

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

**PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DE LA MESA DE
ALIMENTACIÓN EN EL ÁREA DE PREPARACIÓN DE MADERA DE UNA PLANTA
DE CELULOSA EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniera en Mantenimiento Industrial.

Alumno:

Carla Andrea Sandoval Guiñez.

Profesor Guía:

Guillermo Felipe Larson Muñoz.

Profesor correferente:

Diego Fernando Soto Martínez.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DE LA MESA DE ALIMENTACIÓN EN EL ÁREA DE PREPARACIÓN DE MADERA DE UNA PLANTA DE CELULOSA EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO

Nombre del candidato(a): Carla Andrea Sandoval Guíñez

Carrera / Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial

Campus: Concepción Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Guillermo Larson Muñoz, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- ☒ He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
☒ El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

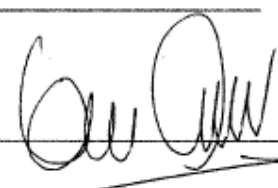
☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

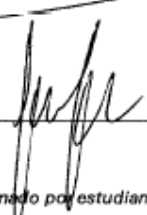
Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 09/03/26

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 09/03/26

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA.

Quiero dedicar este trabajo principalmente a mis padres, quienes con su esfuerzo, apoyo y valores me han acompañado a lo largo de toda mi formación. Gracias a su ejemplo de perseverancia y sacrificio fue posible avanzar y alcanzar esta importante meta profesional.

A mi familia, por su constante apoyo, confianza y palabras de ánimo durante cada etapa de este proceso académico.

De manera muy especial quiero dedicar también este logro a mi tía y primas, quienes me acogieron en su hogar para que pudiera continuar mis estudios. Su generosidad, apoyo y cariño fueron fundamentales para que pudiera seguir adelante y culminar mi carrera.

Este trabajo representa no solo un logro personal, sino también el resultado del apoyo y la confianza de todas las personas que estuvieron presentes durante este camino.

in memoriam.

En memoria de mi padrino José Luis Sandoval, mi tío Ramón Trujillo y de mi primo Julián Guiñez. Quienes, con su cariño, enseñanzas y recuerdos, permanecen siempre presentes.

Este trabajo también honra su memoria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que contribuyeron de distintas formas al desarrollo y finalización de este trabajo.

En primer lugar, expreso mi especial agradecimiento a Don Eduardo Candía, quien brindó su apoyo mediante la entrega de información y datos fundamentales para el desarrollo de la propuesta presentada en este estudio.

Asimismo, agradezco al profesor Diego Soto, cuya disposición y conocimientos fueron de gran ayuda en la elaboración de los dibujos técnicos incluidos en este informe.

Finalmente, agradezco al profesor guía por su orientación, apoyo y acompañamiento durante todo el periodo de desarrollo de este trabajo, aportando con sus conocimientos y experiencia para la correcta realización de esta investigación.

RESUMEN

El documento presenta una propuesta para mejorar la confiabilidad de la mesa de alimentación en el área de preparación madera de una planta de celulosa en la región del Biobío. El problema principal consiste en que el sistema actual no distingue entre la madera y contaminantes abrasivos, los cuales son transportados hacia el descortezador, provocando desgaste prematuro de componentes, atascos, detenciones no programadas, pérdida de eficiencia del proceso y riesgos para los operadores.

Para poder abordar esta problemática, el trabajo propone diseñar un sistema de filtrado en la mesa de alimentación que permita retener las impurezas antes de que ingresen al descortezador. El estudio considera el diagnóstico del proceso, el análisis de los efectos tribológicos de los contaminantes, la evaluación de riesgos mediante AMEF y el diseño técnico del sistema, además de analizar su factibilidad técnica y económica.

La solución planteada consiste en la instalación de rodillos filtrantes en la parte frontal de la mesa de alimentación, permitiendo que los contaminantes caigan a una tolva de recolección. Este sistema se acciona mediante una cadena secundaria conectada al eje de arrastre existente. Con su implementación se espera reducir atascos, disminuir el desgaste de componentes, mejorar la continuidad operativa y aumentar la seguridad del personal.

Desde el punto de vista económico, el proyecto resulta viable, ya que las reparaciones actuales generan costos anuales entre \$18.000.000 y \$24.000.000, mientras que la inversión estimada del sistema oscila entre \$1.000.000 y \$2.000.000, justificándose su implementación mediante el método de recuperación Payback.

En conclusión, la propuesta de filtrado representa una mejora técnica que contribuye a aumentar la confiabilidad del proceso, reducir costos operacionales y mejorar las condiciones de seguridad en la operación del descortezador.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general:.....	2
Objetivos específicos:	2
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. PREPARACIÓN DE MADERA EN LA INDUSTRIA CELULOSA.....	6
2.2. MESA DE ALIMENTACIÓN.	6
2.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	6
2.3.1. PRINCIPIO DE RECEPCIÓN.....	6
2.3.2. PRINCIPIO DE TRANSPORTE MECÁNICO.	7
2.3.3. PRINCIPIO DE CONTROL DE FLUJO.	7
2.4. PRINCIPIOS TRIBOLÓGICOS APLICADOS AL DESGASTE DE COMPONENTES EN ENTORNOS INDUSTRIALES.	7
2.4.1. MECANISMOS TRIBOLÓGICOS PREDOMINANTES EN LA DEGRADACIÓN FUNCIONAL DEL DESCORTEZADOR.	8
2.5. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).	8
2.6. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF).	9
2.7. IMPACTO DE LOS CONTAMINANTES EN PROCESOS INDUSTRIALES.	9
2.7.1. TIPOS COMUNES DE CONTAMINANTES INDUSTRIALES.	9
2.8. SOLUCIONES INDUSTRIALES COMUNES PARA EL CONTROL DE CONTAMINANTES.	9
2.9. ISO 2491-B.	10
2.10. CORTADORA LÁSER CNC.	10
2.11. ARCHIVO DXF.	10
2.12. ANIDACIÓN INDUSTRIAL.....	11
2.13. BENEFICIOS DEL SOFTWARE DE ANIDAMIENTO.	11
2.14. PAYBACK.	12
2.14.1 CÁLCULO DE PAYBACK.	12
2.14.2 DESVENTAJA DEL PAYBACK.....	12
CAPÍTULO III: DISEÑO Y SOLUCIÓN	13
3.1. EXPLICACIÓN GENERAL DE SOLUCIÓN A PROBLEMÁTICA.	14
3.2. FUNCIONAMIENTO DE LA MESA DE ALIMENTACIÓN.....	15
3.3. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE FILTRADO.	16
3.3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO V/S MESA NORMAL.	17
3.3.2. SEGURIDAD PARA EL PERSONAL.	17
CAPÍTULO IV: COSTO Y PRESUPUESTO	19

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN SIN SISTEMA DE FILTRADO..... 20

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO SIN SISTEMA DE FILTRADO. 20

4.1.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS MENSUALES Y ANUALES. 20

4.1.3. PROYECCIÓN ECONÓMICA A MEDIANO PLAZO. 21

4.1.4. PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN POR DETENCIONES. 21

4.1.5. SÍNTESIS ECONÓMICA DEL ESCENARIO SIN SISTEMA DE FILTRADO. 22

4.1.6. CONCLUSIÓN DE ESCENARIO SIN SISTEMA DE FILTRADO..... 22

4.2. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO..... 22

4.2.1. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO. 22

4.2.2. EFICIENCIA DE ANIDADO Y MERMA DEL MATERIAL..... 22

4.2.3. COMPARACIÓN ECONÓMICA Y PERÍODO DE RETORNO. 23

CONCLUSIÓN..... 24

BIBLIOGRAFÍA 25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso completo de la línea de proceso en Celulosa Arauco.	6
Figura 2	Disciplinas involucradas en la tribología.	7
Figura 3	Cortadora láser maestranza Yungay	10
Figura 4	Anidación de la propuesta del sistema de filtrado.	11
Figura 5	Rotura de carcaza de descortezador y pérdida de peines.	14
Figura 6	Prueba de sistema de filtrado.	14
Figura 7	Control y operación de la mesa de alimentación.	15
Figura 8	Prototipo del sistema de filtrado implementado en la mesa de alimentación.	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ejemplo aplicado de un RCM a un descortezador tipo rotor hidráulico.	8
Tabla 2	Distintos tipos de contaminantes dentro del sistema de descortezado.	9
Tabla 3	Posibles soluciones referente al tipo y origen de un contaminante.	9
Tabla 4	Comparación técnica: Con filtro vs sin filtro.	17
Tabla 5	Estimación de costos por eventos.	20
Tabla 6	Proyección técnica entre 1, 3 y 5 años.	21
Tabla 7	Costos anuales estimados sin el sistema de filtrado.	22
Tabla 8	Payback respecto al gasto promedio actual de \$1.750.000/mes.	23

ÍNDICE DE FORMULAS

Formula 1	$Payback\ (Meses) = \frac{Inversión\ inicial}{Ahorro\ mensual}$	12
Formula 2	$Payback = a + (i0 - b)/Ft$	12
Formula 3	$P_{Prod,mes} = n_{eventos} \times P_{evento}$	21
Formula 4	$C_{total,mes} = C_{rep,mes} + P_{prod,mes}$	22
Formula 5	$n = \frac{A_{piezas\ útiles}}{A_{planchas}} \times 100 =$	23

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

A	Amperio o Amperaje
AMEF	Análisis del Modo y Efecto de Fallas.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CNC	Control Numérico por Computadora.
DXF	Drawing Exchange Format (Formato de archivo de datos CAD vectorial).
HMI	Human-Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina).
Hz	Unidad de medida de frecuencia del sistema internacional.
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable).
RCM	Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).
<i>a</i>	Es el período anterior a la recuperación de la inversión.
<i>b</i>	Es la suma de todos los flujos de caja hasta el periodo <i>a</i> .
<i>i0</i>	Inversión inicial.
<i>Ft</i>	Valor flujo de caja del periodo en el que se recupera la inversión.

INTRODUCCIÓN

La industria de la celulosa en la región del Biobío opera mediante procesos continuos que exigen una alta disponibilidad de los equipos y estabilidad en el flujo de la materia prima. Bajo este contexto, la etapa de preparación madera como el descortezador resulta crítica, dado que limita la calidad del material que ingresa a los procesos posteriores y la confiabilidad de los activos claves, ya que, dentro de esta etapa, la mesa de alimentación cumple una función esencial al recibir y transportar los troncos, logrando así regular el flujo del ingreso de los troncos al descortezador y asegurando la continuidad de la línea operativa.

En las condiciones actuales, la mesa de alimentación permite el ingreso no solo de troncos, sino que además permite el ingreso de diversos contaminantes los cuales son arrastrados por las cadenas transportadoras hacia el descortezador. Esta situación provoca el incremento de desgaste por los distintos elementos tribológicos, aumenta la frecuencia de detenciones no programadas por atascos y daños, lo que obliga a tener que realizar intervenciones correctivas recurrentes. Simultáneamente, cuando se presentan atascos al inicio del descortezador, la necesidad de realizar el desatascos de forma manual expone a los operadores a riesgos significativos, creando una gran brecha relevante en confiabilidad y en seguridad operacional.

Frente a esta problemática, el propósito del proyecto de tesis es diseñar una propuesta de implementación de un sistema de filtrado en la mesa de alimentación, orientada a disminuir el ingreso de impurezas, reducir el desgaste del descortezador y de los procesos posteriores como también mejorar la eficiencia del proceso. Para ello, se plantea un desarrollo que tiene en consideración el diagnóstico del estado actual del proceso, la identificación de los efectos tribológicos asociados a los contaminantes presentes, evaluación de modos de falla mediante AMEF, diseño del sistema de filtrado y un análisis de factibilidad técnica y económica que respalda la propuesta.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Diseñar una propuesta de implementación de un sistema de filtrado en la mesa de alimentación de la planta de celulosa de la Región del Biobío, con el propósito de incrementar la eficiencia operativa, disminuir el desgaste del descortezador y reducir la presencia de impurezas.

Objetivos específicos:

1. Diagnosticar el estado actual del proceso de la mesa de alimentación y las principales causas de ineficiencia y desgaste en el descortezador.
2. Identificar los efectos tribológicos del ingreso de contaminantes en la mesa de alimentación y su influencia en el desgaste del descortezador.
3. Evaluar los riesgos y efectos de falla en la mesa de alimentación mediante AMEF, orientado a optimizar la seguridad y la eficiencia operativa.
4. Diseñar un sistema de filtrado y su plan de montaje que cumpla con los requerimientos necesarios para el funcionamiento óptimo del proceso.
5. Evaluar la factibilidad técnica y económica de sistema de filtrado, considerando las condiciones actuales de la planta y los recursos disponibles.

CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de celulosa en la Región del Biobío depende de procesos continuos y eficientes que garanticen la calidad del producto final y la durabilidad de los equipos involucrados. Dentro de esta cadena productiva, la mesa de alimentación constituye un eslabón fundamental, ya que es el punto de ingreso de los troncos hacia el descortezador. Su correcto funcionamiento es determinante para evitar interrupciones en la línea y asegurar la limpieza del material procesado.

En la actualidad, la mesa de alimentación de la planta presenta una limitación significativa del sistema actual de carga, operado por una máquina que deposita los troncos sobre la mesa, esta no hace la diferencia entre troncos y contaminantes como piedras, metales, tierra o restos vegetales. Estos materiales son arrastrados por las cadenas transportadoras junto con la madera hacia el descortezador. Como consecuencia, se generan problemas operativos tales como:

- **Mayor desgaste del descortezador**, al entrar en contacto con elementos abrasivos.
- **Incremento de detenciones no programadas**, por atascos o daños en el sistema.
- **Reducción de la eficiencia operativa**, al tener que destinar tiempo y recursos a labores de mantenimiento correctivo.
- **Degradación de la calidad del proceso**, debido a la presencia de impurezas que no deberían ingresar a la etapa de descortezado.
- **Riesgo para la seguridad de los operadores**, ya que los atascos deben retirarse manualmente con un gancho. Esta maniobra implica que el trabajador se acerque a la zona de alimentación, con la posibilidad de resbalar o caer dentro del equipo, lo que representa una condición de peligro grave.

La ausencia de un sistema de filtrado previo en la mesa de alimentación genera, por tanto, una vulnerabilidad en el proceso productivo, afectando directamente la eficiencia, los costos de mantenimiento y la seguridad de los trabajadores.

Frente a esta situación, se plantea la necesidad de implementar un sistema de filtrado que permita retener los contaminantes antes de que los troncos lleguen al descortezador, contribuyendo así a mejorar la eficiencia operativa, prolongar la vida útil del equipo, reducir los costos de mantenimiento y disminuir los riesgos asociados a la labor de los operadores.

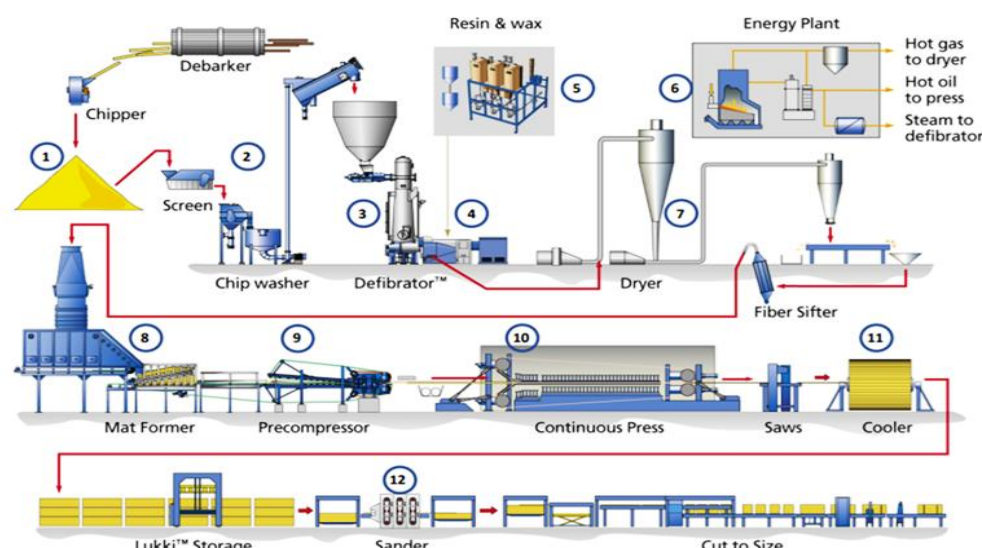
CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1. PREPARACIÓN DE MADERA EN LA INDUSTRIA CELULOSA.

La preparación de madera es una de las etapas más claves en el proceso productivo de la industria celulósica, ya que condiciona la calidad de la materia prima que se utilizará en procesos posteriores como el astillado y la cocción. Esta etapa incluye operaciones como recepción, trozado, descortezado y clasificación, cuya eficiencia incide directamente en el rendimiento de la planta. Un proceso de descortezado efectivo contribuye a la limpieza del chip, mejora la eficiencia del digestor y minimiza la presencia de impurezas que podrían afectar tanto la calidad del producto final como la vida útil de los activos.

Figura 1:

Proceso completo de la línea de proceso en Celulosa Arauco.



Nota. Imagen extraída del documento *Proceso explicado simple MDF L2*, por Celulosa Arauco, 2025.

2.2. MESA DE ALIMENTACIÓN.

Su función principal es recibir los troncos provenientes de equipos de carga y transportarlos hacia el descortezador, asegurando un flujo continuo, uniforme y controlado. De su correcto funcionamiento depende la estabilidad del proceso, la eficiencia de la línea y la calidad de la materia prima que ingresa a etapas posteriores.

2.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La mesa de alimentación opera como un sistema mecánico de transporte y regulación de avance. Su principio es enviar los troncos de manera segura y dosificada, manteniendo condiciones de flujo que evitan acumulaciones, variaciones bruscas o interrupciones.

En términos generales, el principio de funcionamiento puede desglosarse en tres ejes principales, principios recepción, transporte y control de flujo, con el propósito de optimizar la eficiencia del proceso y minimizar riesgos operativos.

2.3.1. PRINCIPIO DE RECEPCIÓN.

Los troncos son depositados sobre la mesa por equipos de carga (grúas, cargadores frontales o sistemas automatizados). El diseño de la superficie y el ángulo de inclinación permiten que los troncos se acomoden y avancen hacia el sistema de transporte. Este

principio busca absorber variaciones en la carga y distribuir los troncos de manera homogénea.

2.3.2. PRINCIPIO DE TRANSPORTE MECÁNICO.

El desplazamiento de los troncos se realiza mediante cadenas transportadoras, rodillos o bandas metálicas que generan el arrastre hacia la entrada del descortezador. El movimiento está impulsado por motores eléctricos o hidráulicos que transmiten potencia a través de engranajes, ejes y rodillos de arrastre. El objetivo es asegurar un flujo continuo, evitando acumulaciones o interrupciones.

2.3.3. PRINCIPIO DE CONTROL DE FLUJO.

La mesa de alimentación regula la cantidad y velocidad de troncos que ingresan al descortezador. Este principio es esencial para poder evitar sobrecargas que puedan dañar el equipo, asegurar un suministro constante que optimice la capacidad productiva y lograr reducir atascos en la entrada del descortezador.

En algunos casos se incorporan sistemas automáticos de regulación, sensores de nivel y variadores de velocidad para mantener un equilibrio entre demanda y suministro.

2.4. PRINCIPIOS TRIBOLÓGICOS APLICADOS AL DESGASTE DE COMPONENTES EN ENTORNOS INDUSTRIALES.

La tribología es la ciencia que estudia los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación entre superficies en contacto, y se ha convertido en un área fundamental dentro de la ingeniería para el análisis y mejora del comportamiento de componentes mecánicos en entornos industriales (Bhushan, 2013).

Figura 2:
Disciplinas involucradas en la tribología.



Aplicada al mantenimiento industrial, la tribología permite comprender los distintos mecanismos de desgaste como la abrasión, la adhesión, la fatiga superficial y la corrosión tribológica, lo que facilita el desarrollo de estrategias para la selección de materiales, recubrimientos y lubricantes más adecuados. Esto no solo prolonga la vida útil de los componentes, sino que también reduce las fallas inesperadas, los costos operativos y las pérdidas de producción asociadas (Stachowiak & Batchelor, 2014).

2.4.1. MECANISMOS TRIBOLÓGICOS PREDOMINANTES EN LA DEGRADACIÓN FUNCIONAL DEL DESCORTEZADOR.

En el descortezador, la degradación de los componentes se relaciona principalmente con mecanismos tribológicos generados por el contacto entre superficies metálicas y la presencia de contaminantes en el flujo de materia prima. Cuando ingresan partículas como tierra, arena, piedras o fragmentos metálicos, aumenta la severidad de las interacciones mecánicas y se acelera el deterioro, reduciendo la vida útil de componentes críticos como levas y rotores.

En este contexto, los mecanismos tribológicos predominantes corresponden al desgaste abrasivo y al desgaste por impacto. El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas duras actúan como agente de rayado o corte, generando arranque progresivo de material y erosión de las superficies de trabajo. Por su parte, el desgaste por impacto se origina por cargas repetitivas o intermitentes que golpean la superficie, provocando deformaciones localizadas, aparición de grietas y desprendimiento gradual de material con el tiempo. La combinación de ambos mecanismos incrementa la probabilidad de pérdida de desempeño, fallas prematuras y detenciones no programadas del equipo.

2.5. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) corresponde a una metodología estructurada utilizada para lograr definir, de manera técnica y justificada, qué tareas de mantenimiento deben aplicarse a un activo físico con el fin de asegurar que continúe cumpliendo las funciones que el proceso requiere, bajo condiciones reales de operación (Moubray, 1997). A diferencia de enfoques basados en calendarios o rutinas fijas, el RCM orienta la toma de decisiones a partir del análisis de funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos y consecuencias asociados, priorizando aquellas intervenciones que reducen el riesgo operacional y mantienen la disponibilidad del equipo.

En términos prácticos, el RCM permite seleccionar el tipo de estrategia más adecuada para cada componente o sistema, por ejemplo, mantenimiento preventivo, predictivo o basado en condición, considerando criticidad, historial de fallas, patrones de desgaste y restricciones del proceso. De este modo, se busca poder equilibrar confiabilidad, seguridad, calidad del producto y costos de mantenimiento, evitando tanto intervenciones innecesarias como intervenciones insuficientes. En equipos críticos como un descortezador, esta metodología resulta especialmente relevante debido a su impacto directo en la continuidad de la línea, la estabilidad operativa y la condición de la materia prima que alimenta las etapas posteriores.

Tabla 1:
Ejemplo aplicado de un RCM a un descortezador.

Actividad	Tipo de tarea	Frecuencia
Inspección y limpieza de cuchillas	Preventivo	Diario
Reemplazo de cuchillas según desgaste	Basado en condición	Según horas uso
Análisis de vibraciones	Predictivo	Mensual
Revisión de presión hidráulica	Preventivo	Semanal
Revisión de mangueras y conexiones	Preventivo	Trimestral
Análisis de aceite hidráulico	Predictivo	Trimestral
Limpieza de componentes internos	Preventivo	Semanal

2.6. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF).

Es una herramienta de análisis eficaz basado en un método sistemático, que identifica, evalúa y mitiga posibles problemas y fallas en productos, procesos o sistemas. Además, busca identificar los problemas, anticipar riesgos y prevenir los efectos negativos de eventuales fallas, la evaluación de la severidad de los posibles efectos y la probabilidad de que se den y, a partir de ese análisis, la implementación de medidas preventivas o correctivas adecuadas (Salesforce LATAM Blog. 18 de marzo de 2025).

2.7. IMPACTO DE LOS CONTAMINANTES EN PROCESOS INDUSTRIALES.

Los contaminantes son sustancias no deseadas (sólidas, líquidas o gaseosas) que se introducen en los sistemas de producción y afectan negativamente la eficiencia, seguridad, calidad o el medio ambiente. Pueden generarse internamente (por desgaste de equipos, residuos de materias primas) o provenir del entorno externo (polvo, humedad, partículas ferrosas). Lo cual provoca un aumento del desgaste mecánico, daño a los componentes hidráulicos y estructurales, interrupciones en la continuidad operativa y disminución del rendimiento del equipo.

2.7.1. TIPOS COMUNES DE CONTAMINANTES INDUSTRIALES.

Tabla 2:
Distintos tipos de contaminantes dentro del sistema de descortezado.

Tipos de contaminantes	Ejemplos	Origen
Sólidos	Polvo, virutas, corteza, arena, metales.	Procesos mecánicos, corte, transporte de materiales.
Líquidos	Aceites usados, aguas residuales, emulsiones contaminadas.	Sistemas hidráulicos, lavado, enfriamiento.
Gaseosos	Vapores, gases tóxicos, partículas suspendidas.	Combustión, tratamiento térmico, ventilación deficiente.
Contaminantes biológicos	Bacterias, hongos, materia orgánica.	Procesos húmedos, residuos orgánicos.

2.8. SOLUCIONES INDUSTRIALES COMUNES PARA EL CONTROL DE CONTAMINANTES.

El control de contaminantes en los procesos industriales es fundamental para proteger los equipos, garantizar la calidad del producto y cumplir con normativas ambientales.

Las soluciones se implementan según el tipo y origen del contaminante.

Tabla 3:
Posibles soluciones referente al tipo y origen de un contaminante.

Tecnología	Función
Filtros hidráulicos	Eliminan partículas del fluido de trabajo.
Zarandas vibratorias	Separan sólidos por tamaño.
Trampas de sedimentación	Decantan partículas pesadas en agua o aceite.
Trampas magnéticas	Retienen partículas metálicas ferrosas.
Sistemas de extracción de polvo	Capturan partículas en suspensión antes de que contaminen el ambiente o equipos.

2.9. ISO 2491-B.

La norma ISO 2491 es una norma internacional que define las especificaciones de las dimensiones, tolerancias y materiales para las chavetas paralelas delgadas (Thin parallel keys) y sus chaveteros correspondientes en extremo de ejes cilíndricos.

La ISO 2491 define las chavetas paralelas (Delgadas) y sus ranuras, con tablas normalizadas de ancho, altura, longitud, tolerancia y su relación con el diámetro del eje.

2.10. CORTADORA LÁSER CNC.

Una cortadora láser CNC es una máquina de corte controlada por computadora que utiliza un rayo láser de alta potencia para cortar materiales como metal, madera y plástico. CNC significa Control Numérico por Computadora, lo que significa que la máquina está controlada por un programa de computadora que dicta el movimiento del rayo láser.

Figura 3:

Cortadora laser maestranza Yungay.



Nota. Imagen obtenida en la maestranza Nuble N-97-Q.

El corte por láser es un proceso sin contacto que utiliza un rayo láser enfocado para fundir, vaporizar o quemar el material que se está cortando. El rayo láser es guiado por espejos y dirigido hacia el material por el cabezal de corte, el gas que la boquilla inyecta sobre el material ayuda a eliminar el material fundido o vaporizado y evita que se incendie.

Hay dos métodos principales de corte por láser: corte vectorial y grabado rasterizado. El corte vectorial implica cortar el material a lo largo de una ruta predefinida, mientras que el grabado rasterizado implica grabar un patrón en la superficie del material moviendo el rayo láser hacia adelante y hacia atrás a través del material. (Phillips Machine Tools, 22 junio 2023).

2.11. ARCHIVO DXF.

DXF es la sigla de la palabra "Drawing Exchange Format" o también como "Drawing interchange Format" (Formato de intercambio de dibujos) y consiste en un tipo de archivo vectorial de ingenieros, diseñadores y arquitectos que lo suelen utilizar para dibujos 2D y 3D durante los procesos de diseño de los productos.

2.12. ANIDACIÓN INDUSTRIAL.

El anidamiento es el proceso de distribución eficiente de varias formas en un área de superficie determinada. Las materias primas y otros materiales de chapa (láser, plasma, oxicorte) son caros para el corte industrial por ser el material base uno de los componentes más altos del costo total, por lo tanto, la mejor solución es anidar la mayor cantidad posible de piezas. Este proceso maximiza la utilización, reduce el desperdicio y minimiza el costo de materiales. (ESAB, 29 de marzo de 2022).

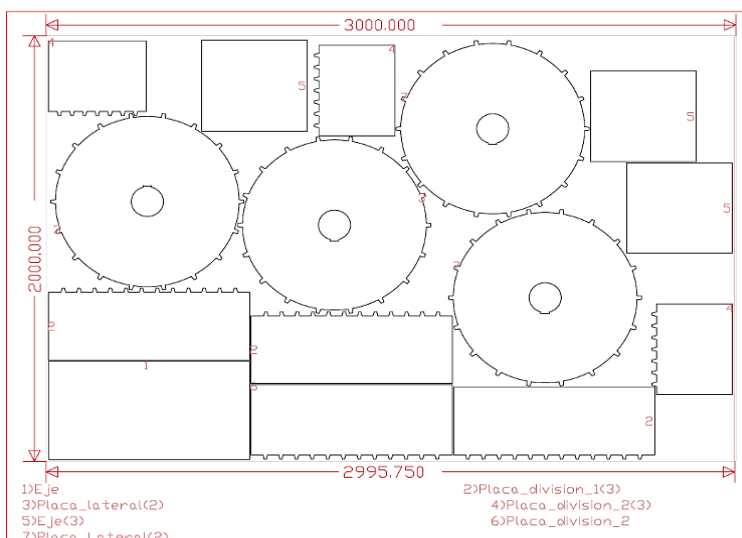
2.13. BENEFICIOS DEL SOFTWARE DE ANIDAMIENTO.

En los beneficios del software de anidación, podemos contar con tres grandes ventajas que nos ayudan a:

Optimización de materiales: El software de anidamiento dispone y ordena las piezas sobre planchas o láminas de material mediante algoritmos de optimización con el propósito de poder siempre maximizar el aprovechamiento de la plancha minimizando el desperdicio. Por lo tanto, se reduce el volumen de la merma y se puede incrementar el rendimiento del material, lo que se genera en ahorros económicos significativos al disminuir el consumo de materia prima por unidad.

Figura 4:

Anidación de la propuesta del sistema de filtrado.



Mayor eficiencia operativa: La automatización del anidado acelera la preparación del proceso productivo al lograr reducir la dependencia de la programación manual. Las funciones como el anidamiento automático y la generación de trayectorias de corte permiten criterios, disminuir los errores asociados a la intervención humana y acotar los tiempos de preparación. Esto se puede reflejar en menores tiempos de respuesta, mayor continuidad operativa y un aumento de la productividad global del sistema.

Reducción de costos de producción: La mejora en la utilización del material y la reducción de los tiempos de preparación impactan directamente con los costos. También, por un lado, disminuye el gasto en materias primas debido a una menor merma, por otro, se reducen los costos de mano de obra indirecta al requerirse menos intervenciones manuales y menos procesos. En conjunto, el software de anidamiento contribuye a una gran disminución del costo total de producción.

2.14. PAYBACK.

Payback o plazo de recuperación es un indicador económico que permite estimar el tiempo necesario para recuperar una inversión inicial mediante los beneficios o flujos de caja generados por un proyecto. En términos empresariales, el payback corresponde al momento en que la suma acumulada de los retornos obtenidos se iguala al capital invertido, alcanzando el punto de equilibrio de la inversión.

Este indicador se utiliza como una medida temporal de viabilidad, ya que facilita comparar alternativas y priorizar proyectos según la rapidez con que recuperan el desembolso inicial. En general, un payback más corto se asocia a menor exposición al riesgo financiero y mayor atractivo del proyecto, especialmente en entornos con incertidumbre o cambios operacionales frecuentes. Sin embargo, su interpretación debe complementarse con otros criterios, dado que el payback no necesariamente refleja la rentabilidad total del proyecto una vez recuperada la inversión.

2.14.1 CÁLCULO DE PAYBACK.

Es muy importante tener en consideración todos gastos relacionados con las inversiones, puesto que esto influye en los flujos de caja obtenidos.

Cuando todos los flujos de caja tienen el mismo valor, el payback se calcula dividiendo la inversión inicial entre ellos.

$$\text{Payback (Meses)} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro mensual}} \quad (1)$$

No obstante, cuando los flujos de caja tienen diferente valor según el período en el que se calcule, es muy importante ir restando cada uno de ellos a la inversión inicial planteada.

En este caso se debe utilizar una fórmula más perfeccionada:

$$\text{Payback} = a + (i_0 - b)/Ft \quad (2)$$

2.14.2 DESVENTAJA DEL PAYBACK.

Payback cuenta con algunas desventajas que se deben tener en consideración al momento de realizar los cálculos.

- Payback no tienen en consideración los beneficios o pérdidas posteriores al momento de la rentabilidad de la inversión.
- No considera la inflación. Por ende, puede no ser un muy buen indicador del todo preciso para proyectos a largo plazo.

CAPÍTULO III:
DISEÑO Y SOLUCIÓN

3.1. EXPLICACIÓN GENERAL DE SOLUCIÓN A PROBLEMÁTICA.

En la mesa de alimentación de la planta celulosa, los troncos son trasladados por unas cadenas hacia el interior del descortezador. Durante este proceso, ingresan junto a la madera diversos contaminantes abrasivos, como piedras, restos de corteza y tierra. Estos elementos al no ser retenidos, avanzan directamente al descortezador, provocando atascos a la entrada del equipo, aumento así el desgaste mecánico y, en casos críticos, la necesidad de retirar manualmente troncos atascados con ganchos, lo que representa un riesgo de seguridad para el operador.

Se puede visualizar en la figura N°5 la evidencia del daño localizado en los peines y la carcasa por el arrastre de material y partículas abrasivas

Figura 5:

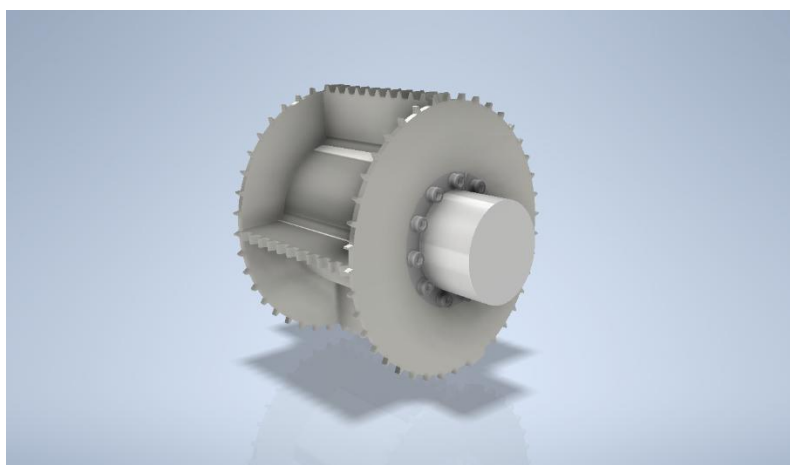
Rotura de carcasa de descortezador y pérdida de peines.



La propuesta de solución consiste en la instalación de un sistema de rodillos filtrantes en la parte frontal de la mesa, justo antes de la entrada al descortezador. Estos rodillos permitirán que impurezas y materiales no deseados caigan a una tolva de recolección, evitando que ingresen al equipo principal.

Figura 6:

Prueba de sistema de filtrado.



Con esta medida se espera poder reducir atascos en la entrada del descortezador, disminuir el desgaste de cuchillas y componentes internos, mejorar la eficiencia operativa del área de preparación de madera y aumentar la seguridad, al eliminar la necesidad de intervenciones manuales para destrabar troncos.

3.2. FUNCIONAMIENTO DE LA MESA DE ALIMENTACIÓN.

La mesa de alimentación es un equipo con un funcionamiento sencillo, diseñado para transportar madera hacia el siguiente proceso de manera controlada. Está compuesta principalmente por un motor eléctrico y un reductor, los cuales permiten accionar la mesa y controlar su velocidad.

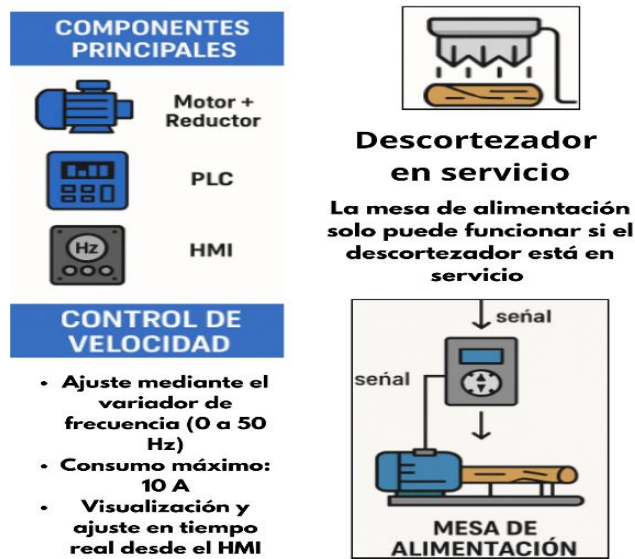
Para que la mesa funcione correctamente, se deben cumplir ciertas condiciones de seguridad y operación:

- Condición previa de operación: La mesa solo puede activarse si el descortezador (equipo anterior en la línea) está en servicio. Esto asegura que la madera fluya de manera ordenada y evita posibles daños o sobrecargas.
- Control mediante PLC y HMI: Una vez que la condición anterior se cumple, el operador puede activar la mesa desde el HMI (interfaz hombre-máquina). El HMI envía la señal al PLC, que a su vez envía la orden al variador de frecuencia para controlar el motor de la mesa.
- Control de velocidad: El variador de frecuencia permite ajustar la velocidad de la mesa desde 0 Hz hasta 50 Hz, proporcionando un control preciso del flujo de madera. El consumo máximo del variador es de 10 A, lo que garantiza un funcionamiento seguro dentro de los límites del equipo.
- Monitoreo: A través del HMI se puede visualizar y ajustar en tiempo real la velocidad que se le está dando a la mesa, permitiendo optimizar el proceso según las necesidades de producción.

La mesa de alimentación combina control automático mediante PLC, ajuste de velocidad mediante variador de frecuencia, y seguridad operativa, asegurando un transporte eficiente y seguro de la madera hacia los procesos siguientes.

Figura 7:
Control y operación de la mesa de alimentación.

Mesa de alimentación:
Control y operación



3.3. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE FILTRADO.

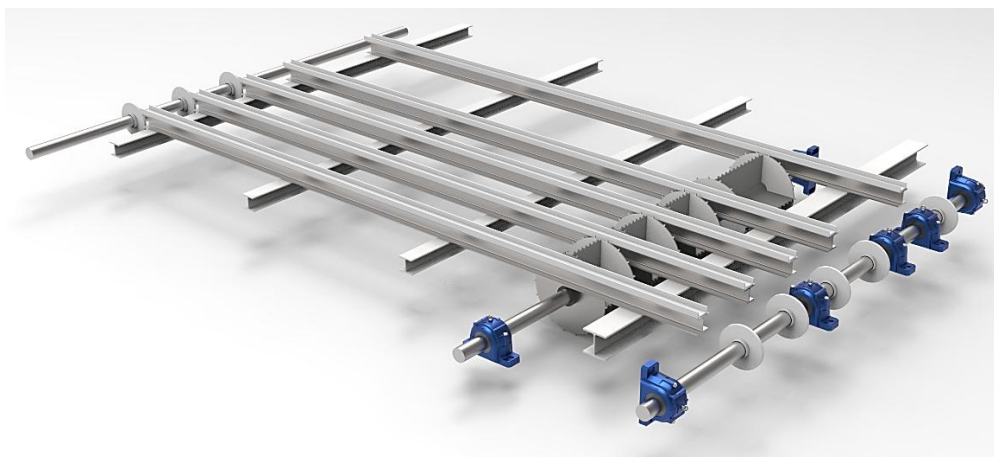
El sistema de filtrado corresponde a un mecanismo complementario incorporado al extremo frontal de la mesa de alimentación, cuyo objetivo es retener y separar impurezas sólidas (piedras, restos de tierra o virutas) antes de que la madera pueda ingresar al descortezador.

Este sistema se concibe como una solución mecánica simple que no requiere de un motor adicional, ya que toma su movimiento directamente del eje de arrastre de la mesa mediante un sistema de transmisión por cadena y sprockets.

El mecanismo se compone principalmente de un eje filtrante transversal, ubicado justo antes del punto de caída hacia el descortezador. Sobre este eje se instalan rodillos filtrantes con superficies ranuradas y aletas para separar, las cuales giran de manera sincronizada con el avance de la cadena de alimentación.

Figura 8:

Prototipo de sistema de filtrado implementado en la mesa de alimentación



Cuando los troncos avanzan por la mesa, estos rodillos giran en el mismo sentido junto con el sistema de cadenas, permitiendo así el avance de los troncos junto con las impurezas que luego caerán en las ranuras del filtro, depositándolas en una tolva para su posterior desecho.

El diseño propuesto busca asegurar la continuidad operativa de la línea al controlar el flujo de troncos y reducir la acumulación de residuos sobre la mesa de alimentación. En particular, se orienta a evitar el ingreso de material extraño (piedras, tierra y restos de corteza) hacia el descortezador, condición que se reconoce como una de las principales causas de atascos, sobrecargas y detenciones no programadas.

Además, y por consecuencia, ayuda de forma indirecta al trabajador, ya que disminuye la probabilidad de que el operador deba intervenir de forma manual para liberar troncos atascados, reduciendo así la exposición a incidentes y accidentes durante la operación.

La transmisión del movimiento se realiza mediante una cadena secundaria, conectada desde el sprocket final del eje de arrastre hasta un sprocket montado en el eje del filtro. Con esta disposición, ambos sistemas quedan sincronizados mecánicamente, garantizando un funcionamiento coordinado.

3.3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO V/S MESA NORMAL.

En los procesos industriales de manejo de madera, la eficiencia operativa y la seguridad del equipo son factores críticos para garantizar la continuidad de la producción.

Tabla 4:
Comparación técnica: Con filtro vs sin filtro.

Aspectos	Sin Filtro	Con Filtro
Ingreso de Impurezas	Alto riesgo; Deja el libre ingreso de partículas contaminantes hacia los procesos posteriores.	Bajo Riesgo; Reduce el ingreso de las impurezas.
Detenciones Operativas	Detenciones frecuentes por atascos de impurezas al inicio del descortezador.	Reducción significativa; El ingreso de troncos será más fluida.
Seguridad del Operador	Riesgo por intervención manual.	Menor intervención, mayor seguridad.
Desgaste del Descortezador	Desgaste acelerado por piedras, tierra, arena, etc. (Impurezas más comunes)	Menor desgaste.
Costo de Mantenimiento	Alto por reparaciones.	Menor por prevención.

La implementación del sistema de filtrado se espera una mejora sustancial en la continuidad operativa de la línea de producción, disminuyendo los tiempos muertos y aumentando la vida útil de los equipos. Además, contribuye a un entorno de trabajo más seguro para el personal, alineándose con los estándares de prevención de riesgos laborales.

3.3.2. SEGURIDAD PARA EL PERSONAL.

La operación actual de la mesa de alimentación presenta un alto riesgo significativo para el personal, principalmente por la necesidad de tener que intervenir manualmente cuando se producen los atascos en la entrada del descortezador. Bajo esta condición el operador debe acercarse a la mesa de alimentación y retirar los troncos con un gancho, al realizar esta maniobra está exponiéndose a peligros críticos como resbalones y caídas hacia dentro del equipo, atrapamiento con rodillos en movimiento, distintos golpes por desplazamiento repentino del material y la misma proyección de los distintos contaminantes (Piedras, tierra, metales o restos vegetales) arrastrados junto con la madera.

La implementación del sistema de filtrado en la mesa de alimentación contribuye directamente al control de riesgos cuando se analiza desde la Jerarquía de Control, esta jerarquía establece distintos niveles de control, desde los más efectivos (eliminación del peligro) hasta los menos efectivos (uso de EPP).

Bajo el contexto de la mesa de alimentación del descortezador, el sistema de filtrado aporta principalmente en los niveles de controles de ingeniería, aunque también permite reforzar los controles administrativos y el uso de equipos de protección personal.

Eliminación del peligro: El peligro corresponde al ingreso de contaminantes como piedras, arena, tierra o metales hacia el descortezador, lo que provoca atascos y obliga a realizar intervenciones manuales. El sistema de filtrado no elimina completamente el origen del contaminante, ya que estos pueden seguir llegando junto con los troncos desde el área de acopio. Sin embargo, sí reduce significativamente su ingreso al proceso, actuando como una barrera previa que retiene gran parte de las impurezas antes de que lleguen al descortezador.

Sustitución: La sustitución implica reemplazar un elemento peligroso por otro menos riesgoso. En este caso no existe una sustitución directa del material o proceso, pero la implementación del sistema de filtrado sustituye una condición de operación insegura (intervención manual frecuente) por un sistema mecánico automático de separación de contaminantes, disminuyendo la exposición del operador al riesgo.

Controles de ingeniería (Principal aporte del sistema): Este nivel consiste en modificar físicamente el sistema o el equipo para reducir el riesgo. La implementación del sistema de rodillos filtrantes representa una medida de control de ingeniería, ya que introduce un elemento mecánico dentro del proceso que permite separar contaminantes antes de la entrada al descortezador, reducir los atascos en la zona de alimentación, disminuir el desgaste del equipo por partículas abrasivas, evitar intervenciones manuales en zonas con partes móviles y mantener el flujo continuo de troncos hacia el proceso.

Al disminuir la necesidad de intervenir manualmente el equipo, se reduce la exposición del operador a peligros como atrapamientos con cadenas o rodillos, golpes por desplazamiento de troncos, proyección de partículas y caídas hacia la mesa de alimentación.

Controles administrativos: Los controles administrativos corresponden a procedimientos, normas y capacitación para reducir la exposición al riesgo.

La implementación del sistema de filtrado facilita la aplicación de estos controles al disminuir la frecuencia de eventos que requieren intervención manual. Además, permite complementar la solución con procedimientos seguros de intervención en la mesa de alimentación, bloqueo y etiquetado de energías antes de intervenir, coordinación con sala de control antes de realizar trabajos y capacitación al personal sobre el funcionamiento del sistema.

Equipos de protección personal: Aunque el sistema de filtrado reduce la exposición al peligro, el uso de EPP sigue siendo necesario, especialmente por la presencia de ruido, partículas y material en movimiento en el área de preparación de madera. Entre los elementos recomendados se incluyen casco de seguridad, antiparras, guantes de seguridad, calzado de seguridad y protección auditiva.

CAPÍTULO IV:
COSTO Y PRESUPUESTO

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN SIN SISTEMA DE FILTRADO.

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO SIN SISTEMA DE FILTRADO.

En la situación actual se puede mencionar que la mesa de alimentación no cuenta con un sistema de filtrado que pueda retener las impurezas que ingresan a la mesa de alimentación junto con la materia prima, lo que genera grandes daños estructurales por abrasión y de impacto al interior del descortezador.

Cada evento de reparación estructural del descortezador tiene como costo aproximado de \$500.000, con una frecuencia de reparación entre 3 a 4 intervenciones mensuales, de acuerdo a la información proporcionada por el área de mantenimiento.

Esta condición implica un mantenimiento correctivo reactivo, con intervenciones frecuentes, detenciones no programadas y un uso intensivo de recursos para poder recuperar la operatividad del descortezador.

4.1.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS MENSUALES Y ANUALES.

El costo mensual de las reparaciones estructurales del equipo se puede estimar a partir del costo unitario por evento y la cantidad de intervenciones que se realizan al mes.

Considerando el costo por evento de reparación de un total de \$500.000 y tomando entre 3 y 4 veces el número de eventos mensuales.

Tabla 5:
Estimación de costos por eventos.

Concepto	Costo unitario por evento (CLP)	Nº eventos/mes	Costo mensual (CLP)	Costo anual (CLP)
Escenario mínimo (baja frecuencia de reparaciones)	\$500.000	3	\$1.500.000	\$18.000.000
Escenario máximo (alta frecuencia de reparaciones)	\$500.000	4	\$2.000.000	\$24.000.000
Rango estimado (sin sistema de filtrado)	\$500.000	3–4	\$1.500.000–\$2.000.000	\$18.000.000–\$24.000.000

El costo mensual mínimo por 3 eventos seria de un total de \$1.500.000 y el costo mensual máximo de 4 eventos seria de un total de \$2.000.000.

En los términos anuales, el costo estimativo relacionado al escenario mínimo de reparaciones utilizando 3 eventos por mes es de un total de \$18.000.000 al año y evaluando el escenario máximo de 4 eventos por mes tendría un valor de \$24.000.000 de costos por reparación.

Por lo tanto, mantener la operación del descortezador sin el sistema de filtrado implica asignar un total aproximado de \$18.000.000 a \$24.000.000 millones de pesos anuales, considerando solo las reparaciones estructurales del descortezador.

4.1.3. PROYECCIÓN ECONÓMICA A MEDIANO PLAZO.

Para poder visualizar el impacto total acumulado de mantener la operación sin filtro, se proyectan los costos anuales entre 3 y 5 años, manteniendo el mismo patrón de fallas.

Calculando la proyección de los costos anuales en 3 años se tiene como resultado un total de \$63.000.000 y si se toma la proyección en 5 años tendría un costo de \$105.000.000.

Y si se considera el rango mínimo-máximo:

Tabla 6:
Proyección técnica entre 1, 3 y 5 años.

Proyección	Escenario mínimo (3 ev./mes)	Escenario promedio (3,5 ev./mes)	Escenario máximo (4 ev./mes)
1 año	\$18.000.000	\$21.000.000	\$24.000.000
3 años	\$54.000.000	\$63.000.000	\$72.000.000
5 años	\$90.000.000	\$105.000.000	\$120.000.000

Nota: no se consideran costos adicionales como la perdida de producción por detenciones no programadas, aceleración del desgaste de componentes del descortezador y equipos siguientes.

4.1.4. PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN POR DETENCIONES.

Cada reparación estructural no solo considera los costos directos del mantenimiento, sino que también genera una pérdida significativa de producción. A lo que el personal de planta reporta:

- “Cada evento de reparación estructural del descortezador implica un tiempo de aproximadamente 8 horas fuera de servicio”.
- “Durante ese periodo de tiempo, se deja de producir astilla lo que genera una pérdida estimada de producción equivalente a \$14.000.000 por evento”.
- “Las detenciones son una vez a la semana, lo que serían 4 eventos mensuales”.

Bajo estas condiciones, la pérdida económica mensual por astillas no producidas tendría un valor de \$56.000.000 al mes.

Utilizando los valores obtenidos anteriormente se puede calcular la prolongación anual obteniendo como resultado un valor de \$672.000.000 al año.

$$P_{Prod,mes} = n_{eventos} \times P_{evento}$$

(3)

Lo cual significa que la pérdida de producción asociada a las detenciones del descortezador alcanza un aproximado de \$672.000.000 anuales, únicamente por astillas no producidas.

4.1.5. SÍNTESIS ECONÓMICA DEL ESCENARIO SIN SISTEMA DE FILTRADO.

El costo total de operar sin el sistema de filtrado, teniendo en consideración tanto reparaciones estructurales como pérdidas de producción de astillas, se puede resumir como costo total al mes de un valor de \$58.000.000 y al año un valor de \$696.000 de perdida.

$$C_{total,mes} = C_{rep,mes} + P_{prod,mes}$$

(4)

Tabla 7:
Costos anuales estimados sin el sistema de filtrado.

Concepto	Valor estimado
Costo anual en reparaciones	\$24.000.000
Pérdida anual de producción de astilla	\$672.000.000
Costo total anual sin sistema de filtrado	\$696.000.000

4.1.6. CONCLUSIÓN DE ESCENARIO SIN SISTEMA DE FILTRADO.

Los resultados pueden evidenciar que el componente más dominante en tema de costos corresponde a la pérdida de producción de astillas, mientras que el gasto en reparaciones representa una menor fracción en el impacto económico, aunque sigue siendo relevante.

4.2. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO.

4.2.1. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO.

El diseño propuesto del sistema tiene contemplado la fabricación de 4 filtros mediante corte por anidado (Nesting) sobre planchas de Acero ASTM A36 de 12mm de espesor, con dimensiones de 2000x3000mm. De acuerdo al nesting, se requieren dos planchas, cada una con un costo de \$452.390 por lo que el costo total directo del material por los cuatro filtros correspondería aproximadamente a \$904.780, lo que equivale a \$226.195 por filtro.

Si se consideran como costo adicional la mano de obra de fabricación, consumibles y montaje, la inversión total sigue rondando los \$1-2 millones, prácticamente similar o inferior al gasto mensual que actualmente se esta destinando a las reparaciones estructurales.

4.2.2. EFICIENCIA DE ANIDADO Y MERMA DEL MATERIAL.

El nesting indica una eficiencia de aprovechamiento del material de un 71,56%, definida como la relación entre el área utilizada por las piezas útiles y el área total de las planchas

$$n = \frac{A_{piezas\ útiles}}{A_{planchas}} \times 100 = 71,56\%$$

(5)

Bajo este criterio podemos decir que el 71,56% del costo de las planchas se asocia a un material efectivamente aprovechado y el 28,44% restante corresponde a la merma del corte de las piezas. Si se mide el costo total del material según la eficiencia podemos obtener que el material aprovechado seria de un valor de \$647.000 y la merma tendría un valor de \$258.000.

Estos valores permiten visualizar el costo de la merma generada por el proceso de corte, información relevante para alguna futura optimización del diseño de anidado.

4.2.3. COMPARACIÓN ECONÓMICA Y PERÍODO DE RETORNO.

Para poder evaluar el efecto del sistema de filtrado, se analiza el periodo de retorno de la inversión (Payback) en función de la reducción de los eventos de reparación. Se adopta como referencia el escenario promedio de \$1.750.000/mes en las reparaciones sin filtro.

Tomando como inversión inicial el costo de los materiales de los filtros (I =\$904.780), y los distintos niveles de reducción de eventos.

Tabla 8:
Payback Respecto al gasto promedio actual de \$1.750.000/mes.

Escenario de reducción de reparaciones	Ahorro mensual estimado*	Payback aproximado
100 % (prácticamente sin eventos)	\$1.750.000	0,52 meses
50 %	\$875.000	1,03 meses
25 %	\$437.500	2,07 meses

Tomando en cuenta incluso por lo bajo el escenario más conservador (reducción del 25% en la frecuencia de fallas estructurales), la inversión en la implementación del sistema de filtrado se recupera en un plazo menor de aproximadamente 3 meses. A partir de este punto, los ahorros en reparaciones se traducen como un beneficio económico neto para la planta.

Además, el sistema de filtrado aporta otros beneficios no cuantificados directamente en el análisis como, por ejemplo, la disminución de las detenciones no programadas en el descortezador, un menor desgaste de los componentes mecánicos y el mejoramiento de las condiciones de seguridad para el operador y en la estabilidad operacional de la línea.

Desde la perspectiva de costos en el mantenimiento, pérdidas de producción y análisis de inversión, la evidencia económica respalda de manera consistente el hecho que la opción más conveniente a mediano y largo plazo es operar la mesa de alimentación con el sistema de filtrado, en lugar de seguir operando en la condición actual sin filtro.

CONCLUSIÓN

El análisis desarrollado permite concluir que la mesa de alimentación constituye un punto crítico de la línea de preparación madera, ya que el arrastre de contaminantes junta a la materia prima hacia el descortezador afecta de forma directa la continuidad operativa, la vida útil de los componentes y la seguridad del personal. La evidencia técnica del documento respalda que los contaminantes presentes aumentan el desgaste prematuro principalmente por abrasión e impacto, incrementando la posibilidad de atascos y detenciones no programadas.

La propuesta de solución está basada en la incorporación de un sistema de rodillos filtrantes previo a la entrada del descortezador, al enfocarse en la retención y separación de impurezas sin interrumpir el flujo constante de la materia prima. El diseño planteado aprovecha la transmisión mecánica existente, evitando la necesidad de un accionamiento adicional para el filtro, lo que favorece su integración con el equipo actual lo que simplifica el montaje.

Desde la perspectiva económica, el escenario sin filtro implica costos relevantes por reparaciones más frecuentes y especialmente a pérdidas por detenciones del descortezador.

Bajo la información presentada, la inversión estimada del sistema resulta baja y el periodo de recuperación es favorable incluso en escenarios conservadores de reducción de falla, lo que respalda la conveniencia de la implementación a mediano plazo. Por ende, la propuesta no solo ayuda a incrementar la confiabilidad del proceso, sino que también habilita mejoras en disponibilidad, mantenimiento y seguridad, alineándose con objetivos de eficiencia operacional en plantas de operación continua.

Como proyección se considera recomendable que, una vez implementado el sistema, se pueda establecer un seguimiento mediante indicadores de desempeño como por ejemplo de frecuencia de atascos, detenciones no programadas, junto con inspecciones periódicas del sistema de filtrado con el fin de poder validar en terreno los beneficios esperados y sostener la mejora en el tiempo

BIBLIOGRAFÍA

- Adobe. (s. f.). Archivos DXF. <https://www.adobe.com/cl/creativecloud/file-types/image/vector/dxf-file.html>
- Alter Finance. (s. f.). Payback ¿Qué es y cómo se calcula? <https://www.alterfinancegroup.com/blog/diccionario/payback-que-es-y-como-se-calcula>
- Bhushan, B. (2013). *Principles and applications of tribology* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- Chubb. (s. f.). Contaminación industrial: causas y maneras de evitarla. <https://www.chubb.com/mx-es/mercado-empresarial/articulos/que-es-contaminacion-industrial.html>
- ESAB. (2022, 29 de marzo). *Inspección y ensayos para la cualificación de los procedimientos de soldadura*. ESAB University. https://esab.com/cl/sam_es/esab-university/blogs/inspection-and-testing-for-welding-procedure-qualification/
- ESAB. (2022, 29 de marzo). *Prevención de la porosidad en juntas soldables con imprimación*. ESAB University. https://esab.com/ve/sam_es/esab-university/blogs/preventing-porosity-on-weldable-primer-coated-joints/
- ESAB. (2022, 29 de marzo). *¿Qué es un sistema de anidamiento y por qué necesita uno?* ESAB University. https://esab.com/pe/sam_es/esab-university/blogs/what-is-a-nesting-system-and-why-do-you-need-one/
- Maverick, J. B. (2025, March 21). *Limitations of using a payback period for analysis*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/ask/answers/062915/what-are-some-limitations-and-drawbacks-using-payback-period-analysis.asp>
- Moubray, J. (1997). *RCM II: Reliability-centered maintenance* (2ª ed.). Industrial Press.
- Phillips Machine Tools India Pvt. Ltd. (2023, 22 de junio). *What is CNC laser cutting and how does it work?* <https://phillipscorp.com/india/what-is-cnc-laser-cutting-and-how-does-it-work/>
- Salesforce LATAM. (2025, 18 de marzo). *Amef: ¿qué es la evaluación de riesgos y calidad?* Salesforce. <https://www.salesforce.com/mx/blog/amef/>
- Stachowiak, G. W., & Batchelor, A. W. (2014). *Engineering tribology* (4ª ed.). Butterworth-Heinemann.
- Sustainability Directory. (2025, 23 de noviembre). *Industrial pollutants*. Pollution Sustainability Directory. <https://pollution.sustainability-directory.com/term/industrial-pollutants/>