UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE MEJORA PARA ELEMENTOS SELLANTES DE LA UNIDAD ROTATORIA EN BOMBA CENTRÍFUGA SULZER 85-098 ÁREA CAUSTIFICACIÓN PLANTA PACÍFICO CMPC PULP

Trabajo de Titulación para optar al Título Profesional de Ingeniería de Ejecución en MECÁNICA DE PROCESOS Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Sebastián Ernesto Arancibia Zamora

Profesor guía:
Ingeniero Andrés Aránguiz Garrido

2018

RESUMEN

KEYWORD: Bomba Centrífuga, Unidad Rotatoria, Sello Laberinto, Celulosa.

Durante la práctica profesional realizada en CMPC Pulp Planta Pacífico se generaron diferentes inquietudes de acuerdo a algunos procesos que se observaron en terreno, uno de ellos y el que causa mayor revuelo es un problema que se genera en Caustificación. Esta es una de las áreas más importantes de la planta, la cual aporta un ingrediente fundamental para la "receta de la celulosa". Los equipos presentes están expuestos directamente a la contaminación ambiental por un químico que se encuentra en suspensión. Se vienen registrando fallas no programadas en los equipos rotativos, lo cual muchas veces genera la parada total del equipo, generando un aumento en los gastos de mantenimiento y diminución de la producción.

Con esta idea en general se busca proponer una alternativa de mejora para los equipos rotatorios en el área de caustificación, el cual permita convivir con el químico en suspensión y trabajar de forma eficiente bajo los parámetros de funcionamiento del área. Mediante un estudio de prefactibilidad técnica económica se busca analizar y seleccionar la alternativa que mejor se comporte frente a los parámetros necesarios de funcionamiento. Se utilizará una matriz cualitativa de riesgos para seleccionar el equipo que está generando los mayores problemas en cuanto a mantenimiento y producción. Se determinará la causa raíz del problema, realizando un análisis del diagrama árbol de fallas para identificar el componente que está generando el problema y las diferentes alternativas de solución que ofrece el mercado. Se realizará una evaluación técnica económica, para la planificación de una futura implementación.

Se utilizará una metodología de mantenimiento, para determinar la causa raíz del problema, realizando un análisis del diagrama árbol de fallas mediante la técnica de los cinco ¿Por Qué?, para identificar el componente que está generando la falla principal de los equipos rotativos del área de caustificación.

Mediante el estudio de prefactibilidad técnica económica se selecciona la alternativa de mejora que cumple con la mayor puntuación en base criterios estipulados, se estima cumplir con la vida útil de los rodamientos, aumentando semestralmente la disponibilidad de un 90 % a un 94 %, confiabilidad de un 17,2 % a un 64 % y mantenibilidad de un 31 % a 71% evaluado a un turno normal de 8 h.

Este trabajo de título cumple con los objetivos planteados inicialmente, en base a las metodologías y criterios utilizados. Si bien no se realiza un estudio profundo de los costos de implementación del nuevo sello, se generaron gráficos de índices de mantenimiento (Confiabilidad y Mantenibilidad) mediante los cuales se puede analizar sus resultados en beneficios económicos. Los valores estimativos permiten verificar que tanto técnica como económicamente el proyecto es factible, por lo que luego de este informe es posible planificar una futura implementación.

ÍNDICE

RESUMEN
INTRODUCCIÓN
OBJETIVOS
OBJETIVO GENERAL
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO..... 3
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA 5
1.2. Ubicación 5
1.3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA 6
1.3.1. Organización del área Mantenimiento e Ingeniería 6
1.4. PROCESO PRODUCTIVO 7
1.4.1. Descripción de etapas del proceso productivo 8
1.4.2. Preparación de la madera 8
1.4.3. Cocción 8
1.4.4. Blanqueo 9
1.4.5. Secado y Embalado 9
1.4.6. Recuperación de la Energía 10
1.4.7. Caustificación 10
1.5. PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO 11
1.5.1. Análisis crítico área caustificación CMPC 12
1.5.2. Criterios de Evaluación para la creación de una Matriz cualitativa de riesgos 13
1.5.3. Jerarquización de los Subsistemas de caustificación mediante matriz cualitativa de riesgos 15
1.5.4. Antecedentes técnicos históricos Bomba Sulzer 85-098 17
1.6. ANTECEDENTES TÉCNICOS BOMBA CENTRÍFUGA SULZER 85-098 18
1.6.1. Condiciones de trabajo 19
1.6.2. Características de proceso bomba 85-098 área caustificación 20
1.7. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECto 21

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE MANTEMINIENTO APLICADA A LA SOLUCIÓN..... 23
2.1. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ UNIDAD ROTATORIA ÁREA CAUSTIFICACIÓN
2.1.1. Árbol de falla aplicado a los rodamientos de la unidad rotatoria 25
2.1.2. Técnica de los 5 ¿Por Qué? aplicado a cada uno de los sucesos que interfieren en el correcto funcionamiento de rodamientos en la unidad rotativa 27
2.1.3. Determinar componente a intervenir (causa raíz) 29
2.2. DEFINIR ACCIÓN CORRECTIVA (ANÁLISIS DE SELLO LABERINTO) 30

2.2.1. Características generales de sellos laberintos 31
2.2.2. Tipos de Protectores de rodamientos 33
2.2.3. Fortalezas y debilidades Sellos de labio y Sellos de laberinto 34
2.2.4. Características de diseño y fabricación de los sellos laberinto 35
2.3. análisis de características técnicas de ALTERNATIVAS DE SELLADO..... 36
2.3.1. Sellos laberinto EagleBurgmann 37
2.3.2. Sello laberinto polimérico Chesterton 38
2.3.3. Sello ProTech John Crane 39
2.3.4. Protector de rodamientos INPRO-SEAL 40

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA DE ALTERNATIVA DE MEJORA UNIDAD ROTATORIA ÁREA CAUSTIFICACIÓN.. 43
3.1. EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 45
3.1.1. Criterio 1 Mantenimiento del componente 25 Puntos 46
3.1.2. Criterio 2 Diseño y fabricación área con químico en suspensión 40 puntos . 47
3.1.3. Criterio 3 Características operacionales 20 puntos 50
3.1.4. Criterio de Evaluación económica 15 puntos..... 53
3.1.5. Ponderación final de criterios de decisión 54
3.2. Estimación de beneficios técnicos ECONÓMICOS en base a la implementación de la mejora 55
3.3. Estimación de beneficios cualitativos asociados a criterios de mantenimiento 57
3.4. Estimación de beneficios económicos de la implementación..... 60
3.5. REGISTRO DE PARÁMETROS OPERACIONALES Y PAUTA DE implementación 62
3.5.1. Registro de parámetros operacionales 62
3.5.2. Pauta de implementación..... 63

CONCLUSIONES 69
BIBLIOGRAFÍA 71
ANEXOS 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación Cmpc Pulp Planta Pacífico. 5
Figura 1-2. Diagrama general del proceso de Cmpc Pulp Planta Pacífico. 7
Figura 1-3. Preparación de la madera antes de entrar a proceso. 8
Figura 1-4. Digestor e impregnador de alta presión. 9
Figura 1-5. Extracción de lignina y resinas. 9
Figura 1-6. Secador Flakt y Unidad cortadora. 10
Figura 1-7. Caldera recuperadora planta CMPC pulp. 10
Figura 1-8. Informe de muestreo bomba 85-098 caustificación CMPC pulp Pacífico. 17
Figura 1-9. Muestreo Mobil DTE en Caustificación. 17
Figura 1-10. Bomba centrífuga Sulzer en corte 18
Figura 1-11. Unidad Rotatoria bomba centrífuga Sulzer. 18
Figura 1-12. Bomba centrífuga Sulzer área caustificación. 20
Figura 1-13. Bomba centrifuga sulzer en funcionamiento área caustificación 21
Figura 2-1. Condiciones lógicas para generar árbol de fallas. 26
Figura 2-2. Rodamiento rodillos cilíndricos pista externa partida. 29
Figura 2-3. Repuesto Sello laberinto sulzer. 29
Figura 2-4 Sello laberinto con muestras de contaminación externa 30
Figura 2-5. Sello laberinto en corte, con sus respectivos componentes. 31
Figura 2-6. Sello de labio. 33
Figura 2-7. Sello Laberinto. 33
Figura 2-8. Sellos de labio y Sellos de laberinto figuras en corte. 34
Figura 2-9. Sello laberinto de salida unidad rotatoria. 36
Figura 2-10. Sello laberinto EagleBurggman. 38
Figura 2-11. Sello laberinto en corte. 38
Figura 2-12. Sello laberinto polimérico Chesterton. 39
Figura 2-13. Sello laberinto hermético FS ProTech John Crane. 40
Figura 2-14. Protector de rodamientos Inpro-Seal. 41
Figura 3-1. Sello laberinto hermético FS ProTech John Crane. 56
Figura 3-2. Registro de prueba para implementación de sello laberinto John Crane ProTech 62
Figura 3-3. Repuestos para mantención de la unidad rotatoria Sulzer. 63
Figura 3-4. Desmontaje Unidad rotatoria 64
Figura 3-5. Desmontaje tapa de rodamientos 64
Figura 3-6. Desmontaje el eje inoxidable 64
Figura 3-7. Retiro de rodamientos de bola contacto angular y rodillos cilíndricos. 65
Figura 3-8. Eje inoxidable después de verificar su diferencia en el palpador 65
Figura 3-9. Equipo para calentar rodamientos por inducción para montaje en eje 66
Figura 3-10. Indicaciones apriete tuerca de rodamientos. 66
Figura 3-11. Montaje sello laberinto en ambos extremos de la unidad rotatoria. 67

Figura 3-12. Unidades rotativas de diferentes áreas listas para terreno. 68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1. Confiabilidad actual versus confiabilidad estimada de la propuesta de implementación. 58
Gráfico 3-2. Mantenibilidad actual versus mantenibilidad estimada de la futura implementación. 60

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1. Organización de la empresa. 6
Diagrama 1-2. Mapa conceptual jerárquico del trabajo de ingeniería en Cmpc Pulp. 6
Diagrama 1-3. Diagrama del proceso Caustificación..... 11
Diagrama 2-1. Árbol de falla aplicado a los rodamientos de la unidad rotativa Sulze..... 27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Matriz de jerarquización de riesgo crítico. 12
Tabla 1-2. Frecuencias de Fallos para la realización de matriz. 13
Tabla 1-3. Impacto Operacional para la realización de matriz. 13
Tabla 1-4. Flexibilidad Operacional para la realización de matriz. 14
Tabla 1-5. Costos de mantenimiento para realizar la matriz..... 14
Tabla 1-6. Impacto en Seguridad ambiente e higiene industrial. 15
Tabla 1-7. Matriz cualitativa de riesgos área Caustificación CMPC Planta Pacífico. 16
Tabla 1-8. Jerarquización de la criticidad en el área caustificación de bomba centrifuga 85-098. 16
Tabla 1-9. Componentes Unidad Rotatoria Bomba Sulzer 19
Tabla 1-10. Características de proceso Bomba 85-098 Caustificación..... 20
Tabla 2-1. Comparación de diferentes materiales usados en la fabricación de sellos. 32
Tabla 2-2. Límites convencionales de fabricación para sellos laberinto. 32
Tabla 2-3. Condiciones de funcionamiento unidad rotatoria área caustificación. . 37
Tabla 3-1. Criterios para la selección de elementos de sellado. 45
Tabla 3-2. Escala porcentual de evaluación. 46

Tabla 3-3. Valores de ponderación para las alternativas de solución bajo el criterio de mantenimiento. 47
Tabla 3-4. Valores de ponderación para las alternativas de solución bajo el criterio de diseño y fabricación. 49
Tabla 3-5. Valores de ponderación para el criterio de diseño y fabricación de las alternativas propuestas. 50
Tabla 3-6. Escala porcentual de evaluación de alternativas de solución. 51
Tabla 3-7. Valores de ponderación para el criterio de características operacionales. 52
Tabla 3-8. Puntuación cualitativa criterio de Calidad de las marcas en cuestión. . 53
Tabla 3-9. Valores comerciales de las alternativas de solución presentadas. 54
Tabla 3-10. Matriz de criterios de evaluación para la selección de la mejor alternativa de solución. 54
Tabla 3-11. Límites de operación sello laberinto ProTech. 56
Tabla 3-12. Cálculo de confiabilidad de acuerdo a las fallas no programadas de la bomba 85-098 de los últimos dos años. 57
Tabla 3-13. Cálculo de disponibilidad de acuerdo a las fallas totales de la bomba 85-098 de los últimos dos años. 58
Tabla 3-14. Oportunidad de mejora en términos de mantenibilidad de ambos sellos. 59
Tabla 3-15. Precio de repuestos para mantención de unidad rotatoria Sulzer. 60
Tabla 3-16. Comparación económica estimativa entre Sello laberinto actual y Protector de rodamientos. 61
Tabla 3-17. Equipos y componentes utilizados en la mantención del equipo. 63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: COTIZACIONES DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 75
ANEXO B: ANTECEDENTES DE PARADAS DE ÁREA Y HORAS ESTIMATIVAS 78

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

$	: Peso Chileno
US	: Dólares
CMPC	: Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones
BSKP	: Celulosa Kraft Blanca de Fibra Larga
CERTFOR-PEFC	: Certificación de Cadena de Custodia
FSC	: Certificación actualizada 2010 de Cadena de Custodia
PlyWood	: Planta vecina que fabrica Madera de terciado
SIC	: Sistema de interconexión eléctrica de Chile
TK	: Estanque de almacenamiento de algún fluido
Caustificación	: Proceso que convierte Lejía Verde en Lejía Blanca
Lejía Blanca	: Compuesto químico de Hidróxido de Sodio y Sulfuro de Sodio
Lignina	: Compuesto orgánico que mantiene unidas las fibras de celulosa
DTE Medium	: Aceite utilizado para lubricar rodamientos en Unidad rotatoria
cSt	: Viscosidad Cinemática medida en Centistokes
ppm	: Unidad de medición, Partículas por millón
CaO	: Oxido de Calcio
EPP	: Equipo de protección personal
Rpm	: Revoluciones por minuto
APP	: AHLSTAR Process Pump
ISO VG	: Grado de viscosidad.
SKF	: Fábrica Sueca de Rodamientos
PTFE	: Politetrafluoroetileno, polímero industrial
bar	: Unidad de presión
psi	: Unidad de presión
ProTech	: Protector de rodamientos John Crane
Fluorelastómero	: Material de fabricación de o'rings
Ca	: Calcio
SSU	: Viscosidad medida en Seconds Saybolt Universal
Sulzer	: Empresa española dedicada al rubro de bombas centrífugas

INTRODUCCIÓN

El mundo industrial actual está constituido de varias etapas, en cada una de ellas, las necesidades específicas de las máquinas son esenciales para el correcto desarrollo del proceso. Los equipos encargados de realizar las diferentes actividades dentro de la industria, cumplen una vital importancia a la hora de vernos enfrentados a costos, ya que son los responsables directos de la producción. Estos equipos a la hora de ser utilizados en los diferentes procesos industriales, deben de estar previamente calculados, ya sean sus características tanto de diseño como operacionales, para así operar de forma correcta y eficiente.

Si bien en estos equipos se tienen movimientos reiterados y regulados por sus piezas, es posible adaptarlos y modificarlos con el fin de lograr los mejores resultados en términos de producción y mantención de estos equipos. La importancia en la producción es indiscutible, pues en la nueva industria estos aumentan y aceleran los procedimientos, perfeccionan los trabajos, abaratan costos, hacen al hombre controlar y adueñarse por completo de la producción.

Dentro de las nuevas plantas industriales dedicadas al rubro de la celulosa hay una diversidad de equipos inmensa, entre los cuales existen unos que son primordiales e infaltables en los diferentes procesos. Uno de los equipos más importante y que más abundan en la industria de la celulosa son las bombas, ya que son encargadas de convertir la energía mecánica en energía cinética, impulsando, generando velocidad en el fluido y generando presión, a través de la resistencia que opone el sistema al paso del fluido. Existen muchos tipos de bombas para diferentes aplicaciones, entre ellas están las bombas de desplazamiento positivo (directas) y las bombas dinámicas, al primer grupo corresponden a las bombas reciprocas y bombas rotatorias, al segundo grupo pertenecen las bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas son uno de los equipos más comunes de una planta de celulosa, dentro de las principales fallas y más reiterativas que se generan en estos equipos, un 70% de ellas están asociadas a fallas localizadas en la unidad rotatoria, produciendo así un aumento considerable en los costes de mantenimiento. Desde agosto de 2014 hasta la fecha, se identificaron 163 fallas asociadas a fallas por rodamiento (intervención correctiva semestral o anual), disminuyendo tanto la vida útil, disponibilidad y confiabilidad que tienen estos equipos dentro de la planta.

Se propone con este trabajo generar los pasos para la propuesta de mejora en el área de caustificación, en el caso una futura implementación, este trabajo de título va dirigido a disminuir las fallas en los equipos rotativos por falla de rodamientos, además de reducir la filtración de aceite, impedir que ingresen partículas extrañas, aumentar la disponibilidad, confiabilidad y disminuir los tiempos y costos asociados a la mantención de este equipo en el área Caustificación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Proponer una alternativa de mejora de los elementos sellantes de equipos rotatorios en el área de caustificación, mediante un estudio de prefactibilidad técnica económica de nuevas alternativas de sellado, para la planificación de una futura implementación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Recopilar información técnica, para la selección de una oportunidad de mejora en el área de caustificación mediante el uso de una matriz cualitativa de riesgos.

2. Determinar la causa raíz del problema, realizando un análisis de diagrama árbol de fallas para la selección del componente involucrado en la problemática y sus diferentes alternativas de solución.

3. Evaluar técnicamente la mejor alternativa de solución, realizando una evaluación del componente mediante criterios técnicos y económicos, para la planificación de una futura implementación.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Cmpc Pulp Planta Pacífico es parte de uno de los mayores grupos forestales de Latinoamérica. Tiene plantas ubicadas en Chile y Brasil, se producen aproximadamente 4,0 millones (toneladas) de celulosa anualmente.

Una de las filiales más moderna y activa de CMPC es Planta Pacífico, la cual se ha posicionado mundialmente entre una de las principales empresas líderes en costos en la industria de la celulosa. Se procesan anualmente unas 500.000 toneladas de Celulosa Kraft Blanca de Fibra Larga (BSKP), la cual es producida en base a madera de pino radiata, especie de rápido crecimiento en Chile, la cual es abastecida por bosques ubicados aproximadamente a 93 km de las instalaciones de la planta.

Planta Pacifico comienza a operar en 1992, principalmente con trabajadores de la antigua planta ubicada en Laja. En el año 2010 culmina un proyecto de inversión por US$55 millones, el cual permite anticiparse a futuras exigencias medioambientales y alcanzar altos estándares a nivel industrial.

La celulosa que provee esta planta cuenta con la certificación de Cadena de Custodia CERTFOR-PEFC. Desde septiembre del año 2010 planta Pacífico cuenta con certificación de Cadena de Custodia FSC.

1.2. UBICACIÓN

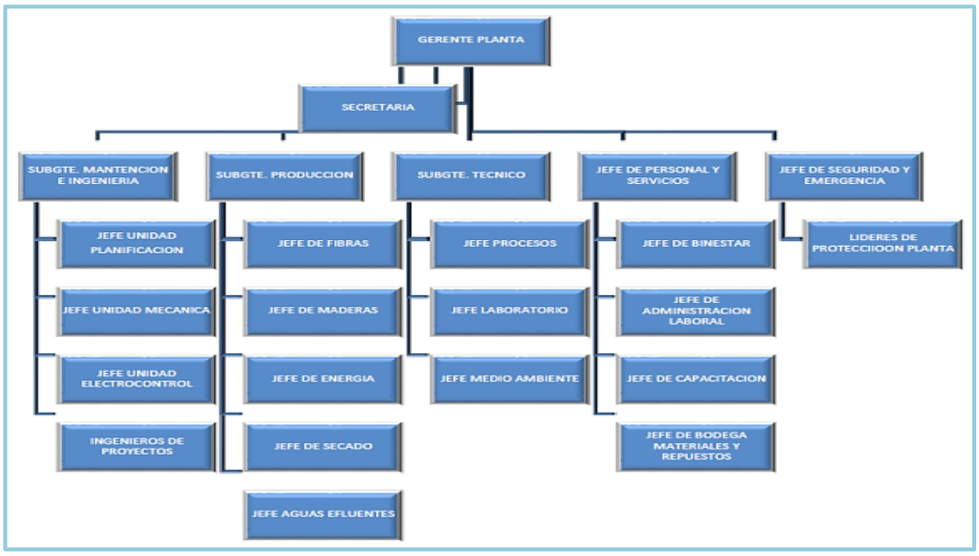
Cmpc Pulp Planta Pacífico se encuentra situada a 600 km de Santiago, en Avenida Jorge Alessandri #001 ubicada en la región de la Araucanía, provincia de Malleco, Mininco, Chile (Figura 1-1).

Fuente: Foto de “Google Maps”.

Figura 1-1. Ubicación Cmpc Pulp Planta Pacífico.

1.3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

Función administrativa de CMPC Pulp planta pacífico (Diagrama 1-1), encargados de la organización, estructuración e integración de los recursos. Su trabajo consiste en desarrollar y aplicar estrategias, para alcanzar sus objetivos.

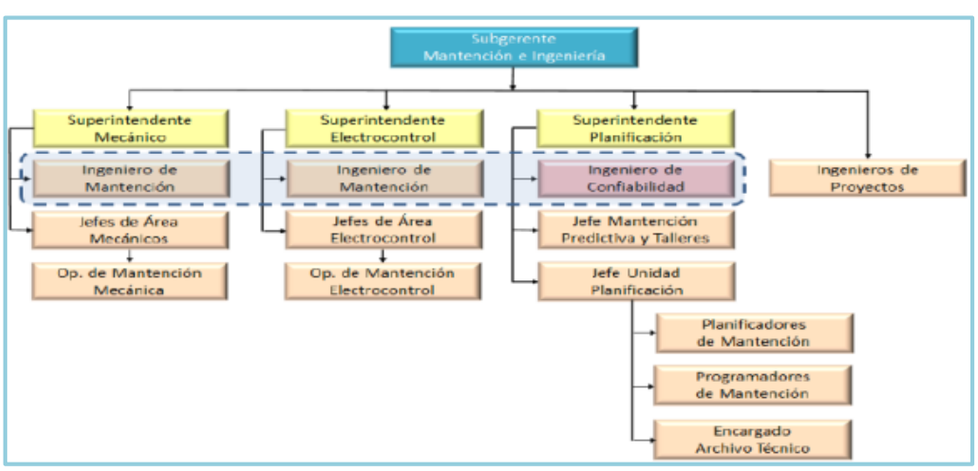


Fuente: Elaboración propia en base a información de la empresa.

Diagrama 1-1. Organización de la empresa.

1.3.1. Organización del área Mantenimiento e Ingeniería

Este trabajo de título es realizado en la unidad civil mecánica de CMPC pulp planta pacífico, en conjunto con ingeniero de mantención, ingeniero de confiabilidad. A continuación, se muestra un mapa conceptual jerárquico (Diagrama 1-2) del trabajo de ingeniería que se realiza en planta.



Fuente: Elaboración propia en base a registros de Cmpc Pulp.

Diagrama 1-2. Mapa conceptual jerárquico del trabajo de ingeniería en Cmpc Pulp.

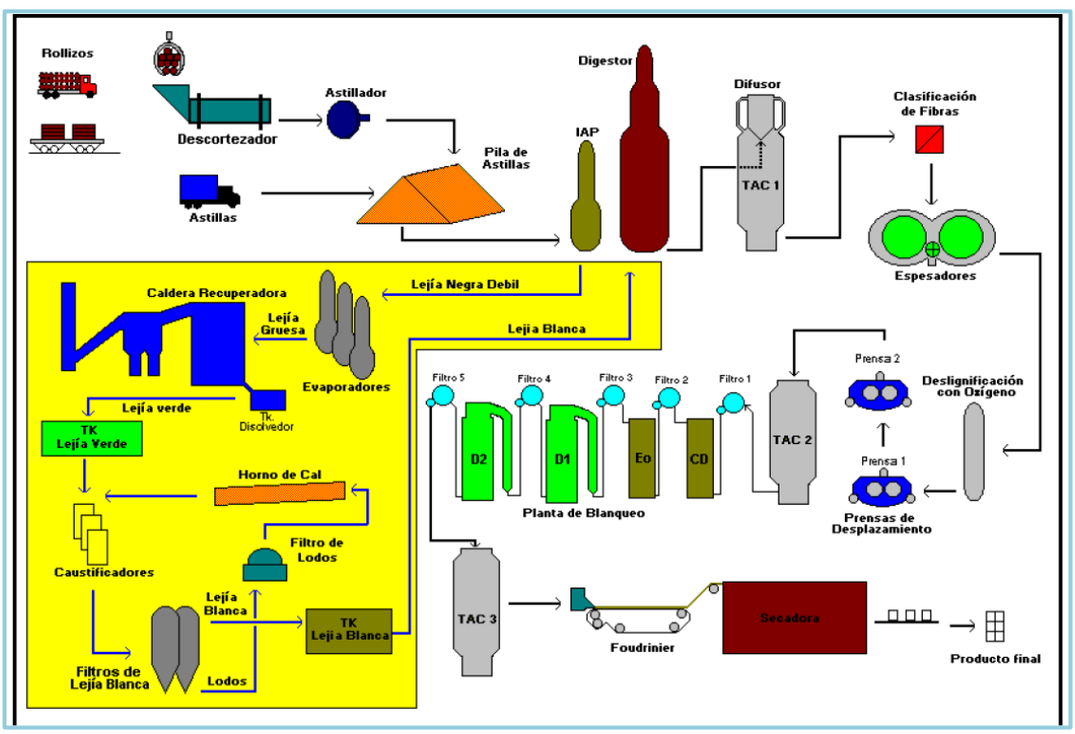
1.4. PROCESO PRODUCTIVO

La principal actividad que se realiza en CMPC Planta Pacífico es la producción de celulosa, adicionalmente al proceso de fabricación de celulosa esta planta se autoabastece de energía, ya sean para su propio consumo y a la vez para abastecer a CMPC PlyWood (planta vecina que produce madera de terciado), además produce excedentes, los cuales son vendidos al principal sistema de interconexión eléctrica de Chile (SIC).

La celulosa Kraft Blanca de Fibra Larga (BSKP) de CMPC es conocida en todo el mundo como una celulosa que se puede adaptar fácilmente a cualquier proceso, de características prácticamente uniformes, debido al alto control que se genera en la densidad de la madera utilizada para generar celulosa, su tonalidad es de color blanco es su mayoría. Es utilizada como materia prima para una gran cantidad de productos, desde papeles de impresión, escritura, cartulinas, tissue y especialidades.

Por la uniformidad de sus propiedades, es posible utilizarla para combinación con otras pulpas, previa exigencia de los compradores. Este producto es realizado y procesado en las plantas Laja y Pacífico de CMPC Pulp.

A continuación, un diagrama general (Figura 1-2) del proceso de Cmpc Pulp Planta Pacífico.



Fuente: Elaboración propia en base a analisis de proceso productivo.

Figura 1-2. Diagrama general del proceso de Cmpc Pulp Planta Pacífico.

1.4.1. Descripción de etapas del proceso productivo

Las plantas de celulosa se dedican al procesamiento de la madera para la obtención de la principal materia prima para la producción de papel: la pulpa, o pasta. Cada una de las etapas involucradas en el proceso cumple una función vital para la "receta de la celulosa". A continuación, una pequeña descripción de cada una de las etapas involucradas en el proceso.

1.4.2. Preparación de la madera

La planta se abastece principalmente de troncos dimensionados, llamados rollizos, antes de ingresar a la planta es verificada su densidad. En la preparación de la madera (Figura 1-3), esta es lavada, descortezada y posteriormente llevada a los harneros de clasificación de la astilla. También se utilizan astillas de aserraderos y restos de troncos aserrados, pero en menor cantidad.

Fuente: Elaboración propia en base a proceso productivo.

Figura 1-3. Preparación de la madera antes de entrar a proceso.

1.4.3. Cocción

Las astillas que vienen de la pila de almacenamiento son llevadas hacia la tolva de astillas, aquí son impregnadas con vapor de agua para eliminar en cierta cantidad el contenido de aire. Para asegurar una correcta y completa uniformidad de la cocción en el digestor (Figura 1-4), las astillas pasan por el impregnador de alta presión donde son pre-impregnadas con legía blanca o licor blanco. Esta mezcla entra por la parte superior del digestor continuo. En el digestor las astillas son cocidas con una sustancia denominada Licor Blanco, a alta temperatura y presión.

Fuente: Elaboración propia en base a proceso productivo.

Figura 1-4. Digestor e impregnador de alta presión.

1.4.4. Blanqueo

Debido a que la celulosa es la materia prima en la producción de papeles blancos, es primordial someter a la pulpa de celulosa, un tratamiento con productos químicos, los cuales son los encargados de extraer el remanente de lignina (Figura 1-5), las resinas, y todas las sustancias que pueden afectar en el proceso.

Fuente: Elaboración propia en base a proceso productivo.

Figura 1-5. Extracción de lignina y resinas.

1.4.5. Secado y Embalado

Mediante inyectores, la pasta es distribuida equitativamente sobre la mesa formadora de la hoja. Esta se encarga de retirar el agua de la pasta por gravedad y bombas de vacío, para finalmente darle la forma de una lámina, el espesor de la lámina es controlado antes de entra al pre-secador. La lámina, entra a los pre-secadores, encargados de retirar la mayor cantidad de agua existente en la lámina. Luego esta lámina ingresa a un Secador Flakt (Figura 1-6), consta de un sistema de secado por aire caliente. A la salida de este equipo, la lámina posee un 87-92% seco. Luego pasa por la unidad cortadora, equipo encargado de dejar la lámina en forma de pliegos (fardos), los que se apilan, se prensan y posteriormente se embalan, con un peso de 250 kg. Agrupando 8 fardos en dos columnas de 4 se forman los units, los que posteriormente se almacenan en las bodegas.

Fuente: Elaboración propia en base a proceso productivo.

Figura 1-6. Secador Flakt y Unidad cortadora.

1.4.6. Recuperación de la Energía

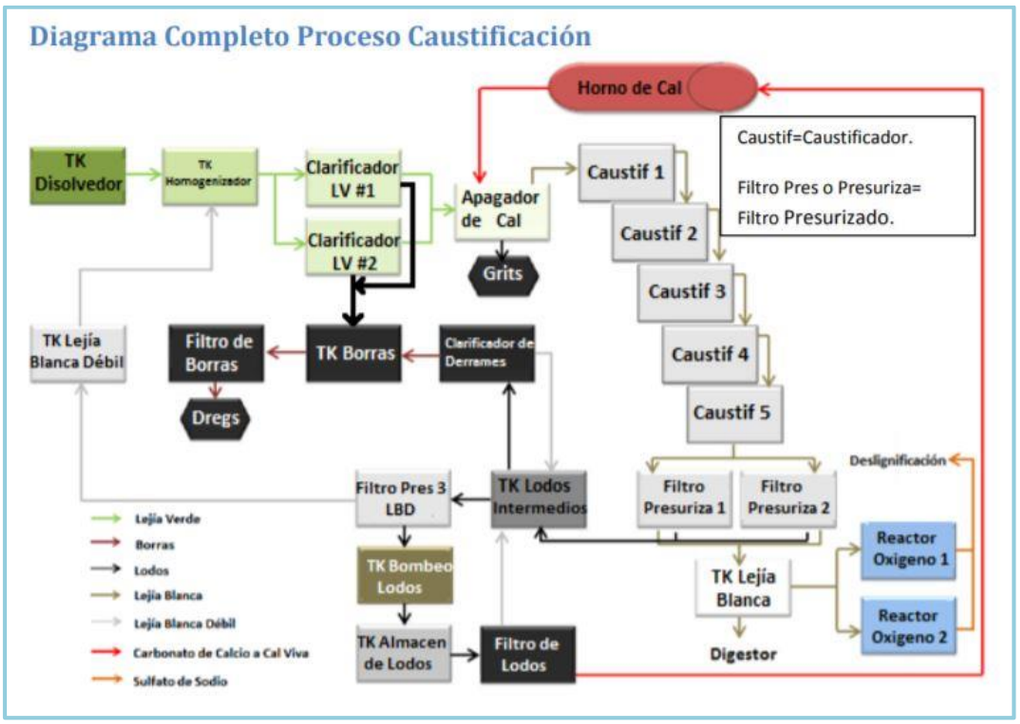
Esta planta cuenta con un sistema de recuperación de energía, con el cual logra autoabastecerse. El proceso de producción está diseñado y a la vez programado para la recuperación y reutilización de los diferentes compuestos y componentes que se utilizan en las primeras fases de la obtención de celulosa, complementando así un sistema de retroalimentación y autoabastecimiento. La energía se obtiene finalmente mediante una Caldera recuperadora y turbogeneradores (Figura 1-7), equipos encargados de reutilizar residuos de otros procesos y convertirlos en energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia en base a proceso productivo.

Figura 1-7. Caldera recuperadora planta CMPC pulp.

1.4.7. Caustificación

El proceso de caustificación (Diagrama 1-3) consiste en convertir Lejía Verde en Lejía Blanca mediante la adición de Cal Viva (Oxido de Calcio). Mediante una serie de estanques (caustificadores) se le da tiempo de residencia para permitir la reacción de Lejía Verde con Cal y finalmente la extracción de impurezas mediante filtros presurizados, obteniendo así Lejía Blanca, la cual es enviada mediante 2 bombas centrífugas al TK de Lejía Blanca para ser enviado al Digestor, donde posteriormente se realiza la cocción de la astilla.



Fuente: Elaboración propia en base a analisis de proceso caustificación.

Diagrama 1-3. Diagrama del proceso Caustificación.

1.5. PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO

El área de caustificación en una planta de celulosa es un factor de mucha importancia para el corazón de la fábrica, ya que es un área que aporta un ingrediente fundamental para la "receta de la celulosa", en este sistema se genera un compuesto químico de Hidróxido de sodio y Sulfuro de sodio, llamado Lejía Blanca. Este compuesto se utiliza para la separación de la fibra de la lignina (compuesto orgánico que mantiene unidas las fibras de celulosa en la madera), esto ocurre mediante una reacción química a alta temperatura y presión en un medio alcalino. El área se encuentra totalmente impregnada de material particulado (Oxido de Calcio), debido a que el Horno de Cal se encuentra ubicado en las cercanías del área, lo que provoca la contaminación de equipos rotatorios con este químico en suspensión. Control sintomático que ofrece sus servicios a planta pacífico viene diagnosticando serias variaciones en los parámetros normales de funcionamiento de los equipos rotativos del área, desde agosto 2014 se han identificado 8 detenciones de equipos rotativos por fallas en los rodamientos, generando horas de mantención y a su vez horas de producción perdidas. Lo anterior se traduce en costos de mantención total de los equipos, disminución de las utilidades de la empresa, peligro inminente al realizar la mantención, debido a que es un compuesto químico de alta peligrosidad, en el cual es necesario purgar la línea, con posibilidad de derrame químico y una importante contaminación ambiental, por ende, hay mucho tiempo involucrado en realizar esta actividad, ya que es considerado como un

trabajo de alta criticidad dentro de la planta. Es por esto que se decide estudiar en base a un análisis de riesgo crítico mediante una matriz cualitativa de riesgos al área de caustificación de Planta Pacífico CMPC.

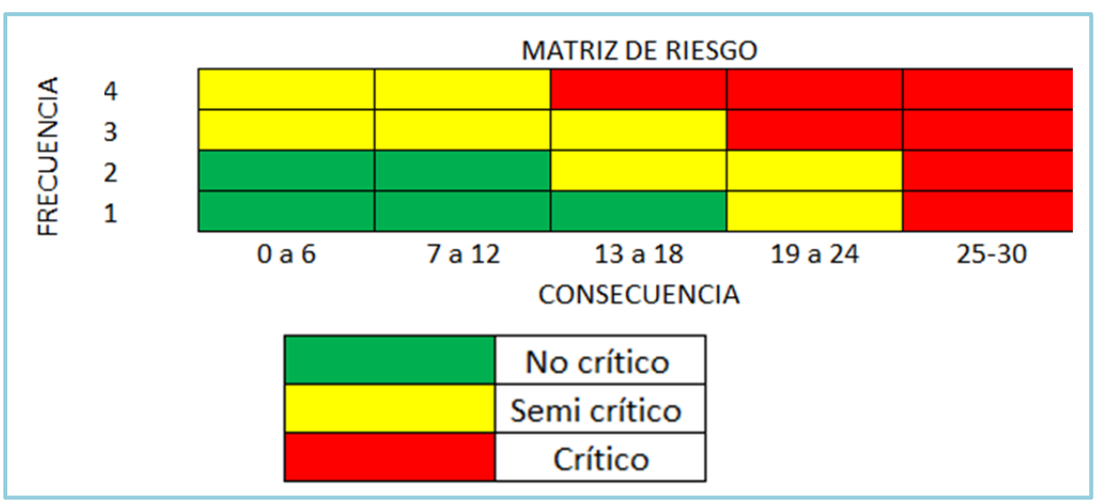
1.5.1. Análisis crítico área caustificación CMPC

Principalmente es necesario establecer la importancia de un equipo dentro de la cadena de producción, definiendo si este tiene cualidades críticas, vitales o secundarias para un correcto funcionamiento de la planta y además de producir de forma eficiente, mediante un grupo de especialistas se obtienen opiniones sobre cuál activo es uno de los más críticos del área seleccionada.

Es necesario tener los datos históricos del sistema, estas ayudarán a guiar el análisis. Basándose en el tiempo medio entre fallas de un sistema, se puede identificar cuáles son los problemas más urgentes del área. Si este activo en particular es crítico o no, se determinará a medida que avanzamos en el análisis realizado.

Una matriz de criticidad o riesgo crítico (Tabla 1-1) es una herramienta que se utiliza para evaluar, categorizar y priorizar la necesidad de intervención de un equipo determinado.

Tabla 1-1. Matriz de jerarquización de riesgo crítico.



Fuente: Elaboración propia en base a sistema de gestión de riesgos.

Para realizar esta matriz se utiliza un modelo de factores ponderados, los cuales se basan en la evaluación cualitativa del riesgo, a continuación, una fórmula que relaciona la consecuencia y frecuencia, para así evaluar el riesgo y priorizar la necesidad de un equipo especifico.

$$Criticidad = Frecuencia * Consecuencia$$
$$Frecuencia = Número\ de\ fallos\ en\ un\ tiempo\ determinado$$
$$Consecuencia = ((Impacto\ Operacional * Flexibilidad) + Cost\ Mtto + Impacto\ SAH$$

1.5.2. Criterios de Evaluación para la creación de una Matriz cualitativa de riesgos

a) Frecuencia de fallas: Número de veces que se reitera un evento, el cual sea considerado como falla dentro de un periodo de tiempo determinado (1 año).

Tabla 1-2. Frecuencias de Fallos para la realización de matriz.

Criterios de Evaluación	
Criticidad : FF x ((IO x FO) + CM + SHA)	
Frecuencia de Fallos (FF)	
Baja : mayor a 4 fallos/año	4
Promedio : 3 fallos/año	3
Buena : 2 fallos/año	2
Excelente : menos de 1 fallo/año	1

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

b) Impacto Operacional: Se entiende como los efectos causados en la producción, analizándolo de la siguiente manera.

Tabla 1-3. Impacto Operacional para la realización de matriz.

Criterios de Evaluación	
Criticidad : FF x ((IO x FO) + CM + SHA)	
Impacto Operacional (IO)	
Parada inmediata del servicio (Planta)	10
Parada de la unidad asistencial (Proceso)	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4
Repercute en costes operacionales asociados a indisponibilidad	2
No genera ningún efecto significativo sobre gastos operacionales	1

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

c) Flexibilidad Operacional: Es la posibilidad de realizar un cambio rápido para continuar con la producción, sin la necesidad de acudir en costos o pérdidas considerables.

Tabla 1-4. Flexibilidad Operacional para la realización de matriz.

Criterios de Evaluación	
Criticidad : FF x ((IO x FO) + CM + SHA)	
Flexibilidad Operacional (FO)	
No existe opción de servicio y no hay función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido	3
Función de repuesto disponible	2

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

d) Costo del Mantenimiento: Son todos los costos asociados al mantenimiento del equipo, dejando fuera los costos de producción sufridos por la falla del activo.

Tabla 1-5. Costos de mantenimiento para realizar la matriz.

Criterios de Evaluación	
Criticidad : FF x ((IO x FO) + CM + SHA)	
Coste de Mantenimiento (CM)	
Mayor o igual a $1.500.000	4
Inferior a $1.500.00	3

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

e) Impacto de seguridad y medio ambiente: Enfocado principalmente a evaluar los posibles sucesos que puedan causar sobre las personas o directamente al medio ambiente.

Tabla 1-6. Impacto en Seguridad ambiente e higiene industrial.

Criterios de Evaluación	
Criticidad : FF x ((IO x FO) + CM + SHA)	
Impacto en Seguridad ambiente higiene	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el medio ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal propio	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	0

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

1.5.3. Jerarquización de los Subsistemas de caustificación mediante matriz cualitativa de riesgos

De acuerdo al área seleccionada en planta CMPC Pacifico se escoge el área de caustificación, en la cual, mediante un análisis de criticidad y datos históricos de planta, teniendo como base las fallas anuales del área, se logra identificar la jerarquización total de los equipos involucrados en el proceso de caustificación, identificando cuales son los problemas más urgentes del área. Si el activo en particular es crítico o no, se determinará mediante la siguiente Matriz cualitativa de riesgos (Tabla 1-7). La matriz está realizada bajo los criterios de evaluación previamente descritos.

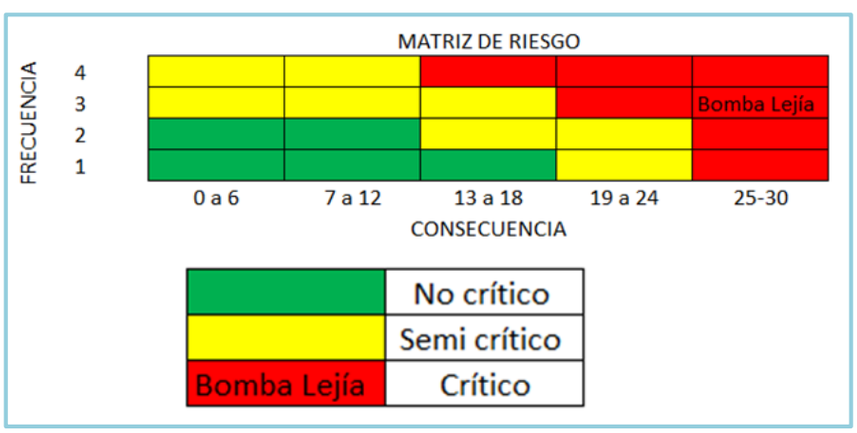
Tabla 1-7. Matriz cualitativa de riesgos área Caustificación CMPC Planta Pacífico.

Subsistemas	Frecuencia	Impacto ope	Flexibilidad	Costos mtto	Impacto SHA	Concecuencia	Total	Jerarquizacior
Homogenizador	1	2	1	1	2	5	5	No crítico
Clarificador	2	2	2	1	2	7	14	No crítico
Bomba Borras	3	6	1	1	2	9	27	Semi crítico
Filtro Borras	2	4	1	1	0	5	10	No crítico
Apagador	2	6	2	2	2	16	32	Semi crítico
Caustificador	2	10	2	1	0	21	42	Semi crítico
Filtro Lejia Blanc	3	2	2	1	1	6	18	Semi crítico
Bomba Lejia Blanc	3	10	2	2	8	30	90	Crítico
Filtro Lejia Verde	1	1	1	1	0	2	2	No crítico
Oxidador	1	1	2	1	1	4	4	No crítico
Preparador Lejia	1	4	2	1	4	13	13	No crítico
Preparador Lodos	1	2	2	1	1	6	6	No crítico
Metanol	1	4	1	1	6	11	11	No crítico
Estacion Elect	1	2	2	2	1	7	7	No crítico

Fuente: Elaboración propia en base a sistema de gestión de mantenimiento.

De acuerdo a los datos obtenidos mediante la matriz cualitativa de riesgos, en base a la Consecuencia (impacto operacional, impacto al medio ambiente, impacto a la seguridad, impacto a los costes de mantenimiento, etc.) y en base a la frecuencia con la cual se interviene el área, se jerarquiza mediante tabla de criticidad (Tabla 1-8) a la Bomba centrifuga Sulzer 85-098 como un equipo crítico en el área de caustificación.

Tabla 1-8. Jerarquización de la criticidad en el área caustificación de bomba centrifuga 85-098.



Fuente: Elaboración propia en base a sistema de gestión de riesgos - IngeCon.

1.5.4. Antecedentes técnicos históricos Bomba Sulzer 85-098

Se realizaron muestreos de lubricación a las unidades rotatorias de las bombas del área caustificación, 2 de funcionamiento directo del Tk hacia el digestor (85-098 y 85-099) y otra del Tk que almacena la Legía Blanca Débil (85-097). Una empresa externa es la encargada de realizar el muestreo (Figura 1-9), para luego ser enviado a laboratorio, se identifican los principales componentes que se encuentran en el aceite, la empresa que realiza las mediciones provee de un informe detallado del análisis (Figura 1-8) y cuáles podrían ser las principales fallas del equipo, anticiparse a la falla o evitar algún daño mayor es el principal propósito de estos exámenes.

Mobil ASSISTANCE — SERVICIO INTEGRAL DE ASISTENCIA EN LUBRICACION — SERVICIO DE ATENCION AL CLIENTE 800 207 007 — Support PROGRAMA — ANALISIS DE ACEITE, EVALUACION DE EQUIPOS Y ASISTENCIA DE INGENIERIA EN LUBRICACION

Cliente	CMPC CELULOSA - PTA. PACIFICO	Ingeniero Lub	Luis Sepulveda	Componente	UNIDAD DE LUBRICACIÓN	Instalado en	CENTRÍFUGA SULZER
Dirección	Av Alessandri 001, Mininco, IX Región	Fono/Fax	87523645	Marca	-	Marca	LEJÍA BLANCA DIGESTOR
Ciudad	MININCO	Correo electr.	lsepulveda@copec.cl	Modelo	-	Modelo	CAUSTIFICACIÓN
Atención Sr.	Alexis Bravo B	Laboratorio	Fono (32)206616 Fax (32)206632	Lubricante en uso	MOBIL DTE OIL MEDIUM		
Fono/Fax	45-293433	Faena	AREA CAUSTIFICACIÓN	Capacidad Sist. lts.	5	Cod. Inscripci	85-098

DATOS DE LA MUESTRA

Número de Frasco	85-097	85-098	85-099
Producto según etiqueta	DTE MEDIUM	DTE MEDIUM	DTE MEDIUM
Fecha de Muestreo	15-06-2017	04-05-2017	04-06-2017
Fecha de Recepción	30-06-2017	22-05-2017	22-06-2017
Fecha Informe	17-06-2017	07-05-2017	06-06-2017

RESULTADOS DE ÁNALISIS

Muestreo Bomba	85-097	85-098	85-099	LÍMITES
Viscosidad a 40ºC, cSt	46,52	44,92	44,38	33,1 - 55,2
Agua % Vol	0	0	0	Max = 0,1
Insolubles	0,9	0,11	0,16	Max = 0,1
Oxidación	1	1	1	Max = 7

CONTAMINACIÓN

Muestreo Bomba		85-097	85-098	85-099	LÍMITES
Silicio (Si)	ppm	1,9	1,4	2,1	Max = 15
Calcio (Ca)	ppm	10	34	25	Max = 5
Potasio (K)	ppm	0,9	0,8	1,1	Max = 5
Boro (B)	ppm	0,5	0,3	0,2	Max = 1,5

DESGASTE

Muestreo Bomba		85-097	85-098	85-099	LÍMITES
Fierro (Fe)	ppm	0,4	0,1	0,4	Max = 0,1
Cobre (Cu)	ppm	0,9	1,2	1,4	Max = 1,0
Plomo (Pb)	ppm	0,6	0,4	0,3	Max = 0,2
Estaño (Sn)	ppm	0,9	0,6	0,7	Max = 1,0

EVALUACIÓN MUESTRA

:ontenido de Calcio (Ca) supera el máximo permitido. Verifique contaminación externa o sedimento (Trozos de metal, fibras, químico en suspensión) .

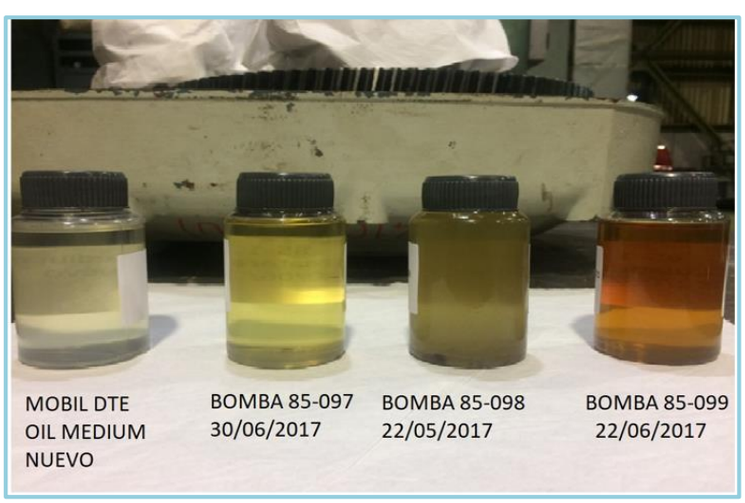
COPEC

CERTIFICACIÓN ISO 9001-2008 Emitido por BUREAU VERITAS

Primera en servicio.

Fuente: Bureau Veritas mantenimiento sintomático CMPC.

Figura 1-8. Informe de muestreo bomba 85-098 caustificación CMPC pulp Pacífico.

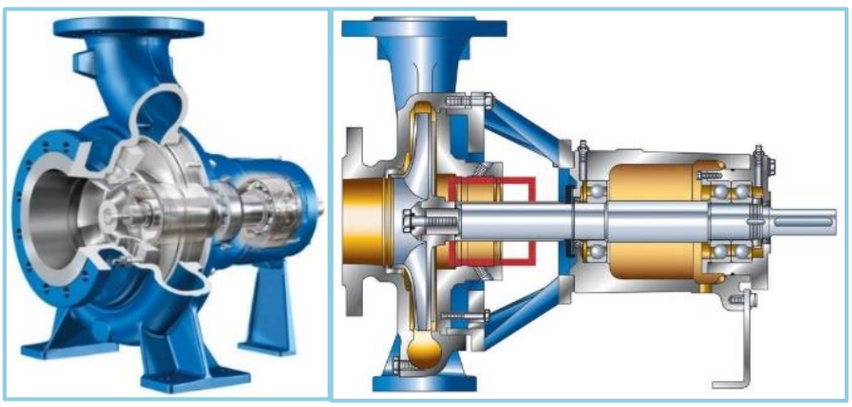


Fuente: Fotografía propia tomada durante muestreo Mobil DTE.

Figura 1-9. Muestreo Mobil DTE en Caustificación.

1.6. ANTECEDENTES TÉCNICOS BOMBA CENTRÍFUGA SULZER 85-098

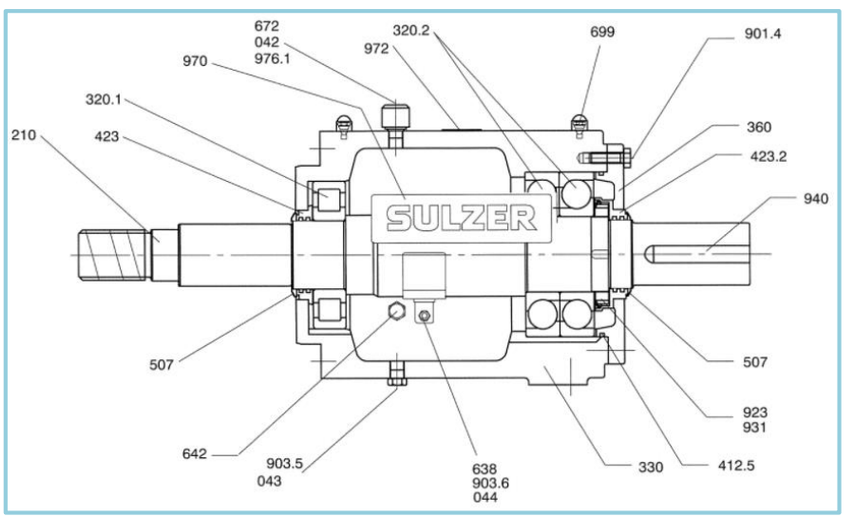
Las bombas centrífugas Sulzer (Figura 1-10) consisten en un rodete montado sobre una voluta. El líquido entra en el centro del rodete y es acelerado por el giro de éste, la energía cinética del fluido se transforma en energía potencial en la salida.



Fuente: Catálogo Sulzer – Bombas de centrífuga.

Figura 1-10. Bomba centrífuga Sulzer en corte

De acuerdo a los datos obtenidos en el informe de muestreo "Contenido de Oxido de Calcio (CaO) supera el máximo permitido. Verifique contaminación externa o sedimento (Trozos de metal, fibras, químico en suspensión)", además de los datos históricos de falla que se tenía de esta bomba, se decide estudiar la Unidad Rotatoria (Figura 1-11) de la bomba Sulzer 85-098, equipo el cual está compuesto de las siguientes partes (Tabla 1-9):



Fuente: Catálogo Sulzer – Bombas de rotatoria.

Figura 1-11. Unidad Rotatoria bomba centrífuga Sulzer.

Tabla 1-9. Componentes Unidad Rotatoria Bomba Sulzer

COMPONENTES UNIDAD ROTATORIA BOMBA SULZER			
940	Eje	**320.1**	Rodamto rodillos cilindrícos
423.2	Sello laberinto	**507**	Deflector
360	Tapa rodamiento	**923**	Tuerca de rodamiento
901.4	Perno Tapa	**931**	Arandela de seguridad
320.2	Rodamiento bola cnt angular	**940**	Chaveta
672	Respiradero	**330**	Unidad Rotaria

Fuente: Elaboración propia en base a "Catalogo Bombas Sulzer".

1.6.1. Condiciones de trabajo

Las condiciones de funcionamiento (Figura 1-12) de las bombas Sulzer del área son las siguientes:

- Lugar: La bomba está situada en el área de caustificación y horno de cal, acá se puede encontrar un alto nivel de material particulado, de un compuesto químico llamado oxido de sodio (hidróxido de sodio y sulfuro de sodio).

- Equipamiento: Los operadores que realizan la mantención necesitan obligatoriamente la utilización de barrera química para retirar la bomba desde el estanque, por peligro a contacto con la Lejía Blanca (Oxido de sodio).
- Capacitación: El trabajo debe ser realizado por un técnico mecánico que cumpla con las capacitaciones establecidas por las políticas implementadas en Cmpc Pulp de acuerdo con las normativas vigentes de manejo de químicos.

- Seguridad: Inicialmente se debe realizar una inspección visual del estado de la línea, equipos y componentes asociados, realizar los permisos correspondientes y portar los EPP necesarios para intervenir el equipo.

Fuente: Fotografía propia tomada durante inspección en terreno.

Figura 1-12. Bomba centrífuga Sulzer área caustificación

1.6.2. Características de proceso bomba 85-098 área caustificación

La siguiente tabla (Tabla 1-10) corresponde a la bomba 85-098 área caustificación y horno de cal, siendo estos datos teóricos calculados previamente a la selección de la bomba. El proceso principal de la bomba consiste en impulsar la Legía Blanca hacia las bombas de retención, que finalmente van dirigidas al Digestor (Zona de cocción de astillas, corazón de la planta).

Tabla 1-10. Características de proceso Bomba 85-098 Caustificación.

Datos de proceso

Aplicación	Bombeo hacia el digestor	Capacidad (Q)	82 l/s
Líquido de bombeo	Licor Blanco (Legía Blanca)	Altura (H)	59 m
Densidad	1.10 kg/m^3	Potencia bomba (P)	81.3 kW
Temperatura	91 ° C	Potencia motor (P)	110 kW
pH	3-7	Velocidad	1480 rpm
NPSH	5.0 m	NPSH requerido	3.3 m

Datos de la bomba

Tamaño bomba	APP53-100
Tipo de impulsor	Cerrado
Diámetro del impulsor	445 mm
Angulo de giro del impulsor	0°
Tipo de sello mecánico	John Crane
Lubricante unidad rotatoria	Aceite lubricante

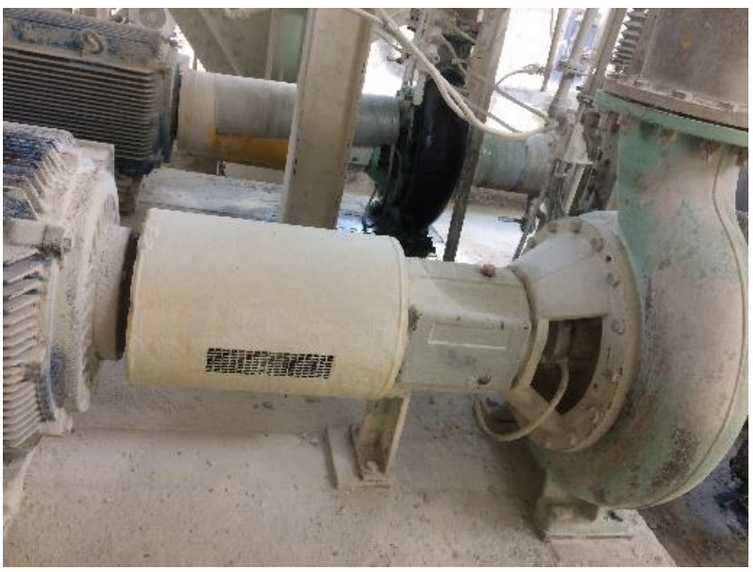
Fuente: Manual Sulzer área Caustificación.

1.7. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el aspecto de Contaminación del Área Caustificación (Figura 1-13) al interior de la planta, se busca una alternativa de solución que permita convivir con el compuesto químico en suspensión que está presente en el área antes mencionada, debido a que el material particulado afecta de manera crítica a los equipos.

En el aspecto de Mantenimiento, se busca una alternativa de solución que permita optimizar la vida útil de los rodamientos en la unidad rotatoria de las bombas centrífugas Sulzer, disminuir las pérdidas de producción, paradas no programadas que afectan a este equipo y disminuir los costos de mantenimiento asociados a estos equipos. En el aspecto técnico una falla de rodamientos produce un aumento en las vibraciones normales del equipo, lo que a la larga ocurren fallas en los acoplamientos, perjudicando su correcto funcionamiento. Una falla crítica en un rodamiento puede producir una gran generación de calor, lo cual podría ocasionar un riesgo de incendio, este es un aspecto de mucha importancia al interior de CMPC ya que tiene áreas altamente inflamables.

En el aspecto de Seguridad, se busca una alternativa de solución que permita intervenir el equipo en un mayor tiempo del que se realiza en estos momentos, debido a que la operación conlleva un alto riesgo, tanto operacional, como seguridad del trabajador y contaminación química al medio ambiente.



Fuente: Fotografía propia tomada en inspección en terreno.

Figura 1-13. Bomba centrifuga sulzer en funcionamiento área caustificación

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE MANTEMINIENTO APLICADA A LA SOLUCIÓN

2. METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO APLICADA A LA SOLUCIÓN

2.1. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ UNIDAD ROTATORIA ÁREA CAUSTIFICACIÓN

Un análisis de causa raíz se utiliza para identificar cuáles son las causas principales que han generado un determinado problema. Determinar de forma correcta las causas raíz de un inconveniente es imprescindible para poder generar acciones correctivas y que eviten la repetición del problema en un futuro. El objetivo principal de un análisis causa raíz es identificar los factores que pueden interferir en un evento. De esta manera prevenir que se vuelva a reiterar algún daño similar, el propósito principal es identificar todas las soluciones a un problema, prevenir que vuelva a ocurrir el problema al menor costo posible, de la manera más simple. Si existen alternativas que sean igual de efectivas, se elige la del menor costo. Para ser efectivo el análisis debe establecerse la secuencia de eventos para entender las relaciones entre los factores, la causa raíz y el problema definido. Es normal que en partes de alto porcentaje de material particulado se presenten este tipo de problemas, debido a que no hay forma de mitigar la contaminación ya que el horno de cal se encuentra muy cerca del área de caustificación, el desafío es como convivir con el químico en suspensión.

En las unidades rotativas de las bombas centrífugas del área de caustificación se han analizado un incremento considerado en las fallas por rodamiento es por esto que se analizan las incidencias que pueden ocurrir en el equipo para que este falle por este motivo en particular. Para analizar la información y datos obtenidos en los diferentes departamentos de CMPC es necesario utilizar una herramienta como un árbol de fallos para identificar y seleccionar de forma correcta el componente a intervenir.

2.1.1. Árbol de falla aplicado a los rodamientos de la unidad rotatoria

Un árbol de fallas es una representación gráfica de las combinaciones de eventos (Figura 2-1) que puedan dar lugar a una incidencia, además es posible identificar la secuencia lógica desde la causa raíz del problema hasta el evento final (componente analizado). Mediante esta ideología es posible centrar la atención en los hechos que realmente son relevantes, incluso también es posible conducir hacia la investigación de causas que también generan un ruido en el equipo. Esta representación gráfica permite resumir, presentar las causas, conclusiones y recomendaciones para seleccionar la alternativa que cumpla con los requisitos del equipo previamente mencionados para un correcto funcionamiento.

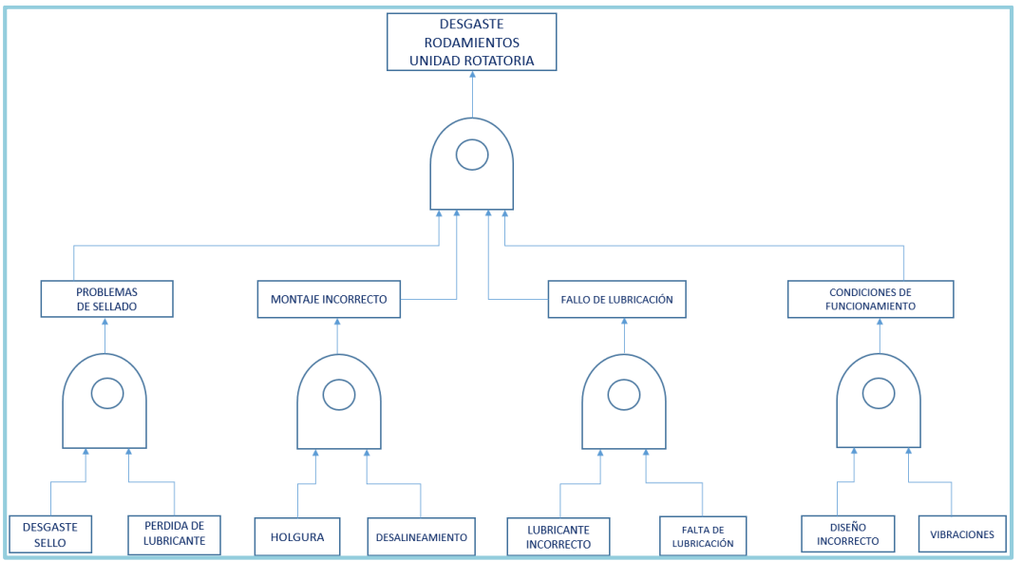
Un árbol de fallos es una excelente herramienta para identificar y corregir algún tipo de falla que se presente en el equipo, adicionalmente puede usarse para prevenir o localizar fallas antes de que ocurran y generen un problema mayor dentro de la producción, usualmente esta representación se utiliza con mayor frecuencia para analizar accidentes ocurrido en las diferentes áreas de una planta industrial o también como una herramienta investigativa a la hora de seleccionar algún tipo de falla en algún equipo.

SIGNIFICADO	SÍMBOLO
Un SUCESO PRIMARIO no requiere desarrollo posterior o no es posible realizarse por alguna razón o evento	
Un SUCESO SECUNDARIO resulta de la combinación lógica de sucesos previamente realizados	
Una CADENA REPETIDA resume un evento idéntico ya analizado	
Una PUERTA O Operador lógico el cual permite el siguiente suceso cuando se presente cualquiera de los eventos precedentes, existe concordancia entre los sucesos.	
Una PUERTA Y Operador lógico el cual permite el siguiente suceso cuando se presenten todos los eventos precedentes, existe coincidencia entre los sucesos.	Y

Fuente: Documentos de análisis de causa raíz.

Figura 2-1. Condiciones lógicas para generar árbol de fallas.

Se analiza cada evento que podría ocasionar la falla de rodamientos del equipo, mediante la técnica de los 5 ¿Por Qué?, realizando la pregunta "¿Porque sucede este evento en particular?", al contestar estas preguntas en todos los eventos posibles asociados a la falla de rodamientos (Diagrama 2-1), se identificarán las causas principales y como estas pueden provocar o intervenir en un futuro evento no deseado.



Fuente: Elaboración propia en base a documentos de análisis de causa raíz.

Diagrama 2-1. Árbol de falla aplicado a los rodamientos de la unidad rotativa Sulze.

2.1.2. Técnica de los 5 ¿Por Qué? aplicado a cada uno de los sucesos que interfieren en el correcto funcionamiento de rodamientos en la unidad rotativa

a) ¿Por qué fallan los rodamientos de la unidad rotatoria de la bomba centrífuga Sulzer 85-098?

Los rodamientos de la unidad rotatoria pueden fallar por algún problema en las condiciones de funcionamiento, fallas en la lubricación, montaje incorrecto y problemas de sellado. Cada uno de estos sucesos puede influir individualmente en la falla de rodamientos de la unidad rotativa.

b) ¿Por qué pueden fallar las condiciones de funcionamiento influyendo en el correcto trabajo de los rodamientos de la unidad rotatoria?

Los rodamientos de la unidad rotatoria podrían fallar en el caso que estuvieran mal seleccionados los rodamientos, de acuerdo a las velocidades de trabajo y cargas relacionadas, ya sean radiales o axiales, pero no es el caso, utilizan 2 rodamientos de bola contacto angular para cargas combinadas y además un rodamiento de rodillos cilíndricos para cargas radiales. Bureau Veritas (empresa prestadora de servicios) se encarga del análisis de vibraciones de las bombas centrifugas de esa área en particular, y los espectros arrojan un correcto resultado, el cual está dentro de los rangos normales de funcionamiento.

c) ¿Por qué podría fallar la lubricación en la unidad rotatoria Sulzer?

Empresa prestadora de servicios Bureau Veritas es la encargada de lubricación de la totalidad de equipos en planta, lleva un control diario de los niveles de aceites propios de los equipos de caustificación, y estos se mantienen en un nivel correcto. Los rodamientos utilizados en la unidad rotatoria APP5 son 7318 BECBJ y NUP 318 ECJ a una velocidad de 1480 RPM y con un diámetro interior de 90 mm el aceite a utilizar es un ISO VG 46, según las propiedades de Mobile el aceite DTE Medium trabaja bajo normas internacionales y efectivamente es un ISO VG 46 por ende el lubricante utilizado es el correcto.

d) ¿Por qué podría fallar o podría presentarse un montaje incorrecto?

Profesionales de CMPC realizan un control estricto de los parámetros de funcionamiento de las bombas Sulzer del área de caustificación, verificando semanalmente la correcta alineación o alguna soltura que se presente en el equipo. Al momento de ser montados los rodamientos en el eje, esto se realiza con equipos adecuados para la mantención, ya sean kits de montajes de rodamiento SKF, además de galga de espesores para verificar el correcto ajuste de los rodamientos una vez montados.

e) ¿Por qué podrían existir problemas de sellado en la unidad rotatoria Sulzer, que afecte directamente a los rodamientos?

Una de las principales fallas que se puede observar en la unidad rotativa es la pérdida de lubricante por el sello del lado machón o el sello de salida del equipo por falla en los elementos sellantes, de los cuales Bureau Veritas realiza un informe semanal de las cantidades de lubricante de cada uno de los equipos del área, en el cual se registra una pérdida considerable, lo que se podría traducir en una falla en los rodamientos por falta de aceite.

Otro de los puntos importantes son los contaminantes que tratan de entrar al interior del equipo, estos afectan principalmente la pista externa e interna del rodamiento. Las partículas tienen que pasar por el laberinto del sello a través de vueltas y ángulos. En el camino que emprenden estas pequeñas partículas se encuentran sometidas a la fuerza centrífuga que genera el movimiento rotacional del eje, si el sello no está diseñado ni orientado de forma correcta un número pequeño de ellas pasan a través de toda la longitud del sello, perjudicando en un tiempo determinado la vida útil del rodamiento (Figura 2-2), esta es una de las principales preocupaciones, ya que como respaldo se tienen informes de análisis de lubricación, los cuales arrojaron que el aceite se encuentra contaminado por material particulado.

De acuerdo a los datos obtenidos mediante el análisis causa raíz y recopilados en el área de caustificación y horno de cal de CMPC Planta Pacífico se identifica el componente a intervenir, en base a los análisis generados se decide proponer alternativas nuevas de sellado para la unidad rotativa.

Fuente: Fotografía propia tomada en inspección en terreno.

Figura 2-2. Rodamiento rodillos cilíndricos pista externa partida.

2.1.3. Determinar componente a intervenir (causa raíz)

La unidad rotatoria está compuesta de dos rodamientos de bola contacto angular y un rodamiento de rodillos cilíndricos, un eje, tuerca y arandela fijación, además de los sellos laberintos (Figura 2-3) ubicados en ambos extremos del eje (lado machón y lado sello mecánico), siendo estos el componente crítico del equipo.

Estos sellos cumplen la función de evitar la filtración de aceite por medio de turbulencias generadas al interior de la unidad rotatoria, además de prevenir el ingreso de partículas extrañas al interior de la unidad rotatoria.

Fuente: Fotografía propia tomada a sello laberinto.

Figura 2-3. Repuesto Sello laberinto sulzer.

En el área de caustificación los rodamientos se cambian aproximadamente una a dos veces por año, muchas veces por mantenimiento correctivo. Una de las principales causas de fallas de las unidades rotatorias se presenta en los rodamientos, de tal forma que se genera un rayado abrasivo sobre las superficies de rodadura, indicando que se está perdiendo material por abrasión, unas de las causas serían contaminación del lubricante con partículas abrasivas provenientes de caustificación, problemas en sellos y/o filtrado del sistema de lubricación (Figura 2-4), montaje y/o mantenimiento inapropiado que permite el acceso de partículas al lubricante.

Fuente: Fotografía propia tomada a sello laberinto.

Figura 2-4 Sello laberinto con muestras de contaminación externa

2.2. DEFINIR ACCIÓN CORRECTIVA (ANÁLISIS DE SELLO LABERINTO)

El sello laberinto es un sello mecánico el cual se utiliza en gran cantidad de equipos industriales, ya sean reductores de velocidad, unidades rotatorias de bombas centrífugas, aplicaciones que requieran altas velocidades y temperatura, éstos se utilizan en torno a la periferia de un eje, para prevenir la pérdida de aceite desde la parte interna del equipo, estos también se utilizan para evitar el ingreso de partículas externas (partículas en suspensión), debido a una amplia variedad de diseños, es necesario seleccionar la mejor alternativa frente a diferentes procesos en los que se vayan a utilizar.

Los sellos del tipo laberinto (Figura 2-5), permiten obtener características de sellado sin necesidad de que dos de las superficies entren en contacto, para lograrlo es necesario controlar el paso del fluido, esto se realiza a través de varias cámaras mediante la acción de la fuerza centrífuga, como también mediante la generación de diversos vórtices en puntos específicos del equipo. Cuando se utilizan velocidades más elevadas de trabajo, las fuerzas centrífugas, obligan al fluido a

desplazarse hacia afuera, alejándose de las cámaras internas. En forma igualitaria, si las cámaras del laberinto han sido diseñadas de forma correcta (geometría de diseño), todo líquido que ha escapado de la cámara principal, queda retenido en la cámara laberíntica, donde se lo fuerza a desarrollar un movimiento de vórtice. Este movimiento ayuda a prevenir la fuga del fluido, y también ayuda a repeler otro fluido que intente ingresar al interior del equipo, es de vital importancia para tanto el equipo, como el sello laberíntico que este sea diseñado de forma correcta para las aplicaciones necesarias de trabajo. A causa de que los sellos laberinticos no necesitan que las dos superficies a sellar estén en contacto, los mismos no sufren desgaste mecánico.

Fuente: Catálogo SKF.

Figura 2-5. Sello laberinto en corte, con sus respectivos componentes.

2.2.1. Características generales de sellos laberintos

Un método habitual para proteger a los rodamientos, es el sellado de contacto. El sello de contacto es un sello de rodamiento que utiliza el contacto con el eje para retener la lubricación y/o excluir la contaminación con una barrera hacia la carcasa del rodamiento. Algunos ejemplos de sellos de contacto son los sellos de labio y sellos laberinticos. El mercado brinda una amplia gama de sellos, de acuerdo a las necesidades de proceso, a continuación, se adjunta (Tabla 2-1) de fortalezas y debilidades, de acuerdo a los materiales de fabricación del sello. Todos los sellos de contacto con el eje tienen una vida útil limitada, por lo que finalmente se desgastan por el punto de contacto, además de dañar el eje.

Tabla 2-1. Comparación de diferentes materiales usados en la fabricación de sellos.

Cualidades generales de operación en la fabricación de sellos					
Material del sello	Nitrilo	Neopreno	TFE	Viton	PTFE
Debilidades	Baja resistencia a la luz solar y al agua	Se degrada en presencia de aceites a base de éster	Tiene poca elasticidad, probabilidad de romperse durante la instalación	Se degrada en presencia de compuestos cáusticos fuertes	Elevado costo, se recomienda utilizar para aplicaciones críticas
Fortalezas	Excelente resistencia a los hidrocarburos	Buenos para refrigerantes y amoniaco	Compatibles con gran cantidad de fluidos	Compatible con fluidos sintéticos	Excelente resistencia contra sustancias químicas
Rango de temperatura	-40 a 110°C	-40 a 110°C	-70 a 250°C	-18 a 205°C	-70 a 250°C
Aplicaciones	Aplicaciones industriales generales	Tuberías, sellos mecánicos	O´rings utilizados en cilindros hidráulicos	Aplicaciones de la industria automotriz	Para aplicaciones con productos químicos

Fuente: Elaboración Propia.

Estos sellos pueden ser de diferentes materiales, pero su función principal cumple diferentes roles. Principalmente están instalados en un equipo en particular para evitar que ingresen partículas y contaminantes externos, a su vez son los encargados de mantener dentro de la máquina lo que está en su interior, ya sea aceite, fluidos sintéticos, etc. La cantidad de aceite que las máquinas pierden por sellos defectuosos alcanza cuatro veces el volumen total del equipo. Hoy en día es necesario minimizar al máximo las fugas y reducir el ingreso de partículas externas, para así alargar la vida útil del equipo, esto es un elemento de mucha importancia dentro de una planta industrial, debido a las exigencias de proceso asociadas a la confiabilidad de los equipos y los aumentos en la compra de activos por el incremento en la ocurrencia de fallas de las máquinas. A continuación (Tabla 2-2) de acuerdo a los límites convencionales de fabricación de sellos del tipo laberinto.

Tabla 2-2. Límites convencionales de fabricación para sellos laberinto.

Límites de operación General Sello Laberinto	
Velocidad del eje	1000-5000 RPM
Presión	0,3 - 0,7 bar
Temperatura	- 40 a 120 °C
Salto Radial	0,1 - 0,5 mm
Movimiento Axial	0,1 - 0,8 mm

Fuente: American Seals.

2.2.2. Tipos de Protectores de rodamientos

Sellos de labio: Son fabricados con elastómeros, debido a su geometría y cualidades de diseño solo son capaces de limitar el ingreso de ciertos contaminantes. Además, pueden restringir algunas fugas, pero están propensos a fallar, especialmente en equipos en los cuales se trabaje con altas presiones o condiciones de funcionamiento y ambientales extremas. Son utilizados para superficies considerablemente rugosas, su principal característica es la excelente compatibilidad con aceites sintéticos y una muy buena capacidad de bombeo. Un factor limitante en este tipo de sellos de labio (Figura 2-6) es el material con el que están fabricados, teniendo en cuenta que la mayoría son fabricados con elastómeros utilizando sus fortalezas y debilidades.

Fuente: Catálogo SKF.

Figura 2-6. Sello de labio.

Sellos Laberinto: Estos componentes proporcionan al equipo una mejor exclusión de contaminantes, a su vez limitan las fugas de lubricante que los sellos de labio estándar no pueden contener, tienen la particularidad de trabajar con diseños sin contacto con el eje, en comparación con los de labio, los cuales están en contacto directo con el eje, rozando su superficie y dañando la periferia de este. El concepto básico de un protector de rodamientos (Figura 2-7), es que están fabricados para reducir al máximo el ingreso de contaminantes, no solamente restringiendo las holguras a través de las cuales las partículas pueden ingresar, sino que se crean áreas de flujo turbulento en las cámaras internas del sello, para excluir los contaminantes.

Fuente: Catálogo SKF.

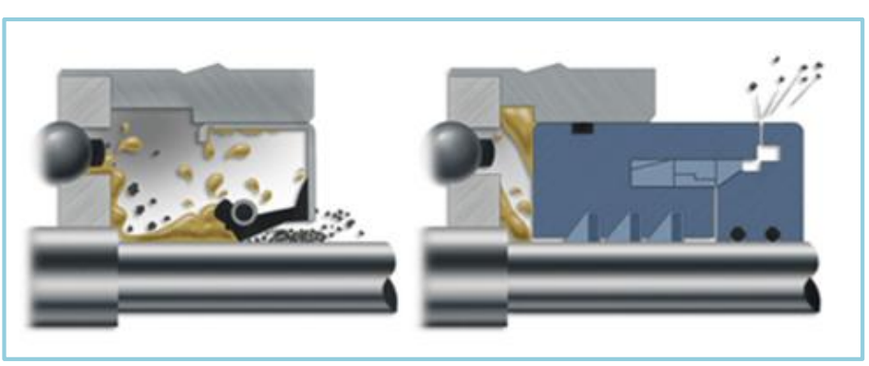
Figura 2-7. Sello Laberinto.

2.2.3. Fortalezas y debilidades Sellos de labio y Sellos de laberinto

Los sellos en los ejes deben ser seleccionados, diseñados y mantenidos correctamente, si no se cumple con una de estas tres condiciones es muy probable que se tengan malos resultados. Algunos sellos de labio realizan un buen trabajo reteniendo el aceite o la grasa, pero en la exclusión de contaminantes su desempeño es pésimo. Los sellos de labio especialmente los que están montados en disposición hacia el equipo (parte interior de la máquina), estos suelen desgastarse en mayor parte, debido a que se encuentran en contacto directo con el eje. Durante un periodo de uso dejan de funcionar correctamente, con su principal característica que es la de retener el aceite dentro del equipo y excluirlo de contaminantes, (ver figura 2-8).

En contra parte se tienen los sellos laberinto, su principal característica es que son excelentes para impedir el ingreso de contaminantes, cabe mencionar que es necesario seleccionar tanto el material, orientación de trabajo y diseño del sello laberinto de forma correcta para así cumplir con las características previamente mencionadas, así que tanto la retención de aceite como la exclusión de partículas en suspensión externas, el sello laberinto se encuentra en un nivel superior al compararlo con los sellos de labio. Otra de sus cualidades es que, debido a su diseño y geometría, no se está en contacto directo con el eje, por ende, no se provoca roce entre ambas superficies, teniendo la certeza de no generar desgaste alguno.

Una de las principales desventajas de los sellos laberinto es que son más caros que los de labio, pero si lo llevamos a costos en mantención e intervención de equipos, a la larga el costo total será más reducido utilizando sellos laberinto que sellos de labio, en general se tendrán que adaptar e incurrir en costos de instalación, pero tiene un ciclo de vida más largo y un mejor desempeño.



Fuente: Información documenta de InproSeal

Figura 2-8. Sellos de labio y Sellos de laberinto figuras en corte.

2.2.4. Características de diseño y fabricación de los sellos laberinto

Se fabrican de múltiples pequeños componentes, uno de ellos es el estator, este se encuentra fijo en la máquina y permanece en estado estacionario. Otra pieza llamado rotor está solidario al eje y gira en conjunto con él, obteniendo el mismo movimiento, ambas piezas se entrelazan entre sí para asegurar el sellado y evitar así el ingreso de contaminantes, mientras mantienen dentro de la máquina el aceite.

Los sellos laberinto de acuerdo a su diseño y geometría, sus piezas no están en contacto, durante el proceso estas no se tocan una con la otra. Son considerados sin fricción, ya que el rotor y estator se encuentran separados por una pequeña tolerancia. En una gran cantidad de casos, esta tolerancia tiene un valor medio de 0.0076 mm, se puede pensar que es una holgura muy grande si es comparada con el espesor de la película lubricante de un rodamiento (1μm), pero como el trayecto que deben recorrer las partículas de contaminante por las cámaras internas del sello y llegar a la parte critica del rodamiento es considerado sinuoso, esta pequeña holgura es considerada aceptable.

Antes de entrar al interior de la máquina, los contaminantes tienen que pasar por las vueltas y ángulos de la cámara interior del sello para poder dañar o afectar el correcto funcionamiento del rodamiento. En el trayecto que deben avanzar estas pequeñas partículas, se encuentran sometidas a la fuerza centrífuga provocado por el movimiento rotacional del eje. Es de carácter importante mencionar que si el sello no está diseñado ni orientado de forma correcta un número pequeño de ellas pasan a través de toda la longitud del sello, perjudicando en un tiempo determinado la vida útil del rodamiento. Existe una gran variedad de sellos laberinto para diferentes aplicaciones, algunos fabricados de bronce, acero inoxidable, hasta algunos fabricados de plásticos industriales (su uso se limita dependiendo del fluido de trabajo). La fabricación de sellos puede ser de diferentes calidades entre las marcas del mercado, existen para diferentes aplicaciones como ejes verticales, lubricaciones forzadas, altas velocidades y temperaturas. Todos cumplen el mismo principio, pero el éxito de esta implementación dependerá exclusivamente de que cumpla tanto con los parámetros operacionales, condiciones del equipo y componente. Realizando una lubricación adecuada, controlada y responsable, con sellos laberinto en perfecta orientación y diseño muchos rodamientos pueden alcanzar su vida útil de trabajo.

2.3. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ALTERNATIVAS DE SELLADO

El mercado industrial actual de sellos provee diferentes alternativas para ser utilizadas específicamente en equipos rotativos que se encuentren inmersos en ambientes contaminados, es necesario seleccionar de forma correcta los parámetros de diseño, para un funcionamiento óptimo del componente. En el área de caustificación se realiza mantenimiento correctivo de una a dos veces al año, provocando muchas veces la detención del equipo, generando horas de mantención y a su vez horas de producción perdidas, peligro inminente al realizar la mantención, debido a que es un compuesto químico de alta peligrosidad, en el cual es necesario purgar la línea, con posibilidad de derrame químico, por ende, hay mucho tiempo involucrado en realizar esta actividad, ya que es considerado como un trabajo de alta criticidad dentro de la planta.

Empresa que presta servicio a CMPC Pulp diagnostica que una gran cantidad de las unidades rotatorias que iban a mantención, su motivo es por falla de rodamiento. Se genera un rayado abrasivo sobre las superficies de rodadura y pista externa, indicando que se está perdiendo material por abrasión, unas de las causas serían contaminación del lubricante con partículas abrasivas (Figura 2-9) provenientes de caustificación, problemas en sellos y/o filtrado del sistema de lubricación, montaje y/o mantenimiento inapropiado que permite el acceso de partículas al lubricante.

Fuente: Fotografía propia tomada a sello laberinto.

Figura 2-9. Sello laberinto de salida unidad rotatoria.

La unidad rotatoria de la bomba Sulzer 85-098 trabaja bajo las siguientes condiciones de funcionamiento (Tabla 2-3).

Tabla 2-3. Condiciones de funcionamiento unidad rotatoria área caustificación.

Aplicación	Unidad Rotativa Sulzer	Orientación	Horizontal
Lubricante	DTE Medium Mobil	Angulo de giro	0°
Tamaño bba	APP53-100	Presión intern	7 psi
Temperatura	50 ° C	Área	Caustificación
Impulsor	Cerrado	Velocidad	1480 rpm
Diámetro impulsor	445 mm	Ambiente	Contaminado (químico)

Fuente: Elaboración propia en base a condiciones de funcionamiento de equipo.

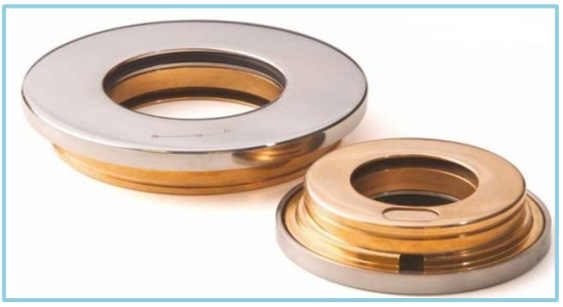
Los sellos actuales de las unidades rotatorias del área de caustificación presentan algunos problemas de funcionamiento, en comparación con la totalidad de equipos que se encuentran en funcionamiento en CMPC. Es necesario realizar un mantenimiento correctivo en casi la totalidad de las unidades rotatorias del área de caustificación. Actualmente el sello utilizado en el área es el mismo que se utiliza en otros sectores en los que no hay contaminación ambiental directa, y en los que estos sellos funcionan de manera correcta. Diferente es el caso de los sellos laberintos del área en cuestión, los cuales están expuestos directamente al material particulado provenientes del horno de cal.

2.3.1. Sellos laberinto EagleBurgmann

El sello EagleBurgmann (Figura 2-10) es una solución de sellado que brinda protección contra los contaminantes externos, a la vez que mantiene la lubricación en el rodamiento y provee de protección a fugas. El componente está fabricado por dos cámaras internas verticales. Se utilizan elastómeros estáticos internos, los cuales hacen un dispositivo sin contacto real con dos elastómeros internos estáticos, lo que disminuye el desgaste interno de las juntas. Exclusión de contaminantes con cámaras de exclusión doble, puede excluir grandes volúmenes de contaminantes, lo que garantiza una mayor vida útil del rodamiento.

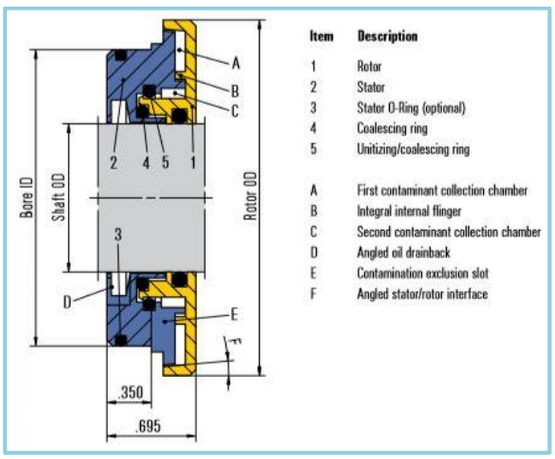
Este componente cuenta con un retorno de aceite en ángulo, el cual ofrece un flujo de retorno mejorado y mayor capacidad de volumen sin fugas de aceite. Cuenta con interfaz en ángulo mientras que otros productos ofrecen una interfaz directa, lo que permite que la dirección y el flujo del contaminante se expulsen de manera más eficiente.

Sus aplicaciones más comunes son unidades rotativas de bombas centrífugas, turbinas de vapor, motores, mezcladores, sopladores / ventiladores. Sus materiales de fabricación son materiales estándar, su rotor es inoxidable, estator de bronce, elastómeros de Viton.



Fuente: Catálogo EagleBurggman.

Figura 2-10. Sello laberinto EagleBurggman.



Fuente: Catálogo Eagle Burggman.

Figura 2-11. Sello laberinto en corte.

2.3.2. Sello laberinto polimérico Chesterton

Es un sello unificado sin contacto para rodamientos, sirve para proporcionar protección en bombas, motores, cajas de engranes y otros equipos rotativos. Al ser un material polimérico industrial elimina el desgaste provocado por retenes convencionales de labio. Este sello de laberinto unificado (Figura 2-12) es fabricado de un polímero Chesterton, con el cual se diseña un sello de tres piezas sin contacto, el cual incluye un rotor, un estator y una válvula incorporada, sin piezas de desgaste. Al estar en operación, la fuerza centrífuga y la gravedad aseguran que el lubricante quede contenido dentro del laberinto y pueda fluir hacia la caja del

rodamiento, mientras los contaminantes externos quedan excluidos y son redirigidos hacia la atmósfera. El diseño también incluye una válvula incorporada que se activa mediante la rotación del eje, la cual se cierra durante los períodos de paro para crear un sello positivo durante el tiempo improductivo, bloqueando el ingreso de contaminantes externos al interior de la unidad rotativa. Las tecnologías de materiales utilizados en Chesterton se fabrican a partir de un polímero termo fijo avanzado y durable, fácil de mantener, compatible con aceites comunes para rodamientos y engranajes, el cual ofrece una solución alternativa con excelente relación costo efectividad respecto a otras opciones de materiales. Cada sello se fabrica a medida de acuerdo con las dimensiones exactas de equipo necesarias para maximizar el rendimiento.

Fuente: Catálogo Chesterton.

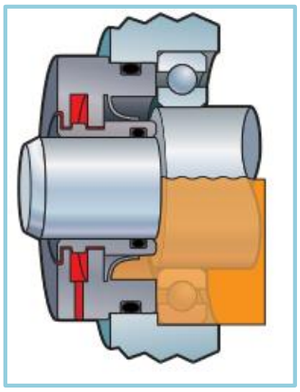
Figura 2-12. Sello laberinto polimérico Chesterton.

2.3.3. Sello ProTech John Crane

La tecnología que ha utilizado John Crane se ha desarrollado durante varios años para proporcionar una protección total del rodamiento al garantizar cero fugas de lubricante a la atmósfera y la exclusión total de contaminantes de la unidad rotatoria de las bombas centrífugas. Estudios han demostrado que incluso una pequeña cantidad de agua o suciedad en el lubricante puede reducir drásticamente la vida útil de los rodamientos.

El ProTech se basa en un diseño simple, unificado, de dos piezas fabricado en PTFE químicamente resistente. La gama de protectores de rodamientos se compone de una familia completa de diseños complementarios que ofrece un buen abanico de opciones para cualquier aplicación, ya que cada uno cuenta con sus propias características de acuerdo al diseño de aplicación. Las aplicaciones con ambientes contaminados pueden beneficiarse del tipo FS (Figura 2-13) que cuentan con un sello de labio interno, ofreciendo beneficios de cero fugas y cero entradas de contaminantes. Los compuestos de PTFE en la construcción de los productos John

Crane garantizan una amplia gama de capacidades operativas, que incluyen temperaturas altas y bajas y específicamente en entornos químicos extremos (contaminantes externos). El sello de laberinto ProTech normalmente pueden reemplazar los dispositivos de sellado existentes, sin modificaciones al equipo. Este sello es utilizado en las áreas de procesamiento químico, pulpa y papel en industrias papeleras, petróleo y gas.



Fuente: Catálogo John Crane.

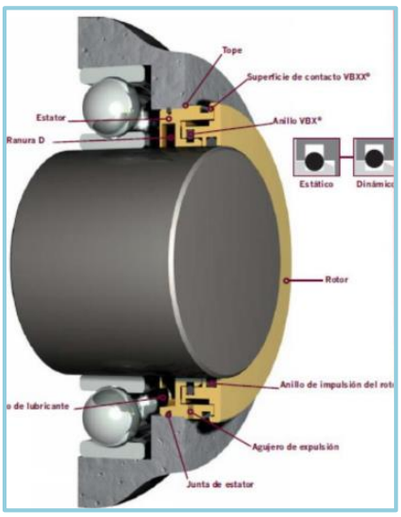
Figura 2-13. Sello laberinto hermético FS ProTech John Crane.

El diseño del tipo FS para ambientes contaminados tiene como principal característica excluir de contaminantes a las unidades rotativas expuestas a material particulado, con un sello del tipo completamente hermético en comparación con los convencionales, los cuales mantienen un nivel "ideal" de aceite en la máquina, normalmente se observan fallas reiteradas, en ambientes con material particulado debido a su diseño, el cual permite el contacto con el exterior debido a sus cámaras centrifugas externas expuestas al medio ambiente. El diseño ProTech posee juntas tóricas en Fluorelastómero, son fabricados en un diseño simple, tienen excelente resistencia química y son anti chispa en caso de cualquier emergencia, su principal característica es fuga cero de lubricante, debido a su diseño hermético, además de que es un diseño el cual no entra en contacto con el eje, por ende, no hay desgaste de material.

2.3.4. Protector de rodamientos INPRO-SEAL

Los protectores de rodamiento INPRO ofrecen una solución permanente para problemas de mantenimiento que interrumpan el normal proceso de producción. Es un sello dinámico de dos partes que está compuesto de un estator y un rotor unido al eje. El rotor y estator forman una junta laberíntica compuesta, sin contacto, sin piezas de desgaste para garantizar una protección permanente. El sello laberinto se fabrica a medida para su aplicación específica bajo la norma ISO

9001. Para casos en los cuales se genere una presión interna de la caja está el modelo de diseño con anillo dinámico el cual bloquea la humedad y la condensación creada por la calefacción o refrigeración de la unidad rotativa. El protector de rodamientos Inpro-Seal (Figura 2-14) es un dispositivo de protección permanente y sin desgaste, el estator se presiona e introduce en la carcasa, mientras que el rotor gira con el eje. El sello laberinto protege de varias formas a la unidad rotatoria. El lubricante es retenido en la sección interior del laberinto y retornado a la carcasa del rodamiento, la contaminación exterior que intentar entrar en la carcasa queda capturada en las rutas del laberinto y es expulsada a través de un agujero situado en el rotor por acción de la gravedad y la fuerza centrífuga, posee un anillo bloqueador de vapor, el cual impide que se libere contaminación por vapor en el momento en que se caliente o enfrié la caja de rodamientos, asegurando aislación en cualquier condición de proceso. Estos sellos son probados exhaustivamente en un banco de pruebas exclusivo, el cual mide su capacidad de sellar y bloquear los contaminantes exteriores que afecten al equipo.



Fuente: Inpro-Seal.

Figura 2-14. Protector de rodamientos Inpro-Seal.

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA DE ALTERNATIVA DE MEJORA UNIDAD ROTATORIA ÁREA CAUSTIFICACIÓN

3. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA DE ALTERNATIVA DE MEJORA UNIDAD ROTATORIA ÁREA CAUSTIFICACIÓN

3.1. EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para la evaluación de la alternativa de solución que cumpla con los requisitos normales de funcionamiento en el área de caustificación, se procede a realizar una matriz de ponderación para la selección y evaluación de elementos de sellado de la unidad rotatoria Sulzer perteneciente a la bomba centrífuga 85-098 encargada de la alimentación principal del digestor. La pre-selección de los elementos de sellado está determinada bajo criterios cualitativos y cuantitativos, a continuación (Tabla 3-1) criterios de selección para elementos de sellado del área caustificación y horno de cal Cmpc Pulp.

Tabla 3-1. Criterios para la selección de elementos de sellado.

Criterios de Selección para elementos de sellado	
Criterio 1 Mantenimiento del componente	Total máximo de 25 puntos
Criterio 2 Diseño y fabricación área con químico en suspensión	Total máximo de 40 puntos
Criterio 3 Características operacionales	Total máximo de 20 puntos
Criterio 4 Precio	Total máximo de 15 puntos

Fuente: Elaboración Propia.

Al implantar cualquier tipo de mejora, este va a necesitar de recursos importantes debido a que es necesario adquirir los elementos necesarios para su realización y además cumplir con los parámetros técnicos de funcionamiento del componente. Con este Trabajo de título se busca apuntar hacia la optimización de recursos, superar las condiciones normales de funcionamiento y disminuir tiempos involucrados en su mantención. De acuerdo a los tiempos normales de intervención de las unidades rotativas se pretende disminuir los tiempos de mantenimiento y confiabilidad del equipo. Los sellos para ser usados en unidades rotativas deben proporcionar la máxima protección con niveles mínimos de fricción y desgaste, incluso en condiciones de funcionamiento exigentes, debido a que la vida útil y el rendimiento del equipo están totalmente relacionados con la limpieza del lubricante, no perder sus propiedades técnicas es un punto importante a la hora de hablar de contaminación y daño prematuro de rodamientos, acá el sello laberinto cumple una función clave.

3.1.1. Criterio 1 Mantenimiento del componente 25 Puntos

El criterio empleado será basado en la estimación de criterios de mantenimiento de acuerdo a las diferentes alternativas presentadas en el capítulo anterior.

- Mantenibilidad del componente (35%):
  Se valorará la frecuencia de mantención para el cumplimiento de la vida útil del componente, como también la facilidad de mantención del sello laberinto, de acuerdo a la utilización de herramientas especiales para su montaje o desmontaje
- Tiempos de mantenimiento (35%):
  Los tiempos afectan directamente a los recursos económicos como humanos de una empresa. Los tiempos asociados al mantenimiento dependen del tiempo total de intervención del equipo al realizar el mantenimiento respectivo a la unidad rotativa, hasta el cambio de sello laberinto.
- Políticas de mantenimiento de la empresa (30%):
  Se valorará el sello laberinto que mejor se adecue a las políticas de mantenimiento de CMPC Planta Pacifico, además de las posibles incidencias o problemas que se generen por el montaje del nuevo sello, de acuerdo a sus características geométricas. La autonomía requerida por el sello para un correcto funcionamiento.

Planteados los criterios de mantenimiento del componente que sustentan la selección de la alternativa de solución que cumpla con el cumplimiento de los tiempos involucrados en la mantención del equipo, se desarrolla la siguiente escala porcentual (Tabla 3-2) para su posterior ponderación.

Tabla 3-2. Escala porcentual de evaluación.

Escala porcentual de evaluación para el Mantenimiento del componente	
Porcentaje (%)	***Clasificación***
71 a 100	Excelente
61 a 70	Muy buena
41 a 60	Buena
16 a 40	Regular
1 a 15	Mala
0	Muy mala

Fuente: Elaboración Propia.

Este sistema de ponderación (Tabla 3-3) está determinado por una escala porcentual para los parámetros de mantenimiento asociados al nuevo componente, de acuerdo al siguiente detalle:

- Excelente: Si el componente cumple con la totalidad de requisitos asociados a los criterios de mantenimiento establecidos anteriormente y su porcentaje de puntuación va desde 71% a 100 %. (25 puntos)
- Muy buena: Cuando el porcentaje de cumplimiento de los criterios de mantenimiento establecidos anteriormente y su grado de aceptación ronda entre el 61% y 70%. (20 puntos)
- Buena: Si el componente se adecua a los criterios de mantenibilidad, cumpliendo con algunos términos de políticas internas de la empresa, el porcentaje de cumplimiento asociado ronda entre 41% y 60%. (15 puntos)
- Regular: Cuando no se cumplan la totalidad de los criterios previamente mencionados, el porcentaje de cumplimiento asociado a los criterios de mantenimiento ronda entre 16% y 40%. (10 puntos)
- Mala: Cuando el porcentaje de cumplimiento asociado a los criterios de mantenimiento establecidos anteriormente es paupérrimo y ronda entre 1% a 15%. (5 puntos)
- Muy mala: Cuando no cumple con ninguno de los requisitos asociados a los criterios de mantenimiento establecidos anteriormente (0 puntos).

Tabla 3-3. Valores de ponderación para las alternativas de solución bajo el criterio de mantenimiento.

Valores del criterio basado en terminos de mantenimiento aplicados al equipo	
Clasificación	***Ponderación***
Excelente	25
Muy buena	20
Buena	15
Regular	10
Mala	5
Muy mala	0

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Criterio 2 Diseño y fabricación área con químico en suspensión 40 puntos

El criterio empleado será basado en las características de diseño y fabricación del sello laberinto, de acuerdo a las propiedades ambientales que existen en el área caustificación, debido a la presencia de partículas químicas Calcio (Ca) en suspensión.

- Compatibilidad química del sello laberinto (50%):

Este es uno de los puntos más críticos de este criterio en particular, de acuerdo a los datos obtenidos en las muestras realizadas a las unidades rotativas de bombas centrifugas del área, en las cuales se identifica un alto contenido de Calcio presente en el aceite. El material del sello seleccionado debe ser químicamente resistente al material particulado en suspensión.

- Diseño sello laberinto (30%):

Los sellos laberintos o protectores de rodamiento deben proporcionar la máxima protección con niveles mínimos de fricción y desgaste, incluso cuando las condiciones de funcionamiento son exigentes, las diferentes alternativas de solución nos permiten seleccionar la disposición en la cual trabaja el equipo y diseñar uno que funcione correctamente en una posición y de forma ineficiente en otra. Otro de los criterios empleados es el diseño del sello laberinto, en el mercado existen diferentes geometrías de diseño para protectores de rodamiento, existen de diseño simple, eficiente y de buenas cualidades de funcionamiento, diseños partidos de fácil montaje, diseños garantizados herméticamente, los cuales no tienen contacto alguno con el exterior, este criterio será considerado de forma especial por las condiciones ambientales mencionadas anteriormente.

- Apoyo técnico (10%):

Se estima el nivel de cumplimiento del criterio de apoyo técnico por parte de las marcas a evaluar, ya sea al momento de solicitar cotizaciones, información acerca de la compatibilidad química de sus productos, consultas técnicas que se necesiten al momento de la implementación, mantención o en caso de que cualquier situación lo requiera.

- Fiabilidad (10%):

Medición enfocada al grado de cumplimiento que tenga el proveedor de acuerdo a los datos fijados de sus productos, como también la fiabilidad que tengan las pruebas realizadas por la marca antes del envió del protector de rodamientos. También en este criterio se evalúa la disposición entregada por la marca a la hora de participar en la presentación de su producto para ser adquirido por la empresa, ya sean tanto de contacto con personal encargado de repuestos, envió de información técnica actualizada, etc.

Para la aplicación del criterio de diseño y fabricación de los productos involucrados en la evaluación técnica económica, se procede a realizar una tabla de ponderación (Tabla 3-4), el cual determina los puntos a tener en cuenta durante el proceso de selección de alternativas de solución para la problemática descrita en el área de caustificación de Cmpc Planta Pacífico.

Tabla 3-4. Valores de ponderación para las alternativas de solución bajo el criterio de diseño y fabricación.

Escala porcentual de evaluación diseño y fabricación del componente	
Porcentaje (%)	***Clasificación***
71 a 100	Excelente
61 a 70	Muy buena
41 a 60	Buena
16 a 40	Regular
1 a 15	Mala
0	Muy mala

Fuente: Elaboración Propia.

Este sistema de ponderación (Tabla 3-5) está determinado por una escala porcentual para los parámetros de diseño y fabricación asociados al área de caustificación y horno de cal en base a las capacidades de las diferentes alternativas, de acuerdo al siguiente detalle:

- Excelente: Si el componente cumple con la totalidad de requisitos asociados a los criterios de diseño y fabricación, siendo compatible para convivir en el área de caustificación. Su porcentaje va desde 71% a 100 % (40 puntos).
- Muy buena: El componente cumple con la mayoría de los criterios mencionados, teniendo consideración en la compatibilidad química. El porcentaje de cumplimiento asociado a los criterios de diseño y fabricación para el área de caustificación va desde el 61% y 70% (30 puntos).
- Buena: Cuando el porcentaje de cumplimiento asociado al diseño y compatibilidad química, para el área de caustificación no satisfacen totalmente las necesidades, van desde el 41% al 60% (20 puntos).
- Regular: Cuando el porcentaje de cumplimiento asociado al apoyo técnico y fiabilidad de fabricación es aceptable, va desde 16% a 40% (10 puntos).
- Mala: Cuando no se cumple en la totalidad de requisitos de diseño y fabricación para el área de caustificación su puntuación va desde 1% a 15% (5 puntos).
- Muy mala: Cuando no cumple con ninguno de los requisitos asociados a los criterios de diseño y fabricación para el área de caustificación y horno de cal establecidos anteriormente (0 puntos).

Tabla 3-5. Valores de ponderación para el criterio de diseño y fabricación de las alternativas propuestas.

Valores del criterio de diseño y fabricación de las alternativas presentadas	
Clasificación	***Ponderación***
Excelente	40
Muy buena	30
Buena	20
Regular	10
Mala	5
Muy mala	0

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3. Criterio 3 Características operacionales 20 puntos

Los sellos laberinto para las aplicaciones de rodamiento deben garantizar la máxima protección con niveles ínfimos de fricción y desgaste, incluso esto debe cumplirse en las condiciones de funcionamiento más extremas. Debido a que el rendimiento y la vida útil de un rodamiento están directamente relacionadas con la eficacia y limpieza del lubricante. Se debe tener en cuenta las características operacionales a la hora de seleccionar o elegir un determinado protector de rodamientos, este criterio consta del cumplimiento de los parámetros operacionales por parte de las marcas a evaluar para un correcto funcionamiento del componente.

- Presión interna (35%):

Turbulencia interna o inestabilidad que se genera debido al diseño geométrico del sello, mediante el cual se genera una especie de vórtice, provocando un aumento en la presión interna del equipo. Esta presión es generada por el aumento de temperatura al interior del equipo. Este criterio busca la alternativa que mejor se comporte frente a la humedad y condensación interna creada por la calefacción o refrigeración de la unidad rotativa.

- Velocidad de giro (10%):

Se estima el nivel de cumplimiento del criterio de velocidad de giro, asociado a las propiedades mecánicas del componente, de acuerdo a los materiales utilizados en su fabricación. La velocidad de giro de una bomba centrífuga del área caustificación es de 1480 RPM.

- Lubricación y Temperatura (30%):

El sello debe cumplir ciertos parámetros asociados a la lubricación y temperatura del equipo. Bajo condiciones de funcionamiento normales de la unidad rotativa del área caustificación se utiliza aceite mineral de alta calidad con viscosidad ISO VG 46 (Mobil DTE Oil Medium), la viscosidad del aceite a la temperatura de operación no debería ser inferior a 12 cSt (65 SSU). La temperatura de operación es aproximadamente de 80 ° C, bajo estas condiciones se selecciona el criterio de lubricación y temperatura.

- Fricción y desgaste (25%):

Los sellos deben proporcionar la máxima protección para los rodamientos de la unidad rotativa de la bomba, en los cuales se identifiquen niveles mínimos de fricción y desgaste, incluso cuando las condiciones de funcionamiento no sean las mejores, llegando a operar en condiciones exigentes debido al área en el que trabaja el equipo. Este criterio estima la capacidad que tenga el componente de acuerdo a un diseño sin contacto, instalación del sello sin herramientas de golpe, juntas tóricas en fluoroelastómero para no desgastar el eje. El sello debe poseer capacidades en cuanto a una posible desalineación o flexión del eje que ocurra en algún momento inesperado del proceso, estas se ven reflejadas en el denominado salto radial y axial que tiene el sello al momento de estar montado en la unidad rotativa.

Planteados los criterios que pertenecen a las características operacionales del componente, que sustentan la selección de la alternativa de solución que cumpla con la máxima puntuación en base a sus capacidades técnicas, se desarrolla la siguiente escala porcentual (Tabla 3-6) para su posterior ponderación.

Tabla 3-6. Escala porcentual de evaluación de alternativas de solución.

Escala porcentual de cumplimiento de las características operacionales	
Porcentaje (%)	***Clasificación***
71 a 100	Excelente
61 a 70	Muy buena
41 a 60	Buena
16 a 40	Regular
1 a 15	Mala
0	Muy mala

Fuente: Elaboración Propia.

Este sistema de ponderación (Tabla 3-7) está determinado por una escala porcentual para los parámetros operacionales asociados al área de caustificación, en base a las capacidades de las diferentes alternativas, de acuerdo al siguiente detalle:

- Excelente: Si el componente cumple con la totalidad de requisitos asociados a los criterios de características operacionales para el área de caustificación. Su puntuación va desde 71% a 100 % (20 puntos) según el grado de cumplimiento en base a los criterios mencionados anteriormente.
- Muy buena: Cuando el porcentaje de cumplimiento asociados a lubricación, temperatura, fricción y desgaste cumplen de manera parcial los requisitos para el área de caustificación. Su puntuación va desde el 61% al 70% (15 puntos).
- Buena: Si el componente cumple con los criterios de fricción y desgaste, se considera aceptable para las necesidades de parámetros operacionales del área de caustificación y su porcentaje ronda entre 41% y 60% (10 puntos)
- Regular: Sólo si el componente cumple con al menos dos de los requisitos necesarios para el área de caustificación, su porcentaje va desde el 16% al 40% (5 puntos).
- Mala: Cuando no se cumple con al menos un criterio de parámetros operacionales asociados al área de caustificación, su desempeño es paupérrimo. El porcentaje asociado ronda entre 1% a 15% (1 puntos).
- Muy mala: Cuando el componente no cumple con ninguno de los requisitos asociados a los parámetros y características operacionales para el área de caustificación y horno de cal establecidos anteriormente (0 puntos). Su desempeño para el área en cuestión es pésimo.

Tabla 3-7. Valores de ponderación para el criterio de características operacionales.

Valores del criterio de características operacionales del sello	
Clasificación	***Ponderación***
Excelente	20
Muy buena	15
Buena	10
Regular	5
Mala	1
Muy mala	0

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.4. Criterio de Evaluación económica 15 puntos

- Precio (50%)

En este criterio en particular se tiene en cuenta la relación directa que existe. Entre los precios del producto suministrado por los distintos proveedores de protectores de rodamiento. Se comparan los precios de un proveedor en particular a los del resto de las marcas presentadas como alternativa de solución para la unidad rotativa de la bomba centrifuga Sulzer. No se considera como opción primordial ni absoluta, aceptar el valor de la opción más barata, en caso de que existe coincidencia total de cumplimiento de los criterios antes mencionados, se elegirá la alternativa más barata entre las opciones en cuestión. Se aclara que en este criterio los valores a analizar serán evaluados bajo criterio inverso (Tabla 3-9), el cual se trata de que, a mayor precio del producto, menor será su puntuación a la hora de realizar la ponderación.

- Calidad (50%)

Los criterios de precio-calidad establecidos fueron en forma cualitativa, estos no están presentes en una escala numérica de uso universal, por lo que se necesita adaptar una graduación para este proyecto en particular. Para la ponderación de este criterio, se desarrolla una tabla que evalúa apreciaciones cualitativas y cuantitativas, verificando de esta forma que dicha decisión reside dentro de un rango favorable de funcionamiento y aplicación. Este criterio en particular estima la calidad del producto en base a otros productos de estas mismas marcas, las cuales se encuentran en funcionamiento en Planta Pacífico y Planta Laja de CMPC. En cuanto a la ponderación realizada para el criterio de calidad, se explica e ilustra mediante la Tabla 3-8.

Tabla 3-8. Puntuación cualitativa criterio de Calidad de las marcas en cuestión.

Puntuación y rangos economicos del criterio de precio y calidad		
Clasificación	***Rango de precios***	***Ponderación***
Excelente	$ 248.523 - 579.253	15
Muy buena	$ 579.254 - 680.253	12
Buena	$ 680.254 - 721.123	9
Regular	$ 721.124 - 759.235	6
Mala	$ 759.236 - 802.256	3
Muy mala	$ 802.257 - Precio mayor	**0**

Fuente: Elaboración Propia.

El proveedor de EagleBurgmann presentó una oferta por el producto, a lo que por ser el producto más barato se le otorga el máximo de 15 puntos. En cuanto a los proveedores de Chesterton, Inpro-Seal y John Crane, se tomará el precio inicial de base de la empresa Burggman, multiplicándolo por la ponderación máxima del criterio que es 15 puntos y se dividirá por el precio que cada una de las otras tres empresas presentaron en sus propuestas económicas.

Tabla 3-9. Valores comerciales de las alternativas de solución presentadas.

Puntuación económica criterio de valor de las alternativas de solución		
Proveedor	***Precio Total***	***Ponderación***
Sello laberinto EagleBurggman	$ 506.926	15
Sello laberinto polimérico Chesterton	$ 680.253	11
Sello laberinto Inpro-Seal	$ 738.030	8
Sello laberinto ProTech John Crane	$ 749.778	4

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.5. Ponderación final de criterios de decisión

Ya expresados los criterios mediante los cuales será evaluada la alternativa, se procede a realizar la ponderación de cada uno de los factores que influyen en la elección de la mejor alternativa de mejora para el área de caustificación en una futura implementación. La matriz arrojará el resultado final con un máximo de 100 puntos, si no cumple con la totalidad se elegirá la alternativa que cumpla con el mayor puntaje. A continuación, se presenta la clasificación y escala de ponderación (Tabla 3-10).

Tabla 3-10. Matriz de criterios de evaluación para la selección de la mejor alternativa de solución.

MATRIZ DE SELECCIÓN DE SELLO LABERINTO UNIDAD ROTATIVA 85-098 ÁREA CAUSTIFICACIÓN					
CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA SELECCIÓN		ALTERNATIVAS DE MEJORA A EVALUAR			
		Burggman	***Chesterton***	***John Crane***	***Inpro-Seal***
MANTENIMIENTO 25 Puntos	Mantenibilidad (35%)	3,5	5	8,75	5,25
	Tiempos mtto (35 %)	7	7	7	5,25
	Políticas mtto (30%)	4,5	7,5	7,5	7,5
DISEÑO Y FABRICACIÓN 40 Puntos	Compatibilidad Química (50%)	2,5	10	20	2,5
	Diseño sello laberinto (30%)	6	6	9	9
	Apoyo técnico (10%)	3	3	3	3
	Fiabilidad (10%)	3	2	3	3
CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES 20 Puntos	Presión interna (35%)	3,5	7	5,25	7
	Velocidad de giro (10%)	2	2	2	2
	Lubricación y Temperatura (30%)	4,5	4,5	6	3
	Fricción y Desgaste (25%)	2,5	5	5	2,5
EVALUACIÓN ECONÓMICA 15 Puntos	Precio mercado (50%)	7,5	5,5	2	4
	Calidad del producto (50%)	4,5	6	7,5	3
PONDERACIÓN FINAL		54	70,5	86	57

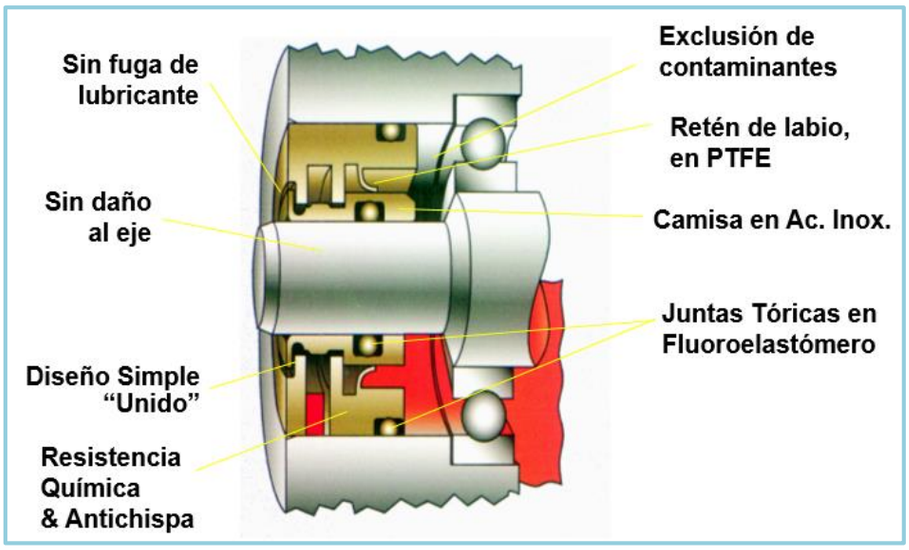
Fuente: Elaboración propia en base a criterios de evaluación.

Para la selección de la mejor alternativa de solución para la unidad rotatoria de la bomba centrifuga 85-098 del área de caustificación y horno de cal en CMPC Planta Pacífico, se evaluaron términos cuantitativos y cualitativos, de acuerdo a las características de cada una de las marcas en cuestión. Algunos de los criterios se evaluaron de forma estimativa, ya que no existía una escala de evaluación directa. Las cotizaciones presentadas por Burggman e Inpro-Seal (Anexo 1 y 3), no satisfacen la principal necesidad, debido a que sus materiales de fabricación no son compatibles con el químico en suspensión presente en el área, es por esto que se visualiza un valor menor en comparación a los sellos Chesterton y John Crane (Anexo 2 y 4), los cuales ofrecen productos directamente compatibles con químicos (como una de sus características principales) por ende estas dos últimas marcas son las que ofrecen un producto compatible químicamente. En términos de costos económicos se vieron dos puntos principalmente, el precio del producto y la calidad de este. Primero se analizó cuál de los productos evaluados tenía el menor precio, se realizó una evaluación inversa, otorgando el mayor puntaje al menor precio, en términos de calidad se realizó una ponderación estimativa cualitativa, de acuerdo a otros productos de las mismas marcas en cuestión y sus desempeños a la hora de ser utilizado en procesos, los datos y recomendaciones fueron obtenidos en CMPC Planta Pacífico y Planta Laja por los ingenieros en confiabilidad en base a sus propias experiencias. El Sello laberinto seleccionado como alternativa de solución es el ProTech de John Crane, el cual cumple con la mayor puntuación en base a los criterios detallados en este capítulo.

3.2. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS TÉCNICOS ECONÓMICOS EN BASE A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA

El sello laberíntico John Crane con su producto ProTech del tipo hermético ofrece de forma estimativa el cumplimiento de la vida útil del rodamiento, en consecuencia, poder anticipar la falla que muchas veces genera la detención del equipo, de tal forma que el área de planificación pueda programar su mantención para así evitar una parada no programada en un periodo de alta producción o alta demanda. En términos de lubricación esta alternativa estima una total exclusión de contaminantes de acuerdo a su diseño hermético, el cual no permite el ingreso de partículas, además de su cámara interna laberíntica, lo que provoca una protección confiable del ingreso de material en suspensión, sus propiedades internas le permiten una compatibilidad química total ya que el material de fabricación es PTFE, el cual tiene una alta compatibilidad química con el material en suspensión. Su diseño sin contacto permite que no se generen daños en la periferia del eje, provocando que no se genere calor en cuanto al interior y exterior de la unidad rotatoria.

En cuanto a su mantenibilidad sus características de diseño permiten un fácil montaje, sin la necesidad de utilización de algún elemento de golpe para la instalación del sello. Las principales características de este modelo ProTech FS (Figura 3-1) es la exclusión de contaminantes, la resistencia química y anti chispa y su diseño simple hermético de fácil montaje.



Fuente: Catálogo John Crane.

Figura 3-1. Sello laberinto hermético FS ProTech John Crane.

A continuación, los límites de operación que ofrece John Crane con su modelo 100 % hermético del tipo ProTech (Tabla 3-11).

Tabla 3-11. Límites de operación sello laberinto ProTech.

Límites de operación de ProTech	
Velocidad del eje	Diseños especiales hasta 14.000 RPM
Límite de presión de funcionamiento	Modelo FS 10 psi
Temperatura de trabajo	- 40 a 120° C
Salto Radial	0,1 - 0,5 mm
Movimiento Axial	0,1 - 0,8 mm
Desalineamiento del eje	0,64 mm
Desgaste / Fricción	No existe, diseño sin contacto con eje

Fuente: Catálogo John Crane.

3.3. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS CUALITATIVOS ASOCIADOS A CRITERIOS DE MANTENIMIENTO

- Criterio de confiabilidad

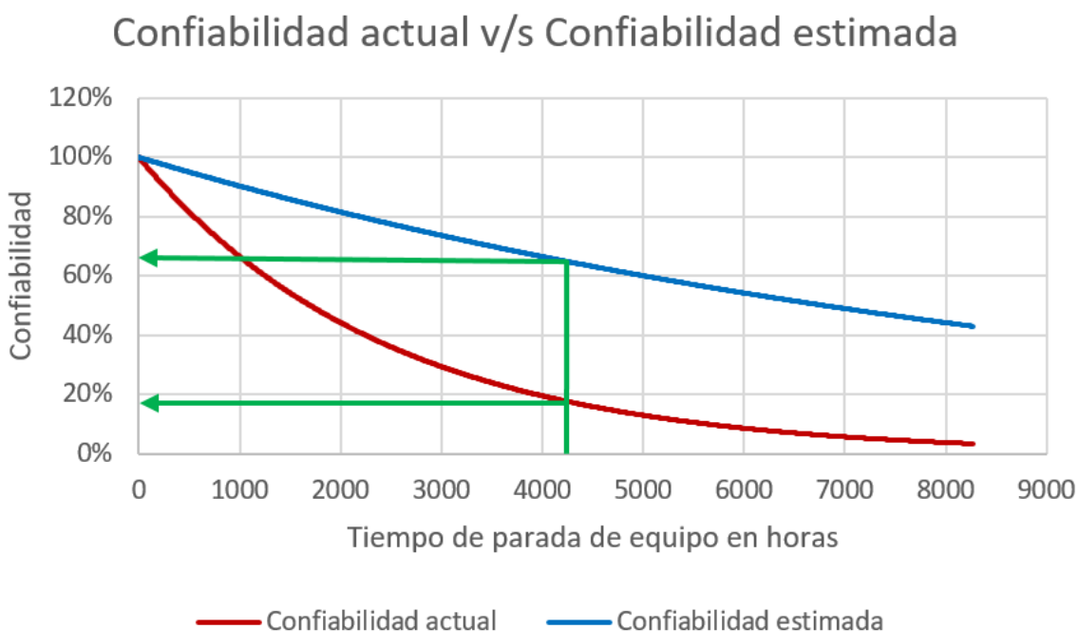
Con la implementación del sello ProTech se estima el convencimiento que se tiene de que este componente realice su función del proceso, en un tiempo determinado, bajo condiciones de operación estándares, cumpliendo así con la vida útil del rodamiento. Se estima aumentar la probabilidad que no ocurra una falla en los rodamientos en base al diseño hermético ofrecido por John Crane por inclusión de material en suspensión al interior de la unidad rotatoria o algún motivo del árbol de fallas analizado en el capítulo anterior. Se procede a realizar el cálculo de confiabilidad (Tabla 3-12) de acuerdo a los datos actuales del área de caustificación (Anexo 7), en las horas de parada por mantenimiento no programado se contabilizaron tiempo de desmontaje, tiempo de remoción del componente, tiempo sustitución de la pieza, tiempo para el remontaje, tiempo para ajustes y pruebas y finalmente el tiempo en que el equipo retorna a la línea de producción.

Tabla 3-12. Cálculo de confiabilidad de acuerdo a las fallas no programadas de la bomba 85-098 de los últimos dos años.

Cálculo de confiabilidad de componentes evaluado semestralmente	
$Confiabilidad = \frac{Horas\ totales\ - Horas\ de\ parada\ por\ mtto\ no\ programado}{Horas\ totales}$	
Sello laberinto actual	***Protector de rodamientos ProTech***
Horas totales de producción = 4320 h	Horas totales de producción = 4320 h
Horas de parada del equipo mtto no programado = 109 h	Horas de parada del equipo mtto no programado = 12 h
Confiabilidad = 17,19 %	Confiabilidad = 64 %

Fuente: Elaboración propia en base a fundamento de cálculo.

En base a los datos obtenidos del área de caustificación, de acuerdo a las fallas programadas y no programadas que afectan actualmente al equipo, se realiza una **evaluación a dos años**, debido a que se pretende cumplir con la vida útil de los rodamientos, en comparación a la mantención semestral actual, la cual su frecuencia es muy reiterada. Se calcula la confiabilidad al finalizar un semestre con el sello laberinto actual 17,19% y con el protector de rodamientos aumenta a un 64% la confiabilidad del equipo antes de que falle en un periodo de 6 meses. Se procede a realizar un gráfico de confiabilidad para expresar de manera visual la confiabilidad actual versus la confiabilidad estimada de la nueva implementación para la unidad rotativa de la bomba centrífuga Sulzer del equipo (Gráfico 3-1).



Fuente: Elaboración propia en base a análisis de confiabilidad.

Gráfico 3-1. Confiabilidad actual versus confiabilidad estimada de la propuesta de implementación.

- <u>Criterio de disponibilidad</u>

Bajo el criterio de disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, se estima un alto porcentaje de disponibilidad del equipo, el sello ProTech ofrece un buen grado de confianza para que este ejerza su función satisfactoriamente en un tiempo determinado de funcionamiento, previo a un reciente mantenimiento, esto es una gran virtud, ya que con esta información es posible anticiparse a una falla, ya que la vida útil tanto del rodamiento como del ProTech serán equitativas de acuerdo a sus horas de funcionamiento. La implementación del protector de rodamientos busca aumentar el porcentaje de tiempo en que el equipo está listo para producir, en comparación al tiempo que se utilizaba en estar listo el equipo con el sello laberinto actual para mantenerlo en operación y servicio. Se realiza el cálculo de disponibilidad (Tabla 3-13) de acuerdo a los datos obtenidos del área.

Tabla 3-13. Cálculo de disponibilidad de acuerdo a las fallas totales de la bomba 85-098 de los últimos dos años.

Cálculo de disponibilidad de componentes evaluado a dos años	
$Disponibilidad = \frac{Horas\ totales\ - Horas\ totales\ de\ parada\ del\ equipo}{Horas\ totales}$	
Sello laberinto actual	***Protector de rodamientos ProTech***
Horas totales de producción = 15769 hr	Horas totales de producción = 16360 hr
Horas totales de parada del equipo = 1211 hr	Horas totales de parada del equipo = 920 hr
Disponibilidad = 90 %	Disponibilidad = 94 %

Fuente: Elaboración propia en base a fundamento de cálculo.

- Criterio de mantenibilidad

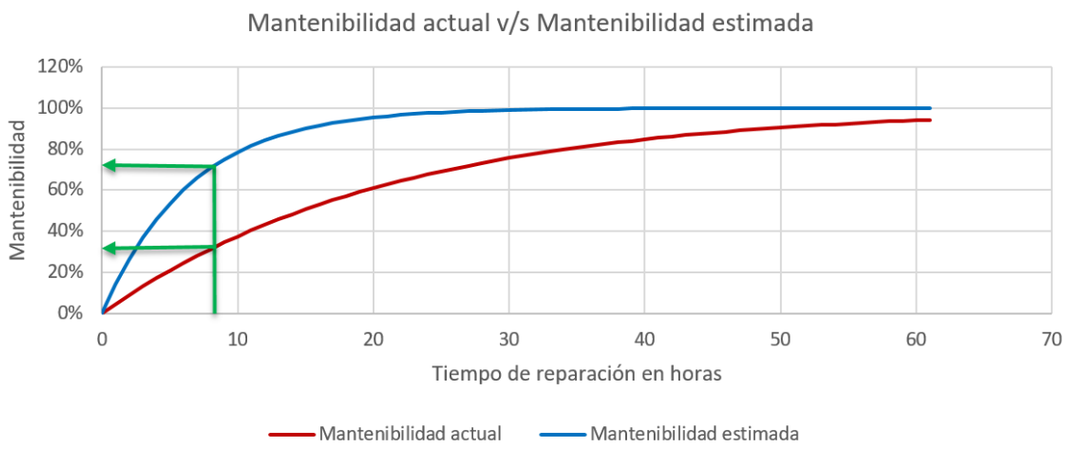
Con la implementación del protector de rodamientos John Crane se estima aumentar la probabilidad de que la unidad rotatoria de la bomba centrífuga Sulzer sea reparado en un tiempo menor en comparación al sello que se encuentra instalado hoy en día, actualmente a las bombas centrífugas del área 85-098 y 85-099 encargadas de impulsar Lejía Blanca al digestor se les realiza mantención una a dos veces al año, se busca con la nueva implementación aumentar la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de la bomba centrífuga en un menor tiempo que en el que se realiza ahora. Bajo el criterio de mantenibilidad se busca disminuir tiempos de diagnóstico de falla, tiempo de desmontaje, tiempo de remoción del componente, tiempo sustitución de la pieza, tiempo para el remontaje, tiempo para ajustes y pruebas y finalmente el tiempo en que el equipo retorna a la línea de producción.

Tabla 3-14. Oportunidad de mejora en términos de mantenibilidad de ambos sellos.

Oportunidad de mejora en términos de Mantenibilidad	
Sello laberinto423 Sulzer APP5	***Protector de rodamientos ProTech***
Tiempo total de mantención = 8 hr	Tiempo total de mantención = 6,5 hr
Mantenibilidad evaluada a turno de 8 hr = 31%	Mantenibilidad evaluada a turno de 8 hr = 71%
Instalación con herramientas de golpe	No necesita herramienta de golpe
Accesorios adicionales = Deflectores en ambos extremos	Accesorios adicionales = No necesita

Fuente: Elaboración propia en base a fundamento de oportunidad de mejora.

En base a los datos obtenidos por el departamento de confiabilidad, se calcula el tiempo medio entre reparación actual de la unidad rotatoria de la bomba centrífuga Sulzer y se compara con los datos estimativos de la propuesta de implementación, evaluando ambas condiciones a un tiempo de dos años, se puede visualizar un aumento en la mantenibilidad del equipo, disminuyendo los tiempos de reparación utilizado en estos equipos. La mantención total de este equipo toma alrededor de 8 horas, con los datos actuales da un valor de mantenibilidad del 31% en comparación a los datos de la propuesta de implementación el cual alcanza el 71% en el mismo tiempo, esto se refleja en la disminución del tiempo de reparación de este equipo. A continuación, se adjunta el gráfico de mantenibilidad (Gráfico 3-2).



Fuente: Elaboración propia en base a análisis de Mantenibilidad.

Gráfico 3-2. Mantenibilidad actual versus mantenibilidad estimada de la futura implementación.

3.4. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

En base a los criterios de mantenimiento mencionados anteriormente, es posible realizar una estimación aproximada de cuáles serían los beneficios económicos que se podrían obtener de este proyecto. Se estima cumplir con la vida útil de los rodamientos de la unidad rotativa de la bomba centrífuga Sulzer 85-098.

- Servicio de mantenimiento

El gasto que se realiza por parte del área de Mantenimiento e Ingeniería es de ***$960.574*** en base al servicio que se realiza, el cual consta de el retiro de la unidad rotativa desde terreno, la reposición del equipo y finalmente el alineamiento de la bomba. La mantención es realizada por la empresa prestadora de servicios Maestranza Bio-Bio y los activos o repuestos necesarios (Tabla 3-15) son los siguientes:

Tabla 3-15. Precio de repuestos para mantención de unidad rotatoria Sulzer.

Repuestos para mantención de unidad rotatoria Sulzer		
Repuesto	***Cantidad***	***Precio $***
Rodamiento NUP 318 ECJ rodillos cilindricos	1	$ 496.859
Rodamiento 7318 BECBJ contacto angular	2	$ 604.540
Sello laberinto 423 Sulzer APP5	2	$ 139.130
Deflector SS 2343 NBR 90x110x7	2	$ 26.290
Visor de ojo Ahlstrom GH31305000	1	$ 7.632
	Total	**$ 1.274.451**

Fuente: Elaboración propia en base a precios de repuestos de unidad Sulzer.

Con la implementación del protector de rodamientos ProTech de John Crane se busca la intervención o mantención del equipo de acuerdo al cumplimiento de la vida útil de los rodamientos, de acuerdo a las condiciones de operación y cargas axiales y radiales, este debería tener una vida útil de 19.000 horas aproximadamente (2 años app), siempre y cuando los límites de operación y parámetros técnicos sean los correctos, como también la lubricación asociadas al interior de la unidad rotativa sea la indicada. Con lo mencionado anterior con la implementación del protector de rodamientos se podrían disminuir los costos de mantenimiento asociados a este equipo.

Tabla 3-16. Comparación económica estimativa entre Sello laberinto actual y Protector de rodamientos.

Comparación económica estimativa Sello laberinto actual vs Protector de rodamientos ProTech	
Sello laberinto 423 Sulzer APP5	***Protector de rodamientos ProTech***
Mantenimiento semestral	Mantenimiento de acuerdo a la vida util del rodamiento (2 años)
Repuestos **Semestrales = $ 1.274.451**	Repuestos **cada 2 años = $1.274.451**
Servicio de mantenimiento **Semestral = $ 960.574**	Servicio de mantenimiento **cada 2 años = $960.574**
Paradas no programadas	Paradas programadas en el momento más oportuno
Gastos excesivos de costos de mantenimiento **(Semestrales)**	Disminución a largo plazo de los costos de mantenimiento **(Cada 2 años)**

Fuente: Elaboración propia en base a comparación económica estimativa.

De acuerdo a los datos mencionados en la (Tabla 3-16) se realiza una evaluación estimativa con periodo de duración de 2 años. Comparando ambas alternativas, con la implementación del Protector de rodamientos ProTech se disminuyen los costos de mantenimiento asociados a las fallas comunes que se visualizan en el interior de las unidades rotatorias del área de caustificación. Se aumentan los periodos de intervención del equipo, este es un punto vital para las utilidades de la empresa y para los tiempos asociados para la mantención, debido a que este es un trabajo critico dentro de la planta, por la peligrosidad que existe al realizar el trabajo por el peligro de una inminente contaminación ambiental en caso de derrame de Lejía Blanca. Se estima que el Protector de rodamientos logra el cumplimiento de la vida útil de los rodamientos bajo las características ambientales del área.

3.5. REGISTRO DE PARÁMETROS OPERACIONALES Y PAUTA DE IMPLEMENTACIÓN

3.5.1. Registro de parámetros operacionales

Finalmente, para concluir el Trabajo de título se realiza un registro de parámetros operacionales (Figura 3-2) en base a las condiciones operativas del nuevo sello laberinto. Como todo componente que viene a realizar una mejora al equipo, es necesario visualizar y analizar el comportamiento que tiene en comparación al sello a reemplazar y ver si realmente cumple con las estimaciones realizadas. Aquí aparecen los principales parámetros de funcionamiento, como también su comportamiento frente a los requisitos de operación. Se pueden observar los principales beneficios que se esperan de esta futura implementación, como también los objetivos principales de la prueba, y que empresa realiza la implementación.

REGISTRO DE PARÁMETROS OPERACIONALES NUEVO SELLO LABERINTO ÁREA CAUSTIFICACIÓN

Fecha : _____

Registro de datos bomba centrífuga Sulzer 85-098

Objetivo de la prueba : Eliminar filtración de aceite e ingreso de particulas al interior de la unidad rotatoria

Descripción de la falla : _____

Jefe Área Mantención Solicitando : _____

Empresa encargada de la implementación : _____

ANTECEDENTES	DESARROLLO
Código de posición : _____	Descripción técnica del producto a implementar
Función : _____	Presión de trabajo : _____(bar/psi)
N° de golpe : _____	Velocidad de funcionamiento : _____ (m/s)
Fluido impulsado : _____	Temperatura de operación : _____ (°C)
RPM Funcionamiento : _____	Movimiento axial permitido : _____(mm)
Temperatura de trabajo : _____(°C)	Movimiento radial permitido: _____(mm)
Lubricante utilizado : _____	Tiempo duración de la prueba : _____
Equipo expuesto a material particulado SI_____ NO_____	Costo unitario del producto : _____($)
Equipo alineado correctamente SI_____ NO_____	Vida útil : _____ (Horas de trabajo)

BENEFICIOS ESPERADOS

Disminuir los costes de mantenimiento asociados a este equipo.
Se busca un material de baja fricción (PTFE), que produce una mínima generación de calor y alta resistencia química, lo que permite mayor durabilidad.
Eliminar la filtración de aceite presente en el eje de la unidad rotatoria , para así aumentar la disponibilidad de las bombas centrífugas sulzer.
Disminuir la frecuencia de mantención de estos equipos por motivo de ingreso de material particulado al interior de la unidad rotatoria
Un componente que sea compatible de acuerdo al material de diseño, con el químico en suspensión (Ca)

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Frecuencia de mantención al equipo por falla rodamiento		
Tag	Sello laberinto actual	Sello a implementar
-		
-		

Se elimina filtración e ingreso de material particulado en la unidad rotatoria SI __ NO __

_____ FIRMA JEFE UNIDAD CIVIL MECÁNICA

_____ FIRMA JEFE ÁREA PULPA

Fuente: Elaboración propia en base a parámetros operacionales.

Figura 3-2. Registro de prueba para implementación de sello laberinto John Crane ProTech.

3.5.2. Pauta de implementación

Equipos y componentes utilizados en la mantención: A continuación (Tabla 3-17), se adjunta una tabla con el repuesto y la cantidad necesaria para la mantención de la unidad rotatoria en base a la implementación posterior.

Tabla 3-17. Equipos y componentes utilizados en la mantención del equipo.

Equipos y componentes utilizados para mantención de unidad rotatoria Sulzer	
Repuesto	***Cantidad***
Rodamiento NUP 318 ECJ rodillos cilindrícos	1
Rodamiento 7318 BECBJ contacto angular	2
Protector de rodamientos John Crane FS Hermético	2
Visor de ojo Ahlstrom GH1305000	1
Tuerca para asegurar rodamiento NUP 318 ECJ	1
Arandela de seguridad rodamiento NUP 318 ECJ	1
Eje inoxidable	1
Equipo calentador de rodamientos por inducción	1
Perno fijación tapa	4
Pirómetro	1

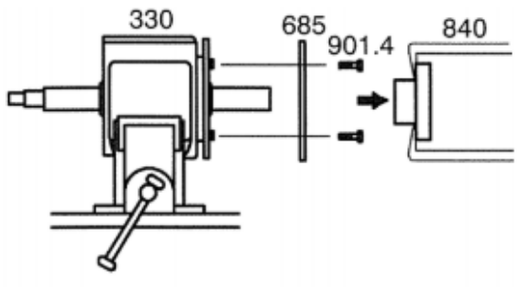
Fuente: Fotografía propia tomada en terreno

Fuente: Fotografía propia tomada en terreno.

Figura 3-3. Repuestos para mantención de la unidad rotatoria Sulzer.

- Procedimiento de desmontaje unidad rotativa Sulzer

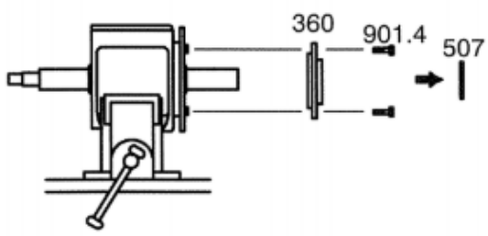
Desmontaje unidad rotatoria: Sujetar con firmeza la unidad de rodamientos en un tornillo de banco y separar la parte del acoplamiento usando un extractor (Ver Figura 3-4).



Fuente: Sulzer

Figura 3-4. Desmontaje Unidad rotatoria

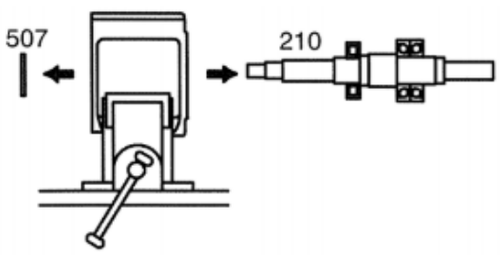
Desmontaje tapa de rodamientos: Desatornillar los pernos hexagonales de la tapa de rodamientos y sacar el elemento de protección. Extraer la tapa de rodamientos utilizando los pernos hexagonales (Ver Figura 3-5).



Fuente: Sulzer

Figura 3-5. Desmontaje tapa de rodamientos

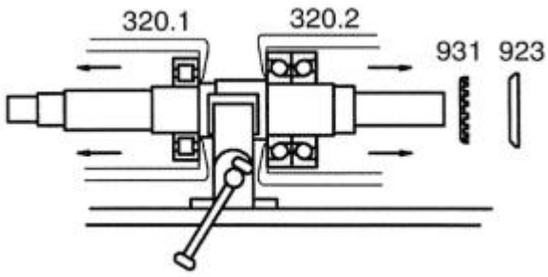
Desmontaje del eje: Golpear el extremo del eje, lado de la bomba, con un martillo blando, con lo cual el eje con sus rodamientos saldrá de la caja de rodamientos (Ver Figura 3-6).



Fuente: Sulzer

Figura 3-6. Desmontaje el eje inoxidable

Retiro de rodamientos desde el eje: Fijar el eje con sus rodamientos en un tornillo de banco y separar la tuerca del rodamiento y la arandela de seguridad. Los rodamientos se retiran del eje con un extractor, o por medio de un martillo y un punzón (Ver Figura 3-7).



Fuente: Sulzer

Figura 3-7. Retiro de rodamientos de bola contacto angular y rodillos cilíndricos.

Limpieza: Luego del desmontaje del eje, se procede a realizar limpieza general de todo el equipo, teniendo en consideración el lavado interno de la caja de rodamientos, la cual se encuentra muchas veces con material particulado dentro de esta y es necesario retirarlo de inmediato.

- Procedimiento de montaje unidad rotativa Sulzer

Tolerancias del eje inoxidable: Comprobar el eje (Figura 3-8) en un palpador mediante reloj comparador, su máxima diferencia radial es 0,05 mm.

Fuente: Fotografía propia tomada en terreno.

Figura 3-8. Eje inoxidable después de verificar su diferencia en el palpador

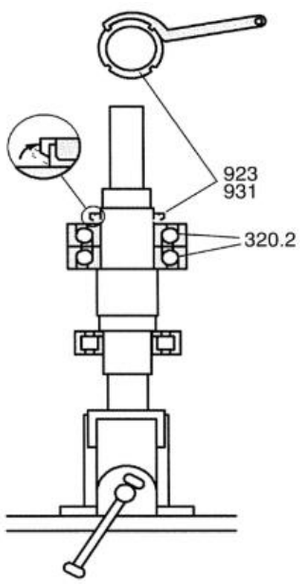
Montaje de rodamientos: Sujetar el eje con especial cuidado en no dañarlo con la sujeción, calentar el rodamiento de rodillos cilíndricos (Figura 3-9) hasta aproximadamente 110 °C y empujarlo a través del eje, colocar anillo de separación del rodamiento. Dejar que el rodamiento se enfríe, a continuación, golpear con punzón de tubo SKF para asegurar el ajuste final.

Calentar los dos rodamientos de bola contacto angular hasta aproximadamente 110° C y empujarlos a través del eje, dejar que los rodamientos se enfríen.

Fuente: Foto propia tomada en terreno

Figura 3-9. Equipo para calentar rodamientos por inducción para montaje en eje

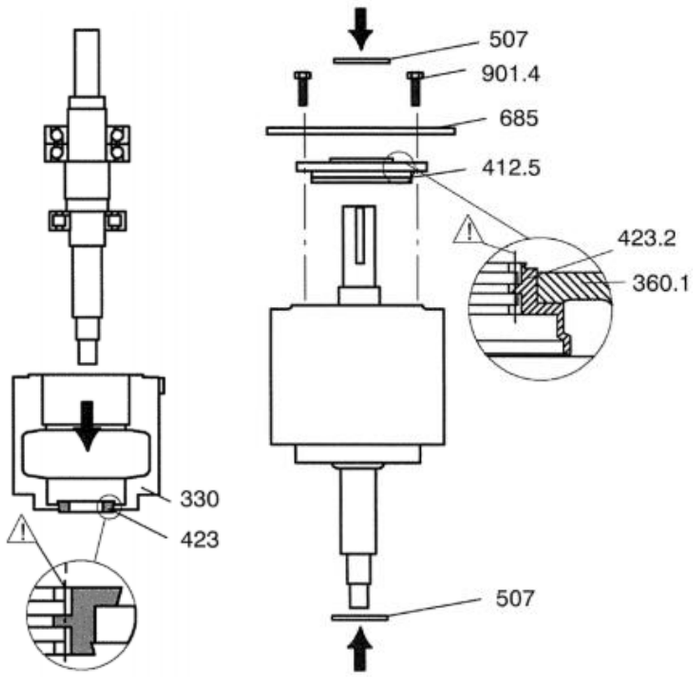
Instalación arandela de seguridad: Colocar la arandela de seguridad en el eje, apretar firmemente los rodamientos por medio de la tuerca de rodamiento (Figura 3-10), contra el tope del eje usando una llave de tetones adecuada. Doblar el diente de la arandela de seguridad en las ranuras de la tuerca del rodamiento.



Fuente: Sulzer.

Figura 3-10. Indicaciones apriete tuerca de rodamientos.

Instalación Sello laberinto: Empujar el anillo laberíntico hacia dentro de la caja de rodamientos manualmente. Instalar el anillo laberintico hacia la tapa de rodamientos, ver Figura 3-11.



Fuente: Sulzer.

Figura 3-11. Montaje sello laberinto en ambos extremos de la unidad rotatoria.

Montaje Unidad Rotatoria: Calentar primero la caja de rodamientos ligeramente (máximo 80 ° C) para facilitar la instalación de la unidad del eje. Colocar el eje cuidadosamente en la caja de rodamientos, asegurarse de no dañar el sello laberintico de la caja de rodamientos. Engrasar ligeramente el o 'ring de la tapa de rodamientos y colocarla en su ranura.

Montaje de tapa unidad rotatoria: Colocar la tapa de rodamientos en su lugar teniendo especial cuidado, tener en cuenta que el sello laberinto este en su correcta posición. Instalar la tapa de la unidad rotatoria, con los pernos hexagonales. Apretar los pernos hexagonales de la tapa de rodamientos.

Fuente: Fotografía propia sacada en terreno.

Figura 3-12. Unidades rotativas de diferentes áreas listas para terreno.

- Inspección de instalación antes del montaje en terreno

Montaje de rodamientos: Antes de montar los rodamientos es necesario verificar el correcto estado del eje, verificar la temperatura correcta del equipo de inducción al momento de retirar y montar el rodamiento en el eje. Verificar el correcto ajuste del rodamiento una vez montado mediante feeler.

Arandela de seguridad: Asegurarse de doblar el diente de la arandela de seguridad en las ranuras de la tuerca del rodamiento, es esencial para el ajuste del rodamiento.

Tuerca de fijación: Inspeccionar y verificar el correcto apriete de la tuerca de fijación, ya que esto es esencial para el ajuste del rodamiento una vez montado.

Tolerancias del eje palpador reloj comparador: Comprobar el eje con su manguito de desgaste en un palpador mediante reloj comparador, Su máxima diferencia radial es 0,05 mm.

CONCLUSIONES

CMPC Pulp Planta Pacífico forma parte de uno de los mayores grupos forestales de Latinoamérica y el mundo, las toneladas de celulosa producidas superan con creces los 4 millones anualmente y las ganancias asociadas son multimillonarias, por lo que cualquier fenómeno que interrumpa alguno de los procesos productivos es crítico para las ganancias de este negocio. Cuando nació la idea de crear el proyecto de propuesta de mejora para elementos de sellado en el área de caustificación y horno de cal en planta Pacífico CMPC, se pensó en seleccionar una alternativa que ofreciera el mercado industrial de sellos, el cual tuviese la particularidad de trabajar bajo ambientes contaminados (químico en suspensión), el cual pudiera solucionar el principal problema que afecta al área de caustificación que es la contaminación de los equipos rotativos. Control sintomático que ofrece sus servicios a planta pacífico viene diagnosticando serias variaciones en los parámetros normales de funcionamiento de los equipos rotativos del área. Mediante una matriz cualitativa de riesgos se analizó cuál de los equipos era más crítico para el área, para su posterior evaluación. La bomba centrífuga Sulzer encargada de la alimentación directa al Digestor (corazón de la planta) presentaba los mayores problemas, se analizaron las principales causas del porque podría presentar algún fenómeno negativo. Se realizaron informes de muestreo a la bomba 85-098, el resultado arrojo que esto se relaciona principalmente al ingreso de partículas químicas de Ca al interior de la unidad, cambiando las propiedades físicas del aceite de lubricación y finalmente dañando prematuramente los rodamientos.

El planteamiento de este Trabajo de título se enfoca directamente con las utilidades del área de Mantenimiento e Ingeniería, integrando de forma directa el mejoramiento de los elementos de sellado, la reducción de los tiempos de mantenimiento y el desarrollo de tareas más seguras, debido a que estos trabajos tienen un cierto grado de peligrosidad importante dentro de Planta Pacífico por peligro de derrame químico y una alta contaminación ambiental de los equipos del área de caustificación. Con este Trabajo de título se busca seleccionar un producto del mercado industrial de sellos que permita convivir con el químico en suspensión y además cumplir plenamente con los requisitos de funcionamiento y así disminuir la frecuencia de fallas que afectan actualmente al área de caustificación de Planta Pacífico CMPC. Durante el capítulo 1 de antecedentes y problemática se logra identificar bajo ciertos parámetros los problemas que afectan directamente a una de las áreas más críticas de la planta, bajo estas premisas se desarrolla el proyecto de propuesta de mejora para los elementos de sellado de los equipos rotativos del área de caustificación, se define el punto de partida y meta de lo que se quiere lograr, el cual consta de proponer una alternativa de mejora de los elementos sellantes de equipos rotatorios en el área de caustificación, mediante un estudio de prefactibilidad técnica económica se buscara seleccionar la mejor de las nuevas

alternativas en base a criterios previamente descritos, para planificar una futura implementación en un tiempo determinado.

En base a este objetivo es que se desarrollará el proyecto, se utilizan informes de muestreo, análisis de criticidad y metodologías de mantenimiento para determinar el comportamiento de los equipos del área, se llega a la conclusión de que los elementos de sellado actuales no cumplen completamente con la función de excluir a la unidad rotatoria del químico en suspensión. Al investigarse las principales causas de la falla en los equipos del área, aparece inmediatamente la falla prematura en los rodamientos de las unidades rotativas, bajo esta información y algunos antecedentes se buscan las diferentes alternativas de solución, en base a empresas dedicadas al rubro de sellado de equipos rotativos. Durante este periodo se pudo apreciar la complejidad que requiere la selección técnica-económica del componente de acuerdo a las características y parámetros que ofrecen las diferentes empresas de sello del mercado, además del cumplimiento de cada una de las cualidades que ofrecen, elegir la mejor opción de acuerdo a las características de operación fue una de los principales cuestionamientos a la hora de seleccionar el mejor sello. Finalmente, el punto más complejo fue el económico de selección del producto, como definir gastos y ganancias para la implementación de un componente, garantizando la calidad y eficiencia de este, de acuerdo a parámetros y cualidades. Se plantea como caso estimativo la ganancia que genera en el área de mantención e Ingeniería la implementación de este proyecto, disminuyendo la frecuencia de intervención y utilidades de la empresa utilizadas en la mantención de estos equipos. Para finalizar se puede concluir que:

Si bien el proyecto no considera un estudio profundo de los costos totales necesarios para la implementación del componente, los valores estimados permiten verificar que el proyecto es abordable, principalmente por la disminución de la frecuencia de mantención en comparación a la que se hace actualmente. De forma estimativa se pretende cumplir con [illegible] rodamientos, de manera que la frecuencia de mantención disminuya [illegible] aumento en las utilidades de la empresa en base a los gastos generados por mantenimiento de sus equipos.

En resumen, se cumple con los objetivos planteados, verificando que tanto técnica como económicamente el proyecto es factible, por lo que es posible proceder a planificar una futura implementación. Este proyecto fue pensado y diseñado de acuerdo a la inquietud generada al momento de realizar la práctica profesional, de acuerdo a las visitas generadas a las diferentes áreas que componen Planta Pacífico CMPC. En base a estas inquietudes nacieron las principales preguntas para generar este proyecto, "¿Porque fallan prematuramente los rodamientos?, ¿Qué está produciendo que se contamine el aceite?, ¿En el mercado existirá alguna alternativa para convivir con este químico en suspensión?, ¿Será factible la implementación de este proyecto?, gracias a estas inquietudes se logró la confección de este Trabajo de título que consta de la Propuesta de mejora en los elementos de sellado de las unidades rotatoria de las bombas centrifugas del área de caustificación y horno de cal de CMPC Pulp Planta Pacífico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fitch, J.C , Scott R Fitch, J.C., Scott, R., & Leugner, L. (2012), "The Practical Handbook of Machinery Lubrication – Fourth Edition." . Capítulos 2-3 traducidos tribología, lo importante de la lubricación.

2. Maintenance Technology (1991), "Beyond Predictive Maintenance." , Capítulos 4-5-6 (Pág. 62 a 130)

3. Neale M.J "Unidades y Sellos" : Un libro sobre Tribología , Capítulos 4-5, (Páginas 54 a 89)

4. SKF Bearing Isolators, Lubricación de Rodamientos

- http://www.chesterton.com.mx/
- https://3bgsupply.com/skf-nup-318-ecj-cylindrical-roller-bearings/
- http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf

ANEXOS

ANEXO A: COTIZACIONES DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

EagleBurgmann.

EAGLEBURGMANN AGENCIA CHILE
SAN PABLO 9900, EDIFICIO 2 BODEGA 9
PUDAHUEL – SANTIAGO - CHILE
maria.arellano@cl.eagleburgmann.com

R.U.T.: 59.169.210-0
COTIZACION Nº
COT 1114

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
5	1	**Modelo Protector de Rodamiento** OLPWZ012224B Size: 3.346" x 4.331" x 0.695" APP 5 Inboard, Outboard (Shaft: 85mm) **Materiales** Bronze Stator/ 303SS Rotor with Viton	724,18	724,18

Fuente: EagleBurgmann

Anexo 1: Cotización sello laberinto EagleBurgmann.

john crane
a smiths company

COTIZACIÓN N°501580

Señor Sebastián

De acuerdo a lo entregado y en base a las medidas enviadas, la cotización de protector de rodamientos John Crane tipo ProTech es la siguiente:

Ítem	Código / Descripción	UM	Pecio Unit.
1	Protector de rodamientos Marca **John Crane** Modelo **FS-0850-1100-1** (Lado acoplamiento)	PZ	$ 749,778
2	Protector de rodamientos Marca **John Crane** Modelo **FS-0850-1100-1** (Lado impulsor)	PZ	$749,778

CONDICIONES DE LA COTIZACIÓN

Favor en su o/Compra hacer referencia al N° de esta cotización

Precios: Fijos en pesos chilenos netos. No incluyen IVA
Fecha de entrega: 3 Semanas, una vez recibida la orden de compra

Atentamente, Vendedor John Crane

LOS ÁNGELES: Fono-Fax (43)-369412
CALAMA: AVDA. GRECIA 3295 Fono: (55) - 346950
ANTOFAGASTA: VALDIVIA 3350 Oficina 208 Fono - Fax (55) - 266091
CONCEPCIÓN: M. de ROZAS 525 Oficina 305 Fono - Fax (41) - 251026
VALDIVIA: Fono: (063) - 271998

smiths
A member of Smiths Group PLC

John Crane SEALOL SAFEMATIC LEMCO METASTREAM POWERSTREAM flexibox

F-GV-7.2-01-01

Fuente: John Crane

Anexo 2: Cotización protector de rodamientos ProTech.

SERVICES TO ENGINEERING

Santiago, mayo 29 de 2018

Señor
Sebastián Arancibia
Presente

Referencia: Cotización Sellos Inpro Seal
(S2E_2018_059)

Estimado Sebastián

De acuerdo con lo solicitado vía correo electrónico de fecha 25 de mayo, presentamos a continuación nuestra oferta por Protectores de Rodamientos **Inpro/Seal®** para bomba marca **Sulzer Alstrom** modelo **APP5**. Consideramos 3 alternativas de materiales

Material	Posición	N/P Inpro/Seal	Precio Unitario
Bronce	Acoplamiento	1000-A-26628-0	$ 439,980
	Bomba	1000-A-26629-0	$ 439,980
Estator Bronce / Rotor Inoxidable	Acoplamiento	1000-S-26628-0	$ 596,450
	Bomba	1000-S-26629-0	$ 596,450
Inoxidable SS 303	Acoplamiento	1000-B-26628-0	$ 738,030
	Bomba	1000-B-26629-0	$ 738,030

CONDICIONES COMERCIALES

Moneda	Pesos Chilenos Netos
Plazo de Entrega	Dependerá de las cantidades y materiales requeridos
Lugar de Entrega	Sus bodegas en Santiago
Condición de Pago	100% contra orden de compra (condición de primera venta)
Validez de la Oferta	15 días

En espera de una favorable acogida aprovechamos de saludarle muy cordialmente,

Fernando Manresa
Gerente Comercial
Services to Engineering

Fuente: Inpro-Seal

Anexo 3: Cotización Inpro-Seal sello laberinto.

CHESTERTON.
Global Solutions, Local Service.

Señor Sebastián

De acuerdo a lo entregado y en base a las medidas enviadas, la cotización del sello laberinto Polimérico es la siguiente:

Ítem	Código / Descripción	Equipo	**Pecio Unit.**
APP5	Sello Laberinto Marca **Chesterton** Modelo **Polimérico** (Lado Motor)	Sulzer	$ 680,253
APP5	Sello Laberinto Marca **Chesterton** Modelo **Polimérico** (Lado impulsor)	Sulzer	$ 680,253

Atte Julio Pinto, vendedor de Chesterton

Fuente: Chesterton

Anexo 4: Cotización sello laberinto polimérico

SKF

SKF - NUP 318 ECJ - CYLINDRICAL ROLLER BEARINGS - BORE (IN): 3.543 - BORE (MM): 90 - OUTSIDE DIAMETER (IN): 7.48

$792.58

SKU:
NUP 318 ECJ - SKF

Condition:
New

Weight:
12.37 LBS

Fuente: Seals bearing

Anexo 5 Cotización rodamiento NUP 318 rodillos cilíndricos.

ANEXO B: ANTECEDENTES DE PARADAS DE ÁREA Y HORAS ESTIMATIVAS

Bombas, ventiladores, compresores

Tabla14

Aplicación en	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Ventiladores, soplantes	21 000	46 000	35 000	75 000
Soplantes de grandes dimensiones	32 000	63 000	50 000	110 000
Bombas de pistones	21 000	46 000	35 000	75 000
Bombas centrífugas	14 000	46 000	20 000	75 000
Bombas hidráulicas de pistones axiales y radiales	500	7 800	500	10 000
Bombas de engranajes	500	7 800	500	10 000
Compactadoras, compresores	4 000	21 000	5 000	35 000

Fuente: John Crane

Anexo 6: Duración de vida recomendada de rodamientos en bombas centrífugas.

Paradas Caustificación Bomba centrífuga Sulzer						
Equipo	*Área*	*Duración parada en horas*	*Motivo*	*Fecha*	*Situación*	*Tiempo de reparación*
85-098	Caustificación	15	Rodamientos partidos	14/07/2016	Mtto no programado	10
85-098	Caustificación	22	Eje dañado	15/07/2016	Mtto no programado	15
85-098	Caustificación	10	Filtración sello	02/03/2016	Mtto no programado	8
85-098	Caustificación	10	Filtración sello eje entrada	20/10/2016	Mtto no programado	8
85-098	Caustificación	24	Eje dañado	26/09/2017	Mtto no programado	18
85-098	Caustificación	12	Filtración sello eje salida	19/05/2017	Mtto no programado	10
85-098	Caustificación	16	Rodamientos partidos	02/08/2017	Mtto no programado	12
85-098	Caustificación	20	Mantención bba 85-098	09/02/2017	Matto programado	12
85-098	Caustificación	19	Mantención bba 85-098	15/01/2016	Matto programado	11
85-098	Caustificación	10	Cambio de sellos	06/12/2017	Matto programado	5
85-098	Caustificación	455	Parada anual de planta área caustificación	06/03/2016	Matto programado	150
85-098	Caustificación	465	Parada anual de planta área caustificación	07/03/2017	Matto programado	180

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7: Paradas del área de caustificación, programadas y no programadas.