02%
VÁLVULA GUILLOTINA	0.22	1.47	0.05%	0.01%
Total	**477.58**	**3,154.77**	**100.00%**	**15.14%**

A continuación, se presenta en la Ilustración 36, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas centrifugas con más horas de detención involucradas en las detenciones ocurridas en la sala de impulsión N°1 para el periodo antes señalado.

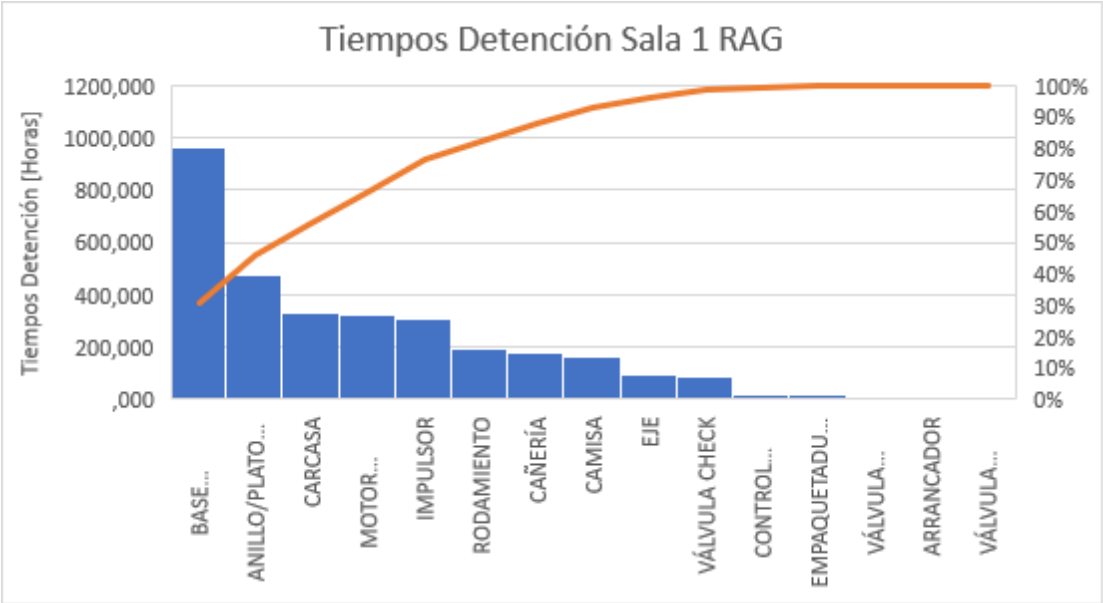

Ilustración 36: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.2. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°2

3.2.1. SEGÚN FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LAS DETENCIONES

Dentro de las componentes con más eventos de detención de equipo, se encuentran el impulsor (cambio / inspección), generalmente debido a bajas de eficiencia de los equipos de impulsión. Les siguen detenciones asociados a empaquetaduras, válvula "check", carcasa, estas generalmente asociadas al contenido de sólidos en el fluido impulsado por los equipos. El componente base (estructural) bomba se repite con frecuencia en las detenciones debido a la calidad deficiente de las bases existentes en la sala de impulsión n°2, lo que ocasionaba daños en los componentes ante la baja capacidad de soporte que ofrecía. Finalmente existen reiteradas fallas asociadas al eje, que involucraban el cambio del conjunto rotórico completo. Estos valores se presentan en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Lista N° Detenciones Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	#	%(#)
IMPULSOR	9	13.43%
EMPAQUETADURA	8	11.94%
VÁLVULA CHECK	8	11.94%
CARCASA	8	11.94%
BASE ESTRUCTURAL	8	11.94%
EJE	7	10.45%

Se realiza la respectiva ponderación de los datos sin información de falla o componente asociado o información incompleta. Los resultados se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	#'	%'(#)	Diferencia
IMPULSOR	0.42	9	14.06%	0.63%
EMPAQUETADURA	0.38	8	12.50%	0.56%
VÁLVULA CHECK	0.38	8	12.50%	0.56%
CARCASA	0.38	8	12.50%	0.56%
BASE ESTRUCTURAL	0.38	8	12.50%	0.56%
EJE	0.33	7	10.94%	0.49%
RODAMIENTO	0.28	6	9.38%	0.42%
MOTOR ELÉCTRICO	0.19	4	6.25%	0.28%
ANILLO/PLATO DESGASTE	0.19	4	6.25%	0.28%
ACOPLAMIENTO	0.05	1	1.56%	0.07%
VÁLVULA GUILLOTINA	0.05	1	1.56%	0.07%
Total	**3**	**67**	**100.00%**	**4.48%**

A continuación, se presenta en la Figura 5 4, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas centrifugas más vinculados a la cantidad de detenciones ocurridas en la sala de impulsión N°2 para el periodo antes señalado.

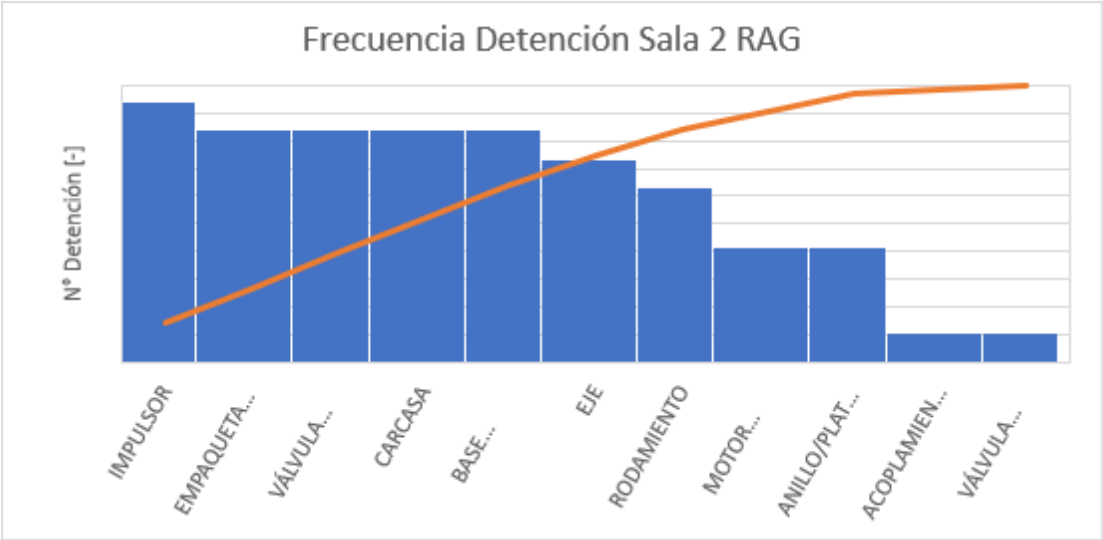

Ilustración 37: Grafico Pareto N° Detenciones Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.2.2. SEGÚN DURACIÓN DE LA DETENCIÓN

En términos de duración de detención de los equipos, los eventos con mayores tiempos de detención están relacionados con las reparaciones en las bases estructurales de las bombas, principalmente a la mejora efectuada sobre estas, debido a disposiciones inadecuadas de las bombas, las que ocasionaban vibraciones excesivas en los equipos. Junto a ello, se tienen fallas generadas en el eje, que involucra una detención completa de equipo, desconexión y apertura de este y desarmado y rearmado del conjunto rotórico, además de eventos de sobrecarga y cambios en motores eléctricos de estos equipos de impulsión. Esto se presenta en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7: Lista Tiempos Detención Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Tiempo (Hrs)	%(Tiempo)
BASE ESTRUCTURAL	540.30	42.41%
EJE	198.30	15.57%
MOTOR ELÉCTRICO	163.75	12.85%

Se realiza la respectiva ponderación de los datos sin información de falla o componente asociado o información incompleta. Los resultados se presentan en la Tabla 3-8.

Tabla 3-8: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	Tiempo' (Horas)	%'(Tiempo)	Diferencia
BASE ESTRUCTURAL	7.53	547.83	43.00%	0.59%
EJE	2.76	201.06	15.78%	0.22%
MOTOR ELÉCTRICO	2.28	166.03	13.03%	0.18%
IMPULSOR	1.93	140.60	11.04%	0.15%
CARCASA	0.97	70.47	5.53%	0.08%
RODAMIENTO	0.73	53.40	4.19%	0.06%
VÁLVULA CHECK	0.54	39.54	3.10%	0.04%
EMPAQUETADURA	0.38	27.38	2.15%	0.03%
ANILLO/PLATO DESGASTE	0.28	20.28	1.59%	0.02%
VÁLVULA GUILLOTINA	0.08	5.58	0.44%	0.01%
ACOPLAMIENTO	0.02	1.77	0.14%	0.00%
Total	**17.50**	**1,273.93**	**100.00%**	**1.37%**

A continuación, se presenta en la Ilustración 38, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas centrifugas con más horas de detención involucradas en las detenciones ocurridas en la sala de impulsión N°2 para el periodo antes señalado.

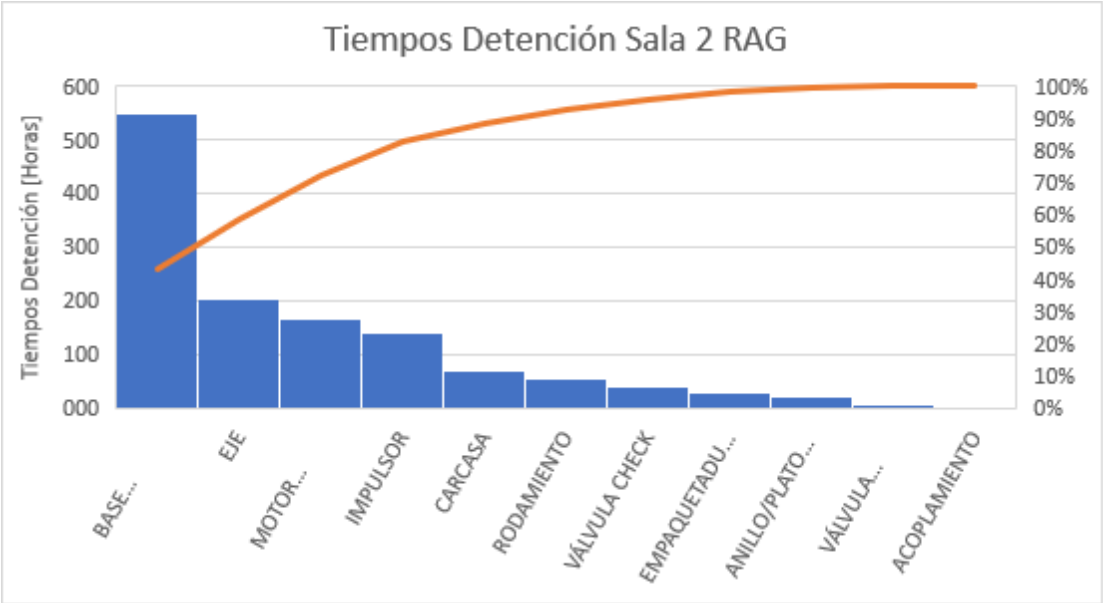

Ilustración 38: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.3. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°3

3.3.1. SEGÚN FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LAS DETENCIONES

Dentro de las componentes con más eventos de detención de equipo, se tiene eventos de empaquetadura prensaestopas debido a fugas excesivas causadas por desgaste como la más frecuente para esta sala, luego están las actividades en la carcasa, debido a filtraciones de fluido. Le siguen eventos asociados al eje, ante eventos de rotura de eje y revisión de alineamiento de eje bomba – motor, válvula "check" e impulsor, generalmente debido a bajas de eficiencia y en este caso, al bajo caudal de impulsión observados en estos equipos de impulsión, también se detuvieron equipos ante solturas de tuercas de fijación de camisa las que requerían detención de equipo y reapriete de este para devolver o acercar el equipo a su estado original, caso similar a la base estructural de la bomba. Además de eventos de sobrecarga y otros desperfectos en motores eléctricos. Estos valores se presentan en la Tabla 3-9.

Tabla 3-9: Lista N° Detenciones Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	**#**	**%(#)**
EMPAQUETADURA	24	22.43%
CARCASA	17	15.89%
EJE	11	10.28%
VÁLVULA CHECK	9	8.41%
IMPULSOR	6	5.61%
BASE ESTRUCTURAL	5	4.67%
TUERCA FIJACIÓN CAMISA	5	4.67%
-	5	4.67%

Se realiza la respectiva ponderación de los datos sin información de falla o componente asociado o información incompleta. Los resultados se presentan en la Tabla 3-10.

Tabla 3-10: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	#'	%'(#)	Diferencia
EMPAQUETADURA	1.18	25	23.53%	1.10%
CARCASA	0.83	18	16.67%	0.78%
EJE	0.54	12	10.78%	0.50%
VÁLVULA CHECK	0.44	9	8.82%	0.41%
IMPULSOR	0.29	6	5.88%	0.27%
BASE ESTRUCTURAL	0.25	5	4.90%	0.23%
TUERCA FIJACIÓN CAMISA	0.25	5	4.90%	0.23%
MOTOR ELÉCTRICO	0.20	4	3.92%	0.18%
CAÑERÍA	0.20	4	3.92%	0.18%
ANILLO/PLATO DESGASTE	0.20	4	3.92%	0.18%
RODAMIENTO	0.10	2	1.96%	0.09%
VÁLVULA COMPUERTA	0.10	2	1.96%	0.09%
FLUJÓMETRO	0.10	2	1.96%	0.09%
JUNTA EXPANSIÓN	0.10	2	1.96%	0.09%
CONTROL ELÉCTRICO	0.10	2	1.96%	0.09%
MANÓMETRO	0.05	1	0.98%	0.05%
RELÉ PROTECCIÓN	0.05	1	0.98%	0.05%
CAMISA	0.05	1	0.98%	0.05%
Total	**5**	**107**	**100.00%**	**4.67%**

A continuación, se presenta en la Ilustración 39, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas centrifugas más vinculados a la cantidad de detenciones ocurridas en la sala de impulsión N°3 para el periodo antes señalado.

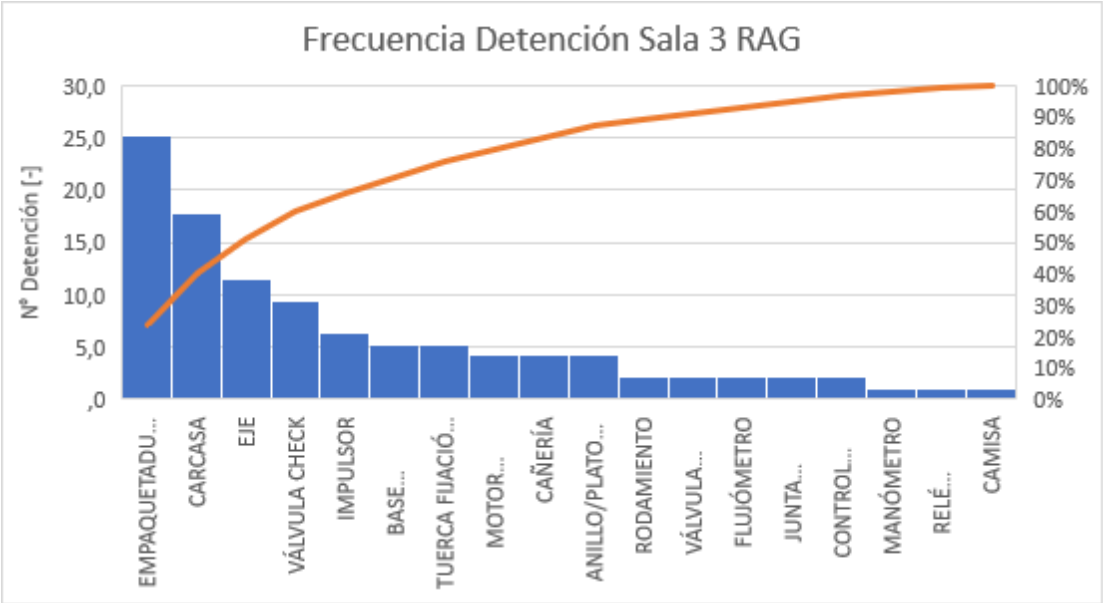

Ilustración 39: Grafico Pareto N° Detenciones Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.3.2. SEGÚN DURACIÓN DE LA DETENCIÓN

En términos de duración de detención de los equipos, los eventos con mayores tiempos de detención están relacionados con la rotura del eje y con consiguiente detención, desarme completo y rearmado, a continuación, actividades relacionadas a recuperación de carcasa con desgaste excesivo y su correspondiente desarme ante disminuciones de flujo, ya sea para aplicar recubrimiento cerámico o para enviar a recuperación mayor a maestranza. Junto a ello se tienen actividades de reparación en empaquetadura de prensaestopas, cañerías y válvulas "check" ante fallas que generan filtraciones en las líneas y disminuyen el flujo y eficiencia de estas. Esto se presenta en la Tabla 3-11.

Tabla 3-11: Lista Tiempos Detención Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Tiempo (Hrs)	%(Tiempo)
EJE	155.25	20.33%
CARCASA	132.17	17.31%
VÁLVULA CHECK	94.00	12.31%
EMPAQUETADURA	68.00	8.91%
JUNTA EXPANSIÓN	68.00	8.91%

CAÑERÍA	42.00	5.50%
BASE ESTRUCTURAL	42.00	5.50%

Se realiza la respectiva ponderación de los datos sin información de falla o componente asociado o información incompleta. Los resultados se presentan en la Tabla 3-12.

Tabla 3-12: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	Tiempo' (Horas)	%'(Tiempo)	Diferencia
EJE	5.45	160.70	21.05%	0.71%
CARCASA	4.64	136.81	17.92%	0.61%
VÁLVULA CHECK	3.30	97.30	12.74%	0.43%
EMPAQUETADURA	2.39	70.39	9.22%	0.31%
JUNTA EXPANSIÓN	2.39	70.39	9.22%	0.31%
CAÑERÍA	1.48	43.48	5.69%	0.19%
BASE ESTRUCTURAL	1.48	43.48	5.69%	0.19%
IMPULSOR	1.05	30.88	4.04%	0.14%
ANILLO/PLATO DESGASTE	0.73	21.65	2.84%	0.10%
MOTOR ELÉCTRICO	0.68	20.01	2.62%	0.09%
CAMISA	0.46	13.46	1.76%	0.06%
TUERCA FIJACIÓN CAMISA	0.42	12.42	1.63%	0.06%
VÁLVULA COMPUERTA	0.40	11.73	1.54%	0.05%
RODAMIENTO	0.39	11.39	1.49%	0.05%
CONTROL ELÉCTRICO	0.32	9.49	1.24%	0.04%
FLUJÓMETRO	0.20	5.78	0.76%	0.03%
MANÓMETRO	0.07	2.16	0.28%	0.01%
RELÉ PROTECCIÓN	0.07	2.07	0.27%	0.01%
Total	**25.92**	**763.58**	**100.00%**	**3.39%**

A continuación, se presenta en la Ilustración 40, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas centrifugas con más horas de detención involucradas en las detenciones ocurridas en la sala de impulsión N°3 para el periodo antes señalado.

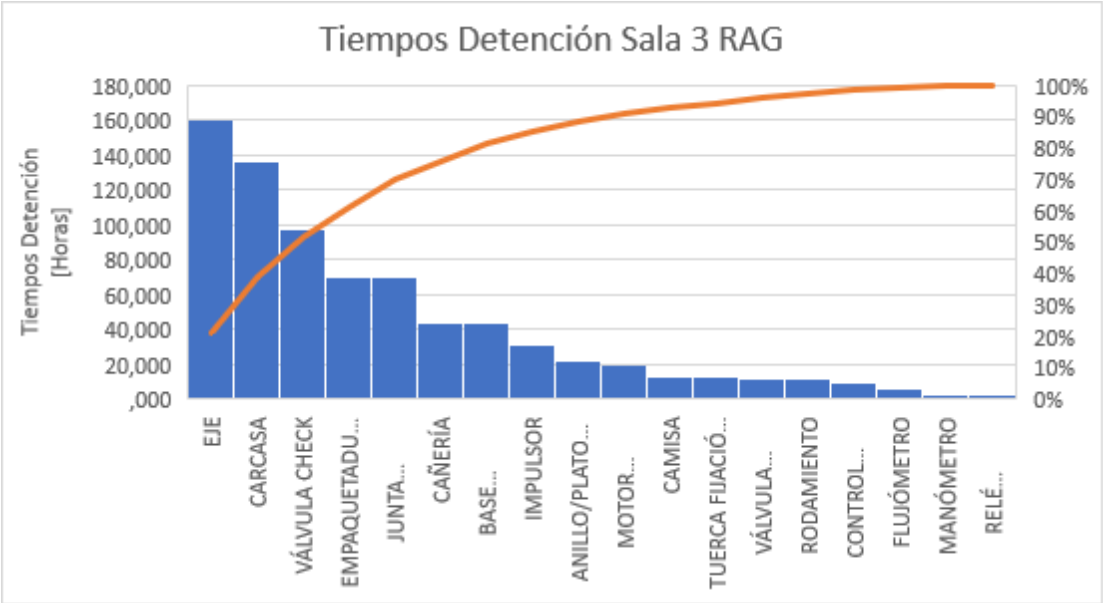

Ilustración 40: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.4. DETENCIONES SALA DE IMPULSIÓN N°4

3.4.1. SEGÚN FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LAS DETENCIONES

Los eventos con más repetición para esta sala caen en la clasificación de aquellos que no son indicados en el reporte de detención o cuya información es incompleta. Esto se muestra en la Tabla 3-13.

Tabla 3-13: Lista N° Detenciones Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	#	%(#)
-	7	77.78%
EMPAQUETADURA	1	11.11%
EJE	1	11.11%
Total	**9**	**100.00%**

Ante esto, se hace necesaria la ponderación de dichos datos sobre aquellos que fueron detallados; empaquetadura y eje, esto en concordancia con el contexto operacional de estas bombas, donde se tiene una bomba en “stand by”, lo que genera que se tengan bajos niveles de fallas y las actividades de detención están concentradas en las actividades programadas de inspección y/o cambio de bomba o conjunto rotórico, o simplemente cambio de empaquetadura de bombas. La Tabla 3-14 muestra la lista de detenciones de los equipos.

Tabla 3-14: Lista (Corregida) N° Detenciones Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	#'	%'(#)	Diferencia
EMPAQUETADURA	3.50	4.5	50.00%	38.89%
EJE	3.50	4.5	50.00%	38.89%
Total	**7**	**9**	**100.00%**	**77.78%**

3.4.2. SEGÚN DURACIÓN DE LA DETENCIÓN

De igual manera que lo comentado anteriormente, los tiempos de detención mayores están relacionados con las actividades que no fueron identificadas o de manera inadecuada, de acuerdo con lo señalado en la Tabla 3-15.

Tabla 3-15: Lista Tiempos Detención Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Tiempo (Hrs)	%(Tiempo)
-	68.50	94.48%
EMPAQUETADURA	2.00	2.76%
EJE	2.00	2.76%
Total	**72.50**	**100.00%**

Al igual que en el análisis anterior se hace necesaria la ponderación de estos valores para identificar los componentes que están relacionado con los tiempos de indisponibilidad de los equipos de impulsión de apoyo de agua recuperada entre estanques, esto se muestra en la Tabla 3-16.

Tabla 3-16: Lista (Corregida) Tiempos Detención Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	Tiempo' (Horas)	%'(Tiempo)	Diferencia
EMPAQUETADURA	34.25	36.25	50.00%	47.24%
EJE	34.25	36.25	50.00%	47.24%
Total	**68.50**	**72.50**	**100.00%**	**94.48%**

Cabe señalar que en el momento que se llevan a cabo las correcciones de los tiempos de detención, tanto en frecuencia de ocurrencia como en tiempos de detención de la máquina, en este caso no es necesaria la implementación del diagrama de Pareto para clasificar los componentes más importantes.

3.5. DETENCIONES SALA DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE

3.5.1. SEGÚN FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LAS DETENCIONES

Los eventos más frecuentes, están relacionados con cambio o inspección de bombas ante mal funcionamiento del engranaje rodete y eficiencia deficiente de funcionamiento, o ante malfuncionamiento del motor eléctrico y/o su centro de control. Esto se muestra en la Tabla 3-17.

Tabla 3-17: Lista N° Detenciones Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	#	%(#)
ENGRANAJE RODETE	6	33.33%
MOTOR ELÉCTRICO	4	22.22%
CONTROL ELÉCTRICO	3	16.67%

A continuación, se presenta en la Ilustración 41, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas dosificadoras más vinculados a la cantidad de detenciones ocurridas en la sala dosificación de floculante para el periodo antes señalado.

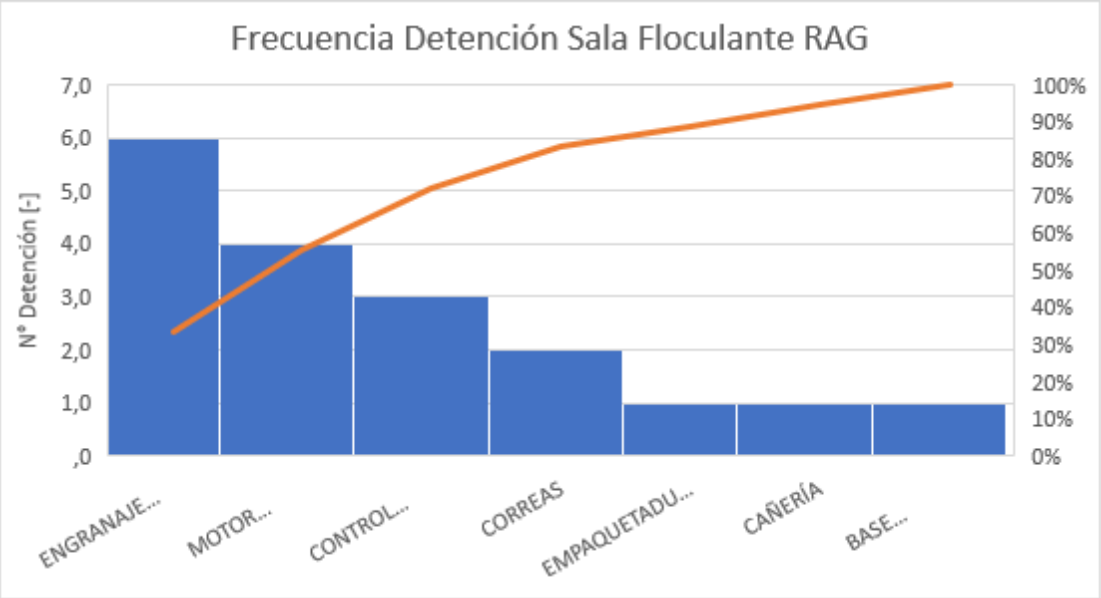

Ilustración 41: Grafico Pareto N° Detenciones Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.5.2. SEGÚN DURACIÓN DE LA DETENCIÓN

Se tiene que las actividades que involucran las reparaciones de los motores eléctricos, específicamente con la normalización de los cables de alimentación de estos equipos, para una de estas bombas. Le sigue las actividades de cambio de bombas ante falla en el desempeño del engranaje rodete de impulsión. Esto se evidencia en la Tabla 3-18.

Tabla 3-18: Lista Tiempos Detención Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017.

Componente	Tiempo (Hrs)	%(Tiempo)
MOTOR ELÉCTRICO	150.30	50.26%
ENGRANAJE RODETE	62.08	20.76%

A continuación, se presenta en la Ilustración 42, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes de las bombas dosificadoras con más horas de detención involucradas en las detenciones ocurridas en la sala dosificación de floculante para el periodo antes señalado.

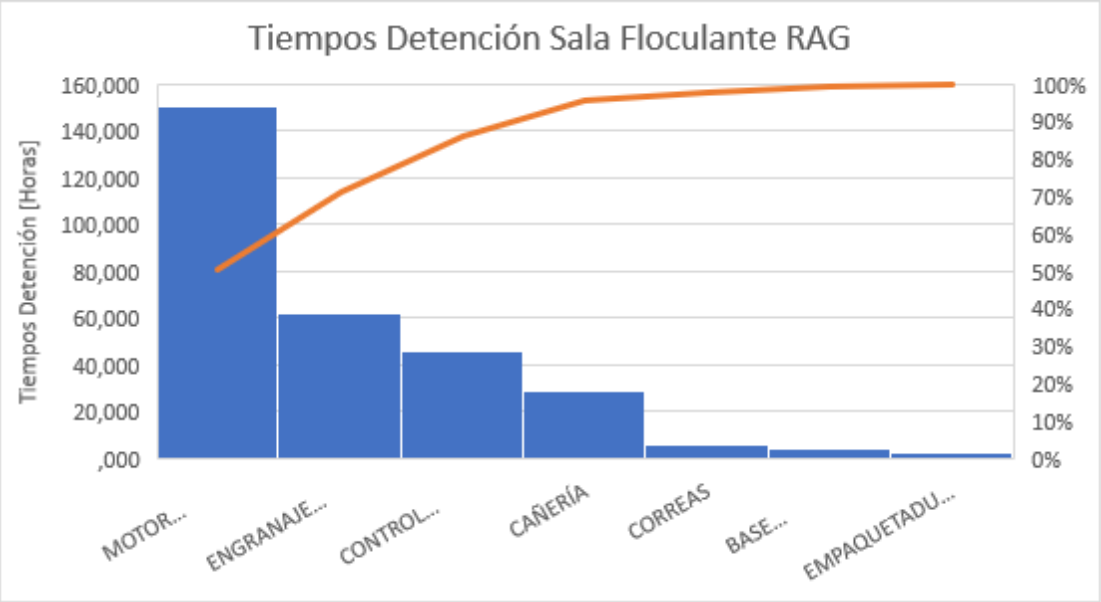

Ilustración 42: Grafico Pareto Tiempos Detención Sala Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017.

3.6. DETENCIONES GLOBAL SALAS IMPULSIÓN (SALAS N°1, 2 Y 3)

3.6.1. SEGÚN FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LAS DETENCIONES

Al realizar el análisis de las detenciones globales, en las salas de impulsión de aguas recuperadas desde las piscinas de recolección (Salas 1, 2 y 3), y de acuerdo con lo observado en las inspecciones en dichas plantas, se tiene que el elemento que más detenciones genero son las empaquetaduras y el cambio de estas ante fugas excesivas y/o disminución de rendimiento de los equipos. La cantidad de sólidos en el fluido genera daños en la carcasa, impulsor, eje y válvulas de antirretorno ("check"). Finalmente, se debe consignar la alta frecuencia de las detenciones de equipos ante problemas en las bases estructurales, causantes de vibraciones que afectan a los componentes internos, especialmente a los rodamientos.

Tabla 3-19: Lista N° Detenciones Salas impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017.

Componente	#	%(#)
EMPAQUETADURA	35	15.15%
CARCASA	27	11.69%
IMPULSOR	22	9.52%
EJE	21	9.09%
VÁLVULA CHECK	21	9.09%
-	20	8.66%
BASE ESTRUCTURAL	17	7.36%
MOTOR ELÉCTRICO	13	5.63%
RODAMIENTO	12	5.19%

Además, como se señaló anteriormente, se debe observar que un factor importante de detenciones no se logra identificar, debido a la calidad del ingreso de información de las detenciones de los equipos, por lo tanto, junto con mencionar esto, se procede a la ponderación de estos datos en la Tabla 3-20.

Tabla 3-20: Lista (Corregida) N° Detenciones Salas impulsión RAG (1, 2, 3), Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	#'	%'(#)	Diferencia
EMPAQUETADURA	3.32	38	16.59%	1.44%
CARCASA	2.56	30	12.80%	1.11%
IMPULSOR	2.09	24	10.43%	0.90%
EJE	1.99	23	9.95%	0.86%
VÁLVULA CHECK	1.99	23	9.95%	0.86%
BASE ESTRUCTURAL	1.61	19	8.06%	0.70%
MOTOR ELÉCTRICO	1.23	14	6.16%	0.53%
RODAMIENTO	1.14	13	5.69%	0.49%
ANILLO/PLATO DESGASTE	0.95	11	4.74%	0.41%
CAÑERÍA	0.66	8	3.32%	0.29%
CONTROL ELÉCTRICO	0.47	5	2.37%	0.21%
TUERCA FIJACIÓN CAMISA	0.47	5	2.37%	0.21%
VÁLVULA COMPUERTA	0.28	3	1.42%	0.12%
CAMISA	0.28	3	1.42%	0.12%
FLUJÓMETRO	0.19	2	0.95%	0.08%
JUNTA EXPANSIÓN	0.19	2	0.95%	0.08%
VÁLVULA GUILLOTINA	0.19	2	0.95%	0.08%
ACOPLAMIENTO	0.09	1	0.47%	0.04%
MANÓMETRO	0.09	1	0.47%	0.04%
RELÉ PROTECCIÓN	0.09	1	0.47%	0.04%
ARRANCADOR	0.09	1	0.47%	0.04%
Total	**20**	**231**	**100.00%**	**8.66%**

A continuación, se presenta en la Ilustración 43, el diagrama de Pareto donde se establece de manera gráfica los componentes que se ven involucrados con más frecuencia en las detenciones ocurridas en las salas N°1, 2 y 3 para el periodo antes señalado.

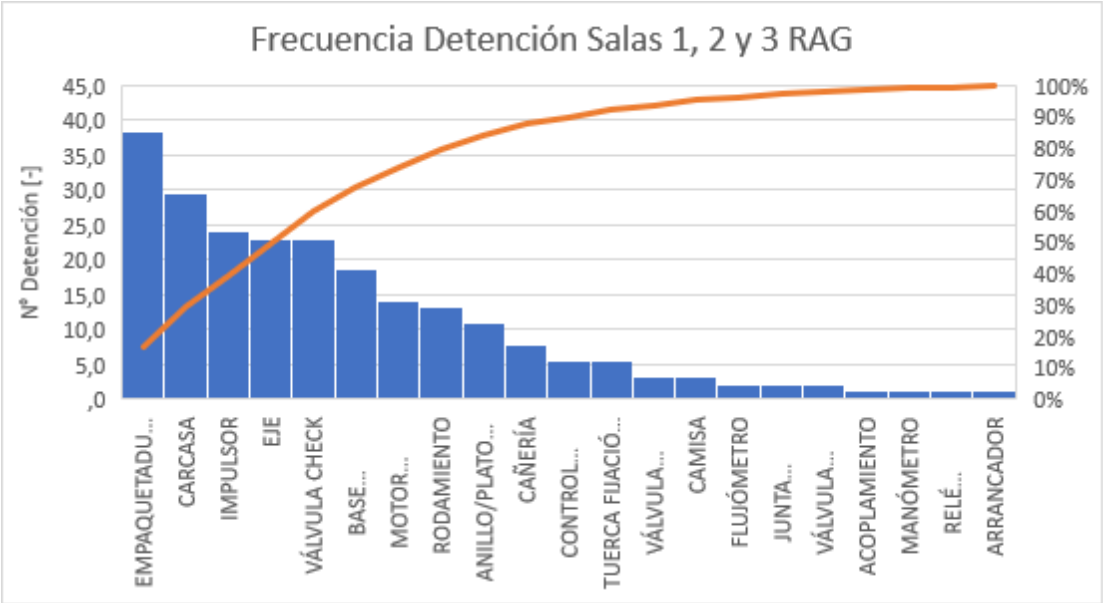

Ilustración 43: Grafico Pareto N° Detenciones Salas Impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017.

3.6.2. SEGÚN DURACIÓN DE LA DETENCIÓN

Al abordar el análisis desde la perspectiva de la duración de las detenciones globales en las salas de impulsión de aguas recuperadas desde las piscinas de recolección (Salas 1, 2 y 3), la información presentada en la Tabla 3-21 arroja que los componentes más significativos en lo que respecta a las detenciones en base a su duración son componentes relacionados con la base estructural, esto debido al tiempo que se debe invertir en procedimientos de reparación y/o rediseño de bases, por otro lado el tema de las condiciones indeseadas en las bases estructurales deben ser solucionadas de la manera más completa posible, de modo que no generen daños significativos sobre componentes significativos de la bomba. Caso similar sucede con la carcasa como con dos de los componentes internos más importantes de la bomba como lo son el eje y los anillos o plato de desgaste (dependiendo del tipo de bomba), en donde la reparación requiere además de la detención del equipo, el retiro de este hacia taller del área mantenimiento o si el daño es significativamente grave, hacia maestranza externa, y en caso de no contar con bombas a disposición, se pueden incurrir en detenciones prolongadas.

Tabla 3-21: Lista Tiempos Detención Salas impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017.

Componente	Tiempo	%(Tiempo)
BASE ESTRUCTURAL	1,400.30	26.97%
-	521.00	10.03%
CARCASA	481.67	9.28%
MOTOR ELÉCTRICO	455.83	8.78%
ANILLO/PLATO DESGASTE	444.92	8.57%
EJE	434.72	8.37%

Del mismo modo que en el apartado anterior, se debe observar que un factor importante de detenciones no se logra identificar, debido a la calidad del ingreso de información de las detenciones de los equipos, por lo tanto, junto con mencionar esto, se procede a la ponderación de estos datos en la Tabla 3-22.

Tabla 3-22: Lista (Corregida) Tiempos Detención Salas impulsión RAG (1, 2, 3), Periodo 2016 – 2017.

Componente	Redistribución	Tiempo' (Horas)	%'(Tiempo)	Diferencia
BASE ESTRUCTURAL	156.18	1,556.48	29.98%	3.01%
CARCASA	53.72	535.39	10.31%	1.03%
MOTOR ELÉCTRICO	50.84	506.67	9.76%	0.98%
ANILLO/PLATO DESGASTE	49.62	494.54	9.52%	0.96%
EJE	48.49	483.20	9.31%	0.93%
IMPULSOR	48.15	479.90	9.24%	0.93%
RODAMIENTO	25.00	249.17	4.80%	0.48%
VÁLVULA CHECK	23.17	230.92	4.45%	0.45%
CAÑERÍA	21.25	211.75	4.08%	0.41%
CAMISA	16.84	167.84	3.23%	0.32%
EMPAQUETADURA	12.05	120.05	2.31%	0.23%
JUNTA EXPANSIÓN	7.58	75.58	1.46%	0.15%
CONTROL ELÉCTRICO	2.53	25.23	0.49%	0.05%
VÁLVULA COMPUERTA	1.88	18.71	0.36%	0.04%
TUERCA FIJACIÓN CAMISA	1.34	13.34	0.26%	0.03%
VÁLVULA GUILLOTINA	0.75	7.50	0.14%	0.01%
FLUJÓMETRO	0.62	6.21	0.12%	0.01%
ARRANCADOR	0.33	3.32	0.06%	0.01%
MANÓMETRO	0.23	2.32	0.04%	0.00%
RELÉ PROTECCIÓN	0.22	2.22	0.04%	0.00%
ACOPLAMIENTO	0.20	1.95	0.04%	0.00%
Total	**521.00**	**5,192.28**	**100.00%**	**10.03%**

La Ilustración 44, presenta el diagrama de Pareto donde se establecen de manera gráfica los componentes que incurren en los mayores tiempos de detención para las salas de impulsión N°1, 2 y 3 en conjunto.

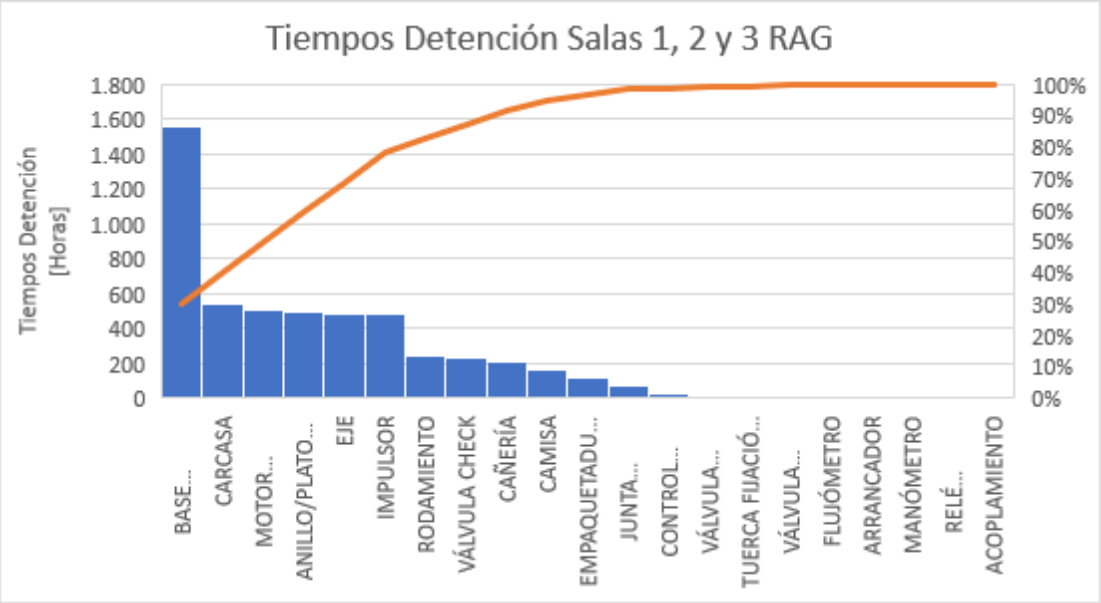

Ilustración 44: Grafico Pareto Tiempos Detención Salas Impulsión RAG (1, 2, y 3), Periodo 2016 – 2017.

A partir de estos datos es posible establecer los componentes "críticos" involucrados en las detenciones en las bombas centrifugas impulsoras de agua recuperada, estos se presentan en la Tabla 3-23:

Tabla 3-23: Componente Critico S.1, S.2 y S.3, RAG.

Componente Critico S.1, S.2 y S.3
EMPAQUETADURA
CARCASA
IMPULSOR
EJE
VÁLVULA CHECK
BASE ESTRUCTURAL
MOTOR ELÉCTRICO
RODAMIENTO
ANILLO/PLATO DESGASTE

Del mismo modo se establecen los componentes críticos por separado para las bombas centrifugas de apoyo a la impulsión (Sala N°4) y de las bombas dosificadoras de floculante (Sala Floculante) en las Tabla 3-24 y Tabla 3-25

Tabla 3-24: Componente Critico S.4. RAG.

Componente
EMPAQUETADURA
EJE

Tabla 3-25: Componente Critico S.Floculante. RAG.

Componente
ENGRANAJE RODETE
MOTOR ELÉCTRICO
CONTROL ELÉCTRICO

3.7. MODOS DE FALLA Y CAUSAS PRINCIPALES

Una vez determinados los componentes críticos de las bombas que operan en los sistemas de impulsión de aguas recuperadas, apoyo a la impulsión y dosificación de floculante, se procede a utilizar esos componentes como un filtro de información procesada, de modo que solo se trabaja con los datos relativos a los componentes críticos de cada caso, a partir de acá es posible establecer los modos de falla y su causa para cada evento registrado. Del mismo modo que se seleccionaron los componentes, la priorización de los modos de falla y causas principales se realiza mediante el análisis de Pareto (las tablas completas de modos de falla y causas general para cada sala se encuentran en la planilla "CAUSAS Y PROPUESTAS SALAS RAG", adjunto en el material digital entregable). Se debe considerar, al igual que en el análisis de detenciones, con frecuencia la información no está incluida o se presenta incompleta en el registro, es por esto que se debe reprocesar y ponderar esa información a modo de trabajar con los datos disponibles cuando corresponda. A continuación, se presentan los principales modos de falla y causas de las detenciones en cada una de las salas de impulsión. Esto se realizará para la sala de impulsión N°1, 2, 3, sala de apoyo N°4 y dosificación Floculantes.

3.7.1. BOMBAS SALA N°1

Al analizar las detenciones ocurridas en la sala de impulsión N°1, se observa que el modo predominante de falla son las altas vibraciones junto a la fuga de fluido asociados deterioros en componentes como impulsores y ejes como a la fuga de fluido excesiva en la zona de empaquetaduras que es observable a simple vista en algunos equipos como lo muestra la Ilustración 45.

Ilustración 45: Fuga de fluido.

Otros modos predominantes tienen que ver con la obstrucción de las válvulas antirretorno ("check") así como de las cañerías y del mismo impulsor, explicado básicamente por el contenido de solido presente en el agua que ingresa a las bombas. Un modo de falla a considerar son las altas temperaturas de los rodamientos, pudiendo ser efecto de instalaciones inadecuadas, relacionadas con los altos niveles de vibraciones, sin dejar de considerar el efecto de la lubricación deteriorada debido principalmente al ingreso de fluido a la caja porta rodamientos, ocasionando emulsión del lubricante y afectando sus propiedades. Existe además una data de detenciones cuyo modo no fue determinado debido a la insuficiencia de información presentada. La información corregida se presenta en la Tabla 3-26.

Tabla 3-26: Modos de Falla Sala impulsión N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Modo de Falla
ALTAS VIBRACIONES
FUGA DE FLUIDO
OBSTRUCCIÓN
ALTAS TEMPERATURAS
FUGA EXCESIVA DE FLUIDO
BOMBA NO ENTREGA EL FLUIDO

Respecto a las causas principales, presentadas en la Tabla 3-27, se observa la preponderancia de la incidencia del contenido de sólidos en el fluido impulsado, el cual sedimenta y genera obstrucciones en componentes como válvulas, impulsores, cañerías, entre partes estacionarias y giratorias por este asentamiento de sólidos, etc. El alto contenido de solido también puede generar deterioro acelerado de empaquetaduras lo que ocasiona fugas excesivas en la caja prensa estopa, esto ocasiona contaminación de la sala, de la base estructural, de los pernos asociados a esta, incluso en ciertos casos puntuales contaminación del aceite lubricante, ante esto hay que revisar que sucede con el buje garganta (buje fondo de caja), repuesto que tiene registro en SAP, no obstante se informa que el repuesto ya no se utiliza, caso similar con la junta de la camisa del eje. También se debe tener en cuenta que otra causa que puede generar estos efectos sobre la caja prensaestopas y las empaquetaduras es la falta o el exceso de ajuste de la holgura axial del impulsor. Otras causas a tener en cuenta son es el desgaste en rodamientos ocasionados por deformaciones en esfuerzos axiales y/o radiales, pudiendo llegar a generar vibraciones excesivas.

Tabla 3-27: Causas fallas Sala impulsión N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Causa
SEDIMENTACIÓN SOLIDO EN SECCIÓN DE PASO
IMPULSOR TRABADO
EJE TORCIDO
FIN VIDA ÚTIL RODAMIENTOS
DESGASTE DEL EJE
HOLGURA AXIAL DEL IMPULSOR INADECUADA
FALTA RIGIDEZ EN BASE ESTRUCTURAL
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS
CORROSIÓN EN PERNOS SUJECIÓN
DESGASTE RODAMIENTOS
INCREMENTO DE CORRIENTE
IMPULSOR DOBLADO

3.7.2. BOMBAS SALA N°2

Los modos de falla principales de la sala de bombas N°2 de la Tabla 3-28, se encuentran liderados por las altas vibraciones debido a la irregularidad de la base estructural en la que se soportan las bombas, también se presenta la falla de la función principal de la bomba ante eventos de bloqueo y trabamiento de componentes debido al porcentaje de solido/lodo del líquido impulsado como de restos de componentes provenientes desde procesos anteriores (trozos madera, metal, etc.), los que al ingresar a los componentes internos producen desgaste en estos, en la carcasa, en los sellos, generando fugas en sector empaquetaduras y válvula antirretorno y bajo rendimiento. El fallo por bajo rendimiento se explica además en el hecho de que no es posible realizar el monitoreo de condiciones de manera adecuada en esta sala debido a que no se cuenta con los instrumentos de medición en la planta, estos son monitoreados desde sala control operaciones, quienes controlan que la bomba entregue el flujo solicitado según la demanda del proceso y no controlan el caudal donde la bomba comienza a disminuir considerablemente su rendimiento.

Tabla 3-28: Modos de Falla Sala impulsión N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Modo de Falla
ALTAS VIBRACIONES
BOMBA NO ENTREGA EL FLUIDO
BAJO RENDIMIENTO
FUGA EXCESIVA DE FLUIDO
ALTAS TEMPERATURAS
FUGA DE FLUIDO

Las temperaturas elevadas se explican desde el hecho de que pese a contar con dispensadores automáticos, no hay control o comprobación de su correcto funcionamiento y entrega de lubricante, además, se desconoce el estado del lubricante hasta el momento del desmontaje de la bomba ante cambio programado o ante

detención imprevista. A continuación, la Tabla 3-29 presenta la lista de causas de fallas en la sala de impulsión N°2.

Tabla 3-29: Causas fallas Sala impulsión N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Causa
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS
DISEÑO INADECUADO BASE ESTRUCTURAL
IMPULSOR TRABADO
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL FLUIDO BOMBEADO
FATIGA DEL MATERIAL CARCASA
ROTURA DEL EJE
FALTA DE LUBRICACIÓN
DESALINEACIÓN MOTOR BOMBA
PERDIDA DEL ANILLO DESGASTE
CUERPO EXTRAÑO EN VÁLVULA
LUBRICACIÓN INCORRECTA
CUERPO EXTRAÑO EN IMPULSOR

3.7.3. BOMBAS SALA N°3

Los efectos de la condición del líquido impulsado también se observan en las detenciones de la sala N°3, a esto, se debe indicar que existe la posibilidad de que el proceso de instalación de empaquetaduras se esté realizando de modo inadecuado, lo que ocasionaría el desgaste excesivo de las empaquetaduras antes del tiempo estimado por el fabricante, también queda de manifiesto la necesidad de realizar un control más riguroso de la rigidez de las bases estructurales, de un mayor seguimiento de el alineamiento entre bomba y motor. Las Tabla 3-30 y Tabla 3-31 presentan los modos de falla y las causas asociadas detectadas respectivamente.

Tabla 3-30: Modos de Falla Sala impulsión N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Modo de Falla
FUGA EXCESIVA DE FLUIDO
DESGASTE EN LA CARCASA
FUGA DE FLUIDO
ALTAS VIBRACIONES

Por otro lado, se hace referencia a fuga de fluido como uno de los modos de falla predominantes, en efecto esto se presentó con bastante frecuencia en el pasador de la articulación de la válvula antirretorno como muestra la Ilustración 46. Ante esto se debe considerar además del ya mencionado efecto de la condición del fluido impulsado, un diseño del equipo inadecuado a las características del proceso ya que se trata de una falla que adquirió una cierta prioridad de ocurrencia

Ilustración 46: Fuga desde pasador articulación válvula "check" sala N°3

Las causas de falla de la sala 3 vienen indicadas en la Tabla 3-31:

Tabla 3-31: Causas fallas Sala impulsión N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Causa
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS
FATIGA DEL MATERIAL CARCASA
DESALINEACIÓN MOTOR BOMBA
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS VÁLVULA
INSTALACIÓN INCORRECTA EMPAQUETADURAS
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL FLUIDO BOMBEADO
IMPULSOR TRABADO
FALTA RIGIDEZ EN BASE ESTRUCTURAL
CORROSIÓN EN LA CARCASA
POCO AJUSTE DE LOS TORNILLOS
DESGASTE DE JUNTAS
PERDIDAS INTERNAS IMPULSOR

Otro de los aspectos a considerar, después de analizar los modos de falla y causas en las salas 2 y 3 es el hecho de que se generan pérdidas internas, disminución de rendimiento y desgaste excesivo de los anillos de desgaste, principalmente a que no existe un control metrológico de los componentes solicitados para reparación o fabricación en maestranzas externas, por lo que, además se pierde tiempo en reprocesar o reemplazar el componente inadecuado.

3.7.4. BOMBAS SALA N°4

Debido a que el plan de mantenimiento en esta sala consiste en inspecciones internas semestrales con cambio de conjunto rotórico en función del resultado de la inspección, actividad que se repite al año respecto de la bomba completa. La información recabada de respecto a modos de falla y causas son muy acotadas, tal como indica las Tabla 3-32 y Tabla 3-33.

Tabla 3-32: Modos de Falla Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Modo de Falla
ALTAS VIBRACIONES
FUGA EXCESIVA DE FLUIDO

Tabla 3-33: Causas fallas Sala apoyo impulsión N°4 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Causa
DESALINEACIÓN MOTOR BOMBA
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS

3.7.5. BOMBAS SALA FLOCULANTE

La sala de floculante posee mayoritariamente fallas asociadas al bajo rendimiento, sin embargo, una cantidad considerable de eventos de detenciones de los equipos fue reportada de manera incompleta por lo que no se tiene información acabada acerca del modo de falla que sufrió. El resto de los modos de fallas presentes en las detenciones de la sala se muestran en la Tabla 3-34, y sus causas asociadas en la Tabla 3-35

Tabla 3-34: Modos de Falla Sala dosificación Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017.

Modo de Falla
BAJO RENDIMIENTO
NO TRANSMITE POTENCIA
DESBALANCE TENSIÓN
FUGA EXCESIVA DE FLUIDO

Tabla 3-35: Causas fallas Sala dosificación Floculante RAG, Periodo 2016 – 2017.

Causa
DAÑO DEL RODETE
CORREAS DESGASTADAS
CABLES ALIMENTACIÓN INTERRUMPIDOS
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS

3.7.6. RESUMEN

Una vez analizadas todas las salas de impulsión, de apoyo a la impulsión y dosificación de floculantes, se procede a realizar dos tablas resumen, Tabla 3-36 y Tabla 3-37, donde se establece, según el principio de Pareto, los principales modos de falla y causas de esta, en base al total de la información analizada y procesada.

Tabla 3-36: Listado modos de falla principales equipos bombeo de aguas recuperadas, apoyo de impulsión y dosificación Floculante RAG.

Modo de Falla
FUGA EXCESIVA DE FLUIDO
ALTAS VIBRACIONES
FUGA DE FLUIDO
DESGASTE EN LA CARCASA
BAJO RENDIMIENTO
BOMBA NO ENTREGA EL FLUIDO
OBSTRUCCIÓN

Tabla 3-37: Listado causas de falla principales equipos bombeo de aguas recuperadas, apoyo de impulsión y dosificación Floculante RAG.

Causa
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS
DESALINEACIÓN MOTOR BOMBA
FATIGA DEL MATERIAL CARCASA
IMPULSOR TRABADO
DAÑO DEL RODETE
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL FLUIDO BOMBEADO
DISEÑO INADECUADO BASE ESTRUCTURAL
DESGASTE DE EMPAQUETADURAS VÁLVULA
ROTURA DEL EJE
FALTA RIGIDEZ EN BASE ESTRUCTURAL
INSTALACIÓN INCORRECTA EMPAQUETADURAS
SEDIMENTACIÓN SOLIDO EN SECCIÓN DE PASO
DESGASTE DEL EJE
CORROSIÓN EN LA CARCASA
POCO AJUSTE DE LOS TORNILLOS

PERDIDA DEL ANILLO DESGASTE
EJE TORCIDO
CORROSIÓN EN PERNOS SUJECIÓN
DESGASTE RODAMIENTOS
CUERPO EXTRAÑO EN IMPULSOR
LUBRICACIÓN INCORRECTA
FALTA DE LUBRICACIÓN
HOLGURA AXIAL DEL IMPULSOR INADECUADA

4. PLAN DE MANTENIMIENTO

En cualquier disciplina de ingeniería, ciencias, economía, etc., la capacidad de medir es crítica para el diseño de soluciones adecuadas y para su posterior gestión. Es de conocimiento público la siguiente frase correspondiente a William Thomson Kelvin ("Lord Kelvin"): "Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre". Se puede decir que esta frase aplica también al mantenimiento. Esto plantea la idea de que se hace necesario "medir" el estado actual de la estrategia actual de mantenimiento implementada por la Unidad de Mantenimiento PPC – RAG para establecer sus fortalezas y falencias y de este modo proponer alternativas de mejora en la implementación de las actividades de mantenimiento. Como acercamiento inicial al estado actual de la estrategia llevada a cabo en la Unidad, se presenta la información recopilada de los informes de disponibilidad generados por la Área Mantenimiento RAG (Espesamiento y Recirculación) a lo largo del periodo de estudio seleccionado.

4.1. DISPONIBILIDAD

La literatura investigada en la materia sostiene que "La disponibilidad define el nivel efectivo de las prestaciones de la máquina y se mide por la razón entre el tiempo "activo" (de funcionamiento productivo efectivo) y el tiempo "programado" (planta disponible para el proceso, con el personal presente)"[6].

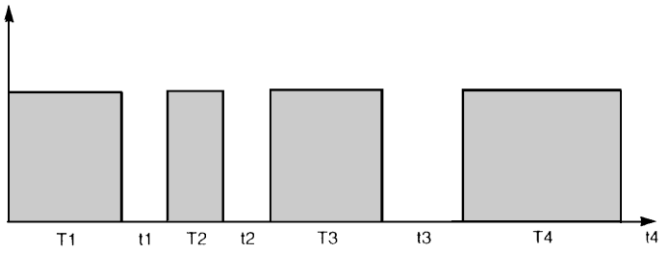

Ilustración 47: Sucesión ON-OFF.

[6] (Arata Andreani, 2005)

La Ilustración 47 representa el "funcionamiento de la máquina como una sucesión de tiempos vivos Ti de funcionamiento (ON) y tiempos muertos ti de parada (OFF): la disponibilidad puede calcularse también en base a dichos tiempos". Esto queda indicado en la ecuación (4).

$$Disponibilidad = \frac{\sum T_i}{\sum (T+t)_i} = \frac{Tiempo\ de\ Funcionamiento}{Tiempo\ de\ Funcionamiento + Tiempo\ de\ Parada}\ [-] \quad (4)$$

De acuerdo con los criterios de la planta RAG para los valores de disponibilidad, y considerando el criterio de aceptación de valores de disponibilidad superiores a 97%, las horas de detención de los equipos de impulsión, y su respectivo indicador de disponibilidad para cada sala de impulsión de agua recuperada, apoyo y floculantes, son indicadas en las Tabla 4-1, Tabla 4-2, Tabla 4-3, Tabla 4-4 y Tabla 4-5 respectivamente.

Tabla 4-1: Horas Detención Equipos Sala N°1 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Equipo	Duración Ideal [Horas]	Detención Equipo [Horas]	Funcionamiento Equipo [Horas]	%
BOC-241	9456	659.03	8796.97	93.03%
BOC-242	9456	67.98	9388.02	99.28%
BOC-243	9456	129.00	9327.00	98.64%
BOC-244	9456	58.50	9397.50	99.38%
BOC-245	9456	352.42	9103.58	96.27%
BOC-246	9456	1551.50	7904.50	83.59%
BOC-247	9456	336.33	9119.67	96.44%
Total (Promedio)	**9456**	**450.68**	**9005.32**	**95.23%**

Tabla 4-2: Horas Detención Equipos Sala N°2 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Equipo	Duración Ideal [Horas]	Detención Equipo [Horas]	Funcionamiento Equipo [Horas]	%
BOC-281	9456	573.35	8882.65	93.94%
BOC-282	9456	312.00	9144.00	96.70%
BOC-283	9456	198.33	9257.67	97.90%
BOC-284	9456	22.75	9433.25	99.76%
BOC-285	9456	167.50	9288.50	98.23%
Total (Promedio)	**9456**	**254.79**	**9201.21**	**97.31%**

Tabla 4-3: Horas Detención Equipos Sala N°3 RAG, Periodo 2016 – 2017.

Equipo	Duración Ideal [Horas]	Detención Equipo [Horas]	Funcionamiento Equipo [Horas]	%
BOC-115	9,456	256.83	9,199.17	97.28%
BOC-116	9,456	324.33	9,131.67	96.57%
BOC-117	9,456	97.75	9,358.25	98.97%
BOC-118	9,456	84.67	9,371.33	99.10%
Total (Promedio)	**9,456**	**190.90**	**9,265.10**	**97.98%**

Tabla 4-4: Horas Detención Equipos Sala apoyo impulsión N°4 RAG Periodo 2016 – 2017.

Equipo	Duración Ideal [Horas]	Detención Equipo [Horas]	Funcionamiento Equipo [Horas]	%
BOC-287	9,456	36.00	9,420.00	99.62%
BOC-288	9,456	36.50	9,419.50	99.61%
Total (Promedio)	**9,456**	**36.25**	**9,419.75**	**99.62%**

Tabla 4-5: Horas Detención Equipos Sala Floculante RAG Periodo 2016 – 2017.

Equipo	Duración Ideal [Horas]	Detención Equipo [Horas]	Funcionamiento Equipo [Horas]	%
BOC-174	9,456	31.75	9,424.25	99.66%
BOC-175	9,456	0.00	9,456.00	100.00%
BOC-176	9,456	25.50	9,430.50	99.73%
BOC-177	9,456	74.63	9,381.37	99.21%
BOC-178	9,456	0.00	9,456.00	100.00%
BOC-179	9,456	8.00	9,448.00	99.92%
BOC-180	9,456	153.67	9,302.33	98.37%
BOC-181	9,456	5.50	9,450.50	99.94%
BOC-182	9,456	0.00	9,456.00	100.00%
BOC-183	9,456	0.00	9,456.00	100.00%
Total (Promedio)	**9,456**	**29.90**	**9,426.10**	**99.68%**

4.2. ACTIVIDADES ACTUALES DE MANTENIMIENTO

El Plan y Programa de Mantenimiento actual proporciona información relevante respecto a las actividades principales a realizar en forma de inspección y

mantenimiento semanal, mensual, quincenal, trimestral, semestral y anual. También busca dar soporte a los planes de producción y operación de los equipos críticos del área, asegurando la disponibilidad y continuidad operacional de estos, teniendo en cuenta también la reducción en las eventuales fallas en los equipos, el número de detenciones no deseadas, perdidas productivas y sus costos relacionados.

El Plan de Mantenimiento entrega un seguimiento en una frecuencia menor de los equipos en funcionamiento, manteniendo una observación constante, y ejecuta actividades a frecuencia mayor con intervención y mantenimiento considerando la detención del equipo, a modo de realizar operaciones en cada equipo, considerando y/o realizando el seguimiento a componentes que puedan sufrir algún tipo de desgaste.

El diseño de los Planes de Mantenimiento de cada especialidad se detalla en los siguientes puntos:

- Inspecciones Preventivas (Tabla 4-6)
    - Frecuencia semanal: Inspección y lubricación bombas centrifugas sala N°1, 2, 3, 4 y Floculante. Especialidad Mecánica.
    - Frecuencia mensual: Trabajos menores taller y Ruta orden y aseo aguas.

Tabla 4-6: Inspecciones semanales y mensuales mantenimiento mecánico bombas y taller RAG, Periodo 2016 – 2017.

UBICACIÓN TÉCNICA	TEXTO UBICACIÓN TÉCNICA	Frecuencia
TCCN-RAG-BOC	RUTA INSP Y LUBR M/4 MEC BBAS SALA N° 1	M/4
TCCN-RAG-BOC	RUTA INSP Y LUBR M/4 MEC BBAS SALA N° 2	M/4
TCCN-RAG-BOC	RUTA INSP Y LUBR M/4 MEC BBAS SALA N° 3	M/4
TCCN-RAG-BOC	RUTA INSP Y LUBRIC M/4 MEC BBAS SALA 4 AFRICANO	M/4
TCCN-RAG-BOC	RUTA INSP Y LUBR M/4 MEC BBAS SALA FLOC	M/4
TCCN-RAG-EIN-308	RUTA M MEC TRAB MENORES TALLER	M
TCCC-IND	RUTA ORDEN Y ASEO UNIDAD AGUAS	M

- Actividades de Mantenimiento Preventivo (Tabla 4-7).

- Frecuencia semestral: Mantenimiento (Inspección interna) Bombas Centrifugas, con equipo detenido, Especialidad Mecánica.

Tabla 4-7: Inspecciones semestrales mecánicas bombas RAG Periodo 2016 – 2017.

UBICACIÓN TÉCNICA	TEXTO UBICACIÓN TÉCNICA	Frecuencia
TCCN-RAG-BOC-115@118	INSP 6M MEC BBA N° 115@118 SALA RECUP N° 3	6M
TCCN-RAG-BOC-281@285	INSP 6M MEC BOMBA N° 281@285 SALA RECUP N° 2	6M
TCCN-RAG-BOC-287@288	INSP 6M MEC BBA 287@288 SALA AFRICANO RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-241@247	INSP 6M MEC BBA Nº241@247 SALA RECUP N°1	6M

- Actividades de Mantenimiento Preventivo
  - Frecuencia semestral: Reemplazo Bombas Centrifugas, Especialidad Mecánica. (Tabla 4-8).

Tabla 4-8: Cambios semestrales bombas RAG Periodo 2016 – 2017.

UBICACIÓN TÉCNICA	TEXTO UBICACIÓN TÉCNICA	Frecuencia
TCCN-RAG-BOC-115@118	MTTO 6M MEC BBA N° 115@118 SALA RECUP N° 3	6M
TCCN-RAG-BOC-281@285	MTTO 6M MEC BBA N° 281@285 SALA RECUP N° 2	6M
TCCN-RAG-BOC-287@288	MTTO 6M MEC BBA 287@288 SALA AFRICANO RAG	6M

- Actividades de Mantenimiento Preventivo (Grúas y Monorrieles). (Tabla 4-9).
  - Frecuencia trimestral: Mantenimiento Grúas 203 y 201, a cargo de la empresa Konecranes.
  - Frecuencia semestral: Mantenimiento Grúas 203 y 201, Monorriel 201, 202 y 203, a cargo de la empresa Konecranes.
  - Frecuencia anual: Inspección Grúas 201 y 203, Inspección Monorriel 201, 202 y 203, a cargo de la empresa Konecranes.

Tabla 4-9: Mantenimiento en grúas y monorrieles salas RAG Periodo 2016 – 2017.

UBICACIÓN TÉCNICA	TEXTO UBICACIÓN TÉCNICA	Frecuencia
TCCN-RAG-GRU-203	MTTO 3M GRÚA Nº 203 RAG KONE	3M
TCCN-RAG-GRU-203	MTTO 6M GRÚA Nº 203 RAG KONE	6M
TCCN-RAG-GRU-203	MTTO 12M GRÚA Nº 203 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-GRU-203	INSP 12M GRÚA Nº203 10 TON RAG KONE	12M
TCCN-RAG-GRU-201	MTTO 6M GRÚA Nº 201 RAG KONE	6M
TCCN-RAG-GRU-201	MTTO 3M GRÚA Nº 201 RAG KONE	3M
TCCN-RAG-GRU-201	MTTO 12M GRÚA Nº 201 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-GRU-201	INSP 12M GRÚA 201 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-MNR-203	MTTO 12M MONORRIEL 203 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-MNR-203	MTTO 6M MONORRIEL 203 RAG KONE	6M
TCCN-RAG-MNR-203	INSP 12M ITSEL MNR N° 203 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-MNR-202	MTTO 12M MONORRIEL 202 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-MNR-202	MTTO 6M MONORRIEL 202 RAG KONE	6M
TCCN-RAG-MNR-202	INSP 12M ITSEL MNR N° 202 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-MNR-201	MTTO 12M MONORRIEL 201 RAG KONE	12M
TCCN-RAG-MNR-201	MTTO 6M MONORRIEL 201 RAG KONE	6M
TCCN-RAG-MNR-201	INSP 12M ITSEL MONORIEL N° 201 RAG KONE	12M

El diseño de los Planes de Mantenimiento de cada especialidad se detalla en los siguientes puntos:

- Inspecciones Preventivas (Tabla 4-10).
    - Frecuencia quincenal: Inspección Motores eléctricos Bombas Centrifugas con equipo operando, Especialidad Eléctrica/Instrumentación.
    - Frecuencia mensual: Inspección Bombas Centrifugas, Especialidad Eléctrica/Instrumentación.
    - Frecuencia mensual: Control vibraciones Bombas Centrifugas con equipo operando, Especialidad Eléctrica/Instrumentación (Sintomático).

- Frecuencia trimestral: Inspección Bombas Centrifugas, de Engranaje y de Tornillo con equipo operando, Especialidad Eléctrica/Instrumentación.
- Frecuencia trimestral: equipamiento Eléctrico e Instrumentación.
- Frecuencia anual: Bombas Centrifugas con equipo operando (vibraciones), Especialidad Eléctrica/Instrumentación.

Tabla 4-10: Inspecciones eléctricas, instrumentación y sintomáticas bombas RAG Periodo 2016 – 2017.

UBICACIÓN TÉCNICA	TEXTO UBICACIÓN TÉCNICA	Frecuencia
TCCN-RAG-BOC	INSP M/2 ELEC MOTORES BOMBAS RAG	M/2
TCCN-RAG-BOC	INSP M CONTROL VIBRACIONES BOC SALA 2	M
TCCN-RAG-BOC-115@118	INSP M SINT INT BOC 115@118 SALA 3	M
TCCN-RAG-BOC	INSP M INST BBAS SALA 3 RAG	M
TCCN-RAG-BOC	INSP M ELEC BBAS AFRICANO RAG	M
TCCN-RAG-BOC	INSP M INST BBAS AFRICANO RAG	M
TCCN-RAG-EIN-DCI	INSP M ELEC SIS DCI SALA TRAF RAG METRIK	M
TCCN-RAG-BOC-240-SCE	INSP 3M ELEC BBA Nº 240 SALA 1 RAG	3M
TCCN-RAG-BOC-241@247-SCE	INSP 3M ELEC BBA Nº 241@247 SALA 1 RAG	3M
TCCN-RAG-BOC-281@285-SCE	INSP 3M ELEC BBA Nº 281@285 SALA 2 RAG	3M
TCCN-RAG-BOC-287@288-SCE	INSP 3M ELEC BBA Nº287@288 AFRICANO RAG	3M
TCCN-RAG-BOC-115@118-SCE	INSP 3M ELEC BBA Nº 115@118 SALA 3 RAG	3M
TCCN-RAG-BOC-174@183-SCE	INSP 3M ELEC BBA Nº174@183 FLOC RAG	3M

- Actividades de Mantenimiento Preventivo Tabla 4-11.
  - Frecuencia semestral: Mantenimiento Bombas Centrifugas, con equipo detenido, Especialidad Eléctrica/Instrumentación (DET, Bormax).
  - Frecuencia semestral: Variadores de frecuencia con equipo detenido, Especialidad Eléctrica.
  - Frecuencia anual: Mantenimiento Sistema distancia bombas centrifugas, Especialidad Eléctrica/Instrumentación.
  - Frecuencia anual: Mantenimiento flujómetros Bombas Centrifugas, Especialidad Eléctrica/Instrumentación.

- Frecuencia anual: Equipamiento Mecánico – Eléctrico e Instrumentación, detención de planta.

Tabla 4-11: Mantenimiento eléctrico, instrumentación, bombas RAG Periodo 2016 – 2017.

UBICACIÓN TÉCNICA	TEXTO UBICACIÓN TÉCNICA	Frecuencia
TCCN-RAG-BOC-240-SCE	MTTO 6M ELEC TERR BOC N 240 RAG BORMAX-E	6M
TCCN-RAG-BOC-240-SCE	MTTO 6M ELEC CCM BOMBA N° 240 RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-240-SCI	MTTO 6M INST BOMBA N° 240 RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-241@247-SCE	MTTO 6M ELEC TERR BBA N° 241@247 BORMAX-E	6M
TCCN-RAG-BOC-241@247-SCE	MTTO 6M ELEC CCM ELEC BBA N° 241@247 RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-241@247-SCI	MTTO 6M INST BOMBA N° 241@247 RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-281@285-SCE	MTTO 6M ELEC TERR BOMBA 281@285 RAG BORMAX-E	6M
TCCN-RAG-BOC-281@285-SCE	MTTO 6M ELEC CCM BOMBA N° 281@285 RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-281@285-SCI	MTTO 6M INST BOMBA N° 281@285 RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-115@118-SCE	MTTO 6M ELEC TERR BOMBA 115@118 RAG BMX-E 7+	6M
TCCN-RAG-BOC-115@118-SCE	MTTO 6M ELEC CCM BOMBA N° 115@118 RAG 7+	6M
TCCN-RAG-BOC-115@118-SCI	MTTO 6M INST BOMBA N° 115@118 RAG 7+	6M
TCCN-RAG-BOC-287@288-SCE	MTTO 6M ELEC BOMBA 287@288 AFRICANO RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-287@288-SCI	MTTO 6M INST BOMBA 287@288 AFRICANO RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-174@183-SCE	MTTO 6M ELEC TERR BOMBA N° 174@183 BORMAX-E	6M
TCCN-RAG-BOC-174@183-SCE	MTTO 6M ELEC CCM BOMBA N° 174@183 FLOC RAG	6M
TCCN-RAG-BOC-174@183-SCI	MTTO 6M INST BOMBA N° 174@183 FLOC RAG	6M
TCCN-RAG-EIN-DCI	MTTO 6M ELEC SIS DCI SALA_TRAFO RAG METR	6M
TCCN-RAG-BOC	MTTO 12M ELEC SIST. DIST.A BOMBAS RAG	12M
TCCN-RAG-BOC-115@118-SCI	MTTO 12M INST FLUJÓMETRO BOMBA 115@118 RAG	12M
TCCN-RAG-BOC	ICV 12M VIBRACIONAL BOC 286-287-288 RAG	12M

Cabe señalar que las actividades de mantenimiento; Inspecciones - Mantenimiento, ambos planes consideran actividades del tipo preventivas, con un leve enfoque en el mantenimiento predictivo o monitoreo de condiciones cuyo objetivo es detectar posibles desviaciones que puedan presentarse en los equipos previo a la falla o a la ocurrencia de un incidente de mayor consideración.

Las actividades realizadas para cada sala de impulsión, junto con la sala dosificación de floculante se describen a continuación:

4.2.1. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO MECÁNICO A BOMBAS CENTRIFUGAS

Salas impulsión aguas recuperadas 1, 2 y 3: Esto se lleva a cabo considerando la filosofía de operación de los equipos bajo régimen "Redundancia Parcial", para mantener dicha filosofía, se considera la adquisición de repuestos críticos a modo de poder armar en taller conjuntos rotóricos de bombas y, como mínimo, una bomba de repuesto por sala (salas N°1, 2 y 3) para reemplazo de equipos salientes de la línea, esta acción se realiza aproximadamente cada 3 y 5 meses, cambio de conjunto rotórico y cambio de bomba centrifuga respectivamente.

Sala Apoyo Impulsión N°4: Al tratarse de una sala de apoyo de impulsión de agua entre estanques, posee un régimen operacional tipo "stand by", por lo general se tiene una de las dos bombas de la sala en funcionamiento y la otra detenida, las actividades de mantenimiento (cambio bomba, cambio conjunto rotórico) son llevadas a cabo con una frecuencia semestral.

Actividad semanal (Inspección y Lubricación): Las Bombas Centrifugas, son los activos de mayor relevancia en el Sistema de Impulsión de Aguas Recuperadas. Las Inspecciones de las Bombas, con equipo en operación, consisten en el registro de parámetros operacionales como presión y caudal, visualización de fugas en empaquetaduras con su correspondiente apriete en caso necesario, registro y medición de temperatura en los descansos, revisión de no existencia de fugas, inspección visual del estado de válvulas de alimentación y descarga de las bombas y sus respectivas tuberías en búsqueda de fugas, revisión de los niveles de los lubricadores automáticos de las Bombas (Salas 2, 3 y 4) y su eventual cambio y del nivel de aceite en la caja de rodamientos (Sala de Bombeo N°1) y su relleno de ser necesario, también se realiza una inspección del estado de la estructura de anclaje de las Bombas y la medición y registro de vibraciones sobre los descansos. La inspección semanal de las Bombas se realiza en una ruta, la cual cubre a cada bomba en un mismo turno.

Actividad Semestral (Inspección / Mantenimiento): de igual forma, al caso anterior, para llevar a cabo el mantenimiento, se realiza la detención de la bomba mediante la filosofía de operación empleando ("stand by"), liberando la Bomba que requiera mantenimiento. Las tareas de mantenimiento semestral incorporan actividades que requieren la detención del equipo, tales como retiro de defensas de machón o masas de acoplamiento de motor a la bomba, desarme del acoplamiento, revisar su estado, medir juego radial y axial del eje de la bomba. Se debe realizar nivelación y alineamiento conjunto motor bomba. En este mantenimiento, específicamente en la Sala de Bombeo N°1 se incluye el primer cambio de aceite en la alojamiento de los rodamientos de la bomba, efectuar lavado del circuito y su depósito, para luego reponer aceite nuevo en el nivel recomendado en el visor para equipo detenido; posterior a este cambio de lubricante nuevo, se debe evaluar semestralmente, analizar el aceite y actuar según la condición en la cual se encuentre, decisión debe estar sujeta a la experiencia del mantenedor. A continuación, se procede a desbloquear el equipo y realizar la puesta en operación y establecimiento de su flujo.

Mantenimiento correctivo: Estas actividades consideran detenciones de los equipos ante imprevistos o fallas generadas en las bombas o sus componentes principales que imposibilitan su funcionamiento. Ante esto es necesario la detención y bloqueo de equipo, considerando la filosofía de operación en "stand by", para efectuar una inspección inicial que arroje un diagnóstico de la falla o causa del imprevisto, para generar el aviso de avería o falla en el sistema de gestión SAP, de este modo se comienza la gestión de la orden de trabajo sobre esa falla, determinando los materiales necesarios a utilizar, tiempos involucrados, asignación de la realización del trabajo (taller / maestranza), etc.

Las tareas de mantenimiento correctivo incluyen el retiro de defensas del machón de la bomba, revisión de este sistema de acoplamiento, revisión de alineamiento Motor – Bomba. En caso de que el problema sea fuga por la prensa estopa, se procede al apriete de esta. Cuando no sea posible realizar esta actividad debido a que esta se

encuentra “topada” o sin la empaquetadura suficiente para seguir apretando, se procede al empaquetado de bomba en el área, o de ser necesario al retiro de la bomba para su cambio. Si se trata de baja eficiencia, además de la revisión de fuga en prensa estopa, se procede a la apertura y revisión interna del equipo en busca de elementos atorados en su interior, procediendo a girar el impulsor utilizando una llave para lograr destrabar la bomba. Además, se revisa el estado del impulsor en búsqueda de alavés fracturados y/o desgastados, procediendo al cambio de este. Actividad similar se realiza con el eje, en búsqueda de desgaste severo o fractura de este. También es necesario abrir la caja porta rodamientos e inspeccionar el estado de estos componentes a modo de buscar el motivo de la falla. Una vez identificada y reparada la falla, se procede al rearmado de la bomba, con una revisión de alineamiento Motor – Bomba. Finalmente se procede a realizar procedimiento desbloqueo para entrega a operaciones.

4.2.2. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO MECÁNICO A BOMBAS DOSIFICADORAS DE FLOCULANTE

Inspección semanal: Al igual que las Bombas Centrifugas, las Inspecciones sobre las Bombas Dosificadoras de Floculante corresponden a pruebas con el equipo en operación, visualización de fuga en prensa estopa, revisión y limpieza de eventuales fugas en la bomba, verificación del estado de estructura de anclaje, revisión general de tuberías y apriete de pernos de tuberías y anclaje cuando se requiera, respetando los torques según estándar, revisión del estado de válvulas, registro de corriente de la bomba y nivel de aceite en las bombas. La inspección semanal de las Bombas Dosificadoras de Floculante se realiza en una ruta que abarca las 10 bombas que conforman la Sala de Impulsión de Floculantes durante el mismo turno.

Mantenimiento correctivo: las tareas de mantenimiento de carácter correctivo o a la falla, involucran la detención de la bomba para su inspección, la que variara según el problema detectado. Para ello se cuenta con una bomba de característica “auxiliar” la

que puede reemplazar a una bomba requerida para cambio o trabajos de mantenimiento entre la 174 y la 180 (de engranajes); se realiza el cambio de bomba auxiliar a la línea sobre la que actúa la bomba normalmente, y en el caso de las Bombas 182 y 183, funcionan bajo la filosofía de operación “Stand By”, una bomba operando y la otra como respaldo para el caso de falla o detención; realizando el cambio de Bomba “Stand By” a la bomba que inicia el mantenimiento y operando la Bomba “Stand By” para dar inicio a las tareas de mantenimiento del equipo. Al inicio de estos trabajos de mantenimiento, se debe realizar el procedimiento de bloqueo corporativo. Las tareas de mantenimiento correctivo incluyen el retiro de defensas del machón de la bomba o retiro de correas de transmisión de potencia según el sistema de acoplamiento utilizado, revisión de este sistema de acoplamiento, revisión de alineamiento Motor – Bomba. En caso de que el problema sea fuga por la prensa estopa, se procede al apriete de esta. Cuando no sea posible realizar esta actividad debido a que esta se encuentra “topada” o sin la empaquetadura suficiente para seguir apretando, se procede al empaquetado de bomba en el área, o de ser necesario al retiro de la bomba para su cambio. Si se trata de baja eficiencia, además de la revisión de fuga en prensa estopa, se procede a la apertura y revisión interna del equipo en busca de elementos atorados en su interior, procediendo a girar el impulsor utilizando una llave para lograr destrabar la bomba. Además, se revisa el estado de engranajes de impulsión en búsqueda de dientes de engranaje fracturados y/o desgastados, procediendo al retiro y cambio de estos. Finalmente se procede a realizar procedimiento desbloqueo para entrega a operaciones.

Para las válvulas del Sistema de Bombeo de Aguas Recuperadas, la estrategia actual consiste en la reparación de estos equipos en taller o maestranzas en base de lo observado en inspecciones o ante imprevistos.

4.2.3. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO ELÉCTRICO A MOTORES BOMBAS CENTRIFUGAS IMPULSORAS DE AGUA RECUPERADA Y DOSIFICADORAS DE FLOCULANTE

Las actividades de mantenimiento eléctrico e instrumentación de cada equipo se explicarán en detalle con base a las actividades de mayor relevancia de los equipos asociados al Sistema de Impulsión de Aguas Recuperadas.

Inspección mensual – quincenal – trimestral: Las Inspecciones realizadas a los motores de las Bombas Centrifugas y Dosificadoras de Floculante corresponden a las tareas de mantenimiento con equipo en operación, a continuación, se exponen algunas actividades:

- Chequeo operación Control y medición Temperatura de los descansos
- Chequeo temperatura del bobinado del motor
- Medir y registrar corriente consumo del motor
- Canalizaciones de fuerza y control
- Chequeo del estado de puesta a tierra de los equipos

El registro de información de cada motor permite llevar a cabo un seguimiento de su comportamiento, permitiendo detectar desviaciones por medio de comparaciones según parámetros anteriores.

4.2.4. ESTRATEGIA CAMBIO DE BOMBAS

La continuidad operacional del Sistema de Impulsión de Aguas Recuperadas implica el desgaste de los equipos pertenecientes a la especialidad mecánica; específicamente las Bombas que se encuentran en el proceso se ven afectadas por este fenómeno, el cual afecta principalmente la eficiencia en la impulsión. La estrategia de cambio de bombas se basa principalmente en la meta propuesta por el área de mantenimiento la cual consiste en que siempre se cuente con la disponibilidad en taller de al menos dos bombas completas y un conjunto rotórico por cada Sala de Impulsión para su inmediato cambio, ante una situación de falla de una bomba del sistema, o ante una disminución considerable del rendimiento del equipo, lo que implicaría una disminución del aporte de Agua Recuperada a los procesos operativos, debiendo ser compensados con el aporte de Agua Fresca.

Durante el ciclo anual de operación de las bombas, se considera el cambio de bomba cada 6 meses en los equipos de las salas N°2, para la Sala de Bombeo N°3 se aplica esta consideración o se toma en cuenta el rendimiento de impulsión del equipo, llevando a cabo el cambio de la bomba cuando el caudal de la Bomba de la Sala N°3 baja de los 1.100 [m3/hr]. Mientras que para la Sala N°4, al no operar en régimen ininterrumpido y al ser variable el uso de cada una de las dos bombas que conforman dicha sala, se considera el cambio de bomba de manera anual, mientras que el cambio de conjunto rotórico se efectúa de manera semestral.

En la Sala de Bombeo N°1, debido a la falta de un historial más detallado, a la falta de monitoreo de condiciones operativas y en consideración al hecho de que es la piscina que recibe el agua recuperada con mayor porcentaje de sólidos, junto con la información obtenida durante el año 2017, se determina que la estrategia de cambio será de modo correctivo o según falla de estos equipos, en función de lo que arroje la inspección de la Bomba post retiro de esta. Esto se resume en la Tabla 4-12

Tabla 4-12: Programación Actividades de Mantenimiento Cambio de Bombas y Conjunto Rotórico, Aguas Recuperadas, Periodo 2016 – 2017.

SALA	FRECUENCIA CAMBIO BOMBA	FRECUENCIA CAMBIO CONJUNTO ROTÓRICO
1	Correctivo	Correctivo
2	6 meses	3 meses
3	6 meses	3 meses
4	12 meses	6 meses

Bombas centrifugas: El cambio de Bombas Centrifugas se realiza en base a la disminución en el rendimiento de impulsión en las bombas, a continuación, la Tabla 4-13 representa la estrategia de cambio de las Bombas Centrifugas correspondientes a los años 2018 y 2019.

Tabla 4-13: Estrategia de Cambio de Bombas Centrifugas impulsión Aguas Recuperadas, Año 2018/2019.

2018/2019	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BOC-241	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOC-242	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOC-243	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOC-244	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOC-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOC-246	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOC-247	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOC-281	C/B			C/B			C/C			C/B		
BOC-282			C/C			C/B			C/B			C/B
BOC-283		C/B			C/C			C/B			C/C	
BOC-284		C/B			C/C			C/B			C/C	
BOC-285	C/C			C/B			C/C			C/B		
BOC-115			C/C			C/B			C/C			C/B
BOC-116			C/B			C/C			C/B			C/C
BOC-117	C/C			C/B			C/C			C/B		
BOC-118	C/B			C/C			C/B			C/C		
BOC-287	C/C						C/B					
BOC-288	C/B						C/C					

Bombas dosificadoras de floculante: De acuerdo con lo señalado previamente, las Bombas Dosificadoras de Floculante se someterán a cambios por fallas de tipo correctivo informadas por personal de operaciones, previa revisión de la causa de la falla por parte del personal de mantenimiento ya sea debido a encontrarse la bomba sin empaquetadura suficiente para realizar un reapriete que asegure el sellado óptimo

de esta, o en caso de poseer alguno de sus componentes internos gastados y/o fracturados.

Se debe señalar que, para estrategias de cambio de bombas, Centrifuga, Engranajes y Tornillo, se requiere la creación de instructivos de trabajo, direccionados a las actividades necesarias para su ejecución.

4.3. FALENCIAS OBSERVADAS

La Unidad Mantenimiento de la Planta de Recuperación de Aguas, parte de la Unidad Mantenimiento de Aguas y Relaves tiene como objetivo el resguardar el correcto funcionamiento de los equipos encargados del proceso de espesamiento y recirculación de aguas recuperadas para el proceso de concentración.

La demanda de agua en las plantas ha aumentado debido al incremento en la extracción del mineral, lo que derivó en la reformulación y aumento de esfuerzos de la planta para mejorar la eficiencia del proceso, de espesamiento y recirculación, entre estas mejoras se incluye la adición de un espesador adicional (R-10), la automatización parcial, tanto en espesadores, salas de impulsión, sala dosificación de floculante, etc.

Pese a que se han tomado medidas para mejorar el proceso, existen algunas falencias que deben ser corregidas como, por ejemplo:

- Planos del área desactualizados.
- Planos de los equipos y componentes incompletos.
- Complejidad en el proceso de movimiento de repuestos
- Listado de repuestos desactualizados en el sistema de gestión SAP.
- Ausencia de documentación de los procedimientos operacionales.
- Ausencia de toma de parámetros “iniciales” de los equipos post reparación y puesta en marcha.
- Falta de sistema de monitoreo de condiciones de operación en salas 1 y 2.

- Perdidas de eficiencia operativa en las salas de bombas y perdida de eficiencia de dosificación en la sala de floculantes.
- Declaración y/o registros deficientes de fallos o condiciones inadecuadas de funcionamiento de equipos.
- Información de parámetros eléctricos de operación poco accesibles para el personal mecánico de mantenimiento.
- Necesidad de evaluar estado de bombas sin necesidad de detener y desarmar equipo.
- Condición del fluido transportado distinta a la de diseño de la instalación.

El desarrollo de las actividades de inspección y mantenimiento (Pautas de Inspección Mantenimiento) de los equipos, se efectuaron en formatos desarrollados por el área de planificación y confiabilidad, considerando modificaciones y mejoras, incorporando información relativa a los tiempos asociados a la ejecución de dichas actividades, y los recursos Horas Hombres utilizados en ellas. Sin embargo, sigue siendo necesaria la constante modificación y actualización de estas pautas para estandarizar la información de fallas observadas y registradas y facilitar así al mantenedor la tarea de ingreso de datos a las pautas, con énfasis a la calidad de esta y a la simplicidad de ingreso de esta.

Es debido a la calidad del ingreso de información, fundamentalmente la relacionada con las detenciones no programadas, que se torna complejo el proceso de obtención de información referente a las condiciones de los equipos, tipos de detenciones, componentes involucrados en las detenciones, síntomas observados, tiempos de detención requeridos, etc., tanto en pautas de inspección de equipos, como en sistema de gestión SAP, lo que ocasiona la necesidad de acceder a libros de bloqueo, documentos de disponibilidad mensual de los equipos, etc., para obtener de una manera esta información, la que en algunos casos, es de una calidad deficiente para una identificación precisa de los eventos de detención en los equipos.

Para la realización de las actividades de retiro y/o instalación de equipos y componentes (bombas centrifugas, conjuntos rotóricos, válvulas, etc.), en ocasiones,

los periodos de indisponibilidad de los equipos aumentaban debido al tiempo empleado en la gestión de maquinaria necesaria como, por ejemplo, camiones pluma, para efectuar el cambio y/o instalación de equipos en las salas.

También, debido a la localización general de la planta, se hace necesario contar con un stock adecuado de repuestos vitales para los equipos de impulsión, como, por ejemplo, impulsores, ejes, cajas de rodamientos, anillos o placas de desgaste, etc., que deben ser adquiridos o enviados a reparar a maestranzas en la V, VI región o región metropolitana. Esto para evitar las detenciones de equipos por periodos prolongados debido a la gestión y/o traslado de dichos repuestos.

Debido a la ausencia de instrumentos para el monitoreo de las condiciones operacionales de las bombas en la Sala N°1 y 2, para determinar y planificar las actividades de reemplazo de conjuntos rotóricos o de bombas completas, se realiza seguimiento con base a los registros de cambios de bombas y/o conjunto rotórico que se tienen en el área de mantenimiento mecánico de aguas recuperadas y en base a esta inspección, determinar el cambio de bomba o de conjunto rotórico. Cabe señalar que la evaluación de las condiciones operativas del equipo permite determinar la necesidad de realización de actividades de mantenimiento mayor, además de poder establecer la necesidad de detener o encender una bomba para cumplir con la demanda de agua recuperada sin caer en la sobre utilización de equipos, lo que disminuye la eficiencia del proceso, es por esto que se enfatiza en dar pronta solución al tema de la falta de monitoreo de condiciones operacionales en las Salas de Bombeo N°1 y 2.

Las bombas de la sala 1 de impulsión de aguas recuperadas operan en la actualidad sin líneas de agua de sellado de empaquetaduras, esto conduce a las frecuentes actividades del tipo correctivas de empaquetado de bomba, implicando mayores tiempos de inactividad, además del riesgo de generación de daños de mayor consideración sobre los equipos.

Se observa que al momento de realizar una instalación y/o cambio de bomba, no se efectúa una toma de mediciones de condiciones operacionales (presiones alimentación / descarga, caudal, temperatura descansos, vibraciones, corriente, etc.) durante la puesta en marcha de los equipos, fundamentales para establecer patrones de operación óptimos, y generar historial sobre la información operativa de los equipos de impulsión, y además, para evaluar el nivel de mantenimiento realizado sobre estos equipos.

En las piscinas de las salas de bombeo, la actividad de mantenimiento a realizar es la limpieza de las piscinas, sin embargo, queda en evidencia que la frecuencia de esta actividad es inadecuada, debido a las condiciones operativas actuales, las que generan que el agua que ingresa a las piscinas venga con una cantidad de sólidos en su composición considerable, lo que incide en la operación de los impulsores y/o resto de componentes internos de las bombas de impulsión.

Ilustración 48: Agua de rebose de espesador de relaves.

Ilustración 49: Piscina de succión de agua recuperada en sala N°2.

5. PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez analizados los principales modos de falla y causas, para los equipos de impulsión del área aguas recuperadas (RAG), se procede con la propuesta de actividades a realizar para la mejora del plan de mantenimiento. Primero que todo se procede a plantear una serie de mejoras en vista de las falencias encontradas en el ítem 4.3: FALENCIAS OBSERVADAS, a partir de esto se propone:

- Diseñar un plan de mantenimiento para las bombas de tornillo excéntrico 182 y 183 e incluirlo al plan matriz del área RAG.
- Anexar línea auxiliar a bombas de tornillo excéntrico 182 y 183 desde bomba 181 para cuando una de estas este fuera de servicio, y exista disponibilidad de la bomba 181, esta pueda apoyar la dosificación de floculante.

- Modificación de sistema de sellado de las bombas de tornillo excéntrico 182 y 183 a empaquetaduras, ante reiterados eventos de fuga de floculante en estos equipos.
- Actualización planos del área espesamiento, recirculación, almacenaje de agua recuperada, etc. así como de los componentes principales de sus equipos.
- “Flow sheet” bombas impulsoras agua recuperada y floculante a espesadores.
- La recopilación de hojas de procedimientos actividades mantenimiento principales (Se incluye en el presente trabajo).
- Adquisición de instrumentos de medición de parámetros operacionales (Presión y Caudal), a modo de apoyar el monitoreo de condiciones de todas las salas.
- Bombas Centrifugas: Control metrológico anillos desgaste.
- Bombas Floculante: Control cavidades interiores bomba engranajes, reemplazo si no es satisfactoria.
- Confección de un documento estandarizado de análisis y registro de averías observadas durante actividades de inspección y/o reemplazo / mantenimiento mayor en los equipos.
- Retroalimentar información mediciones eléctricas con personal mantenimiento mecánico.
- Realizar toma de muestras de lubricante y envió a análisis para evaluar degradación.
- Realizar un control de la condición del fluido ingresado a estanques de succión en salas de impulsión de aguas recuperadas.
- Implementación de actividades periódicas de análisis termográfico en carcasa bomba, cañerías, como también en motores eléctricos y centros de control de motores.

- Realizar la gestión para la reducción de los tiempos de adquisición y distribución de repuestos de los equipos de impulsión (disminuir o eliminar tiempos improductivos).
- Definir repuestos “Vitales” y número adecuado de repuestos a disponer en taller.
- Instalación y/o habilitación línea de agua sellado caja empaquetaduras en sala de impulsión N°1.
- Respaldo de información de parámetros operacionales de los equipos posterior a un cambio de equipo o un mantenimiento como elemento de referencia para posterior monitoreo de condición.
- Realizar pruebas operacionales con empaquetaduras de distintos materiales para evaluar desempeño de estos.

Durante la ejecución del análisis de modos de falla y causas de estas para los equipos de impulsión de agua recuperada y dosificación de floculantes, se procede a la propuesta de solución para cada uno de estos eventos. Al clasificar los modos de falla y causas más importantes, se procede a obtener una serie de medidas para optimizar el trabajo de mantenimiento, estas se presentan en la Tabla 5-1. Cabe destacar que estas actividades se incluyen en las pautas de mantenimiento generadas a partir de esta información.

Tabla 5-1: Listado propuestas actividades mantenimiento sala impulsión aguas recuperadas y dosificación floculante, RAG.

Propuesta Solución (Mejora)	**CLASIFICACIÓN 1**	**CLASIFICACIÓN 2**
ANÁLISIS TERMOGRÁFICO / TERMOMETRÍA A BOMBAS Y MOTOR	INSTRUMENTOS	
EVALUAR CONDICIÓN AGUA RECUPERADA (PORCENTAJE SOLIDOS)	INSTRUMENTOS	
MEDICIÓN Y ANÁLISIS VIBRACIONES MECÁNICAS EN BOMBA Y MOTOR	SENSORES	
ESTANDARIZAR INFORMACION DE FALLAS REGISTRADAS EN INSPECCIONES / MANTENIMIENTO	CAPACITACIÓN / M.O	
MEDICIÓN Y REGISTRO DE PRESIÓN Y CAUDAL	INSTRUMENTOS	
REGULAR HOLGURA AXIAL IMPULSOR	CAPACITACIÓN / M.O	
APLICACIÓN DE TRABA QUÍMICA AL INSTALAR TUERCA IMPULSOR	CAPACITACIÓN / M.O	
REALIZAR PRUEBAS CON OTRO TIPO EMPAQUETADURA	MATERIALES	

INSTALAR / AJUSTAR SISTEMA LUBRICACIÓN PRENSAESTOPAS CON AGUA	CAPACITACIÓN / M.O	
MEJORAR EL MÉTODO DE SELLADO RODAMIENTOS	MATERIALES	
PREVENIR OXIDACIÓN RODAMIENTOS DURANTE PARADAS	CAPACITACIÓN / M.O	MATERIALES
VERIFICAR PRECISIÓN EJE Y ALOJAMIENTO RODAMIENTOS	TERCEROS	
MEJORAR MÉTODO INSTALACIÓN RODAMIENTOS	CAPACITACIÓN / M.O	
LIMPIAR EL ALOJAMIENTO DE RODAMIENTOS	CAPACITACIÓN / M.O	
LIMPIEZA VÁLVULA	CAPACITACIÓN / M.O	
RECTIFICACIÓN SUPERFICIE ASIENTO VÁLVULA	TERCEROS	
LIMPIEZA / LUBRICACIÓN MECANISMO ACCIONAMIENTO VÁLVULA	CAPACITACIÓN / M.O	
APLICACIÓN ADHESIVO ANAERÓBICO TRABA ROSCAS AL INSTALAR PERNOS SUJECIÓN	MATERIALES	CAPACITACIÓN / M.O
MEJORAR MÉTODO LUBRICACIÓN RODAMIENTOS	MATERIALES	CAPACITACIÓN / M.O
(VERIFICAR) ALINEAMIENTO 3M	CAPACITACIÓN / M.O	
APLICAR REFORZADOR DE JUNTA O SELLADOR DE SILICONA (LOCTITE) EN CADA INSTALACIÓN DE JUNTAS PLANAS (EJ.: TERMO POLÍMERO ELASTÓMERO EPDM O NITRILO NBR)	MATERIALES	
TERMOGRAFÍA / ULTRASONIDO EN TUBERÍAS PARA DESCARTAR FUGAS	INSTRUMENTOS	
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO O PRUEBA DE MEGOHMIO	CAPACITACIÓN / M.O	
REEMPLAZO REVESTIMIENTO EPOXI CERÁMICO A REVESTIMIENTO ELASTÓMERO EN INTERIOR CARCASA BOMBA	MATERIALES	
MEDICIÓN Y ANÁLISIS PARÁMETROS ELÉCTRICOS	INSTRUMENTOS	
CAMBIAR MATERIAL DE SOLDADURA LENGÜETA CARCASA O SOLICITAR EXTERNALIZAR PROCESO	MATERIALES	TERCEROS
SUSTITUCIÓN POR IMPULSOR MAS GRANDE	MATERIALES	
CORRECCIÓN AJUSTE RODAMIENTOS	CAPACITACIÓN / M.O	TERCEROS
CAMBIAR LUBRICANTE	MATERIALES	
USO MATERIALES HIERRO DÚCTIL CON ENDURECIMIENTO - ALEACIONES CON ALTO CONTENIDO DE CROMO - POLÍMEROS ESPECIALES	MATERIALES	
RECTIFICAR ENSAMBLAJE ANILLO DESGASTE	CAPACITACIÓN / M.O	TERCEROS
RECTIFICAR EJE	TERCEROS	
REBOBINADO ROTOR	CAPACITACIÓN / M.O	TERCEROS
PRUEBAS DE CONTINUIDAD	INSTRUMENTOS	CAPACITACIÓN / M.O
REVISIÓN CONDICIÓN ACEITE / GRASA RODAMIENTOS BOMBAS (ANÁLISIS ACEITE)	TERCEROS	
TERMOGRAFÍA A CENTRO CONTROL MOTOR	INSTRUMENTOS	
MEJORAR MÉTODO LUBRICACIÓN RODAMIENTO	CAPACITACIÓN / M.O	MATERIALES

CAMBIO MATERIALES DE ELEMENTOS DE SELLADO EN PASADOR DE ARTICULACIÓN VÁLVULA CHECK	MATERIALES	
CAMBIO DE ELEMENTOS DE SELLADO EN PASADOR DE ARTICULACIÓN VÁLVULA CHECK	MATERIALES	
REDISEÑO PASADOR DE ARTICULACIÓN VÁLVULA CHECK	MATERIALES	
CONTROL HOLGURAS IMPULSOR - CARCASA	TERCEROS	CAPACITACIÓN / M.O
SOLICITAR PLANOS DETALLADOS DE COMPONENTES BOMBAS A DISTRIBUIDOR AUTORIZADO	TERCEROS	
REALIZAR METROLOGÍA DE CONTROL A COMPONENTES REPARADOS - FABRICADOS EN MAESTRANZA	TERCEROS	
VERIFICACIÓN TOLERANCIAS ANILLOS DESGASTE	TERCEROS	CAPACITACIÓN / M.O
PRUEBAS RESISTENCIA DE BOBINADO - MEDICIONES ELÉCTRICAS EN CAPACITORES (SI APLICA)	INSTRUMENTOS	CAPACITACIÓN / M.O
REVISIÓN DISTANCIA ENTRE ENGRANAJES RODETE Y CARCASA	CAPACITACIÓN / M.O	TERCEROS

6. ELABORACIÓN DE PAUTAS Y CATASTRO DE REPUESTOS

6.1. ELABORACIÓN DE PAUTAS

Con base en la información recopilada en los capítulos previos de este trabajo, se procede a generar las pautas de mantenimiento, agregando toda la información disponible aportada por el fabricante, y agregando las propuestas de actividades a realizar mencionadas en el apartado anterior. Estas pautas están disponibles en el anexo de este trabajo.

6.2. CATASTRO DE REPUESTOS

Con base en la información recopilada en los manuales de mantenimiento, información obtenida en planta respecto a algunos códigos SAP y valores de repuestos se generan los listados de repuestos de las bombas analizadas en este trabajo. Como se mencionó en los capítulos anteriores, existe una oportunidad de

mejora en este apartado mediante la actualización de los componentes de repuesto en el sistema de gestión SAP, esto implica una actualización de los códigos SAP, su breve descripción, reemplazo de materiales que ya no son utilizados, la adición de materiales utilizados que no están asociados al equipo en cuestión, listado de precios actualizados, etc. A continuación, se muestra algunas capturas de la planilla de piezas y repuestos de las bombas. Para más detalle, se recomienda revisar la planilla adjunta "REPUESTOS Y PIEZAS".

6.2.1. WORTHINGTON 6FRBH-223

La Ilustración 50 presenta el catastro de repuestos para los equipos de la sala de impulsión N°1.

CÓDIGO [SAP]	DESCRIPCIÓN	DENOMINACIÓN	ÍTEM [2160BRIDS504]	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO		PRECIO	
1034574	SHAFT SS316 WORTH 6FRBH 21145181	EJE SS316	6	1	UN	USD	2,746	USD	2,746
1034575	IMPELLER 19" SS316 WORTH 6FRBH 21145521	IMPULSOR 19" SS316	2	1	UN	USD	3,820	USD	3,820
1034576	STUFFING BOX WORTH 6FRBH 21125231	CABEZAL PRENSAESTOPAS	11	1	UN	USD	-	USD	-
1034578	NUT IMPELLER WORTH 6FRBH 90901501	TUERCA DEL IMPULSOR	24	1	UN	USD	530	USD	530
1034579	RING LANTERN WORTH 6FRBH 99016155	ANILLO (LINTERNA) CIERRE HIDRÁULICO	29	2	PCS	USD	577	USD	1,154
1034580	RING 'O' WORTH 6FRBH 914000033	O'RING (TUERCA IMPULSOR) #043	30	1	UN	USD	-	USD	-
1034581	BUSHING STUFFING WORTH 6FRBH 99016715	BUJE (FONDO) CAJA EMPAQUETADURAS	63	1	UN	USD	-	USD	-
1034582	GASKET CASING WORTH 6FRBH-223 907000034	JUNTA (ANILLO) CARCASA	73	1	UN	USD	-	USD	-
1034583	WEAR PLATE WORTH 6FRBH 2112700001	PLACA DESGASTE (INCLUYE 197, 209, 215A-ARANDELA, ESPARRAGO, TUERCA)	181	1	UN	USD	3,291	USD	3,291
1034585	FRAME BEARING WORTH 6FRBH 21139021	RECUPERACIÓN CAJA RODAMIENTO (CAJA RODAMIENTO)	19	1	UN	USD	9,920	USD	9,920
1034586	COVER LINE BEAR WORTH 6FRBH 21138901	COBERTOR (TAPA) RODAMIENTO DE LÍNEA	35	1	UN	USD	1,207	USD	1,207
1034587	DEFLECTOR WORTH 6FRBH 21049066	DEFLECTOR AGUA (CON TORNILLOS FIJACIÓN) SS316	40	1	UN	USD	568	USD	568
1034588	SEAL LIP WORTH 6FRBH 9100000013	SELLO CON PESTAÑA / SELLO LABIO	47	1	UN	USD	-	USD	-
1034589	SEAL LIP WORTH 6FRBH 9100000014	SELLO CON PESTAÑA / SELLO LABIO	49	1	UN	USD	-	USD	-
1034590	RING 'O' WORTH 6FRBH 914000013	O'RING (COBERTOR RODAMIENTO DE LÍNEA) #267	89A	1	UN	USD	-	USD	-
1034591	RING 'O' WORTH 6FRBH 914000010	O'RING (TAPA - SOPORTE RODAMIENTO DE EMPUJE) #269	89B	1	UN	USD	-	USD	-
1034592	PLUG VENT WORTH 6FRBH 91200171	RESPIRADERO ACEITE	213	1	UN	USD	-	USD	-
1034584	RODAMIENTO BOLAS SKF 7318B	RODAMIENTO (BOLA) DE EMPUJE SKF 7318 BUA (HILERA DE BOLAS CONTACTO ANGULAR)	18	2	UN	USD	179	USD	358
4062934	EMPAQUETADURA TRENZ GFO 1/2" WILL-054	**	N/A	1	KG	USD	-	USD	-
4062935	EMPAQUETADURA TRENZ GFO 5/8" WILL-054 WORTH 6FRBH 91000109	JUEGO EMPAQUETADURA	13	1	KG	USD	-	USD	-
4064240	LAMINA ESTILO E-455 1/16" CHESTER 3632	**	N/A	1	UN	USD	-	USD	-
4064227	LAMINA ESTILO E-455 1/8" CHESTERTON	**	N/A	1	UN	USD	-	USD	-
1034577	SLEEVE SHAFT WORTH 2122417004	CAMISA / MANGA DEL EJE	14	1	UN	USD	760	USD	760
N/A	ACEITE TELLUS S2 VX 68 208 LT	ACEITE LUBRICANTE AL SOPORTE DE RODAMIENTOS.	N/A	1	UN	USD	-	USD	-
1041661	LINE BEARING WORTH 6FRBH 90200206	RODAMIENTO (BOLA) DE LÍNEA SKF 6320 (RÍGIDO DE UNA HILERA DE BOLAS)	16	1	UN	USD	92	USD	92
1041943	BEARING LOCKNUT WORTH 6FRBH 90900202	TUERCA (SEGURIDAD) BLOQUEO RODAMIENTOS DE EMPUJE AN-18	22	1	UN	USD	-	USD	-
1033635	BEARING LOCKWASHER WORTH 6FRBH 92000002	ARANDELA (SEGURIDAD) BLOQUEO RODAMIENTOS EMPUJE	22A	1	UN	USD	-	USD	-
4121890	ACOPLAMIENTO TORSIÓN SAMIFLEX A522529PBH	ACOPLAMIENTO TORSIONAL, FABRICANTE SAMIFLEX N/P A5-225-29 PBH	N/A	1	UN	USD	-	USD	-
4121871	Elastómero HTSTD A5H6	Elastómero HTSTD A5H6	N/A			USD	-	USD	-
1419798	ACOPLAMIENTO, INCLUYE: 1UN ESPACIADOR LONGITUD: 187MM, 1UN MASA MATERIAL: ACERO GG25, EJE MOTOR: 3 3/8", CHAVETA: 3/4"X1/2", 1UN MASA MATERIAL: ACERO GG25, EJE BOMBA DIA: 2.7/8", CHAVETA: 3/4"X1/2", 1UN ANILLO EXTERIOR NYLON, 1UN ELEMENTO ELÁSTICO A5 POLIURETANO, SAMIFLEX	ACOPLAMIENTO SAMIFLEX A5CSL1875P INCLUYE: 1UN ESPACIADOR LONGITUD: 187MM, 1UN MASA MATERIAL: ACERO GG25, EJE MOTOR: 3 3/8", CHAVETA: 3/4"X1/2", 1UN MASA MATERIAL: ACERO GG25, EJE BOMBA DIA: 2.7/8", CHAVETA: 3/4"X1/2", 1UN ANILLO EXTERIOR NYLON, 1UN ELEMENTO ELÁSTICO A5 POLIURETANO, SAMIFLEX N/P A5 CS L187 SP	N/A	1	UN	USD	-	USD	-
1453312	CASING FRBH FLOWSERVE 2112503001	CARCASA (VOLUTA) BOMBA WORTHINGTON	1	1	UN	USD	37,300	USD	37,300
1440280	Empaquetadura Trenzada 5/8" Chesterton 009285 WORTH 6FRBH 91000109	Empaquetadura Trenzada 5/8" Chesterton MULTI-LON, ESTRUCTURA: FIBRAS TERMOENCOGIBLES INTERTRENZADAS SINTÉTICAS CONTINUAS , INMUNIZADAS C/LUBRICANTE PTFE-LUBRICANTE ESPECIAL SACRIFICIO P/RODAJE, PRESENTACIÓN: ROLLO 4.54KG, CHESTERTON MOD.E-1727 N/P 009285	13	1	KG	USD	291	USD	291
4095682	EMPAQUETADURA TRENZADA 5/8" PTFE PG 101 WORTH 6FRBH 91000109	EMPAQUETADURA TRENZADA 5/8" PTFE PG 101	13	1	KG	USD	291	USD	291
Total						USD	61,571	USD	62,327

Ilustración 50: Catastro de repuestos WORTHINGTON 6FRBH-223.

6.2.2. EUROFLO 300ESC-104

La Ilustración 51 presenta el catastro de repuestos para los equipos de la sala de impulsión N°2.

CODIGO [SAP]	DENOMINACION	DESCRIPCIÓN	ITEM ESC300104PWW [DR-00411]	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1439694	BOMBA 500 HP EUROFLO ESC300104PWW	BOMBA EUROFLO ESC300- 104 PQQ 500 HP	N/A	1	UN	USD 50,748	USD 50,748.34
N/A	CARCASA POS 1 INFERIOR EUROFLO ESC300104PWW	CARCASA INFERIOR	1	1	UN	USD -	USD -
N/A	CARCASA POS 2 SUPERIOR EUROFLO ESC300104PWW	CARCASA SUPERIOR	2	1	UN	USD -	USD -
1447666	IMPULSOR POS 4 EUROFLO ESC300104PWW	IMPULSOR POS 4 EUROFLO ESC300104PWW	4	1	UN	USD 9,302	USD 9,302.18
1447667	ANILLO EUROFLO POS 5 ESC300103PWW	ANILLO [DESGASTE] EUROFLO ESC300103PWW	5	2	UN	USD -	USD -
1440734	SEAL CHAMBER POS 17 EUROFLO ESC300104PWW	CÁMARA DE SELLO	17	2	UN	USD -	USD -
N/A	DEFLECTOR GOMA NBR POS 19 EUROFLO ESC300104PWW	DEFLECTOR NBR	19	2	UN	USD -	USD -
N/A	SEAL CHAMBER O'RING POS 23 EUROFLO ESC300104PWW	O'RING CAMARA DE SELLO	23	2	UN	USD -	USD -
N/A	WASHING PIPE POS 28 EUROFLO ESC300104PWW	LINEA AGUA DE SELLADO	28	2	UN	USD -	USD -
N/A	CROSS POS 26 EUROFLO ESC300104PWW	CRUCE LINEA AGUA SELLO	26	1	UN	USD -	USD -
N/A	PACKING SLEEVE POS 33 EUROFLO ESC300104PWW	CAMISA DE SELLO INTERIOR CAJA EMPAQUETADURA	33	2	UN	USD -	USD -
N/A	LANTERN RING POS 29 EUROFLO ESC300104PWW	ANILLO (LINTERNA) CIERRE HIDRAULICO	29	2	UN	USD -	USD -
1408829	PACKING POS 30 EUROFLO ESC300104PWW (1/2" CHESTERTON)	EMPAQUETADURA 1/2" CHESTERTON	30	6	UN	USD -	USD -
4103470	EMPAQUETADURA TRENZADA 1/2" 175925	EMPAQUETADURA 1/2"	30	1	BX	USD 507	USD 507.41
1435198	LANTERN RING POS 31 EUROFLO ESC300104PWW	ANILLO "LINTERNA" EXTERIOR PRENSAESTOPAS	31	2	UN	USD -	USD -
N/A	O'RING SOBRE LANTERN RING POS 31 EUROFLO ESC300104PWW	O'RING ANILLO "LINTERNA" PRENSAESTOPAS	N/A	2	UN	USD -	USD -
1440732	SLEEVE SPACER EUROFLO ESC300104PWW	ANILLO / BUJE ESPACIADOR COSTADO CAMISA EJE	36.3	2	UN	USD -	USD -
N/A	IMPELLER KEY EUROFLO ESC300104PWW	CHAVETERO IMPULSOR	N/A	2	UN	USD -	USD -
1435200	GLAND COVER POS 32 EUROFLO ESC300104PWW	GLAND (COLLARIN PRENSAESTOPAS) EUROFLO USO BOMBA MOD ESC300104PWW	32	2	UN	USD -	USD -
1451168	DRIVE ENDING BEARING HOUSE POS 6 EUROFLO ESC300104PWW	SOPORTE EUROFLO (CAJA RODAMIENTOS) LADO ACCIONAMIENTO ESC300104PWW	6	1	UN	USD -	USD -
1447668	DRIVE ENDING BEARING HOUSE COVER POS 7 EUROFLO ESC300104PWW	TAPA SOPORTE EUROFLO (CAJA RODAMIENTOS) ESC300104PWW	7	2	UN	USD -	USD -
1041550	DRIVE ENDING BALL BEARING POS 8 EUROFLO ESC300104PWW	RODAMIENTO RIGIDO BOLAS SKF 6316 C3	8	1	UN	USD 279	USD 279.36
1435199	NON DRIVE ENDING BEARING HOUSE POS 9 EUROFLO ESC300104PWW	SOPORTE EUROFLO (CAJA RODAMIENTOS) LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO	9	1	UN	USD -	USD -
1041550	NON DRIVE ENDING BALL BEARING POS 10 EUROFLO ESC300104PWW	RODAMIENTO RIGIDO BOLAS SKF 6316 C3	10	1	UN	USD 279	USD 279.36
N/A	NON DRIVE ENDING EXTERNAL CIRCLIPS POS 11 EUROFLO ESC300104PWW	ANILLO CIRCULAR EXTERNO	11	1	UN	USD -	USD -
N/A	DRIVE ENDING BEARING LOCKNUT POS 12 EUROFLO ESC300104PWW (KM16)	TUERCA BLOQUEO RODAMIENTOS LADO ACCIONAMIENTO (DERECHA) KM16	12	3	UN	USD -	USD -
N/A	BEARING SLEEVE (POS 16.1)	ANILLO ESPACIADOR RODAMIENTO LADO MACHÓN	8* / 16.1	1	UN	USD -	USD -
N/A	BEARING SLEEVE (POS 16.2)	ANILLO ESPACIADOR RODAMIENTO LADO MACHÓN	8** / 16.2	1	UN	USD -	USD -
4088902	FELT RING POS 25 EUROFLO ESC300104PWW	SELLO ACEITE CB 75X100X10MM (ANILLO FIELTRO)	25	2	UN	USD -	USD -
1447664	SHAFT POS 3 EUROFLO ESC300104PWW	EJE BOMBA POS 3 EUROFLO ESC300104PWW	3	1	UN	USD 2,332	USD 2,332.49
1447665	SHAFT SLEEVE POS 13 EUROFLO ESC300104PWW	CAMISA EJE AC POS 13 EUROFLO ESC300104PW	13	2	UN	USD 1,094	USD 2,187.58
1440735	COUPLING HUBS EUROFLO ESC300104PWW	CONJUNTO COMPLETO WRAPFLEX 50R10	18	1	UN	USD 999	USD 999.19
1442803	MASAS HUB WRAPFLEX 50R10	MASAS HUB WRAPFLEX 50R10	N/A	2	UN	USD -	USD -
1442804	ELEMENTO WRAPFLEX 50R10	ELEMENTO WRAPFLEX 50R10	N/A			USD -	USD -
1442805	TAPA WRAPFLEX	TAPA WRAPFLEX	N/A	1	UN	USD -	USD -
N/A	SHAFT & SLEEVE O'RING	O'RING EJE - CAMISA	20	2	UN	USD -	USD -
N/A	COUPLING POS 21 EUROFLO ESC300104PWW	CHAVETERO ACOPLE	N/A	1	UN	USD -	USD -
N/A	IMPELLER & SLEEVE O'RING POS 24 EUROFLO ESC300104PWW	O'RING IMPULSOR - CAMISA	24	2	UN	USD -	USD -
1306603	SELLO ACEITE 692641 SKF 90x110x12	SELLO ACEITE 692641 SKF 90x110x12	N/A	2	UN	USD -	USD -
			Total			USD 65,542	USD 66,635.90

Ilustración 51: Catastro de repuestos EUROFLO 300ESC-104

6.2.3. ENSIVAL 70DDS300

La Ilustración 52 presenta el catastro de repuestos para los equipos de la sala de impulsión N°3.

CODIGO [SAP]	DESCRIPCIÓN	DENOMINACIÓN	ITEM [PLN020045000]	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1257520	BEARING ENSIVAL ITEM7 PLN020045000	ANILLO RETENCION RODAMIENTO LADO ACCIONAMIENTO	7	1	UN	USD -	USD -
1257639	BEARING RING ENSIVAL IT7A PLN02004500	ANILLO RETENCION RODAMIENTO LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO (LIBRE)	7A	1	UN	USD -	USD -
1257616	DEFLECTOR ENSIVAL ITEM9 PLN020045000	DISCO PROTECCION LADO ACCIONAMIENTO	9	1	UN	USD -	USD -
1257664	THROAT BUSHING ENSIVAL IT10 PLN020045000	MANGUITO DE FONDO (BUJE GARGANTA)	10	2	UN	USD -	USD -
1257635	BEARING HOUS ENSIVAL ITEM13 PLN020045	CAJA (SOPORTE) RODAMIENTOS LADO ACCIONAMIENTO	13	1	UN	USD 3,198	USD 3,198
1257636	BEARING HOUS ENSIVAL ITEM14 PLN020045	CAJA (SOPORTE) RODAMIENTOS LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO (LIBRE)	14	1	UN	USD 2,540	USD 2,540
1257634	BEARING COVER ENSIVAL IT15 PLN020450	TAPA CAJA (SOPORTE) RODAMIENTOS LADO ACCIONAMIENTO	15	1	UN	USD 773	USD 773
1257633	BEARING COVER ENSIVAL IT16 PLN0200450	TAPA CAJA (SOPORTE) RODAMIENTOS LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO (LIBRE)	16	1	UN	USD -	USD -
1257640	DEFLECTOR ENSIVAL ITEM23 PLN020045000	DISCO PROTECCION LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO	23	1	UN	USD -	USD -
1267157	CJTO CARCAZA ENSIVAL 51A+51HARDNESS	CARCASA INFERIOR (51) / CARCASA SUPERIOR (51A)	51/51A*	1	UN	USD -	USD -
1231345	IMPULSOR ENSIVAL 70DDS300	IMPULSOR	55	1	UN	USD 3,580	USD 3,580
1231347	EJE ENSIVAL 70DDS300	EJE	59	1	UN	USD 4,274	USD 4,274
1231346	JUEGO MANGUITO EJE ENSIVAL 70DDS300	JUEGO CAMISAS DEL EJE	60'	1	UN	USD 2,333	USD 2,333
1257656	SHAFT SLEEVE ENSIVAL IT60A PLN020045000	CAMISA (CONICA) INTERMEDIA DEL EJE	60A	2	UN	USD 2,922	USD 5,844
1231258	GLAND PACKING ENSIVAL 70DDS300 ITEM 62	(COLLARIN) PRENSAESTOPAS	62	2	UN	USD 1,464	USD 2,928
4095682	EMPAQUETADURA TRENZADA 5/8" PTFE PG101	EMPAQUETADURA TRENZADA 5/8" PTFE PD101	E	2	BX	USD 291	USD 581
1231344	CASING WEAR ENSIVAL 68HARDNESS	ANILLO DESGASTE CARCASA	68*	2	UN	USD 4,117	USD 8,235
1257654	IMPELLER WEAR ENSIVAL 71HARDNESS	ANILLO DESGASTE IMPULSOR	71*	2	UN	USD 928	USD 1,856
1231257	LANTERN RING ENSIVAL 70DDS300 ITEM 77	ANILLO CIERRE HIDRAULICO (LINTERNA)	77	2	UN	USD 594	USD 1,188
1231341	TUERCA RODAMIENTO ENSIVAL 70DDS300	TUERCA BLOQUEO RODAMIENTOS LADO ACCIONAMIENTO (HILO IZQUIERDO)	92	1	UN	USD -	USD -
1231342	TUERCA RODAMIENTO ENSIVAL 70DDS300	TUERCA BLOQUEO RODAMIENTOS LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO (LIBRE) (HILO DERECHO)	92A	1	UN	USD -	USD -
1231256	SLEEVE LOCKING ENSIVAL 70DDS300 ITEM 97	TUERCA BLOQUEO CAMISA LADO ACCIONAMIENTO (HILO IZQUIERDO)	97	1	UN	USD -	USD -
1257652	IMPEL LOCKNUT ENSIVAL IT97A PLN020045	TUERCA BLOQUEO CAMISA LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO (LIBRE) (HILO DERECHO)	97A	1	UN	USD -	USD -
N/A		PERNO (ESPARRAGO) O ESPOLON UNION CARCASA INFERIOR Y SUPERIOR	144	42	UN	USD -	USD -
1257660	SCREW ENSIVAL ITEM 144A PLN020045000	TORNILLO SOBRE TUERCAS BLOQUEO CAMISAS	144A	4	UN	USD -	USD -
1257661	SCREW ENSIVAL ITEM 144B PLN020045000	PASADOR SOBRE MANGUITO DE FONDO (BUJE GARGANTA)	144B	2	UN	USD -	USD -
N/A		TUERCA SOBRE PERNO (ESPARRAGO) O ESPOLON UNION CARCASA INFERIOR Y SUPERIOR	145	42	UN	USD -	USD -
N/A		TAPON SOBRE CODO DESCARGA	146	1	UN	USD -	USD -
1307393	BALL BEARING ENSIVAL 70DDS300 ITEM R1	RODAMIENTO BOLAS 6321-C3	R1	1	UN	USD 159	USD 159
1307393	BALL BEARING ENSIVAL 70DDS300 ITEM R2	RODAMIENTO BOLAS 6321-C3	R2	1	UN	USD 159	USD 159
1231343	ARANDELA SEGURIDAD ENSIVAL 70DDS300	ARANDELA SEGURIDAD	RS	1	UN	USD -	USD -
1257617	FELT RING ENSIVAL P1 IT F1 PLN020045000	ANILLO FIELTRO ENTRE ANILLO RETENCION RODAMIENTO Y CAJA (SOPORTE) RODAMIENTO LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO (LIBRE)	F1	1	UN	USD -	USD -
1257618	FELT RING ENSIVAL P2 IT F2 PLN020045000	ANILLO FIELTRO ENTRE ANILLO RETENCION RODAMIENTO Y CAJA (SOPORTE) RODAMIENTO LADO ACCIONAMIENTO	F2	1	UN	USD -	USD -
1257619	FELT RING ENSIVAL P3 IT F3 PLN020045000	ANILLO FIELTRO ENTRE TUERCA BLOQUEO RODAMIENTO Y TAPA CAJA (SOPORTE) RODAMIENTOS LADO ACCIONAMIENTO	F3	1	UN	USD -	USD -
1257657	O-RING ENSIVAL ITEMT1 PLN020045000	O'RING BAJO CAMISA DE EJE	T1	2	UN	USD -	USD -
1257620	GASKET ENSIVAL ITEMJ1 PLN020045000	JUNTA (EMPAQUETADURA PLANA) ENTRE TAPA Y CAJA (SOPORTE) RODAMIENTOS LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO (LIBRE)	J1	1	UN	USD -	USD -
1257651	GASKET ENSIVAL ITEM J2 PLN020045000	JUNTA (EMPAQUETADURA PLANA) ENTRE TAPA Y CAJA (SOPORTE) RODAMIENTOS LADO ACCIONAMIENTO (LIBRE)	J2	1	UN	USD -	USD -
1257658	O-RING ENSIVAL ITEMT2 PLN020045000	O'RING SOBRE TAPON CODO DESCARGA	T2	1	UN	USD -	USD -
			Total			USD 27,332	USD 37,648

Ilustración 52: Catastro de repuestos ENSIVAL 70DDS300.

6.2.4. EUROFLO 300ESC-116

La Ilustración 53 presenta el catastro de repuestos para los equipos de la sala de impulsión N°4.

CODIGO [SAP]	DENOMINACION	DESCRIPCIÓN	ITEM [ESC300116PWV	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1389510	BOMBA EUROFLO ESC300116PWW	BOMBA EUROFLO ESC300-116 PQQ	N/A	1	UN	USD -	USD -
1419871	IMPULSOR POS 4 EUROFLO ESC300116PWW	IMPULSOR POS 4 EUROFLO ESC300116PWW	4	1	UN	USD -	USD -
1420075	ANILLO EUROFLO POS 5 ESC300103PWW	ANILLO (DESGASTE) EUROFLO ESC300103PWW	5	2	UN	USD -	USD -
1440733	SLEEVE SPACER EUROFLO ESC300116PWW	ANILLO / BUJE ESPACIADOR COSTADO CAMISA EJE	16.3	2	UN	USD -	USD -
1435716	GLAND COVER POS 32 EUROFLO ESC300116PWW	GLAND, EUROFLO USO BOMBA MOD ESC300116PWW	32	2	UN	USD -	USD -
1451168	DRIVE ENDING BEARING HOUSE POS 6 EUROFLO ESC300116PWW	SOPORTE EUROFLO (CAJA RODAMIENTOS) LADO ACCIONAMIENTO ESC300116PWW	6	1	UN	USD -	USD -
1447669	DRIVE ENDING BEARING HOUSE COVER POS 7 EUROFLO ESC300116PWW	TAPA SOPORTE EUROFLO (CAJA RODAMIENTOS) ESC300116PWW	7	2	UN	USD -	USD -
1041550	DRIVE ENDING BALL BEARING POS 8 EUROFLO ESC300116PWW	RODAMIENTO RIGIDO BOLAS SKF 6316 C3	8	1	UN	USD -	USD -
1435718	NON DRIVE ENDING BEARING HOUSE POS 9 EUROFLO ESC300116PWW	SOPORTE EUROFLO (CAJA RODAMIENTOS) LADO OPUESTO ACCIONAMIENTO	9	1	UN	USD -	USD -
1041550	NON DRIVE ENDING BALL BEARING POS 10 EUROFLO ESC300116PWW	RODAMIENTO RIGIDO BOLAS SKF 6316 C3	10	1	UN	USD -	USD -
1419689	SHAFT POS 3 EUROFLO ESC300116PWW	EJE BOMBA POS 3 EUROFLO ESC300116PWW	3	1	UN	USD -	USD -
1419690	SHAFT SLEEVE POS 13 EUROFLO ESC300116PWW	CAMISA EJE AC POS 13 EUROFLO ESC300116PW	13	2	UN	USD -	USD -
N/A	CARCASA POS 1 INFERIOR EUROFLO ESC300116PWW	CARCASA INFERIOR	1	1	UN	USD -	USD -
N/A	CARCASA POS 2 SUPERIOR EUROFLO ESC300116PWW	CARCASA SUPERIOR	2	1	UN	USD -	USD -
N/A	SEAL CHAMBER POS 17 EUROFLO ESC300116PWW	CÁMARA DE SELLO	17	2	UN	USD -	USD -
N/A	DEFLECTOR GOMA NBR POS 19 EUROFLO ESC300116PWW	DEFLECTOR NBR	19	2	UN	USD -	USD -
N/A	SEAL CHAMBER O'RING POS 23 EUROFLO ESC300116PWW	O'RING CAMARA DE SELLO	23	2	UN	USD -	USD -
N/A	WASHING PIPE POS 28 EUROFLO ESC300116PWW	LINEA AGUA DE SELLADO	28	2	UN	USD -	USD -
N/A	CROSS POS 26 EUROFLO ESC300116PWW	CRUCE LINEA AGUA SELLO	26	1	UN	USD -	USD -
N/A	PACKING SLEEVE POS 33 EUROFLO ESC300116PWW	CAMISA DE SELLO INTERIOR CAJA EMPAQUETADURA	33	2	UN	USD -	USD -
N/A	LANTERN RING POS 29 EUROFLO ESC300116PWW	ANILLO (LINTERNA) CIERRE HIDRAULICO	29	2	UN	USD -	USD -
N/A	PACKING POS 30 EUROFLO ESC300116PWW (1/2" CHESTERTON)	EMPAQUETADURA 1/2" CHESTERTON	30	1	BX	USD -	USD -
N/A	LANTERN RING POS 31 EUROFLO ESC300116PWW	ANILLO "LINTERNA" EXTERIOR PRENSAESTOPAS	31	2	UN	USD -	USD -
N/A	O'RING SOBRE LANTERN RING POS 31 EUROFLO ESC300116PWW	O'RING ANILLO "LINTERNA" PRENSAESTOPAS	N/A	2	UN	USD -	USD -
N/A	IMPELLER KEY EUROFLO ESC300116PWW	CHAVETERO IMPULSOR	N/A	2	UN	USD -	USD -
N/A	NON DRIVE ENDING EXTERNAL CIRCLIPS POS 11 EUROFLO ESC300116PWW	ANILLO CIRCULAR EXTERNO	11	1	UN	USD -	USD -
N/A	DRIVE ENDING BEARING LOCKNUT POS 12 EUROFLO ESC300116PWW (KM16)	TUERCA BLOQUEO RODAMIENTOS LADO ACCIONAMIENTO (DERECHA) KM16	12	3	UN	USD -	USD -
N/A	BEARING SLEEVE (POS 16.1)	ANILLO ESPACIADOR RODAMIENTO LADO MACHÓN	8* / 16.1	1	UN	USD -	USD -
N/A	BEARING SLEEVE (POS 16.2)	ANILLO ESPACIADOR RODAMIENTO LADO MACHÓN	8** / 16.2	1	UN	USD -	USD -
N/A	FELT RING POS 25 EUROFLO ESC300116PWW	SELLO ACEITE CB 75X100X10MM (ANILLO FIELTRO)	25	2	UN	USD -	USD -
N/A	COUPLING HUBS EUROFLO ESC300116PWW	CONJUNTO COMPLETO WRAPFLEX 50R10	18	1	UN	USD -	USD -
N/A	MASAS HUB WRAPFLEX 50R10	MASAS HUB WRAPFLEX 50R10	N/A	2	UN	USD -	USD -
N/A	TAPA WRAPFLEX	TAPA WRAPFLEX	N/A	1	UN	USD -	USD -
N/A	SHAFT & SLEEVE O'RING	O'RING EJE - CAMISA	20	2	UN	USD -	USD -
N/A	COUPLING KEY EUROFLO ESC300116PWW	CHAVETERO ACOPLE	N/A	1	UN	USD -	USD -
N/A	IMPELLER & SLEEVE O'RING POS 24 EUROFLO ESC300116PWW	O'RING IMPULSOR - CAMISA	24	2	UN	USD -	USD -
N/A	SELLO ACEITE 692641 SKF 90x110x12	SELLO ACEITE 692641 SKF 90x110x12	N/A	2	UN	USD -	USD -
			Total			**USD -**	**USD -**

Ilustración 53: Catastro de repuestos EUROFLO 300ESC-116

6.2.5. WORTHINGTON GEAREX D1

La Ilustración 54 presenta el catastro de repuestos para los equipos de la sala de impulsión N°2.

CODIGO [SAP]	ELEMENTO	COMPONENTE	ITEM [903136-00]	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1033579	SHAFT DRIVE WORTH 0521580012	EJE COMANDO (CONDUCTOR)	4	1	UN	USD -	USD -
1033580	SHAFT DRIVEN WORTH 0521590012	EJE CONDUCIDO	5	1	UN	USD -	USD -
1033581	RODETE GEAREX D1 FLOCULANTE 1910890103	ENGRANAJE RODETE (PALETAS)	6	2	UN	USD 3,984.26	USD 7,968.51
1033582	GEAR TIMING WORTH 2410110122	ENGRANAJE DISTRIBUCION	7	2	UN	USD -	USD -
1033584	BEARING ROLLER SET|WORTH|GEAREXD1	RODAMIENTO AGUJA M 12358	8	2	UN	USD -	USD -
1033585	COMPLETE ROT.ELEMENT|WORTH|GEAREXD1	ELEMENTO ROTANTE (KIT - SELLADO)	-	1	UN	USD 17,440.57	USD 17,440.57
N/A	GEAR TIMING WORTH 2410110122	ENGRANAJE DISTRIBUCION	7	2	UN	USD -	USD -
N/A	RODETE GEAREX D1 FLOCULANTE 1910890103	ENGRANAJE RODETE (PALETAS)	6	2	UN	USD -	USD -
N/A	SHAFT DRIVE WORTH 0521580012	EJE COMANDO (CONDUCTOR)	4	1	UN	USD -	USD -
N/A	SHAFT DRIVEN WORTH 0521590012	EJE CONDUCIDO	5	1	UN	USD -	USD -
N/A	SELLO CAJA 12"X10	JUNTA (EMPAQUETADURA) PLANA	160	2	UN	USD -	USD -
N/A	BEARING ROLLER SET|WORTH|GEAREXD1	RODAMIENTO AGUJA M 12358	8	2	UN	USD -	USD -
N/A	RODAMIENTO BOLA SKF 3207-ATN9	RODAMIENTO BOLAS SKF 3207ATN9	10	2	UN	USD -	USD -
N/A	GEAR TIMING LOCKNUT WORTH	TUERCA FIJACION ENGRANAJE SINCRONIZACION	133	2	UN	USD -	USD -
N/A	GEAR TIMING LOCKWASHER WORTH	ARANDELA FIJACION ENGRANAJE SINCRONIZACION	134	2	UN	USD -	USD -
1033589	SPACER ROTOR||WORTH GEAREXD1|PLNIG111716	ESPACIADOR DE ROTOR	19	4	UN	USD -	USD -
47124003	BODY WORTH	CUERPO	1	1	UN	USD -	USD -
47124086	BRACKET REAR	SOPORTE POSTERIOR	12	1	UN	USD -	USD -
N/A	BRACKET FRONT	SOPORTE FRONTAL	13	1	UN	USD -	USD -
1033586	GLAND WORTH 0110120450	COLLARIN PRENSAESTOPA (GLAND)	14	4	UN	USD -	USD -
1033597	LIP SEAL WORTH 0702670090	SELLO (ACEITE) LABIO 17392	143	4	UN	USD 46.35	USD 185.40
1033598	SEAL WORTH 0702500090	SELLO ACEITE CONSOLA FRONTAL	144	1	UN	USD 35.28	USD 35.28
1033587	SELLO CAJA 12"X10	JUNTA (EMPAQUETADURA) PLANA	160	2	UN	USD 49.71	USD 99.42
N/A	BOMBA GEAREX D1	BOMBA ENGRANAJE	-	1	UN	USD 6,600.00	USD 6,600.00
1191972	RODAMIENTO BOLA SKF 3207-ATN9	RODAMIENTO BOLAS SKF 3207ATN9	10	2	UN	USD 23.29	USD 46.59
1278477	EMPAQUETADURA TRENZADA 3/8" PTFE PG101	EMPAQUETADURA TRENZADA 3/8" PTFE PG101 SINSEF	110	1	BX	USD 223.89	USD 223.89
4064231	EMPAQUETADURA TRENZADA 3/8" PTFE PG101	EMPAQUETADURA TRENZADA 3/8" PTFE PG101 CHEST	110	1	BX	USD -	USD -
1191601	EMPAQUETADURA TRENZADA 3/8" PTFE PG101	EMPAQUETADURA TRENZADA 3/8" PTFE PG101 WILLIS	110	1	BX	USD -	USD -
Total						**USD 28,403.35**	**USD 32,599.66**

Ilustración 54: Catastro de repuestos WORTHINGTON GEAREX D1.

6.2.6. MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E

En la actualidad, no se encuentra creado una lista de repuestos para este equipo, ya sea por falta de historial de fallas o falta de actualización de la información de repuestos y códigos SAP asociados a este equipo, de acuerdo con la propuesta de mejora del plan de mantenimiento además de generar el plan de actividades de inspección y mantenimiento sobre estos equipos, se propone generar el listado de repuestos antes mencionados. Este listado de repuestos es presentado en la Ilustración 55:

CODIGO [SAP	COMPONENTE	ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
N/A	Cuerpo	01A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Alojamiento rodamientos	01B	1	UN	USD -	USD -
N/A	Sello Mecánico	10A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapa alojamiento rodamientos	11A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Guarda Lanzadera	15A	2	UN	USD -	USD -
N/A	Junta – Prensaestopas	20B	1	UN	USD -	USD -
N/A	Manguito – Junta	20C	2	UN	USD -	USD -
N/A	Junta Cámara de Succión	20D	2	UN	USD -	USD -
N/A	Estator	22A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Brida Cámara de Succión	23A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Ext Cámara Succión (Lado Estator)	23C	1	UN	USD -	USD -
N/A	Ext Pieza Ext Cámara Succión (Lado Propulsor)	23D	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapa Externa	24A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Mitades Cámara Succión	23E	2	UN	USD -	USD -
N/A	Rotor	25A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Barra Acoplamiento Dividida (Lado Rotor)	26B	1	UN	USD -	USD -
N/A	Barra Acoplamiento Dividida (Lado Eje)	26C	1	UN	USD -	USD -
N/A	Conjunto Mitades Manguito	26D	2	UN	USD -	USD -
N/A	Barra Acoplamiento	27A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Barra Acoplamiento	27B	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapa Sellado	28A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapa Sellado	28B	1	UN	USD -	USD -
N/A	Pasador Barra Acoplamiento	29A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Pasador Barra Acoplamiento	29B	1	UN	USD -	USD -
N/A	Pasador del Eje	29C	1	UN	USD -	USD -
N/A	Eje Propulsor	32A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Camisa Espaciadora	35A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Lanzadera	42A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Pie (Base) de Apoyo	62A	2	UN	USD -	USD -
N/A	Alojamiento Sello Mecánico	65A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Anillo de Empalme	66A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Manguito Rotor / Eje	75A	1	UN	USD -	USD -
N/A	Manguito Rotor / Eje	75B	1	UN	USD -	USD -
N/A	Varilla de Unión	95A	4	UN	USD -	USD -
N/A	Perno Cabeza Hexagonal	P104	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P105	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Plana	P106	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Elástica	P107	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P109	1	UN	USD -	USD -
N/A	Rodamiento Lado Rotor	P110	1	UN	USD -	USD -
N/A	Rodamiento Lado Acoplamiento	P111	1	UN	USD -	USD -
N/A	Sello labio	P112	1	UN	USD -	USD -
N/A	Sello aceite	P113	1	UN	USD -	USD -
N/A	Perno cabeza Hexagonal	P120	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Elástica	P121 (P602)	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Plana	P122 (P603)	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P123 (P604)	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Elástica	P125	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P124	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tapón Cónico	P201	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapón Cónico	P202	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tornillo sin Cabeza de Anillo Empalme	P203	3	UN	USD -	USD -
N/A	Tornillo de Cabeza Hueca	P301	2	UN	USD -	USD -
N/A	Anillo de Sellado	P401	1	UN	USD -	USD -
N/A	Anillo de Sellado	P402	1	UN	USD -	USD -
N/A	Anillo de Retención Espiral	P403	1	UN	USD -	USD -
N/A	Anillo de Retención Espiral	P404	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapa de Sellado de Tirante	P405	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapa de Sellado de Tirante	P406	1	UN	USD -	USD -
N/A	Chavetero acople	P407	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca fijacion rodamiento	P420	1	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela fijacion rodamiento	P421	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapón Cónico	P502	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P503	4	UN	USD -	USD -
N/A	Buje de Arandela Plana	P504	2	UN	USD -	USD -
N/A	Buje de Arandela Elástica	P505	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P506	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Plana	P507	2	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Elástica	P508	4	UN	USD -	USD -
N/A	Anillo de Sellado	P510	1	UN	USD -	USD -
N/A	Tapón Cónico	P519	1	UN	USD -	USD -
N/A	Esparrago	P520	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P521	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Plana	P522	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Elástica	P523	4	UN	USD -	USD -
N/A	Tornillo de Cabeza Hueca	P540	6	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P541	6	UN	USD -	USD -
N/A	Perno Cabeza Hexagonal	P601	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Elástica	P602	4	UN	USD -	USD -
N/A	Arandela Plana	P603	8	UN	USD -	USD -
N/A	Tuerca Hexagonal	P604	4	UN	USD -	USD -
Total					**USD -**	**USD -**

Ilustración 55: Propuesta de catastro de repuestos MOYNO EZstrip Z14BC81 RMH/E

7. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS

El diseño del Plan de Mantenimiento Sistema de Impulsión Aguas Recuperadas, concentra actividades de inspección y mantenimiento a los equipos de ambas especialidades, dada la condición de ciertas labores, las cuales necesitan de un procedimiento de trabajo específico como soporte para efectuar la labor.

Los responsables del mantenimiento mecánico del Sistema de Impulsión de Aguas definen los procedimientos de trabajo requeridos como apoyo a aquellas labores que requieren una descripción sobre las tareas a desarrollar.

Estos procedimientos de trabajo definidos se presentan a continuación y para mayor revisión están disponibles como parte del material digital entregable:

- Procedimiento Mantención de Bombas Centrifugas y Sumergibles
- Procedimiento Preparación y Transporte de Materiales para Actividades de Mantenimiento
- Procedimiento Montaje Bomba Centrifuga
- Procedimiento Cambio de Bomba Centrifuga
- Procedimiento Cambio de Válvula
- Procedimiento Reparación de tubería de acero
- Procedimiento Fabricación y montaje piezas especiales
- Procedimiento Empaquetadura de Válvulas y Bombas
- Procedimiento Mantención Bomba de Impulsión
- Procedimiento Soldadura al Arco Manual
- Procedimiento Uso del equipo oxigeno gas
- Procedimiento Reemplazo de tramo de cañería
- Procedimiento Cambio de Dresser 16’’ y Parche de Cañería 18’’
- Procedimiento Trabajo en Caliente
- Procedimiento Cambio Bomba Ensival
- Procedimiento Cambio Bomba Euroflo
- Procedimiento Cambio Bomba Worthington 6FRBG-223

- Procedimiento Cambio Conjunto Rotorico
- Procedimiento Trabajo Alineación Bombas Centrifugas

8. CONCLUSIONES

La Estrategia actual de Mantenimiento en las Salas de Bombeo de Aguas del Área Espesamiento y Recirculación (impulsión de agua recuperada a proceso productivo y dosificación de floculante a proceso espesamiento) en la Planta Concentradora de la División El Teniente aborda actividades del tipo correctivo, preventivo y en el último tiempo, a modo de alinearse con las estrategias actuales utilizadas en este tipo de equipos, del tipo predictivo.

Sin embargo, esta estrategia requiere un mayor control de los parámetros de rendimiento y/o condición del equipo en todas las salas que comprenden el sistema de impulsión y dosificación.

Esto representa una oportunidad de mejora a la estrategia de monitoreo de condiciones implementada hasta ahora. La propuesta de reformulación al actual plan de mantenimiento descrita en el presente trabajo pasa por el aumento en cantidad de mediciones y en el aumento de parámetros a medir, para lo cual es necesario adquirir e integrar a la estrategia de mantenimiento predictivo o monitoreo de condiciones lo siguiente: equipos de medición de parámetros de presión y caudal, equipos para análisis termográfico (cámara termográfica), y dos analizadores de severidad de vibraciones. En base al análisis realizado en este trabajo, se estima que el presupuesto asociado a la adquisición de instrumentos y sensores para estas actividades alcanza el orden de los USD 40.000.

Otras dos recomendaciones para la estrategia de mantenimiento de las salas de bombeo de aguas del área espesamiento y recirculación son: (1) contratar un servicio de análisis de lubricantes y agregar como actividad de mantenimiento la toma de muestras de lubricante para mantener un control del estado de los lubricantes y evaluar la degradación de estos, y (2) realizar una evaluación periódica de la calidad del fluido transportado por las bombas centrifugas al ingresar a las piscinas acumuladoras previo a su ingreso a las bombas, esto con el fin de determinar acciones

a seguir, como cambio de materiales de componentes internos e incluso un rediseño de los equipos del sistema de impulsión de aguas recuperadas.

Al tener contratos de reparación y/o fabricación de componentes de los equipos con empresas externas y en base a eventos ocurridos de entrega de componentes fuera de tolerancias, se sugiere solicitar un servicio de control de calidad de los repuestos a estas mismas empresas o a terceros para asegurar que los repuestos recibidos cumplan los requerimientos solicitados para su correcta utilización.

Otro aspecto importante pasa por la consideración del aumento de mano de obra para complementar las actividades de mantenimiento mayor en los espesadores de relaves sin dejar de lado las actividades de monitoreo de condiciones y mantenimiento en las bombas según se requiera.

9. BIBLIOGRAFÍA

Arata Andreani, A. (2005). *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento.* (L. Furnaletto, Ed.) Santiago de Chile, Chile: RIL.

Cerda Bernal, Iván (Sonami). (s.f.). *NOTA TÉCNICA CARACTERIZACIÓN DE PULPAS.*

Comisión Chilena del Cobre. (2018). *Consumo de agua en la minería del cobre al 2017.*

Fernández Díez, P. (2017). *Biblioteca sobre ingeniería energética*. Obtenido de http://es.pfernandezdiez.es/?pageID=5

Sistema Bibloteca SENA. (s.f.). *Elementos de Maquinas*. Recuperado el 2018, de https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol17/volumen17.html#