

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA.**

**ESTUDIO DE PROPUESTA DE MEJORA EN SISTEMA DE SELLO DE
BOMBA CENTRÍFUGA SULZER APP3.**

Trabajo de titulación para optar al título
Profesional de Ingeniería de Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno
Sr. Carlos Villarroel Jara

Profesor guía
Sr. Wilfried Maser Lockenvitz

2018

DEDICATORIA.

Este trabajo de título fue posible gracias al apoyo incondicional de mi familia, principalmente mis hijos quienes estuvieron brindando su amor y apoyo en los momentos más difíciles, a mis padres quienes con esfuerzo formaron una persona de bien, esforzada, humilde y sencilla, capaz de superar distintas etapas y procesos de la vida.

En lo personal quiero dar toda la honra y gloria a mi Dios y padre eterno quien, gracias a su ayuda y compañía durante estos años de estudios, me dio la posibilidad de terminar esta carrera universitaria. Nada de lo que hoy soy, nada de lo que tengo y lo que pueda alcanzar, podría lograrlo con mis propias fuerzas. Todo se lo debo a él, al creador y hacedor de todas las cosas. ¡A Dios sea la gloria!

Salmos 24: 1. De jehová es la tierra y su plenitud; El mundo y los que en él habitan.
Romanos 11:36. Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos. Amén.

RESUMEN

Este estudio de propuesta de mejora en sistema de sello de una bomba centrífuga sulzer app3 se realiza en Celulosa Arauco planta Horcones. Donde se explica en detalle el procedimiento de obtención de pulpa de celulosa mediante el proceso kraft. Esto no ayuda a comprender el funcionamiento de cada área y así conocer la función del equipo rotatorio en estudio.

Las bombas centrífugas son equipos muy utilizados en las industrias para la impulsión de fluidos, teniendo un gran campo de aplicación, es importante conocer cada una de sus piezas principales y su función de esta forma podremos determinar las posibles fallas futuras.

El problema que se identificó en este estudio fue fallas reiteradas y prematuras en el sistema de sello mecánico con el cual trabaja originalmente la bomba, teniendo como resultado altos costos de mantención y baja productividad en el proceso productivo. En relación a lo antes mencionado se analizó la posibilidad de modificar algunos componentes de esta bomba para poder disminuir los costos de mantención, aumentar la disponibilidad del equipo y obtener un proceso de producción continuo sin interrupciones.

Este estudio nos llevó a cambiar el sistema de sello original de la bomba para volver a utilizar empaquetadura y prensa estopa. Sistema con el cual trabaja actualmente el equipo, donde se lograron los objetivos propuestos y ha tenido muy buenos resultados económicos.

ÍNDICE

DEDICATORIA.

RESUMEN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVOS 2

 OBJETIVO GENERAL..... 2

 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CELULOSA ARAUCO
PLANTA HORCONES. 3

 1-1 OBTENCIÓN DE CELULOSA PROCESO KRAFT..... 4

 1-1-1 Preparación madera..... 5

 1-1-2 Digestores 6

 1-1-3 Lavado y deslignificación. 9

 1-1-4 Blanqueo..... 11

 1-1-5 Máquinas. 13

 1-1-6 Recuperación y generación de energía..... 14

 1-2 DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN DE BOMBA 271-21-306 EN MAQUINAS 18

CAPÍTULO 2: BOMBA CENTRIFUGA SULZER APP 3 19

 2-1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO. 20

 2-2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 20

 2-3 ESQUEMA DE PARTES Y PIEZAS PRINCIPALES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.
..... 22

 2-4 PARTES Y PIEZAS PRINCIPALES..... 23

 2-4-1 Descripción de componentes principales. 23

 2-4-2 Imágenes de peritaje realizado a una bomba sulzer app3 en taller mecánico
de maestranza en celulosa Arauco de planta horcones. 24

 2-5 SISTEMA DE SELLO..... 30

CAPÍTULO 3: IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA. 32

 3-1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 33

 3-2 CONSECUENCIAS DE LA FALLA..... 33

 3-3 HISTORIAL DE FALLAS. 34

 3-3-1Intervenciones de mantenimiento en equipo 272-21-305..... 35

 3-3-2 Intervenciones de mantenimiento en equipo 272-21-306..... 36

 3-4 COSTOS POR FALLAS. 38

 3-4-1 Costos por fallas en equipo 272-21-305..... 38

3-4-2 Costos por fallas en equipo 271-21-306.....	39
3-4-3 Gráfico de fallas por años.	40
CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA AL PROBLEMA.	42
4-1 PROPUESTA DE MEJORA.	43
4-1-1 Ventajas, ...	43
4-1-2 Desventajas	43
4-2 ESTUDIO TÉCNICO DE COMPONENTES.	43
4-2-1 Fabricar un anillo fondo de caja	43
4-2-4 Analizar una empaquetadura compatible al trabajo.	44
4-2-3 Camisa.....	45
4-2-4 Fabricación de prensa estopa.	46
4-3 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE EMPAQUETADURA SALDE 3300G. ...	46
4-3-1 Procedimiento.	47
4-4 IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAMIENTO.	49
CAPÍTULO 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE PROPUESTA.	51
5-1 COSTOS POR DETENCIÓN DE ÁREA.	52
5-2 COSTOS POR MANTENCIÓN DE EQUIPO 305 Y 306.	53
5-3 COSTO DE COMPONENTES EN MANTENIMIENTO.....	54
5-4 ANALISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA.....	55
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS.	59
ANEXO A.	59
ANEXO B.	60
CONCLUSIÓN.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1 Planta horcones celulosa Arauco.....	4
Figura 1- 2: Flujo productivo de proceso obtención de celulosa.....	5
Figura 1- 3: Vista aérea de proceso preparación maderas.	5
Figura 1- 4: Flujo productivo área de preparación maderas.....	6
Figura 1- 5: Flujo productivo área digestor.	7
Figura 1- 6: Digestor batch.....	8
Figura 1- 7: Digestor continuo.....	8
Figura 1- 8: flujo productivo de área lavado y deslignificación línea 1.....	9
Figura 1- 9: Flujo productivo área de lavado y deslignificación línea 2.	10
Figura 1- 10: Prensa de área lavado.....	10
Figura 1- 11: Lavador pasta café.	11
Figura 1- 12: Diagrama de proceso área de blanqueo línea 1.	11
Figura 1- 13: Diagrama de proceso área blanqueo línea 2.....	12
Figura 1- 14: flujo productivo área máquinas.	13
Figura 1- 15: Fardos de celulosa.....	14
Figura 1- 16: Proceso recuperación y generación de energía	15
Figura 1- 17: Caldera recuperadora.	15
Figura 1- 18: Flujo productivo área caustificación.	17
Figura 1- 19: proceso tratamiento de efluentes.	17
Figura 1- 20: bomba centrífuga en estudio.....	18
Figura 2- 1: Esquema en corte de una bomba centrífuga.	22
Figura 2- 2: Bomba centrífuga sulzer app3, 272-21-306.....	24
Figura 2- 3: Bomba centrífuga en mesón para peritaje.	25
Figura 2- 4: Impulsor abierto montado en bomba sulzer app3.....	25
Figura 2- 5: Perno para fijación de impulsor.....	26
Figura 2- 6: Plato de descarga y rosca de impulsor.	26
Figura 2- 7: Plato de descarga.....	27
Figura 2- 8: Sello mecánico doble 50 mm.	27
Figura 2- 9: sello mecánico vista lateral.....	28
Figura 2- 10: Eje con rodamientos montados y tapa de caja rodaje.....	28
Figura 2- 11: anillo laberinto en tapa de caja rodaje lado impulsor.....	29
Figura 2- 12: Tapa de caja rodaje y anillo laberinto.....	29
Figura 2- 13: sello mecánico montado en bomba sulzer app3.	30
Figura 2- 14: Esquema en corte de sello mecánico.....	30
Tabla 2- 1 Datos del proceso de la bomba centrífuga en estudio.	20
Tabla 2- 2: Rendimiento de la bomba.....	21
Tabla 2- 3: Antecedentes generales.	21
Tabla 2- 4: Datos generales de la bomba.....	21
Tabla 2- 5: Datos del motor.	22

Tabla 2- 6: Listado de componentes de una bomba centrífuga sulzer app3.	23
Tabla 2- 7: Parámetros de operación de sello mecánico.	31
Tabla 3- 1: Historial de fallas en equipo 272-21-305.	35
Tabla 3- 2: Historial de fallas en equipo 272-21-306.	36
Tabla 3- 3: Costos por mantenimiento en equipo 272-21-305.	38
Tabla 3- 4: Costos por mantenimiento en equipo 272-21-306.	39
Gráfico 3- 1: Intervención por mantenimiento año 2015.	40
Gráfico 3- 2: Intervención por mantenimiento año 2016.	40
Gráfico 3- 3: Intervención por mantenimiento año 2017.	41
Gráfico 3- 4: Intervención por mantenimiento de enero a junio de 2018.	41
Figura 4- 1: anillo fondo de caja fabricado en taller de máquinas y herramientas de maestranza Celulosa Arauco.	44
Figura 4- 2: Empaquetadura Slade 330g.	45
Figura 4- 3: Camisa de desgaste sulzer app3.	45
Figura 4- 4: Camisa de desgaste con anillo de teflón.	46
Figura 4- 5: Empaquetadura de grafito reforzada con fibras de carbono Slade 330g.	47
Figura 4- 6: Esquema de montaje y corte de empaquetadura.	48
Figura 4- 7: Esquema en corte de caja empaquetaduras y sus posiciones.	48
Figura 4- 8: Reapriete de prensa estopa durante una inspección visual al equipo. .	50
Tabla 5- 1: Valor de pulpa de celulosa mensual.	52
Tabla 5- 2: Costos por cambio de sello en equipo 305 y 306.	53
Tabla 5- 3: Costo de componentes de bomba sulzer app3.	54
Tabla 5- 4: Descripción de compontes, material y costos de implementación.	55
Tabla 5- 5: Análisis y evaluación de sistema de sello.	55
Gráfico 5- 1: Evaluación económica en 8 meses.	56
Gráfico 5- 2: Evaluación económica en 16 meses.	56

SIMBOLOGÍA

APP 3: Modelo de bombas centrifugas sulzer, las que se distinguen por app 1 al 5.

Clo2: siglas para el gas Dióxido de cloro

D0: Nombre de la primera torre de reacción química.

D1: Nombre de la segunda torre de reacción química

D2: Nombre de la segunda torre de reacción química

T°: Temperatura

PH: alcalinidad o acides de un fluido

M: metros

G/m2: gas por metro cuadrado.

kg: kilogramo

Ton/h: toneladas por hora

Ton/día: toneladas por día

MW: mega watt

°C: grados Celsius

272-21-306: ubicación de la bomba, 272: área maquinas, 21: bombas centrifugas, 306: número de equipo.

RPM: revoluciones por minuto

V: voltaje

7312 BECJ: Número e identificación de rodamiento

NUP 311 ECJ: número de rodamiento lado impulsor.

CERR: orden ha sido cerrada.

NOTI: Se ha efectuado la notificación final de la orden.

IMPR: orden impresa

MACO: El material para la orden ha sido confirmado.

MOVm: Se ha ejecutado un movimiento de mercancías cargado a la orden

NLIQ: La norma de liquidación ha sido entrada.

PREC: Se ha efectuado un pre cálculo de costos.

CERR: La orden ha sido cerrada

ZAM: Clase de orden de trabajo. Acción de mantención.

ZRE: clase de orden de trabajo: Recuperación objeto Técnico.

Tk: estanque

OT: orden de trabajo

PTR: puesto de trabajo responsable

US\$: dólares

Ton: toneladas.

RPM: revoluciones por minuto

Hp: Horse power. Caballos de fuerza

Hz: Hertz

Bba: bomba

INTRODUCCIÓN

Actualmente las bombas centrífugas son equipos rotatorios muy utilizados por la industria de procesos productivos exigentes, ya que su alta eficiencia en la impulsión de fluidos la hacen ser uno de los equipos importantes en los distintos procesos de producción. Ya sea para impulsar agua hasta una variedad de químicos peligrosos.

En celulosa Arauco las bombas centrífugas cumplen una función vital para el proceso y son caracterizados como equipos con alto índice de criticidad, donde el mantenimiento de estos equipos se hace imprescindible para el proceso productivo en la obtención de celulosa, con esto quiero destacar que si una bomba presenta falla puede detener todo el sistema de producción y cada detención genera pérdidas económicas para nuestra compañía.

La idea principal de este proyecto es presentar un proyecto real de mejoramiento de una bomba sulzer, modelo APP 3, del área de producción de maquina línea 2, ya que esta bomba ha tenido un historial de falla considerable y más aún un costo por mantención elevado que se ha mantenido en el tiempo. Por esta razón es que se propone un estudio de propuesta de una mejora en el sistema de sello de esta bomba, para minimizar los costos de mantención y la alta probabilidad de detener el proceso productivo de la planta en general.

Para este proyecto se realizarán distintos análisis tanto económicos como técnicos, de esta forma podremos entender aspectos importantes para la compañía en términos de producción y también comprender la real causa de la falla recurrente de estas bombas. Además, podremos determinar con estos estudios si nuestra propuesta de mejoramiento es factible para luego realizar su implementación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Implementar un proyecto de mejora en bomba sulzer APP 3 de área máquinas de celulosa, en planta horcones producto de reiteradas fallas y alto costo de mantención.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudio detallado del problema.
- Presentar un proyecto de mejoramiento en equipo.
- Realizar un estudio de los recursos y materiales necesarios para la implementación de la mejora.
- Realizar un estudio económico del mejoramiento.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CELULOSA
ARAUCO PLANTA HORCONES.

1-1 OBTENCIÓN DE CELULOSA PROCESO KRAFT



Figura 1- 1 Planta horcones celulosa Arauco

Fuente: Superintendencia de procesos celulosa Arauco planta horcones.

La industria productora de celulosa se ha consolidado en el tiempo, y a pesar de los avances tecnológicos ha logrado adaptarse a los diferentes cambios.

En este ámbito Celulosa Arauco y constitución ha logrado establecer una producción de celulosa sustentable, logrando excelentes resultados de producción y con el menor impacto ambiental.

El proceso de producción de celulosa utilizado por Celulosa Arauco planta horcones es "kraft", que en líneas generales consiste en la mayor utilización de los recursos necesarios para producir celulosa, y así también reutilizar los recursos sobrantes del proceso. Esto se puede interpretar como el comportamiento de un ciclo. A demás cabe destacar que actualmente la planta de celulosa horcones trabaja con dos líneas de producción, donde línea 1 tiene una producción de 845 toneladas de eucaliptus y línea dos tiene una producción diaria de 1.535 toneladas diarias de pino. El proceso de producción kraft implica una serie de etapas necesarias para la obtención de celulosa, este proceso se divide en dos grandes etapas:

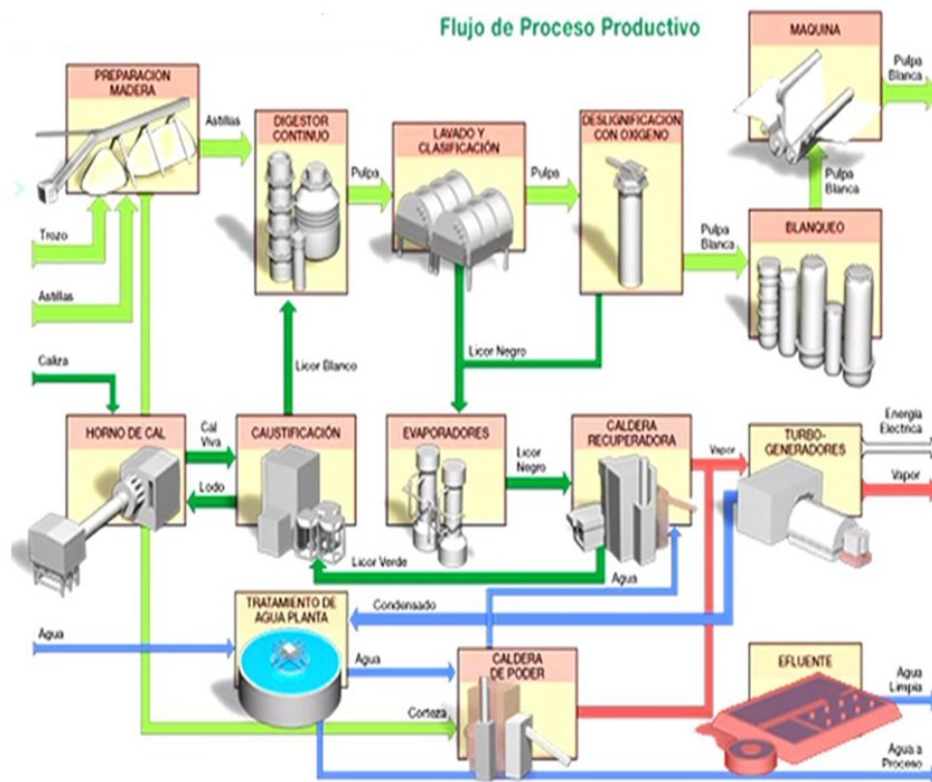


Figura 1- 2: Flujo productivo de proceso obtención de celulosa.

Fuente: Superintendencia de procesos celulosa Arauco planta horcones.

1-1-1 Preparación madera



Figura 1- 3: Vista aérea de proceso preparación maderas.

Fuente: Superintendencia de procesos celulosa Arauco planta horcones.

La materia prima de la celulosa es la madera, esta madera proviene desde el bosque y es trasladada a la planta de celulosa a través de camiones. Todos los camiones deben pasar por romana para determinar la cantidad de m3 que está llegando. Actualmente en planta horcones se trabaja con madera de eucaliptus (glóbulos 80% y nitem 20%), por lo que se reciben de estos dos tipos de madera, en forma de troncos y también como chips de madera.

Los troncos son clasificados y almacenados en canchas de almacenamiento, posteriormente los troncos con corteza pasan por el descortezador, luego los troncos descortezados pasan por el triturador, cuya función es triturar la madera convirtiéndose en chips de astilla. Posteriormente el chip pasa por los harneros donde son clasificados de acuerdo a su tamaño, los que cumplen con el estándar determinado pasan a la correa y almacenados en una pila de astilla, los que no cumplen con el estándar determinado vuelven al triturador. Luego son enviados a la tolva de astillas siendo este equipo el final del área de preparación maderas, por lo tanto, desde ahí en adelante pasa a otra área del proceso de producción de celulosa.

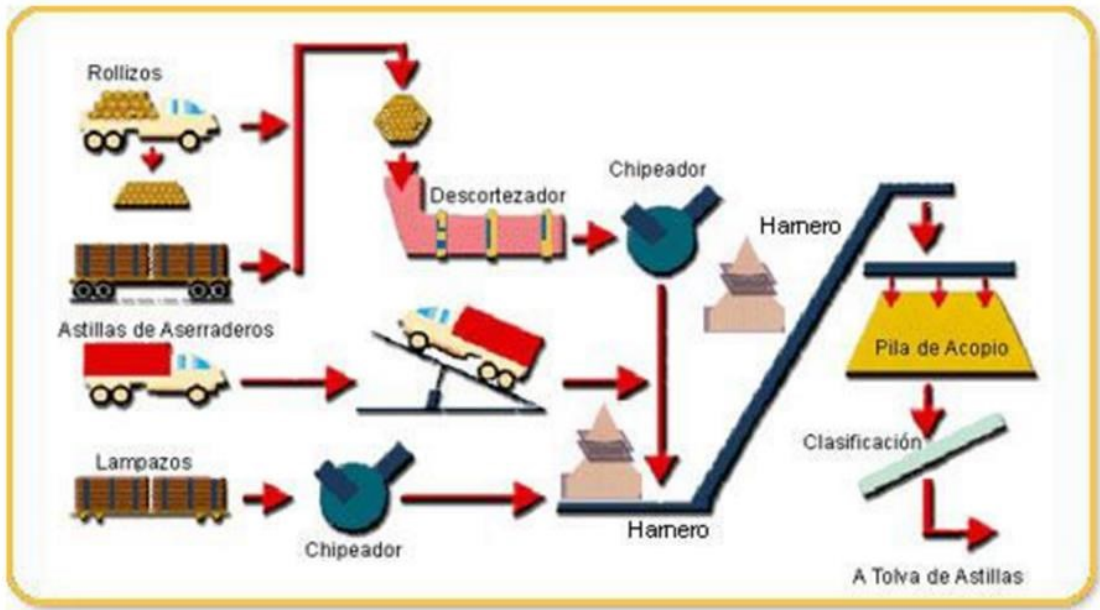


Figura 1- 4: Flujo productivo área de preparación maderas.

Fuente: Superintendencia de procesos celulosa Arauco planta horcones.

1-1-2 Digestores

El área de digestores concentra una de las funciones principales en la obtención de celulosa, en esta área es donde se produce la separación de las fibras de celulosa y la lignina. Este efecto es producido por medio de la adición de químicos y el aumento de la temperatura que actúan sobre las astillas por un tiempo determinado. Existen

dos tipos de digestores, y en planta horcones utilizan los dos, que son digestor batch (línea 1), y digestor continuo (línea 2).

El digestor continuo consiste en un recipiente cerrado, en donde se carga la astilla por la parte superior, luego se impregna con vapor y se agrega licor blanco y licor negro, estos químicos comienzan a recircular por un tiempo determinado y de esta forma se obtiene pulpa café. Este proceso se repite constantemente.

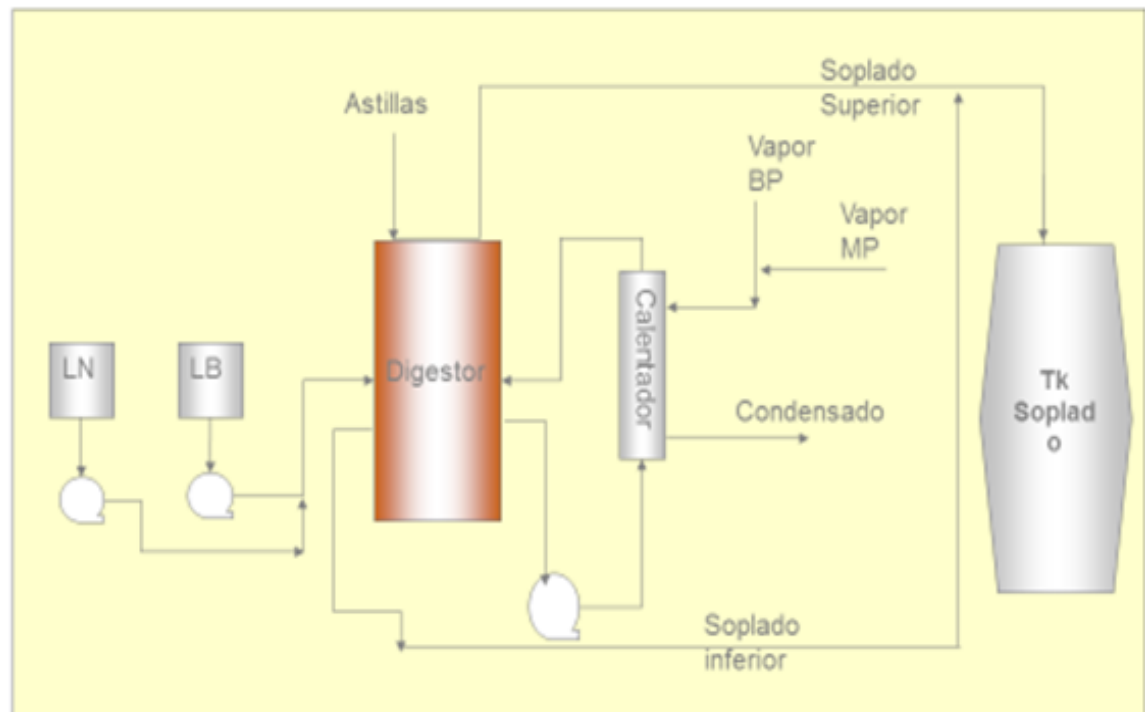


Figura 1- 5: Flujo productivo área digestor.

Fuente: Superintendencia de procesos celulosa Arauco planta horcones.

El digestor continuo tiene la misma finalidad de producir la separación de las fibras con la lignina, pero a diferencia del digestor batch el proceso que utiliza no se detiene, esto permite producir mucha más pulpa café, aunque ante cualquier falla que presentes sus equipos puede producir una detención completa de este proceso y la planta en general.



Figura 1- 6: Digestor batch.

Fuente: superintendencia de procesos Celulosa Arauco planta horcones.



Figura 1- 7: Digestor continuo.

Fuente: superintendencia de procesos Celulosa Arauco planta horcones.

1-1-3 Lavado y deslignificación.

El área de lavado como su nombre lo dice esta encargada de extraer el mayor contenido de lignina (licor), proveniente del proceso de cocción de la pulpa por medio del lavado.

Dentro de sus objetivos principales están:

- Separación física por tamaño (Clasificación).
- Separación física de sólidos disueltos y obtención de filtrado para concentrar. (Lavado).
- Reducir Químicamente Lignina. (Deslignificación).

En línea uno el área de lavado comienza en el estanque de homogenización donde la pulpa es impulsada hacia los harneros bird y hi-q (línea A y B respectivamente), donde los nudos son separados de la pulpa. Luego pasa a los lavadores extrayendo el mayor contenido de lignina de la pulpa y almacenándolos en los estanques de filtrado correspondientes a cada lavador. La pulpa se almacena en el estanque de pulpa lavada y luego pasa por tres series de harneros para asegurar solamente el paso de las fibras por las líneas. Luego llega a la prensa N°1, donde por fuerza de compresión se busca extraer el mayor contenido de lignina en la pulpa, luego de esto pasa a los reactores de oxígenos, donde se adhiere oxígeno. Este elemento se introduce en las fibras extrayendo la lignina que contiene dentro de estas en el tiempo que se demora en pasar por los dos reactores. Luego de esto vuelve a pasar por una segunda prensa, para que de esta forma se almacene finalmente en la torre de alta densidad café, terminando el proceso de lavado y deslignificación.

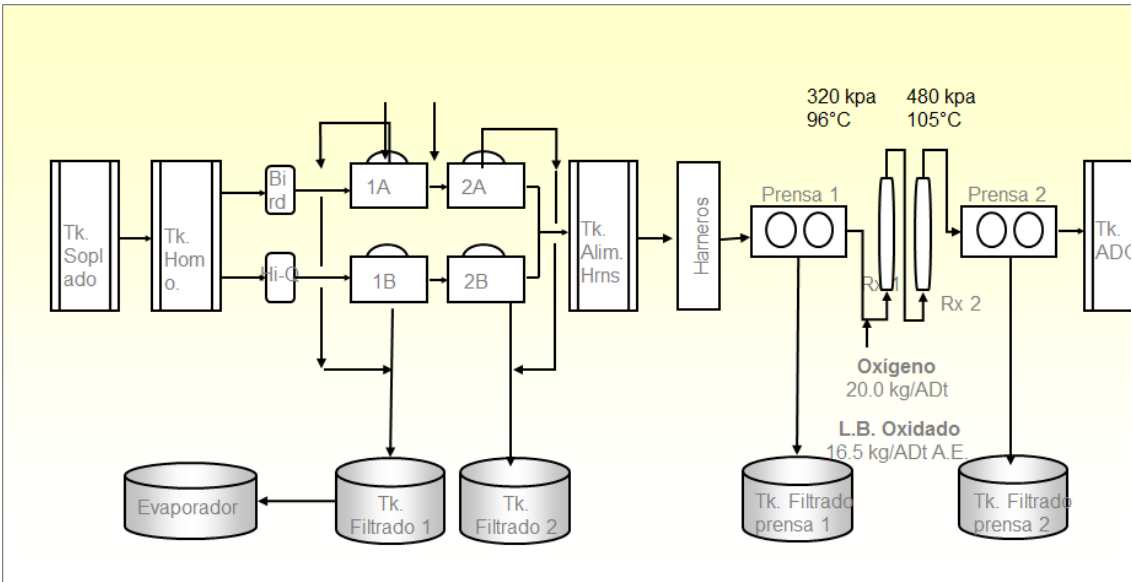


Figura 1- 8: flujo productivo de área lavado y deslignificación línea 1.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

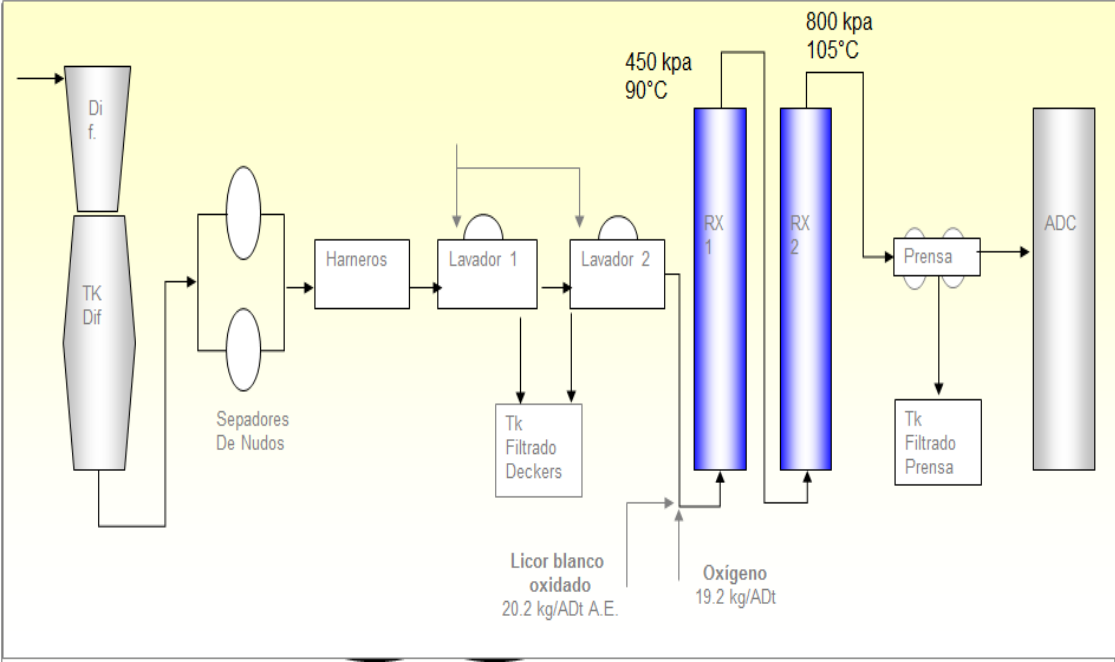


Figura 1- 9: Flujo productivo área de lavado y deslignificación línea 2.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.



Figura 1- 10: Prensa de área lavado.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.



Figura 1- 11: Lavador pasta café.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

1-1-4 Blanqueo

En área de blanqueo busca como finalidad blanquear la pulpa café de Pino o Eucalipto en secuencia (Línea 1: 3 etapas para el eucalipto. Línea 2: cinco etapas para el pino), proveniente del área de lavado mediante la adición de químicos, principalmente Dióxido de cloro (ClO_2) y otros químicos como peróxido de hidrogeno, soda, sulfato de sodio y un factor de temperatura como el vapor.

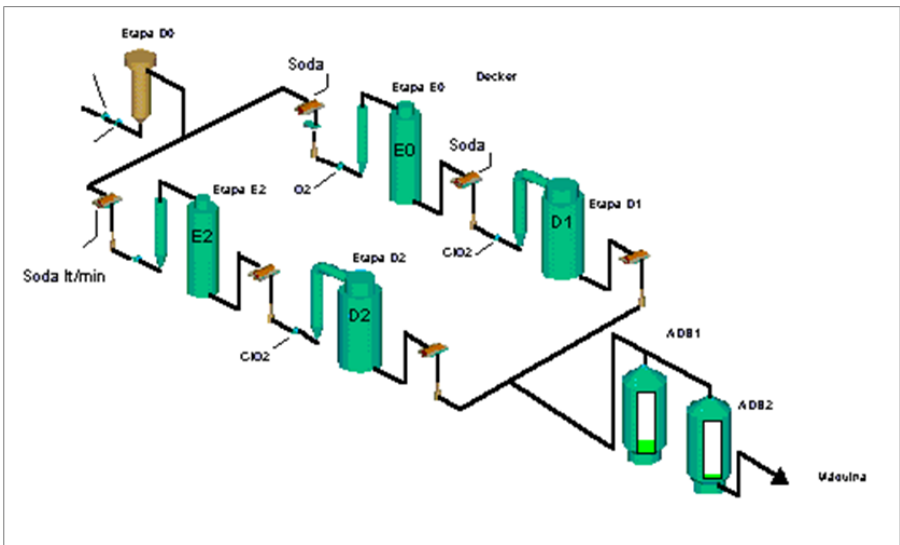


Figura 1- 12: Diagrama de proceso área de blanqueo línea 1.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

El objetivo de esta área es blanquear la pulpa café obtenida por la cocción de las astillas y su posterior lavado mediante la acción de elementos químicos.

En primer lugar, el área de blanqueo comienza en la torre de “alta densidad café”, donde la impulsión de una bomba centrífuga lleva a la pulpa hasta el estanque de nivelación y posteriormente una bomba impulsa la pulpa hasta la prensa N° 3, ahí la pulpa vuelve a comprimirse por la fuerza de dos rodillos, eliminando así un porcentaje de lignina residual en la pulpa. Luego la pulpa es impulsada hasta el primer mezclador de dióxido de cloro, donde la pulpa entra en contacto con el químico y son impulsados hasta la primera torre de dióxido de cloro “D0”, produciendo una reacción química por un tiempo determinado. Luego comienza el proceso de lavado a través de los lavadores de blanqueo, cuya función es extraer el filtrado sobrante en la pulpa por medio de la acción centrífuga de este lavador, además se adiciona sulfato de sodio y peróxido de hidrogeno quienes ayudan a blanquear la pulpa y eliminar otros elementos presentes en la pulpa. Luego ingresa a un mezclador de vapor para aumentar la temperatura que pueda perder a interactuar con distintos equipos y/o líneas. (Esto se debe a que todos los químicos reaccionan con temperatura de lo contrario no hay una reacción y se perdería el químico adherido). Luego la pulpa es impulsada hasta una torre en forma ascendente y de inmediato pasa a una torre descendente, esto es para darle mayor tiempo de reacción a los químicos adicionados. Siguiendo el proceso la pulpa vuelve a pasar por un lavador, luego un mezclador de vapor, luego un mezclador de dióxido de cloro y es impulsada a las torres D1 o D2 según la línea de producción que corresponda. Finalmente pasa por un último lavador y una bomba de gran capacidad envía la pulpa blanqueada hasta las torres de alta densidad blanca, que pertenece al área de máquinas.

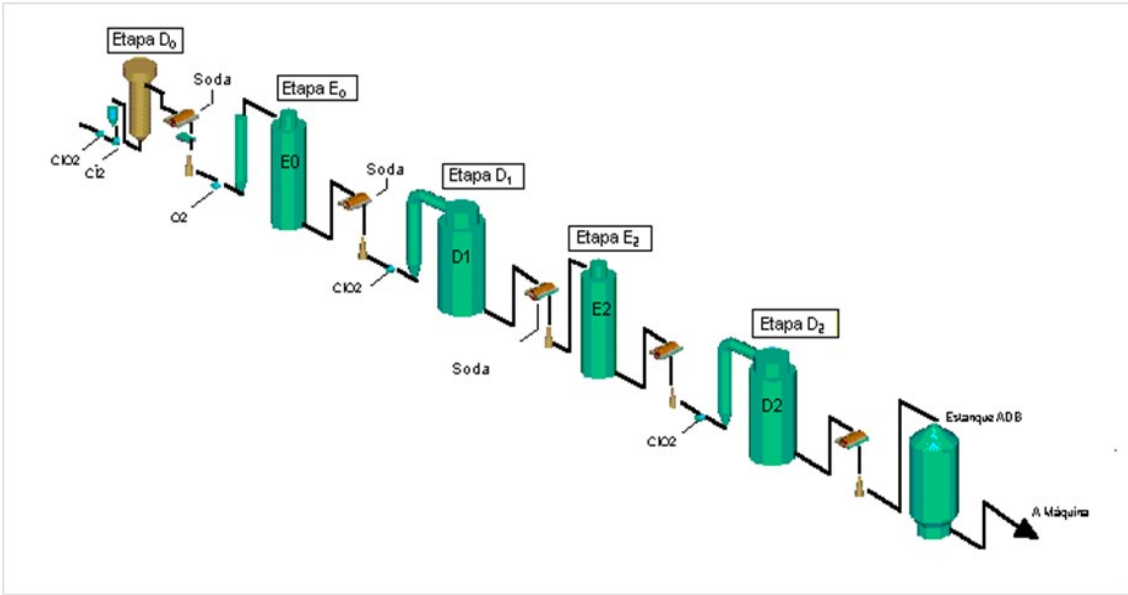


Figura 1- 13: Diagrama de proceso área blanqueo línea 2.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

1-1-5 Máquinas.

El área de máquinas es la etapa final del proceso de producción de celulosa, es aquí donde se obtiene los fardos de celulosa y almacenados para su comercialización. El área de máquinas es crítica y posee grandes equipos y maquinarias que lo componen, donde cada uno cumple una función importante y son indispensable para obtener un proceso continuo sin interrupciones.

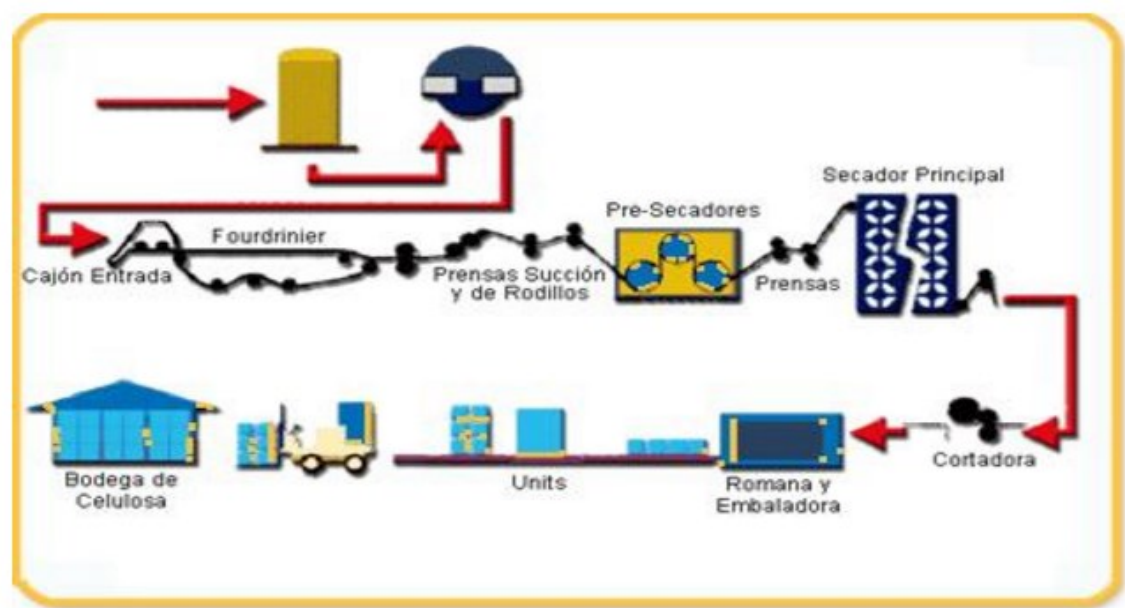


Figura 1- 14: flujo productivo área máquinas.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

El proceso de producción de máquinas comienza en las torres de alta densidad blancas, donde llega la pulpa proveniente del área de blanqueo. La pulpa es impulsada hasta el espesador donde se controla los parámetros que contiene la pulpa blanqueada (T° , Ph, consistencia, % de ClO_2 residual). Enseguida el producto es impulsado hasta el cajón de entrada de la fourdrinier, cuya función principal es formar una hoja o pañol de las fibras de celulosa blanqueadas. La hoja de celulosa avanza por medio del movimiento giratorio de polines y un paño que cumple la función de una correa transportadora para llevarla hasta las prensas de succión y prensas de rodillos, donde su objetivo es compactar la hoja por medio de fuerzas de compresión, eliminando gradualmente el porcentaje de líquidos contenidos en la pulpa. Con la hoja bien conformada y resistente el siguiente paso es secarla, por esta razón pasa por los rodillos pre secadores, posteriormente por las prensas de rodillos, todas estas etapas son con la finalidad de disminuir la cantidad de líquidos residuales en la pulpa. Finalmente, la hoja de fibra pasa por el secador principal, asegurando la obtención de una hoja seca y resistente, posteriormente llega hasta la cortadora, quien se encarga

de dimensionar y apilar la hoja en fardos, estos fardos de celulosa. Los fardos pasan por una romana para asegurar el peso y dimensiones iguales para toda la producción, los que se apilan por 8 fardos por 2 columnas y a estos se les llama units.



Figura 1- 15: Fardos de celulosa.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

- ✓ Dimensiones Hoja: 0,72 m x 0,81 m
- ✓ Gramaje : 950-1000 g/m²
- ✓ Peso por Fardo : 250 kg (peso incluye tapas y alambres)
- ✓ Units : 8 fardos (apilados en dos columnas de 4 y amarrados con alambre)
- ✓ Marcado : Frente – “ARAUCO”
Atrás – Código Identificador Fardo
Color Marcado: Verde (Pino) / Rojo (Euca)

Finalmente, estos units son transportados y almacenados en la bodega de productos terminados, para su posterior comercialización.

1-1-6 Recuperación y generación de energía

El ciclo de recuperación es muy importante para el proceso kraft de producción, ya que en este ciclo se recupera en gran parte los elementos, materias primas y energías utilizadas para poder obtener celulosa. Sin esta etapa el costo de producir celulosa sería muy alto, por lo que dejaría de ser un proceso sustentable.

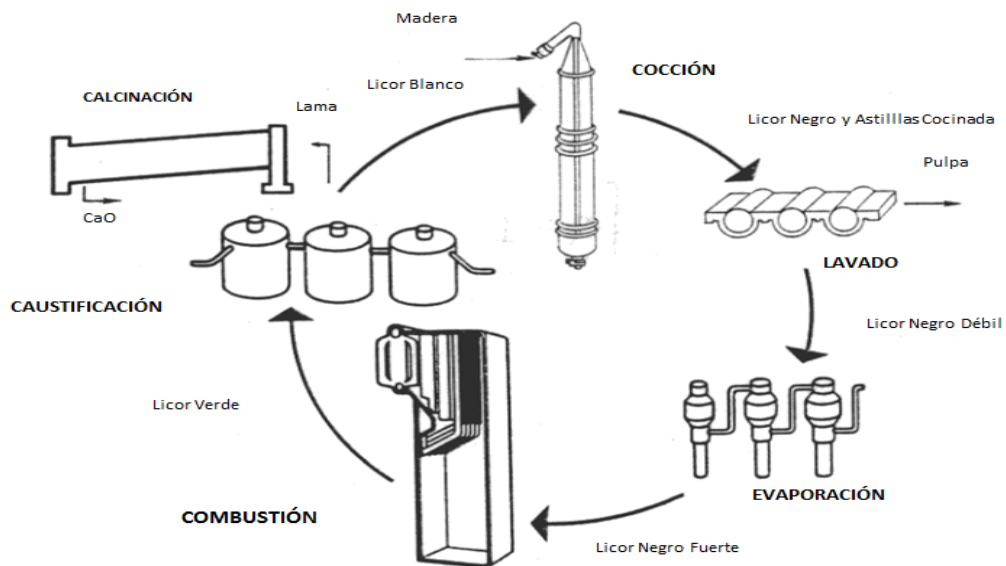


Figura 1- 16: Proceso recuperación y generación de energía

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

Esta etapa comienza con la obtención de licor negro por medio de la cocción de las astillas y el lavado de la pulpa, donde se almacena en los estanques de filtrado el “licor negro débil”.

Una de las etapas principales y críticas en la recuperación y generación de energía es la “caldera recuperadora”, esta área involucra a distintos equipos que interactúan entre si y la función que cada uno cumple es determinante para la producción de celulosa.

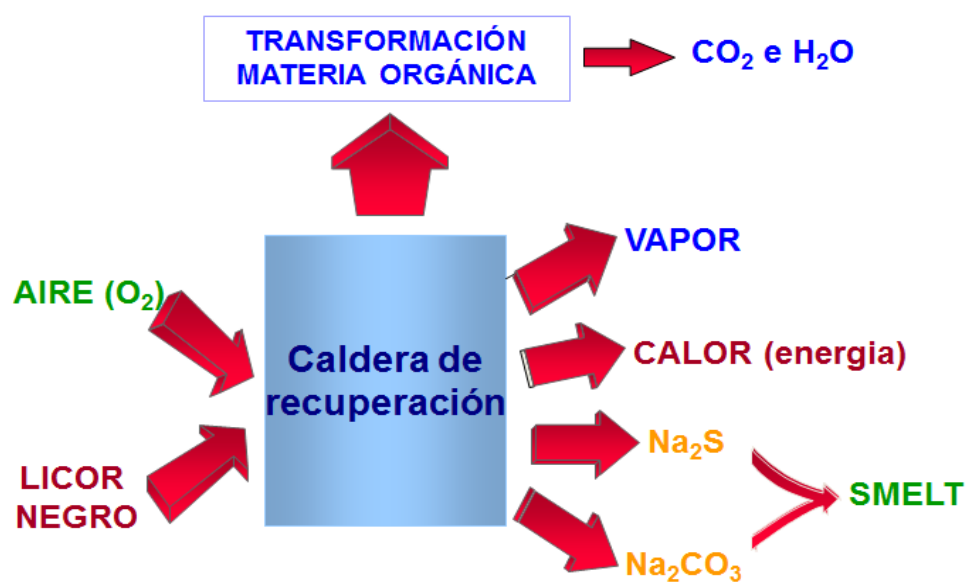


Figura 1- 17: Caldera recuperadora.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

La caldera recuperadora es básicamente un reactor químico, cumple la misma función que una caldera de poder, pero además de generar vapor, también genera licor verde producto de quemar el licor negro como material combustible.

- **Corrientes principales:** agua de alimentación para la generación del vapor, licor negro concentrado para combustión y aire para combustión.
- **Capacidad:** la unidad quema aproximadamente el licor negro concentrado equivalente a 2600 toneladas de sólidos secos por día. La generación de vapor a proceso es de 340 ton/h a proceso y 28 ton/día para auto limpieza.
- **Insumos utilizados:** energía eléctrica para el movimiento de los motores de los ventiladores para aire de combustión y extracción de gases (3,8 MW), petróleo como combustible auxiliar, propano para encender los quemadores de petróleo y productos químicos para tratamiento de agua.
- **Productos que se obtienen:** vapor de alta presión (455 °C y 62 bar) para generación de energía eléctrica para proceso y "fundido" (originalmente reactivos de cocción que contienen principalmente carbonato de sodio y sulfuro de sodio)

Para que el licor negro ingrese a la caldera recuperadora y sea quemado debe cumplir con ciertos parámetros, ya que en el área de lavado cuando se obtiene es producto del lavado con agua, por lo tanto, para ser quemado necesita un mínimo porcentaje de agua en su contenido total, es por eso que antes de ingresar a la caldera recuperadora para ser quemado pasa por "**evaporadores**".

El objetivo principal de evaporadores es disminuir el contenido de agua en una solución de licor negro, mediante la adición de vapor y efectos de decantación.

- **Corrientes principales:** licor negro débil de lavado (que será concentrado para permitir su combustión en la caldera recuperadora) y vapor de baja presión.
- **Capacidades de equipos:** aproximadamente 12230 toneladas de agua evaporada por día.
- **Insumos utilizados:** vapor de baja presión (87,9 ton/h) y energía eléctrica (1,9 MW).
- **Productos que se obtienen:** licor negro concentrado para combustión en la caldera recuperadora.

El licor verde obtenido en caldera recuperadora también es procesado, esto se realiza en el área de caustificación y horno de cal.

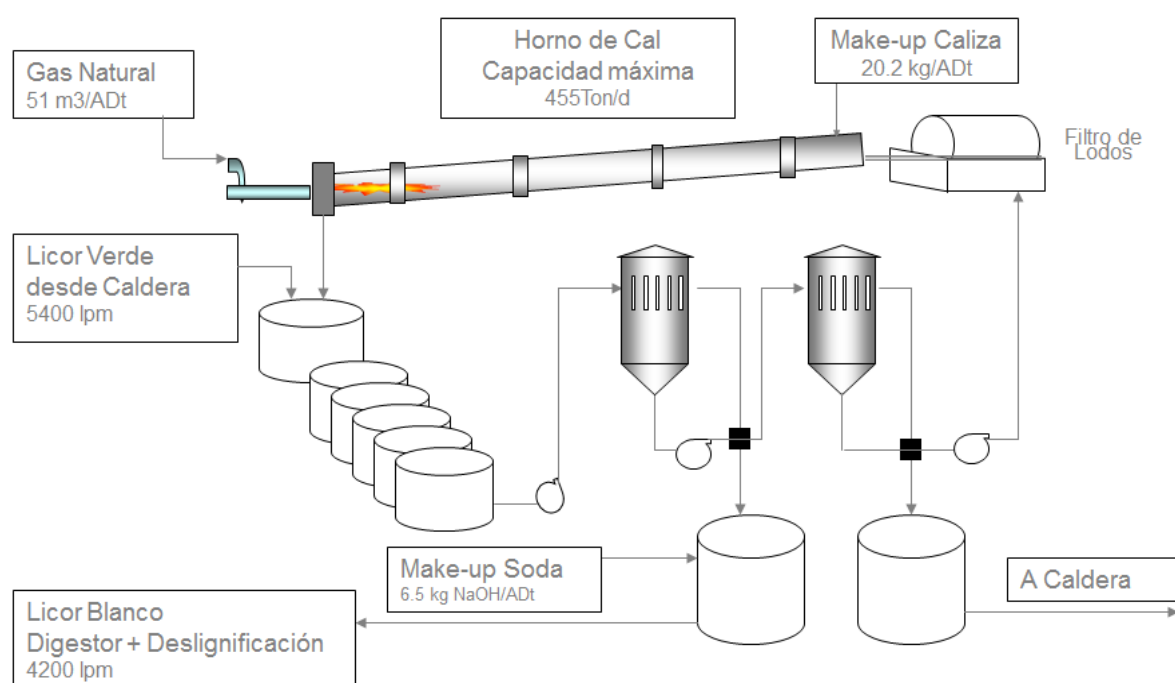


Figura 1- 18: Flujo productivo área caustificación.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones

Todo este proceso de producción kraft también genera desechos de efluentes, los que son tratados en la planta de tratamiento de efluentes para de esta manera disminuir los impactos ambientales que puedan tener en el medio ambiente.

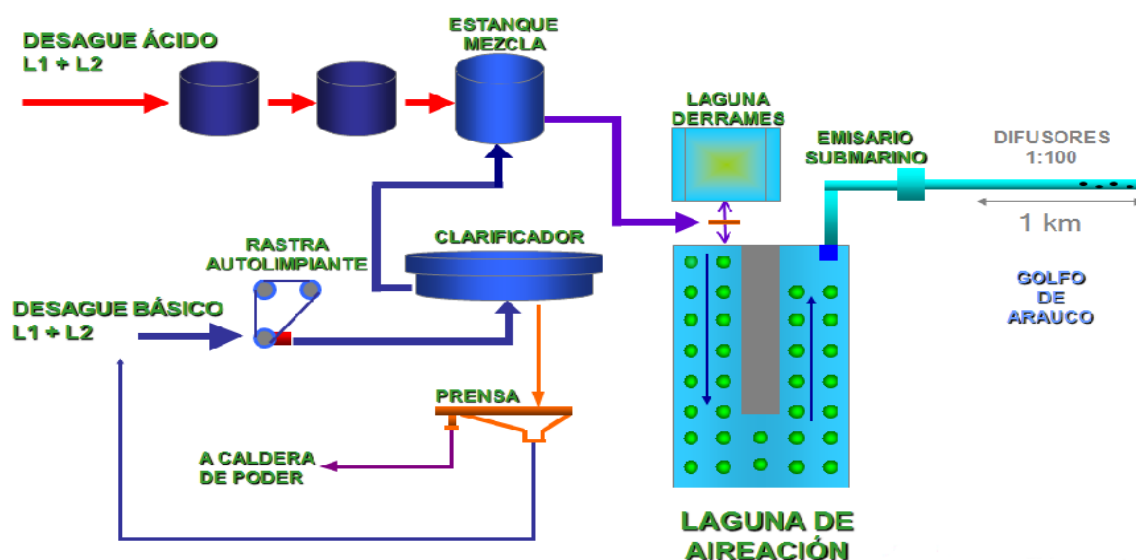


Figura 1- 19: proceso tratamiento de efluentes.

Fuente: Superintendencia de Procesos celulosa Arauco planta horcones.

1-2 DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN DE BOMBA 271-21-306 EN MAQUINAS



Figura 1- 20: bomba centrífuga en estudio.

Fuente: Recopilación de imágenes propios

Esta bomba cumple la función de enviar el condensado acumulado en el estaque colector de condensado producido en el proceso de máquinas (con mayor énfasis en el proceso de secado de la pulpa), hacia el área de caldera donde son tratados este tipo de condensado (sucio). Esta bomba centrífuga está trabajando constantemente por lo que su funcionamiento lo hace ser crítico a la hora de tener una falla, es por eso que cuenta con una bomba auxiliar, ya que el área de máquinas es donde más se generan condensados por el proceso que realiza.

Su operación está totalmente comandada por el operador, quien es el que monitorea desde las pantallas de operaciones todos los parámetros que afectan el funcionamiento de este equipo, como carga eléctrica, RPM, flujo, presión, etc.

Su ubicación técnica esta dada por la siguiente tag 272-21-036, siendo 272: corresponde a área; 21: tipo de equipo; 036: identificación de equipo.

CAPÍTULO 2: BOMBA CENTRIFUGA SULZER APP 3

2-1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Las bombas sulzer app3 son equipos de proceso de alta capacidad para aplicaciones exigentes. Estas bombas centrifugas son equipos de impulsión, el cual transmiten la energía recibida por un motor eléctrico a un fluido, impulsándolo de un estado de baja presión a un estado de mayor presión. Esto es posible gracias a la acción de sus componentes y características. Entre sus piezas encontramos; carcasa o voluta, caja de rodaje o conjunto rotatorio, eje, rodamientos, tapas de caja rodaje, pata de apoyo, anillos laberinto, arandela de fijación, turca de fijación, camisa (si usa empaquetadura), sello mecánico, pernos y tuercas hexagonales. Una de sus principales piezas es el impulsor, este se encuentra dentro de la carcasa o voluta y es a través del movimiento de esta pieza de la bomba por la cual se logra impulsar el fluido.

En primera fase el movimiento lo produce un motor eléctrico, el cual transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de unas bobinas y polos, la cual hacen girar el rotor acoplado al eje, que finalmente entrega un movimiento mecánico de giro.

Todas las bombas están dotadas de una pieza que es el eje, el cual está unido al motor eléctrico por un sistema de acoplamiento, y es el que transmite la energía mecánica al impulsor para producir en el fluido energía cinética.

Su funcionamiento se produce cuando el fluido ingresa a la bomba por la junta de succión (centro) chocando con el impulsor que está en movimiento por lo antes mencionado, el fluido al estar en contacto con los alabes del impulsor es impulsado en forma radial por la junta de descarga de la bomba, el cual con su diseño caracol permite un paso uniforme y gradual del fluido, que le permite aumentar la energía.

2-2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tabla 2- 1 Datos del proceso de la bomba centrifuga en estudio.

DATOS DEL PROCESO	
Aplicación	Condensado a estanque condensado sucio.
Liquido de bombeo	agua
Gravedad	1,00
Altura max	19,7 m
Caudal	74 lt/s
Temperatura	20° a 60°

Tabla 2- 2: Rendimiento de la bomba.

RENDIMIENTO DE LA BOMBA	
Curva	K14897
Potencia consumida	18.4 kw
P. consumida en cierre dinámico	1.5 kw
Eficiencia	77%
Velocidad de la bomba	1750 Rpm
NPSH requerido	3.1 m

Tabla 2- 3: Antecedentes generales.

DATOS GENERALES	
Equipo	Bomba centrífuga
Marca	Sulzer
Modelo	APP 31-125
Nº serie	100074803
Sistema sello	Sello mecánico doble 50 mm
Pintado	epóxi

Tabla 2- 4: Datos generales de la bomba.

BOMBA	
Fabricante	Easley
Tamaño de la bomba	31-125
Perforación brida	ANSI B16.1 CLASS 125
Tipo impulsor	Cerrado
Diámetro de impulsor	245 mm
Diámetro máximo de impulsor	274 mm
Material juntas	PTFE/Glass
Lubricación conjunto rotatorio	aceite
Lubricación sello mecánico	Plan 21.
acoplamiento	Rex-omega

Tabla 2- 5: Datos del motor.

MOTOR	
Fabricante	siemens
Tipo de motor	SEVERE DUTY
velocidad	1800 RPM
Potencia	30 hp
Frecuencia	60 hz
voltaje	460 v
Especialidades motor	286T NEMA MOTOR

2-3 ESQUEMA DE PARTES Y PIEZAS PRINCIPALES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

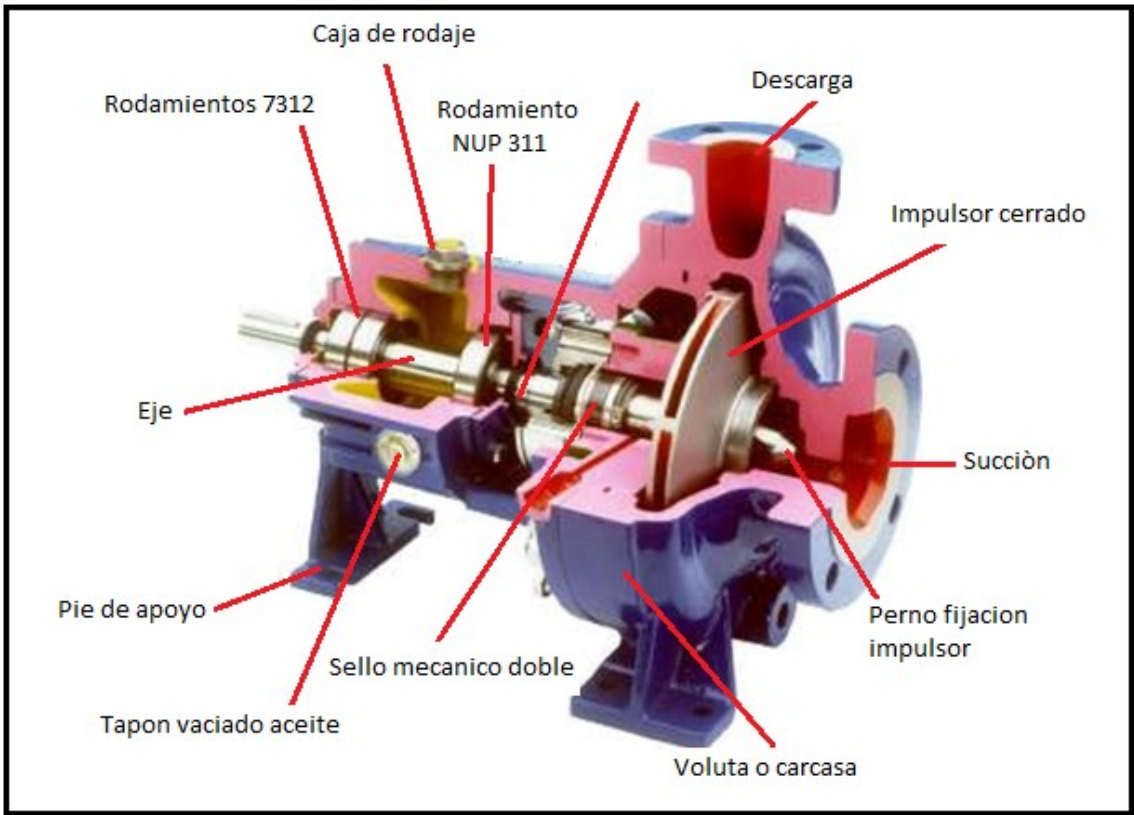


Figura 2- 1: Esquema en corte de una bomba centrífuga.

Fuente: Elaboración de datos propios.

2-4 PARTES Y PIEZAS PRINCIPALES.

Tabla 2- 6: Listado de componentes de una bomba centrífuga sulzer app3.

Componentes		Cant	Detalles
1	Voluta	1	
2	Rodamiento rígido de bola	2	7312 BECJ posición "O"
3	Rodamiento rodillos cilíndricos	1	NUP 311 ECJ
4	Caja de rodaje	1	App 3
5	Tapa caja de rodaje	1	
6	Eje	1	
7	Arandela de fijación	1	
8	Tuerca fijación	1	
9	Deflector	1	
10	Sello mecánico doble	1	Chesterton 50 mm
11	Espárragos porta sello mecánico	4	M12x1,75x100
12	Tuercas hexagonales	4	M12x1,75
13	Anillo laberinto lado acoplamiento	1	
14	Anillo laberinto lado impulsor	1	
15	Pernos hexagonales	12	M16x2,0x40 inoxidable
16	Aro sello	1	App3
17	impulsor	1	Ø 245 mm, cerrado
18	Tapón llenado de aceite	1	
19	Visor de aceite	1	
20	Tapón de vaciado aceite	1	
21	Pie de apoyo	1	

2-4-1 Descripción de componentes principales.

- Carcasa: Es la parte exterior de la bomba y su función es convertir la velocidad impartida por el impulsor al fluido en presión, mediante la reducción de velocidad por un aumento gradual del área.
- Impulsor: recibe el fluido y le agrega velocidad por medio de sus alabes para producir energía cinética.
- Sello mecánico: es el elemento que impide que el fluido que se está impulsando salga hacia el exterior de la bomba.
- Eje: pieza que transmite el movimiento mecánico al impulsor, y está asentado por 3 rodamientos al interior del conjunto rotatorio.
- Conjunto rotatorio o caja de rodaje: en este elemento se alojan los rodamientos y el material lubricante (aceite)

- Tapa caja de rodaje: Su función es impedir que ingresen partículas extrañas al interior de la caja de rodaje, como impedir que salga el material lubricante al exterior y retener en su posición a los rodamientos.
- Tuerca de fijación: Permite ajustar la posición de los rodamientos para su correcto funcionamiento.
- Arandela de fijación: Permite fijar la tuerca que ajusta a los rodamientos.
- Perno de impulsor: impide que el impulsor se suelte en condiciones de operación (partida).
- Pernos y tuercas hexagonales: Ajustan las juntas de la bomba.

2-4-2 Imágenes de peritaje realizado a una bomba sulzer app3 en taller mecánico de maestranza en celulosa Arauco de planta horcones.



Figura 2- 2: Bomba centrífuga sulzer app3, 272-21-306.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 3: Bomba centrífuga en mesón para peritaje.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 4: Impulsor abierto montado en bomba sulzer app3.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 5: Perno para fijación de impulsor.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 6: Plato de descarga y rosca de impulsor.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 7: Plato de descarga.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 8: Sello mecánico doble 50 mm.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 9: sello mecánico vista lateral.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 10: Eje con rodamientos montados y tapa de caja rodaje.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 11: anillo laberinto en tapa de caja rodaje lado impulsor.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 12: Tapa de caja rodaje y anillo laberinto.

Fuente: Elaboración de datos propios.



Figura 2- 13: sello mecánico montado en bomba sulzer app3.

Fuente: Elaboración de datos propios.

2-5 SISTEMA DE SELLO

El sello mecánico que utiliza esta bomba es un sello doble, con diámetro al eje 50 mm, distribuido por Chesterton. Específicamente es un sello doble estándar del modelo 255, entre sus características principales destacan que generan poco calor otorgando buenas soluciones para las aplicaciones donde se trabaja con fluidos térmicamente sensibles.



Figura 2- 14: Esquema en corte de sello mecánico.

Fuente: www.chesterton.cl

Su diseño geométrico doble acepta condiciones inversas de presión en condiciones exigentes, estas condiciones están dadas de acuerdo a los siguientes parámetros.

Tabla 2- 7: Parámetros de operación de sello mecánico.

PARÁMETROS DE OPERACIÓN	
Tamaños	25 mm a 120 mm 1,00" a 4,75"
Presión	711mm o 28" Hg de vacío a 40 Bar g 600 psig * 17 Bar g 250 Psig externa*
Temperatura	-55°C a 300°C -67°F a 570°F
Velocidad	20m/s o 4000 fpm

Una de las características de este sello mecánico es su lubricación. Es sabido que todos los sellos mecánicos deben tener un material lubricante ya que para producir la estanqueidad en el giro de la bomba siempre existirán dos caras que están en contacto, estas caras pueden ser de distintos materiales y es necesario lubricar este contacto de materiales de lo contrario la vida del sello mecánico estaría muy limitada. La lubricación de este sello está dada por el denominado “**plan 21**”.

El plan 21 consiste en lubricar las caras internas del sello mecánico con el mismo fluido que la bomba centrífuga impulsa, esto se obtiene tomando el fluido en la carcasa-descarga de la bomba. Como sabemos es que este equipo impulsa condensado, por lo tanto, el fluido esta con una temperatura considerable, aproximadamente entre 60 a 80 ° C. Por esta razón es que antes de ingresar el fluido descargado a lubricar las caras internas del sello mecánico pasa por un sistema que enfría el condensado bajando su temperatura entre 20 a 35 °C.

CAPÍTULO 3: IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

3-1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El área de máquinas del proceso de producción de celulosa, lugar donde se encuentra el equipo en estudio, cumple una función muy importante, ya que en ella se concentran los trabajos finales para la elaboración del producto, es por esta razón que los equipos y maquinarias que la componen son denominados equipos críticos. Esto se debe a que cualquier falla en uno de sus equipos puede ocasionar la detención de todo el proceso de producción anterior a esta área.

Por esta razón es que el mantenimiento preventivo y correctivo son determinantes para garantizar la estabilidad del proceso al momento de enfrentar una falla, en conjunto con el personal de mantención quienes deben acudir ante estos problemas. El problema de la bomba 272-21-036 y 272-21-035 surge cuando el área productiva trabaja fuera de los parámetros normales de operación, es decir, con baja producción. Este se debe a que hay un exceso de vapor y condensado en los equipos puesto que el vapor no tiene un factor como el producto donde actuar. Por esta razón es que en el estanque colector de condensado comienzan a alterarse las variables de presión y temperatura, pero también disminuía considerablemente el porcentaje normal de condensado con el que trabajan estos equipos. Al aumentar estos factores afectaba directamente a las bombas de este estanque y sus componentes, por lo que comenzaban a presentar fallas.

Uno de los problemas más habituales y repetitivos que ocurría es en el **sello mecánico**, que comenzaba a fugar vapor en grandes cantidades, siendo tanto un problema para operaciones en la impulsión de condensado como para el personal que debía actuar rápidamente en la mantención de este equipo. Al fallar el sello mecánico en la bomba se debía hacer mantención completa a este equipo, por lo tanto, para asegurar la confiabilidad de funcionamiento de este equipo se cambian otros componentes comunes como lo son los rodamientos.

3-2 CONSECUENCIAS DE LA FALLA.

El equipo trabaja con los componentes recomendados por el fabricante. Esta bomba trabajaba con un sello mecánico DEPAC, el cual presento las siguientes consecuencias.

- ✓ Fugas prematuras.
- ✓ Fallas repetitivas en sello mecánico.
- ✓ Deterioro de material en plataforma y equipo por corrosión.
- ✓ Riesgo para las personas que intervienen el equipo para mantenimiento correctivo.
- ✓ Mayor número de intervenciones.
- ✓ Mayor utilización de HH.

Uno de los problemas más significativos de esta falla en la bomba es el costo económico que con lleva. Por un lado, tenemos los costos de mantención donde se debe contar con la mano de obra para ejecutar los trabajos de mantenimiento, el valor de cada repuesto y los inconvenientes en el área de abastecimiento quienes deben mantener un stock en bodega para casos de fallas en los equipos más críticos. Por otro lado, tenemos los costos económicos perdidos por las horas donde no hay producción, que sin duda es uno de los factores que más afecta a la compañía.

3-3 HISTORIAL DE FALLAS.

Este problema tuvo un alto porcentaje en los últimos meses, por lo que se comenzó a estudiar una propuesta de mejoramiento en este equipo, considerando las reiteradas intervenciones y el costo que involucraba estas intervenciones. La siguiente tabla muestra las intervenciones de mantenimiento en la bomba 272-21-305 y 272 21-306

HISTORIAL DE MANTENIMIENTO EN BBA 2							
	Fecha	hh	hrs	orden trabajo	ubicación	PTR	descripcion actividad
1	30.12.2015	2	6	94022091	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	REPARACIÓN BOMBA 272-21305
2	04.01.2016	2	7	94023208	CA02-272-JAF-PCV302-21305	106	PERITAJE A BOMBA 272-21305
3	26.08.2016	4	6	94182223	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	INSTALAR DRENAJES EN BBAS DE CONDENSADO
4	29.08.2016	3	6	94142965	CA02-272-JAF-PCV302-21306	124	CAMBIO SELLO MECANICO BBA 306
5	05.10.2016	2	6	94283879	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	REALIZAR REPARACION A CJTO. ROTATORIO 2
6	06.10.2016	2	6	94281689	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	Peritaje bba de condensado 272-21305
7	04.01.2017	2	6	94322526	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	Fuga condensado sello mecanico 272-21305
8	29.03.2017	2	5	94451719	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	Reparar bba 272-21305
9	13.06.2017	4	8	94149778	CA02-272-JAF-PCV302-21306	108	Cambio Vv succión bba 272*21306.
10	13.07.2017	2	6	94544036	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	Cambio bomba 272-21305
11	21.08.2017	2	6	94577266	CA02-272-JAF-PCV302-21306	124	Rutas con personal de Saggitas
12	17.08.2017	2	5	94580435	CA02-272-JAF-PCV302-21306	106	Reparación bba N°2 tk colecto 272-21306
13	07.09.2017	2	6	94571499	CA02-272-JAF-PCV302-21306	124	peritaje bomba 272-21306
14	07.11.2017	2	6	94575270	CA02-272-JAF-PCV302-21306	124	Cambio bomba 272-21306 por falla SM
15	14.11.2017	2	6	94650081	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	Cambio bomba 272-21305

16	29.11.2017	2	1	94670449	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	fuga por voluta bba condensado 305
17	07.02.2018	2	1	94734141	CA02-272-JAF-PCV302-21306	124	Cambio bba 272-21306
18	02.03.2018	2	5	94758754	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	272-21305: Cambio sello mecanico bba
19	13.03.2018	2	0	94768006	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	Reparación y cambio bba 272-21305
20	14.03.2018	2	8	94762695	CA02-272-JAF-PCV302-21305	106	Peritaje bba 272-21305
21	16.03.2018	2	6	94768777	CA02-272-JAF-PCV302-21306	124	Reparación y cambio bba 272-21305
22	22.03.2018	2	4	94770804	CA02-272-JAF-PCV302-21305	124	272-21305: Cambiar sello bba condensado
23	16.04.2018	2	8	94821634	CA02-272-JAF-PCV302-21304	124	Reparación y cambio bba 272-21305
24	21.04.2018	2	8	94851890	CA02-272-JAF-PCV302-21303	106	PERITAJE BOMBA 272-21305
25	03.05.2018	2	6	94882146	CA02-272-JAF-PCV302-21302	124	Reparación y cambio bba 272-21305
26	09.05.2018	2	6	94912402	CA02-272-JAF-PCV302-21301	124	Reparación y cambio bba 272-21305
27	10.05.2018	2	6	94942658	CA02-272-JAF-PCV302-21302	124	272-21305: Cambiar sello bba condensado
28	16.05.2018	2	6	94765468	CA02-272-JAF-PCV302-21305	106	Reparación y cambio bba 272-21305
29	24.05.2018	2	6	94588273	CA02-272-JAF-PCV302-21306	106	Reparación y cambio bba 272-21305
30	13.06.2018	2	6	94751566	CA02-272-JAF-PCV302-21305	106	PERITAJE BOMBA 272-21305
31	20.06.2018	2	6	94762694	CA02-272-JAF-PCV302-21306	106	REP. Y CBIO A PRENSA ESTOPA BBA 272-2130

3-3-1Intervenciones de mantenimiento en equipo 272-21-305

Tabla 3- 1: Historial de fallas en equipo 272-21-305.

Fecha	Orden	PT R	Texto breve			Tipo ord.	Status sistema
06-05-2015	93777677	124	CAMBIO	SELLO		ZAM	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
09-06-2015	93815006	124	CAMBIO DE	SELLO		ZAM	CERR NOTP IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
26-08-2015	93907416	106	CAMBIO	SELLO		ZRE	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
30-12-2015	94022091	124	REPARACIÓN	BOMBA		ZRE	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
04-01-2016	94023208	106	PERITAJE A	BOMBA		ZRE	CERR NOTP CEST EDET KKMP NLIQ PREC
26-08-2016	94182223	124	INSTALAR DRENAJES			ZAM	CERR NOTP IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
06-10-2016	94283879	124	REALIZAR REPARACION			ZRE	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
			A CJTO. ROTATORIO 2				

06-10-2016	94281689	124	Peritaje bomba de condensado 272-21305	ZRE	CERR NOTI CEST FENA KKMP NLIQ PREC
04-01-2017	94322526	124	Fuga condensado sello mecánico 272-21305	ZAM	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
29-03-2017	94451719	124	Reparar bomba 272-21305	ZRE	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
13-07-2017	94544036	124	Cambio bomba 272-21305	ZAM	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
15-11-2017	94650081	124	Cambio bomba 272-21305	ZAM	CTEC NOTI CEST MACO MOVMM NLIQ PREC
29-11-2017	94670449	124	fuga por voluta bomba condensado 305	ZAM	CTEC NOTI KKMP NLIQ PREC
02-03-2018	94758754	124	272-21305: Cambio sello mecánico bomba	ZAM	CTEC NOTI MOVMM NLIQ PREC
14-03-2018	94768006	124	272-21305: Cambio sello mecánico bomba	ZAM	CTEC NOTI KKMP MOVMM NLIQ PREC
14-03-2018	94762695	106	Peritaje bomba 272-21305	ZRE	CTEC NOTI CEST KKMP NLIQ PREC
26-03-2018	94770804	124	272-21305: Cambiar sello bomba condensado	ZAM	CTEC NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
16-05-2018	94765468	106	Reparación bomba 272-21305	ZRE	CTEC NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
19-06-2018	94751566	106	PERITAJE BOMBA 272-21305	ZRE	CTEC NOTI CEST FENA KKMP MMGO NLIQ PREC

3-3-2 Intervenciones de mantenimiento en equipo 272-21-306

Tabla 3- 2: Historial de fallas en equipo 272-21-306

Fecha	OT	PTR	Actividad	Tipo	Status sistema ord
05-02-2015	93722449	124	CAMBIO SELLO MECANICO BBA 306	ZAM	CERR NOTP IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
29-08-2016	94142965	124	CAMBIO SELLO MECANICO BBA 306	ZAM	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
15-06-2017	94149778	108	Cambio Válvula succión bomba 272*21306.	ZAM	CERR IMPR FMAT NLIQ PREC
18-08-2017	94580435	106	Reparación bomba N°2 tk colector 272-21306	ZRE	CERR NOTI IMPR MACO MOVMM NLIQ PREC
22-08-2017	94577266	124	Rutas con personal de Saggitas	ZAM	CERR NOTI CEST KKMP NLIQ PREC

07-09-2017	94571499	124	peritaje bomba 272-21306	ZRE	CERR NOTI CEST KKMP MMGO MOVN NLIQ PREC
07-11-2017	94575270	124	Cambio bomba 272-21306 por falla SM	ZAM	CERR NOTI IMPR KKMP NLIQ PREC
07-02-2018	94734141	124	Cambio bomba 272-21306	ZAM	CTEC NOTI IMPR MACO MOVN NLIQ PREC
16-03-2018	94768777	124	272-21306: Cambio sello mecánico	ZAM	CTEC NOTI CEST KKMP NLIQ PREC
22-06-2018	94762694	106	REP. Y CBIO A PRENSA ESTOPA BBA 272-2130	ZRE	CTEC NOTI CEST MACO MMGO MOVN NLIQ PREC

3-4 COSTOS POR FALLAS.

Los costos se pueden dividir en dos grupos, uno por el lado de mantenimiento y otro por el lado de producción. Dos grandes departamentos que dependen uno del otro, pero que afecta de la misma manera las fallas de los equipos.

Para el departamento de mantención esta falla comenzó a subir considerablemente los costos de mantención. En la siguiente tabla se muestra los costos reales de mantenimiento en las dos bombas del estanque de condensado de máquinas línea 2.

3-4-1 Costos por fallas en equipo 272-21-305.

Tabla 3- 3: Costos por mantenimiento en equipo 272-21-305.

Fecha	OT	PTR	Texto breve	Tipo orden	Total (plan)	Total (real)	
06-05-2015	93777677	124	CAMBIO SELLO MECANICO 305	ZAM	440.041	440.061	
09-06-2015	93815006	124	CAMBIO DE SELLO MECANICO 305	ZAM	260.116	403.982	
26-08-2015	93907416	106	CAMBIO SELLO MECANICO 305	ZRE	598.528	614.109	
30-12-2015	94022091	124	REPARACIÓN BOMBA 272-21305	ZRE	1.800.154	1.897.503	
04-01-2016	94023208	106	PERITAJE A BOMBA 272-21305	ZRE	0	96	
26-08-2016	94182223	124	INSTALAR DRENAJES EN BBAS DE CONDENSADO	ZAM	837.316	552.346	
06-10-2016	94283879	124	REALIZAR REPARACION A CJTO. ROTATORIO 2	ZRE	4.033.394	4.033.418	
06-10-2016	94281689	124	Peritaje bomba de condensado 272-21305	ZRE	84	114	
04-01-2017	94322526	124	Fuga condensado sello mecánico 272-21305	ZAM	922.372	922.387	
29-03-2017	94451719	124	Reparar bomba 272-21305	ZRE	635.203	635.106	
13-07-2017	94544036	124	Cambio bomba 272-21305	ZAM	461.260	461.278	
15-11-2017	94650081	124	Cambio bomba 272-21305	ZAM	461.267	461.267	
29-11-2017	94670449	124	fuga por voluta bomba condensado 305	ZAM	49	49	

02-03-2018	94758754	124	272-21305: Cambio sello mecánico bomba	ZAM	49	505.897	
14-03-2018	94768006	124	272-21305: Cambio sello mecánico bomba	ZAM	112	953.242	
14-03-2018	94762695	106	Peritaje bomba 272-21305	ZRE	42	56	
26-03-2018	94770804	124	272-21305: Cambiar sello bomba condensado	ZAM	598.633	603.992	
16-05-2018	94765468	106	Reparación bomba 272-21305	ZRE	1.454.790	1.610.697	
19-06-2018	94751566	106	PERITAJE BOMBA 272-21305	ZRE	112	84	
					12.503.522	14.095.684	

3-4-2 Costos por fallas en equipo 271-21-306

Tabla 3- 4: Costos por mantenimiento en equipo 272-21-306.

Fecha	OT	PTR	Texto breve	Tipo Orden	Total (plan)	Total Gen.(real)
05-02-2015	93722449	124	CAMBIO SELLO MECANICO BBA 306	ZAM	439.985	439.898
29-08-2016	94142965	124	CAMBIO SELLO MECANICO BBA 306	ZAM	922.378	922.378
15-06-2017	94149778	108	Cambio Válvula succión bomba 272*21306.	ZAM	588.281	0
18-08-2017	94580435	106	Reparación bomba N°2 tk colectivo 272-21306	ZRE	2.382.033	2.382.062
22-08-2017	94577266	124	Rutas con personal de Saggitas	ZAM	56	0
07-09-2017	94571499	124	peritaje bomba 272-21306	ZRE	28	15.501
07-11-2017	94575270	124	Cambio bomba 272-21306 por falla SM	ZAM	56	49
07-02-2018	94734141	124	Cambio bomba 272-21306	ZAM	102.216	212.667
16-03-2018	94768777	124	272-21306: Cambio sello mecánico	ZAM	84	91
22-06-2018	94762694	106	REP. Y CBIO A PRENSA ESTOPA BBA 272-2130	ZRE	641.252	402.509
					5.076.369	4.375.155

3-4-3 Gráfico de fallas por años.

Gráfico 3- 1: Intervención por mantenimiento año 2015

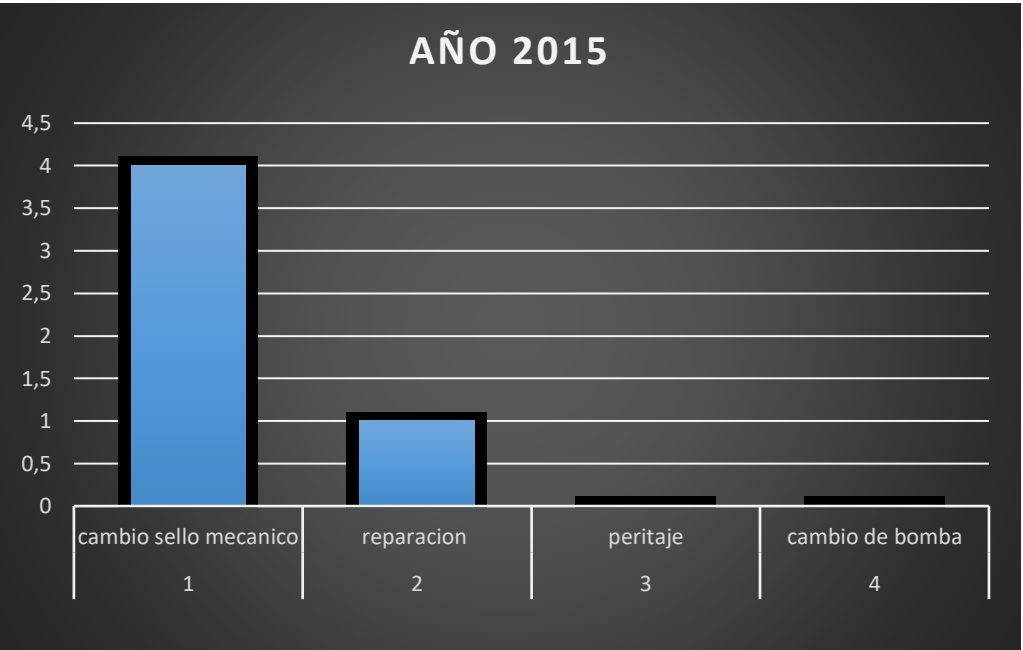


Gráfico 3- 2: Intervención por mantenimiento año 2016.

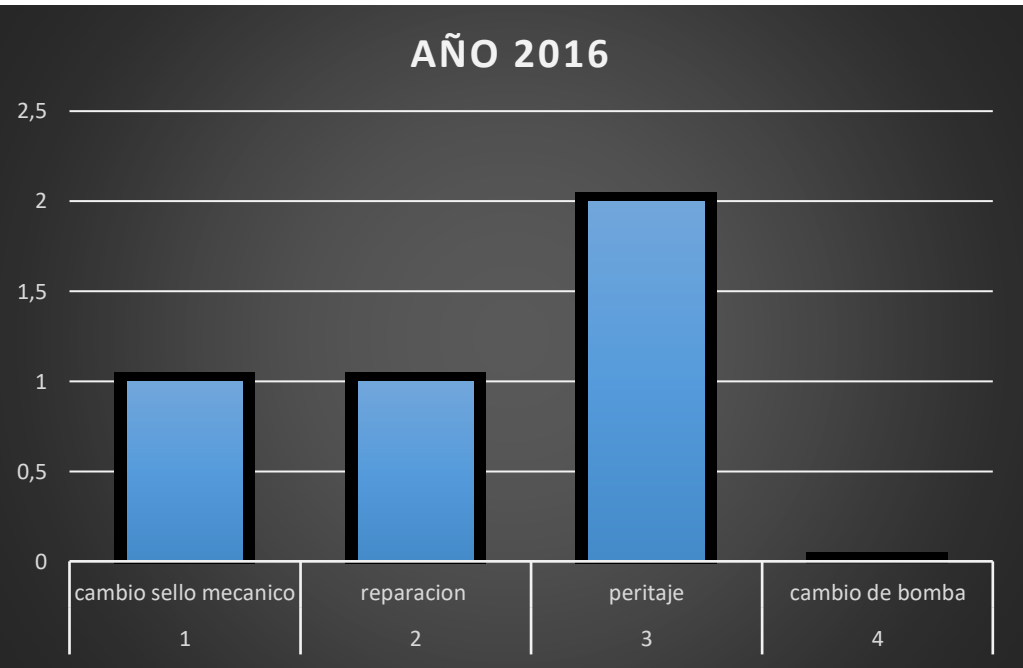


Gráfico 3- 3: Intervención por mantenimiento año 2017.

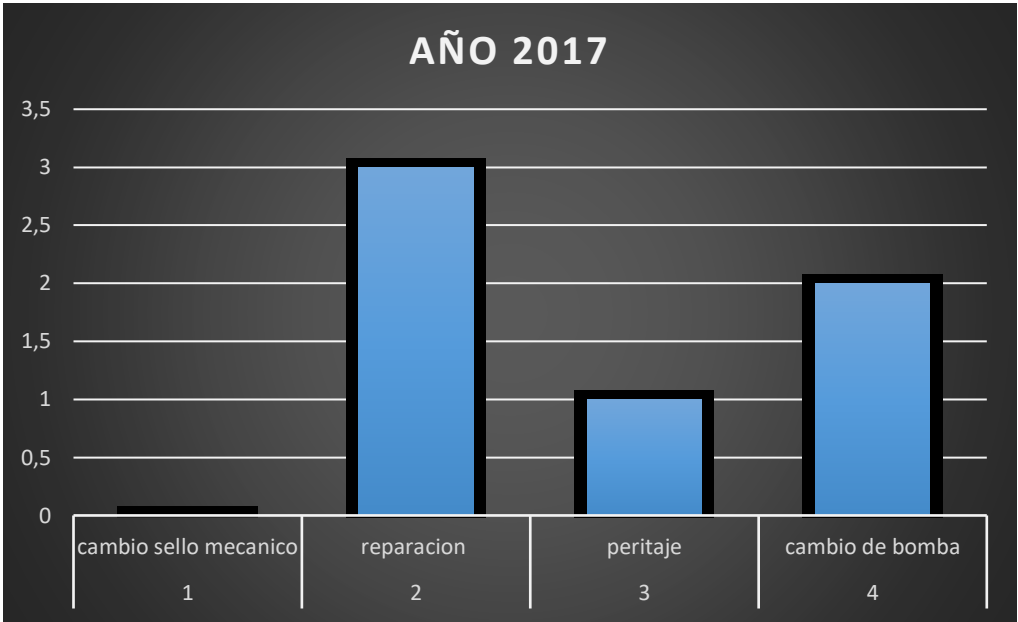
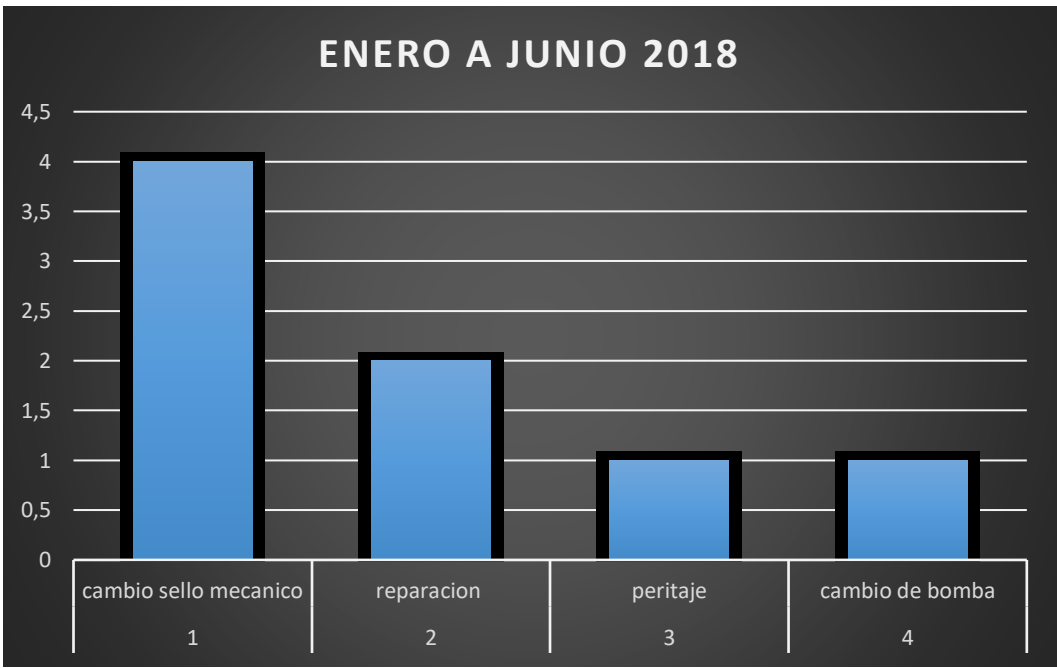


Gráfico 3- 4: Intervención por mantenimiento de enero a junio de 2018.



CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA AL PROBLEMA.

4-1 PROPUESTA DE MEJORA.

Una serie de estudios, reuniones, conversaciones, y sobre todo la experiencia del personal de mantención central específicamente maestranza, se determinó modificar el sistema de sello original de la bomba, ya que en el último tiempo el proceso de producción de la planta no era estable y los índices de fallas en los equipos aumentaron considerablemente. Esto afectaba económicamente a la planta en general y el todo el personal de mantenimiento, que debe atender estos casos de emergencias, por lo que se tomó la decisión de utilizar un sistema de sello más económico y duradero. El resultado fue implementar sistema de sello con empaquetadura y prensa estopa el cual prometía buenos resultados, considerando las condiciones de trabajo de la bomba y el uso de la misma.

Algunas de las razones que llevo a tomar esta propuesta fue analizar las ventajas y desventajas de volver al sistema de sello de empaquetadura y prensa estopa.

4-1-1 Ventajas.

- ✓ Costo de mantención bajos
- ✓ Mayor disponibilidad del equipo.
- ✓ Utilización de recursos menores.
- ✓ Aumento de disponibilidad personal de mantención
- ✓ Mayor resistencia frente a exigencias de trabajo.

4-1-2 Desventajas

- ✓ Fabricación de piezas
- ✓ Modificación componentes de la bomba
- ✓ Costo económico.

4-2 ESTUDIO TÉCNICO DE COMPONENTES.

Para llevar a cabo esta propuesta fue necesario realizar un estudio técnico el cual nos permitiera realizar un trabajo seguro y de calidad, que nos ayude a cumplir los objetivos propuestos. Unos de los estudios fueron:

4-2-1 Fabricar un anillo fondo de caja

Se diseña un anillo fondo de caja tipo laberinto en bronce fosfórico, con claro radial de 0.07mm (7 centésimas, siendo el claro radial normal de un anillo de fondo 0,5mm, se fabrica de esa medida para que pueda soportar mayor presión).

- **Bronce fosfórico al plomo SAE 64:** este material tiene muy buenas propiedades físicas para trabajos exigentes de altas velocidad y presión. Su alto contenido de plomo le otorga una excelente antifricción.



Figura 4- 1: anillo fondo de caja fabricado en taller de máquinas y herramientas de maestranza Celulosa Arauco.

Fuente: Recopilación de imágenes propias.

4-2-4 Analizar una empaquetadura compatible al trabajo.

Para esto fue necesario recopilar información a través de nuestros proveedores, explicando la situación actual de este equipo y todos los factores que puedan afectar el trabajo de la bomba en estudio. Por esta razón se recomendó instalar “empaquetadura en trenza marca Slade estilo 3300 G”. Este tipo de empaquetadura esta diseñada con grafito y reforzada con fibras de carbón de alta resistencia estructural. A través de esta tecnología son muchos los beneficios que se pueden obtener.

- ✓ No requiere agua de lavado.
- ✓ Reduce el consumo de amperaje
- ✓ Rendimiento 6 a 1 sobre empaquetaduras normales.
- ✓ Virtualmente no hay desgaste en el eje
- ✓ Sella lodos abrasivos
- ✓ Reduce los costos de mano de obra
- ✓ Lubricación por goteo 8 a 10 gotas/min
- ✓ Lubricación mediante fluido de impulsión
- ✓ Elimina el agua de sello
- ✓ A prueba de incendios
- ✓ A prueba de emisiones.



Figura 4- 2: Empaquetadura Slade 330g.

Fuente: www.Promather.cl

4-2-3 Camisa.

Para implementar el uso de la camisa se selecciona un repuesto original de las bombas sulzer app3, garantizando seguridad y calidad en nuestra implementación.

Esta camisa es de material de acero inoxidable y se encuentra codificada en planta horcones, esta camisa se utiliza como repuesto para el modelo de sulzer App3 compatible para distintas aplicaciones.



Figura 4- 3: Camisa de desgaste sulzer app3.

Fuente: Recopilación de datos propios.



Figura 4- 4: Camisa de desgaste con anillo de teflón.

Fuente: Recopilación de imágenes propias.

4-2-4 Fabricación de prensa estopa.

Para la fabricación de la prensa estopa se utilizó un material de acero inoxidable 306L, que proporciona una mayor resistencia a la corrosión en general y soporta temperaturas de trabajo elevadas.

4-3 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE EMPAQUETADURA SALDE 3300G.

Para asegurar un óptimo funcionamiento de la empaquetadura Slade 3300g es necesario realizar una correcta instalación del producto, ya que, un error puede repercutir en la actividad propiamente tal y además en las mantenciones futuras. Esto puede provocar un sellado incorrecto del fluido y disminuyendo la vida útil de los componentes de la bomba.



Figura 4- 5: Empaquetadura de grafito reforzada con fibras de carbono Slade 330g.

Fuente: www.Promather.cl

4-3-1 Procedimiento.

1. Reunir las herramientas necesarias para realizar el montaje de empaquetadura (cortador de empaquetadura con elemento cortante de plástico endurecido) y los elementos de protección básicos.
2. Limpiar camisa en zona de empaquetadura.
3. Realizar mediciones en zona donde se aplicará empaquetadura.
 - a. Profundidad 50mm = 4 anillos
 - b. $\varnothing$ interior caja de empaquetadura= 80 mm
 - c. Camisa= 60mm
4. Realizar calculo para elección de empaquetadura.
5. Elección de empaquetadura (Tamaño de empaquetadura= $\varnothing$ int caja - $\varnothing$ eje /2) T. emp= $(80\text{mm} - 60\text{mm} /2) = \text{T. emp} = 10 \text{ mm} = 3/8''$
6. Determinar largo de empaquetadura a utilizar. (Formula: $P= 3,14 \times \varnothing$ ext camisa)
7. Con los datos de las dimensiones de la empaquetadura a aplicar proceder a cortar empaquetadura. Los cortes deben ser a 45° como se muestra en la figura.

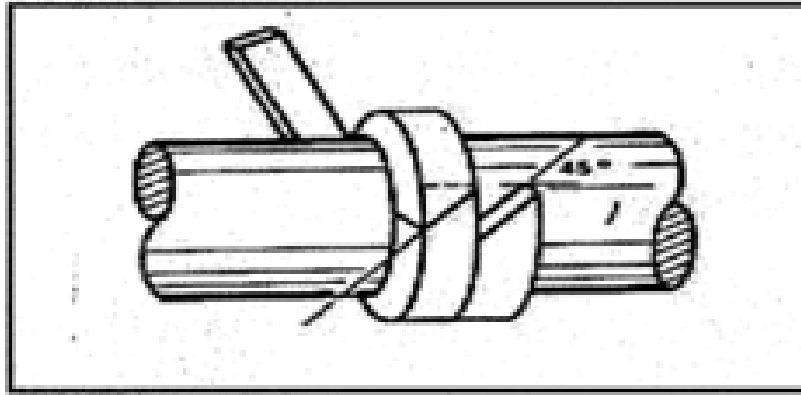


Figura 4- 6: Esquema de montaje y corte de empaquetadura.

Fuente: www.promather.cl

8. Instalar empaquetaduras en camisa y caja, con una posición con diferencia de 90°.

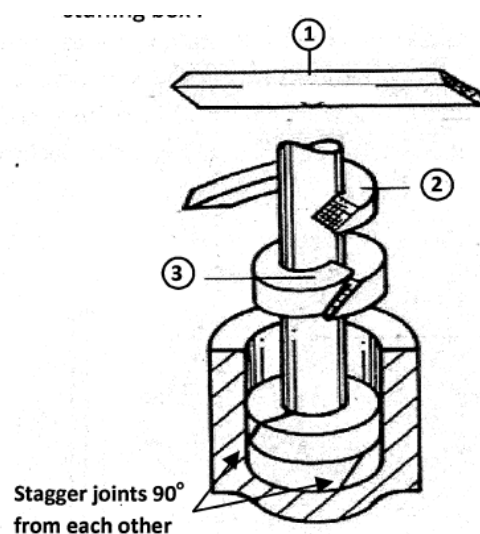


Figura 4- 7: Esquema en corte de caja empaquetaduras y sus posiciones.

Fuente: www.promather.cl

9. Empujar hasta el fondo las empaquetaduras instaladas.
10. Apretar la prensa estopa con el máximo de fuerza que pueda para acomodar los anillos de empaquetaduras.
11. Girar levemente el eje para cubrir la camisa con grafito.
12. Verificar que los componentes estén apretados y alineados.

4-4 IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAMIENTO.

La implementación del mantenimiento se llevó a cabo el día 22 de junio del año 2018, y hasta la fecha solo ha registrado una intervención menor. Se apretó la prensa estopa de la empaquetadura por tenía una leve filtración. Esta implementación a dado muy buenos resultados los cuales están a la vista por los gastos en mantenimientos que han sido los menores.



Fuente: Recopilación de imágenes propias.

Figura 4-5: Bomba sulzer app3 filtrando condensado (liquido de impulsión) por empaquetadura y prensa estopa, 80 gotas por minutos.



Figura 4- 8: Reapriete de prensa estopa durante una inspección visual al equipo.

Fuente: Recopilación de imágenes propias.

CAPÍTULO 5 EVALUACION ECONOMICA DEL ESTUDIO DE PROPUESTA.

5-1 COSTOS POR DETENCIÓN DE ÁREA.

El área de máquinas corresponde al proceso final de obtención de celulosa y es un área critica, ya que, todo el flujo productivo pasa por estos equipos, en donde el mantenimiento preventivo cumple una función importante para evitar detenciones del proceso, considerando que en el momento que el área de máquinas presenta un desperfecto repercutirá en los procesos anteriores, teniendo como consecuencia la detención del proceso productivo.

A continuación, se muestra una tabla con los valores de pulpa de celulosa durante los últimos 6 meses.

Tabla 5- 1: Valor de pulpa de celulosa mensual.

Pulpa de celulosa precio mensual – Dólares americanos por tonelada métrica.			
Mes	Precio US\$	Tasa de cambio	Moneda nacional
Jul-18	USD 875		\$ 596.050
Ago-18	USD 875	0,00%	\$ 596.050
Sep-18	USD 875	0,00%	\$ 596.050
Oct-18	USD 875	0,00%	\$ 596.050
Nov-18	USD 875	0,00%	\$ 596.050
Dic-18	USD 875	0,00%	\$ 596.050

Los índices de producción en celulosa Arauco planta horcones se dividen en las dos líneas de producción, siendo los valores reales de producción diarios los siguientes:

- ✓ Línea 1: 1535 Ton
- ✓ Línea 2: 845 Ton

En conclusión, el valor por celulosa producida en producción normal por 3 turnos de 24 hrs en total es:

Línea 1: USD \$739.375

Línea 2: USD \$ 1.343.125

5-2 COSTOS POR MANTENCIÓN DE EQUIPO 305 Y 306.

La mantención de estas bombas puede variar según el tipo de falla que presentan, aun así, cuando se realiza una reparación de estos equipos se cambia los componentes más críticos para asegurar un buen mantenimiento y mayor disponibilidad del equipo. Estos componentes críticos son: Rodamientos, sello mecánico y reten de aceite, que siempre que se realiza una mantención se cambian cual sea su estado. Los demás componentes se cambian dependiendo el estado en que se encuentran, como impulsor, eje, arandelas, tuercas, caja de rodaje, perno fijación impulsor, pernos hexagonales, tuercas, etc.

Los costos de mantención que no estaban dentro del plan de mantenimiento del equipo se presentaban cuando ocurría el problema descrito anteriormente, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 5- 2: Costos por cambio de sello en equipo 305 y 306.

Fecha	OT	PTR	Texto breve	Clase orden	Total (plan)	Total (real)
20150429	93777677	124	CAMBIO SELLO MECANICO 305	ZAM	\$ 440.041	\$ 440.061
20150527	93815006	124	CAMBIO DE SELLO MECANICO 305	ZAM	\$ 260.116	\$ 403.982
20150826	93907416	106	CAMBIO SELLO MECANICO	ZRE	\$ 598.528	\$ 614.109
20180302	94758754	124	272-21305: Cambio sello mecánico bomba	ZAM	\$ 49	\$ 505.897
20180313	94768006	124	272-21305: Cambio sello mecánico bomba	ZAM	\$112	\$ 953.242
20180322	94770804	124	272-21305: Cambiar sello bomba condensado	ZAM	\$598.633	\$ 603.992
20150205	93722449	124	CAMBIO SELLO MECANICO BBA 306	ZAM	\$439.985	\$ 439.898
20160829	94142965	124	CAMBIO SELLO MECANICO BBA 306	ZAM	\$922.378	\$ 922.378

20180316	94768777	124	272-21306: Cambio sello mecánico	ZAM	\$84	\$ 918.337
-----------------	----------	-----	--	-----	------	------------

Total mantenimiento por problema en sello mecánico entre año 2015 2018 equipo 305 y 306.	\$ 2.981.468
---	---------------------

5-3 COSTO DE COMPONENTES EN MANTENIMIENTO.

Tabla 5- 3: Costo de componentes de bomba sulzer app3.

Costos de componentes bomba sulzer APP3				
Ítem	componentes	cantid ad	Valor.	Total
1	Rodamientos lado acoplamiento 7312 BEC BJ	2	\$ 45.019	\$ 90.038
2	Rodamiento lado impulsor NUP-311	1	\$ 30.387	\$ 30.387
3	O ´ ring	2	\$ 1.082	\$ 2.164
4	Sello mecánico	1	\$ 1.290.000	\$ 1.290.000
5	Impulsor cerrado	1	\$ 420.600	\$ 420.600
6	Sello laberinto	1	\$ 120.780	\$ 120.780
7	Anillo de desgaste impulsor	1	\$15.820	\$15.820
8	Arandela fijación Mb-12	1	\$ 8.240	\$ 8.240
9	Eje bomba. App3	1	\$ 714.000	\$ 714.000
10	Carcaza caja rodaje app3	1	\$ 753.000	\$ 753.000
11	Deflector d. 55mm.	2	\$ 25.274	\$ 50.548
Total componentes				\$ 3.495.577

5-4 ANALISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA.

Tabla 5- 4: Descripción de compontes, material y costos de implementación.

Componente	Material	Valor económico.
Anillo fondo de caja	Bronce fosfórico	\$ 120.780
Empaquetadura slade 3300	Grafito con fibras de vidrio	\$ 1.566.300
Camisa Sulzer APP3	Acero inoxidable GR SS2562/M 304	\$ 320.000
Prensa estopa	Acero inoxidable 316L	\$ 281.729
Total implementación		\$ 2.288.809

Tabla 5- 5: Análisis y evaluación de sistema de sello.

Estudio económico sello mecánico versus prensa estopa y empaquetadura				
Sello mecánico			Empaquetadura	
Duración sello mecánico	1 semana		Duración empaquetadura	8 meses
Sello mecánico por mes	3		Empaquetadura por mes	0
Valor sello mecánico	\$ 1.290.000		Valor empaquetadura (caja 14 m)	\$ 1.566.300
Costo por mes	\$ 3.870.000		Costo por mes (4 anillos de 0,2m)	\$ 89.502
Costo por 8 meses	\$ 30.970.000		Costo empaque 8 meses	\$ 89.502

Con la implementación de empaquetadura y prensa estopa en las bombas sulzer App3 del área de proceso de máquinas, el costo de mantenimiento de las bombas en estudio 305 y 306 obtuvo un ahorro de un “92,61%”. Considerando el costo de la implementación completa de esta propuesta, con una proyección de 8 meses de duración sin presentar intervenciones en el equipo.

Gráfico 5- 1: Evaluación económica en 8 meses.

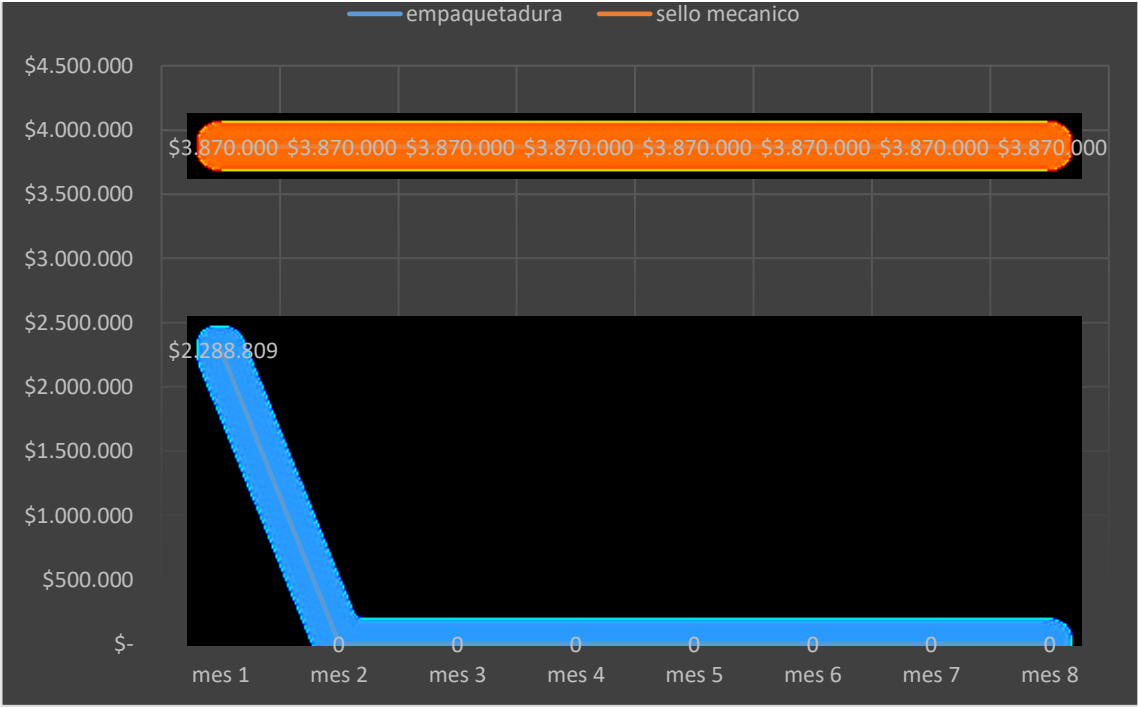
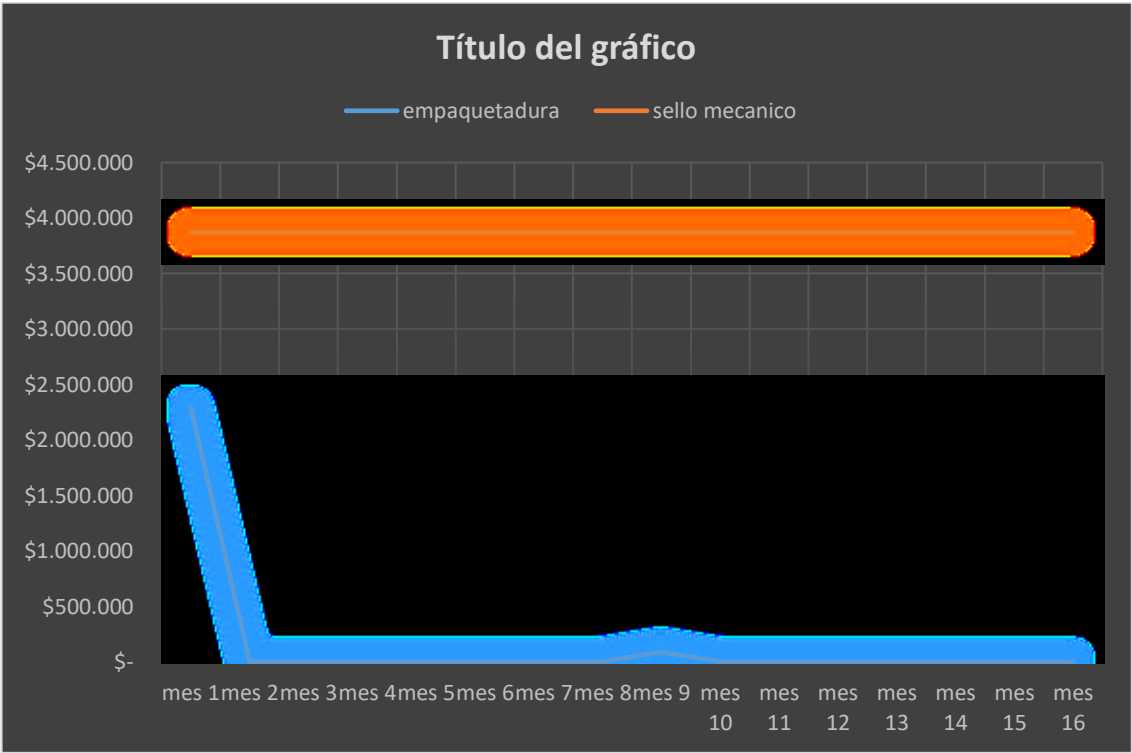


Gráfico 5- 2: Evaluación económica en 16 meses.



Al noveno mes después de la implementación es recomendado por los proveedores de la empaquetadura, realizar una inspección y de acuerdo a eso determinar el cambio de empaquetadura. Para tener un sistema de sellado optimo se recomienda cambiar

empaquetadura, por lo que el costo de mantención se elevaría un 2,31% tomando encuenta el costo de mantención que tenía con la utilización de sello mecánico.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Valor de pulpa de celulosa: web: www.indexmundi.com
- ✓ Información proceso obtención de celulosa: Recopilación de datos y experiencias propias por el ejercicio de mi trabajo.
- ✓ Datos técnicos bomba sulzer APP3: Departamento técnico celulosa Arauco, planta horcones.
- ✓ Datos económicos de mantenciones: SAP celulosa Arauco, planta horcones
- ✓ Historial de fallas: Bitácora de mantenimiento en SAP celulosa Arauco planta horcones

ANEXOS.

ANEXO A.

- ✓ Anexos/ppt superintendencia de procesos.

ANEXO B.

Catalogo Bomba sulzer APP3.

CONCLUSIÓN.

En este estudio de propuesta de mejora en sistema de sello de una bomba centrífuga sulzer modelo app3, se logró identificar claramente el proceso productivo de la obtención de pulpa de celulosa y así entender la importancia de un buen mantenimiento para tener un flujo productivo continuo. Además, conocer el principio de funcionamiento de una bomba centrífuga, sus componentes y el funcionamiento de cada uno. En función a estos datos de operación se pudo proponer una mejora para la bomba del estanque colector de condensado del área de máquinas, donde trabajaba originalmente con un sello mecánico doble de 50mm, el que presento en los últimos meses reiteradas fallas y alto costo de mantención. Producto de esto se analizó poder cambiar el sello mecánico por prensa estopa y empaquetadura, estudiando cada uno de los nuevos componentes en base a experiencias y nuevos productos utilizados en las industrias.

La implementación de esta propuesta comprende a un 7,39% del gasto mensual por el mantenimiento de esta bomba, el cual en una proyección de 8 meses el ahorro es de un 99,9% ya que no necesita grandes intervenciones solo monitoreo visual.

Los resultados de esta propuesta son claros y factibles, por lo que esta propuesta se implementó el 22 de junio del año 2018 donde no ha presentado fallas hasta la fecha, solamente se hizo un reapriete a la prensa estopa porque estaba filtrando agua por la empaquetadura.

Esta implementación obtuvo muy buenos resultados económicos y también buenos resultados en materia de medio ambiente, al reducir el consumo de agua, ya que esta empaquetadura no necesita un sistema de agua sello para su refrigeración, porque es auto lubricada por el mismo liquido de impulsión y a su vez se reduce la contaminación de los equipos cercanos por corrosión.