

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

PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA RENDIMIENTO Y
PRODUCCIÓN ASTILLADOR CHIPPER, PLANTA NUEVA
ALDEA.

Trabajo de Titulación para optar al Título
De Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

Profesor Guía: Marcelo Quiroz Neíra

Alumno: Edgardo Gutiérrez Sáez

2024

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera sincera y profunda a quienes han sido pilares fundamentales en la realización de este proyecto de título. En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a mis padres, cuyo apoyo incondicional y constante aliento han sido el faro que guió cada paso de este camino académico. Su sacrificio y dedicación han sido la inspiración detrás de cada logro alcanzado.

A mis queridos abuelos, a quienes les debo tanto, quiero dedicar un especial reconocimiento. Su sabiduría, amor y apoyo han sido fuente de inspiración y fortaleza. A través de sus experiencias de vida, he encontrado lecciones invaluable que han enriquecido no solo mi desarrollo académico, sino mi crecimiento personal.

Agradezco también a mis amigos, compañeros de travesía en esta jornada académica. Su complicidad, ánimo y comprensión han sido esenciales para superar desafíos y celebrar triunfos. En cada momento de duda, sus palabras alentadoras han sido un recordatorio de que no estoy solo en este viaje.

Este proyecto no solo representa el fruto de mi esfuerzo, sino también el resultado del amor, apoyo y comprensión de quienes me rodean. A todos ustedes, gracias por ser mi red de apoyo, por creer en mí y por ser parte crucial de este logro académico. Su contribución ha dejado una huella imborrable en este camino, y estoy profundamente agradecido por cada uno de ustedes.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal la optimización del rendimiento y la producción de un astillador chipper clase ANDRITZ XL en una planta de celulosa, mediante la resolución de problemas relacionados con la pérdida de filo y fractura de los cuchillos. La ineficiencia de este equipo se manifiesta en un aumento en las detenciones no programadas, lo cual impacta negativamente en la productividad y en los costos operativos. Para abordar estos problemas, se propone un plan integral que comprende la evaluación funcional del equipo, la selección de materiales adecuados para los cuchillos móviles y el desarrollo de un análisis de costos/beneficios.

Dicho enfoque se basa en el desarrollo de prácticas de mantención que vayan más allá de solo el mantenimiento correctivo y busque nuevas ideas para abordar los distintas problemáticas que se tengan durante la realización de trabajos.

Es de esperar que el proyecto contribuya significativamente al proceso de producción y mejore el promedio del tiempo medio entre fallas obteniendo así mejoras sustanciales en tiempos, cantidad y calidad de producción de astillas.

ÍNDICE

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	6
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	6
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 INTRODUCCIÓN AL EQUIPO Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	11
2.1.1 ROL EN PROCESO MADERAS DEL ASTILLADOR, OBTENCIÓN DE CELULOSA.....	11
.....	11
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ASTILLADOR	12
2.3 COMPONENTES DEL EQUIPO	12
2.4 COMPONENTES DE PROTECCIÓN Y CANALIZACIÓN ASTILLADOR, PROCESO DE OBTENCIÓN DE CELULOSA.....	14
2.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ASTILLADOR	17
2.6 INFORME DE DETECCIÓN, CAUSAS Y POSIBLE SOLUCIÓN	18
CAPITULO III: DISEÑO DE SOLUCIÓN	21
3.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA PLANTA CELULOSA	23
3.2 NORMATIVA VIGENTE A CONSIDERAR	23
3.3 HISTORIAL DE FALLAS DEL EQUIPO, AÑO 2023	24
3.3.1 CUCHILLO MÓVIL ASPECTOS A CONSIDERAR.....	25
3.3.2 FACTORES CLAVE.....	25
3.4 ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE POSIBLES CANDIDATOS	26
3.4.1 ELECCIÓN DE MATERIAL.....	27
3.5 COMPARACIÓN QUÍMICA, MECÁNICA Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ACERO INOXIDABLE DE ALTA ALEACIÓN 440B Y ACERO DE ALTA DUREZA D2 PARA CUCHILLOS MÓVILES DEL ASTILLADOR.....	28
3.5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	28
3.5.2 PROPIEDADES MECÁNICAS	29

3.5.3 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	29
3.6 SELECCIÓN RECOMENDADA	30
3.6.1 JUSTIFICACIÓN CON NORMA AISI 440	30
3.7 ESTUDIO DE MERCADO	31
3.7.1 ASIGNACIÓN	32
3.8 TIEMPOS DE DETENCIÓN POR SUBIDA DE AMPERAJE	33
3.8.1 TIEMPOS DE DETENCIÓN POR SUBIDA DE AMPERAJE (CONDICIONES NORMALES)	33
3.8.2 TIEMPOS DE DETENCIÓN POR SUBIDA DE AMPERAJE (CON MEJORA)	33
3.8.3 APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE MEJORA DEL TIEMPO DE CICLO (TMF)	34
3.8.4 BENEFICIOS ADICIONALES	34
CAPITULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA	36
4.1 IMPACTO PRODUCTIVO	38
4.2 PRESUPUESTO POR DETENCIÓN EN DÍAS HÁBILES SIN IMPLEMENTAR MEJORA	40
4.3 PRESUPUESTO POR DETENCIÓN EN DÍAS HÁBILES CON MEJORA IMPLEMENTADA.....	41
4.4 FLUJO DE CAJA COSTO/DETENCIONES SEMANAL.....	42
4.5 ANÁLISIS CONTABLE A FIN DE COMPROBAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO	42
4.5.1 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN REPUESTOS SIN IMPLEMENTAR MEJORA... 42	
4.5.2 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN DETENCIONES SIN IMPLEMENTAR MEJORA	43
4.5.3 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL TOTAL SIN IMPLEMENTAR MEJORA.....	43
4.5.4 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN REPUESTOS CON MEJORA IMPLEMENTADA	43
4.5.5 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN DETENCIONES CON MEJORA IMPLEMENTADA.....	44
4.5.6 BALANCE DE INVERSIÓN MENSUAL TOTAL CON MEJORA IMPLEMENTADA.....	44
4.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE INVERSIÓN Y PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN CLP A FIN COMPROBAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	44
4.6.1 PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN CLP MENSUAL.....	45
4.7 VIABILIDAD	46
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1 CONCLUSIONES.....	50
5.2 RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Figura 2-1 Ilustración de proceso obtención de celulosa. Fuente: Catálogo proporcionado por fabricante (ANDRITZ)	111
2	Ilustración 2-2 detalle características del equipo Astillador. Fuente: Catálogo Proporcionado por el fabricante (ANDRITZ).	12
3	Figura 2-3 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	12
4	Figura 2-3 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	13
5	Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	14
6	Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	15
7	Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	15
8	Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	16
9	Figura 2-5 Principio de funcionamiento astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ).....	17
10	Figura 2-6 Diagnostico astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	18
11	Figura 2-6 Diagnostico astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)	19
12	Figura 3-1 Ubicación Geográfica. Fuente: Google maps.	25
13	Figura 3-3 Cuchillo móvil. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ).....	25
14	Figura 3-8-2 Gráfico Producción. Fuente: Elaboración propia.....	33
15	Figura 4-1 Gráfico comparativa producción. Fuente: Basado en análisis de mejora	39
16	Figura 4-1 Gráfico Producción. Fuente: Elaboración propia.....	40
17	Figura 4-6-1 Gráfico producción mensual en millones . Fuente: Elaboración propia.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Historial de fallas astillador año 2023. Fuente: Proporcionada por empresa mandante.	24
Tabla 2 Presupuesto cuchillos Fuente: Maestranza Avila.S.A	31
Tabla 3 Presupuesto cuchillos Fuente: Empresa Ingeman.	31
Tabla 4 Presupuesto cuchillos Fuente: Empresa Ingetex.	32
Tabla 5 Presupuesto en días hábiles actual. Fuente Elaboración propia.	40
Tabla 6 Presupuesto detención con mejora en días hábiles. Fuente Elaboración propia.	41
Tabla 7 Costo/detenciones semanales. Fuente: Elaboración Propia.	42
Tabla 8 Detalle de inversión actual. Fuente: Elaboración propia.	42
Tabla 9 Detalle detenciones en CLP actual: Fuente Elaboración propia.	43
Tabla 10 Detalle inversión mensual con mejora. Fuente: Elaboración propia.	43
Tabla 11 Detalle inversión mensual detenciones con mejora. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 12 Flujo de caja semanal. Fuente elaboración propia.	45

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

Hrc	:	Dureza Rockwell.
D2	:	Clasificación Acero Alta Dureza.
M ³ /H	:	Metro Cúbico Por Hora Transcurrida.
Iso 9001	:	Normativa Para La Gestión De Calidad.
Mpa	:	Mega Pascales.
M3/Día	:	Metro Cúbico Por Día Transcurrido.
Sgc	:	Sistema De Gestión De La Calidad.
Rpm	:	Revoluciones Por Minuto.
Mm	:	Milímetros.
Tmf	:	Tiempo Medio Entre Fallas.
Hrs.	:	Horas.
CLP	:	Peso Chileno.
Kg	:	Kilogramo.
Sub/H	:	Por hora transcurrida.
AISI	:	American Iron and Steel Institute.
ASTM	:	American Society for Testing and Materials.

INTRODUCCIÓN

En el sector industrial, la búsqueda constante de innovaciones y eficiencia es fundamental para asegurar el éxito y la competitividad de las empresas. En este contexto, la selección adecuada de los materiales para los equipos industriales es crucial. Optar por los componentes correctos facilita la maximización de la producción, la reducción de gastos y el aseguramiento de la fiabilidad y durabilidad de los equipos.

En el entorno industrial contemporáneo, donde los avances tecnológicos son rápidos y los procesos de manufactura se vuelven cada vez más complejos, elegir los materiales adecuados se ha vuelto una tarea esencial. Los materiales utilizados en la fabricación de los equipos deben satisfacer ciertos requisitos específicos.

Sin embargo, la investigación no debe limitarse a la elección inicial. El mantenimiento de los equipos es igualmente importante y debe enfocarse en la continua búsqueda de nuevas técnicas y métodos que permitan mejorar la producción y generar ahorros económicos significativos. Esto requiere encontrar soluciones innovadoras para prolongar la vida útil de los equipos, minimizar el tiempo de inactividad y reducir los costos asociados al mantenimiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un plan de optimización para aumentar disponibilidad de un astillador chipper clase ANDRITZ XL producto de detenciones por pérdida de filo de sus cuchillos móviles.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer la funcionalidad del chipper para entender el proceso productivo.
- Seleccionar un material adecuado de reemplazo para sus cuchillos móviles.
- Realizar un estudio de mercado de dicha elección.
- Desarrollar un análisis de costos/beneficios con el fin de demostrar el alcance y viabilidad de la mejora.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El astillador chipper situado en el sector de madera de la planta Celulosa Nueva Aldea, en la Región del Biobío, ha enfrentado un desafío significativo debido a la elevada humedad de la materia prima que procesa. Esta condición ha provocado que los cuchillos móviles del astillador pierdan su filo con mayor rapidez de lo habitual. Para solucionar este problema, se ha reconocido la necesidad de implementar mejoras y realizar un análisis detallado de las partes del equipo.

El estudio llevado a cabo por la empresa reveló que la humedad de la madera de eucalipto procesada en esta planta es considerablemente mayor en comparación con otros sectores. Esta variación ha sido identificada como la principal causa del desgaste acelerado de los cuchillos del astillador. Con esta información, se ha planteado el objetivo de encontrar soluciones alternativas que permitan reducir los requerimientos de mantenimiento y minimizar las interrupciones en el funcionamiento del equipo.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para abordar este desafío, se consideró la siguiente alternativa: Evaluar el uso de materiales distintos en la elaboración de cuchillos móviles más resistentes. Los puntos a tratar son la corrosión, la humedad, la tracción y durabilidad de afilado. A partir de esto, se investigaron y propusieron aleaciones especiales que podrían ser buenos candidatos como reemplazo.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La alta presencia de agua en la materia prima afecta negativamente la vida útil de los cuchillos actuales, generando una necesidad constante de sustitución. Esta situación conlleva a tiempos de inactividad no planificados, aumentando los costos de mantenimiento y reduciendo la producción. La implementación de cuchillos más resistentes se presenta como una solución viable para mejorar la eficiencia y reducir los gastos asociados al mantenimiento del astillador.

1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO

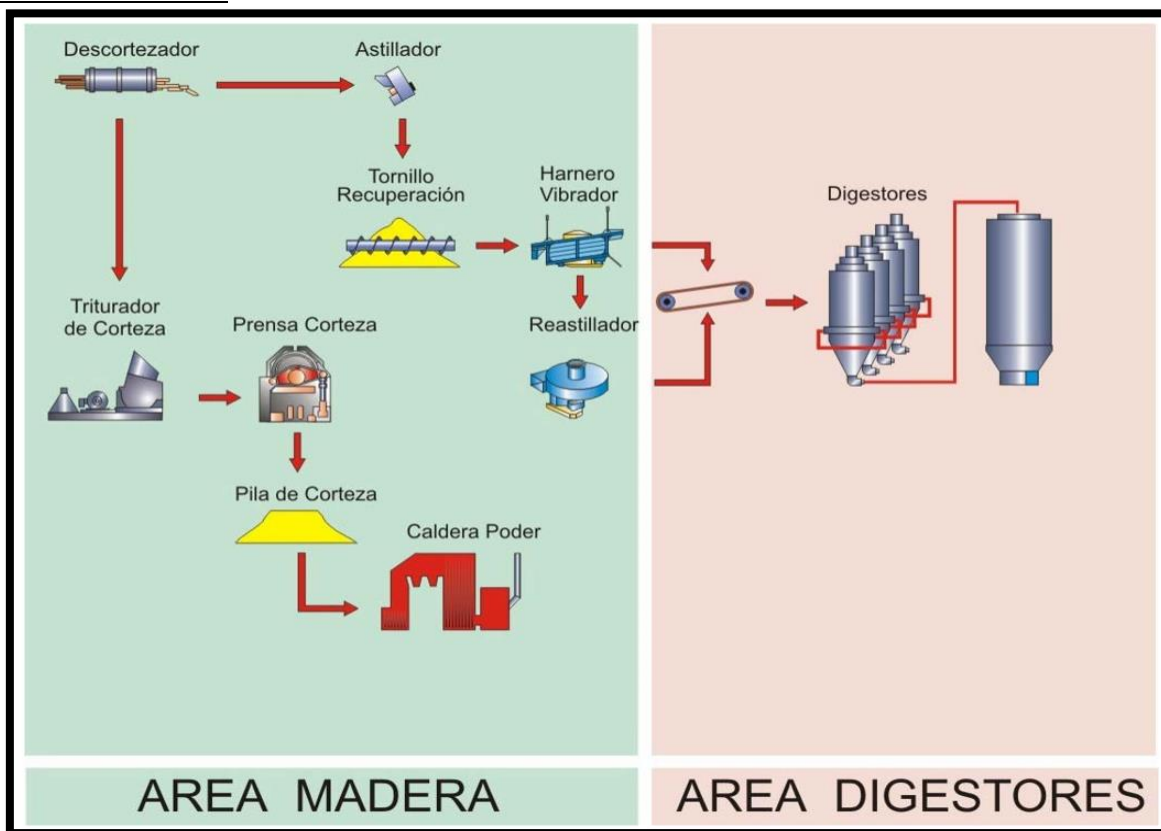
- Reducción de Costos de Mantenimiento: La mayor resistencia a la pérdida de filo por parte de los nuevos cuchillos disminuirá la frecuencia de sustituciones y afilado, reduciendo los costos asociados al mantenimiento del astillador.
- Mejora en la Eficiencia Operativa: La utilización de cuchillos más resistentes permitirá un funcionamiento más continuo y eficiente del chipper, evitando paradas no planificadas.
- Aumento de la Producción: Al minimizar los tiempos de inactividad, se espera un aumento en la producción de astillas de celulosa, mejorando la rentabilidad general del proceso.
- Optimización del Proceso: El plan integral de optimización y mantenimiento contribuirá a la optimización global del proceso de astillado, asegurando un rendimiento consistente y sostenible.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN AL EQUIPO Y SUS CARACTERÍSTICAS

El proceso de obtención de celulosa implica la cocción de la madera en los digestores, siendo el astillado un paso crucial para garantizar el éxito de esta fase. La adecuada preparación de las astillas es esencial, ya que su espesor y tamaño deben cumplir con criterios específicos. La calidad final de la celulosa está directamente ligada a la completa cocción de la madera, la cual solo se logra con astillas correctamente dimensionadas. Es imperativo asegurar que las astillas sean idóneas, ya que esto impacta directamente en la eficacia del proceso y, en última instancia, en la calidad del producto final, la celulosa.

2.1.1 ROL EN PROCESO MADERAS DEL ASTILLADOR, OBTENCIÓN DE CELULOSA



1Figura 2-1 Ilustración de proceso obtención. Fuente: Catálogo proporcionado por fabricante (ANDRITZ)

El equipo en cuestión tiene una capacidad otorgada por el fabricante de 230 a 270 m³/h en las mejores condiciones de funcionamiento. Actualmente la producción de nuestro astillador es de 200 m³/h debido al desgaste que presentan los cuchillos al momento de generar un proceso más rápido en el cual se perderá el filo en menor

tiempo de ellos y se generarán subidas de amperaje al motor.

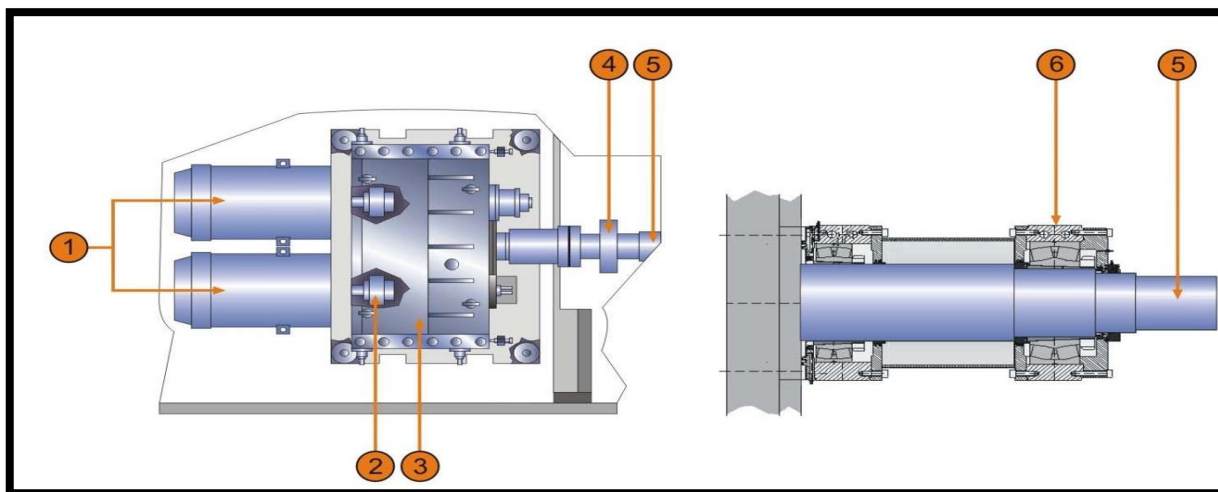
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ASTILLADOR

Marca: ANDRITZ modelo XL – 16,1 HHQ 11 – 90 – 161.

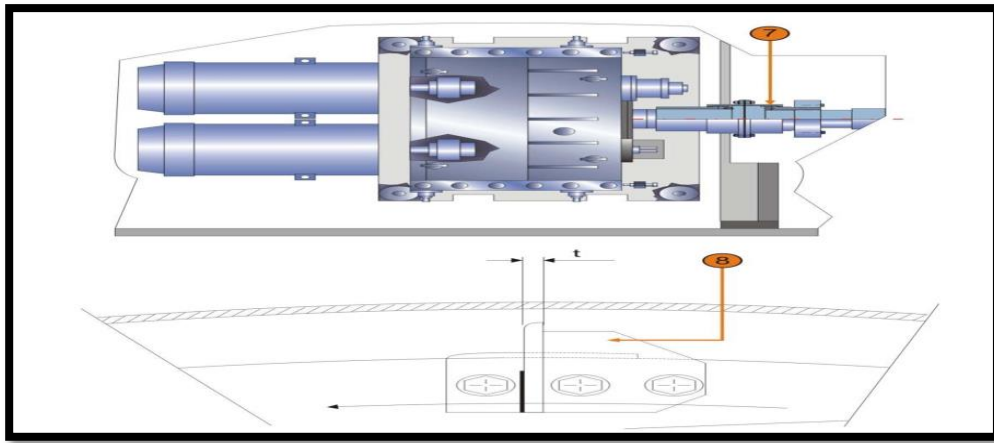
Capacidad	230/270 m3 Sub/h
Largo de Trozos	1.2 – 6 metros
Diámetro Máximo trozos	450 mm.
Largo de Astillas	22 mm.
Especies de Madera	Pino y Eucaliptos
Diámetro del Rotor del Astillador	3360 mm.
Ancho del Canalón	855 mm.
Diámetro del Canalón	780 mm.
Cantidad de Cuchillos	16 Unidades
Velocidad de Rotación	249 rpm
Peso del Rotor	19200 kg.
Peso total del equipo	30700 kg.

2Figura 2-2 detalle características del equipo Astillador. Fuente: Catálogo Proporcionado por el fabricante (ANDRITZ).

2.3 COMPONENTES DEL EQUIPO.



3Figura 2-3 Componentes astillador. Fuente: Catalogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

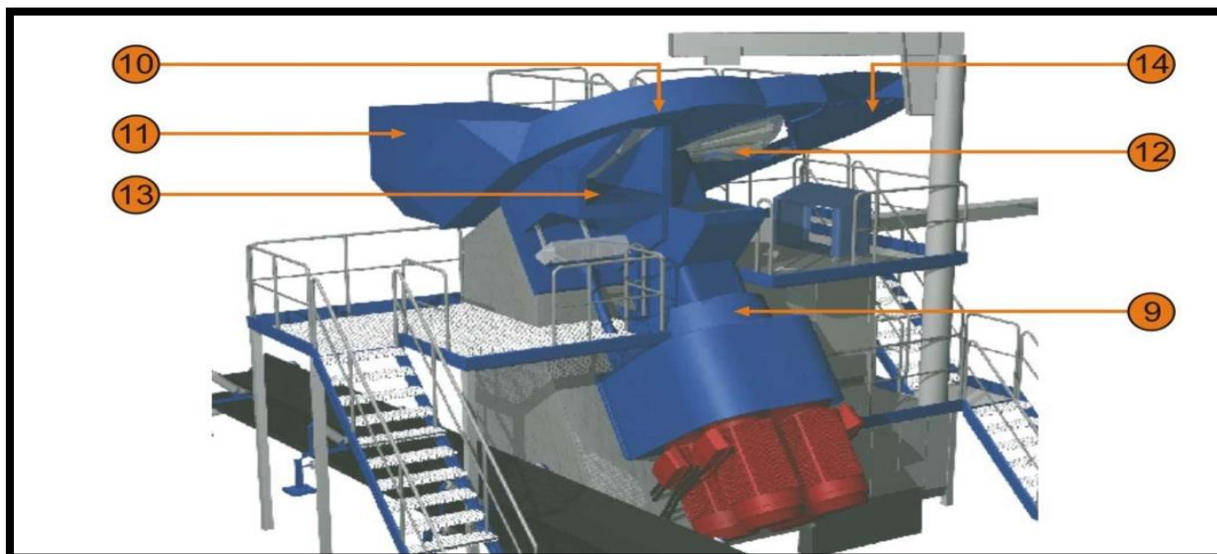


4Figura 2-3 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

1. Motores Eléctricos: Estos motores son responsables de accionar el astillador, proporcionando la potencia necesaria para el proceso.
2. Acoplamientos: Son elementos cruciales que unen los ejes de los motores eléctricos con los ejes de entrada al reductor, asegurando una transmisión eficiente de la potencia.
3. Reductor: Recibe la potencia generada por los motores eléctricos y la transmite al astillador a baja velocidad, permitiendo un control preciso del proceso.
4. Acoplamiento Dentado: Une el eje de salida del reductor con el eje del astillador, garantizando una conexión robusta y eficaz para la transmisión de movimiento.
5. Eje del Rotor: Recibe el movimiento de giro proveniente del acoplamiento dentado y lo transmite al rotor del astillador, desempeñando un papel central en la transformación de la materia prima.
6. Soportes: Estos componentes sostienen el eje del astillador y permiten su giro, contribuyendo a la estabilidad y funcionalidad del sistema durante el proceso de astillado.
7. Freno Hidráulico: Este componente desempeña un papel crucial al detener el movimiento de giro del eje del astillador, proporcionando control y seguridad al proceso.
8. Aspas: Las aspas son responsables de impulsar las astillas hacia la tolva de descarga, asegurando un flujo continuo y eficiente de material a lo largo del proceso de obtención de celulosa.

2.4 COMPONENTES DE PROTECCIÓN Y CANALIZACIÓN

ASTILLADOR, PROCESO DE OBTENCIÓN DE CELULOSA



5Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

9. Protecciones: Estos elementos cumplen una doble función al cubrir y resguardar los acoplamientos contra polvo y partículas extrañas, al mismo tiempo que proporcionan seguridad a las personas involucradas en el proceso.

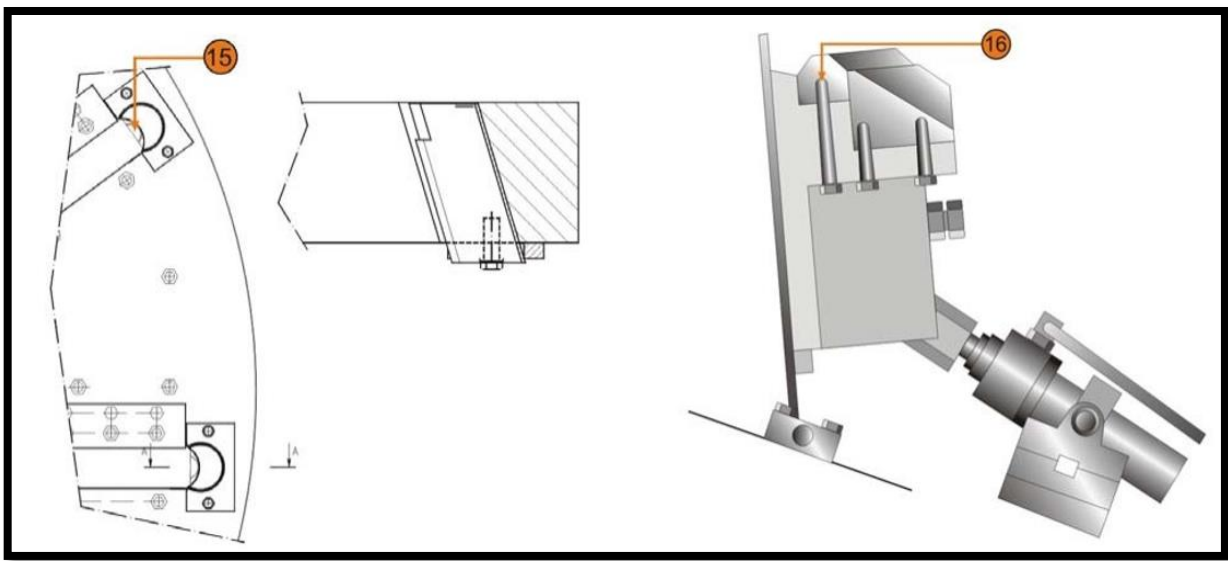
10. Carcasa: La carcasa actúa como un recubrimiento protector para el rotor, recibiendo y direccionando las astillas producidas hacia la tolva de descarga, garantizando un manejo eficiente del material.

11. Ducto de Descarga: Este componente es esencial para conducir las astillas desde el astillador hasta la tolva de descarga, asegurando un flujo ordenado y controlado.

12. Rotor: El rotor despliega un papel fundamental al servir como soporte tanto para los cuchillos como para las aspas, permitiendo su giro y contribuyendo a la fragmentación eficiente de la materia prima.

13. Canalón de Entrada: Estos conductos orientan los troncos hacia el rotor del astillador, facilitando el proceso de alimentación de la materia prima.

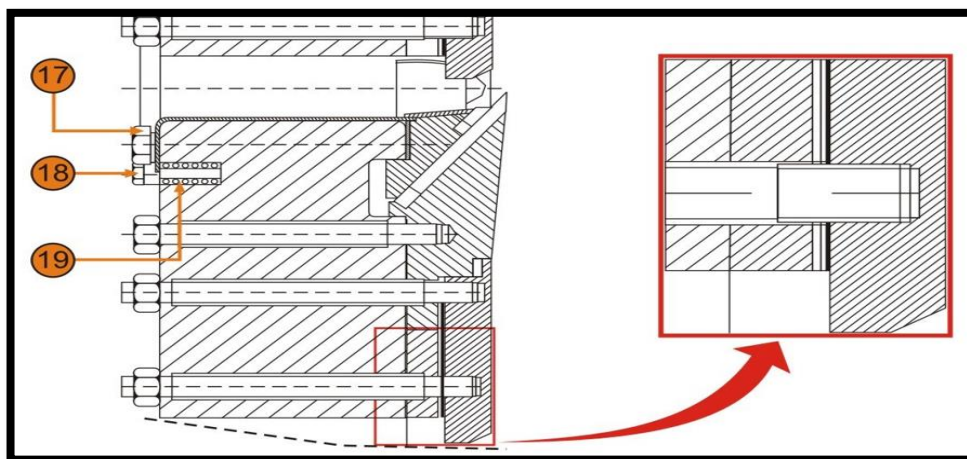
14. Tapa Abatible: La tapa abatible posibilita la apertura de la carcasa, facilitando las tareas de limpieza e inspección para mantener un funcionamiento óptimo del sistema.



6Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

15. Piezas de Desgaste del Rotor: Estas piezas desempeñan un papel crucial al absorber el desgaste generado en el extremo de la ranura de evacuación de astillas del rotor, contribuyendo a la durabilidad y eficiencia del sistema.

16. Cuchillo Fijo o Sufridera: Este componente es esencial para la producción de astillas, ya que corta los rollizos al enfrentarse a los cuchillos móviles insertos en el rotor, facilitando el proceso de astillado de la materia prima.



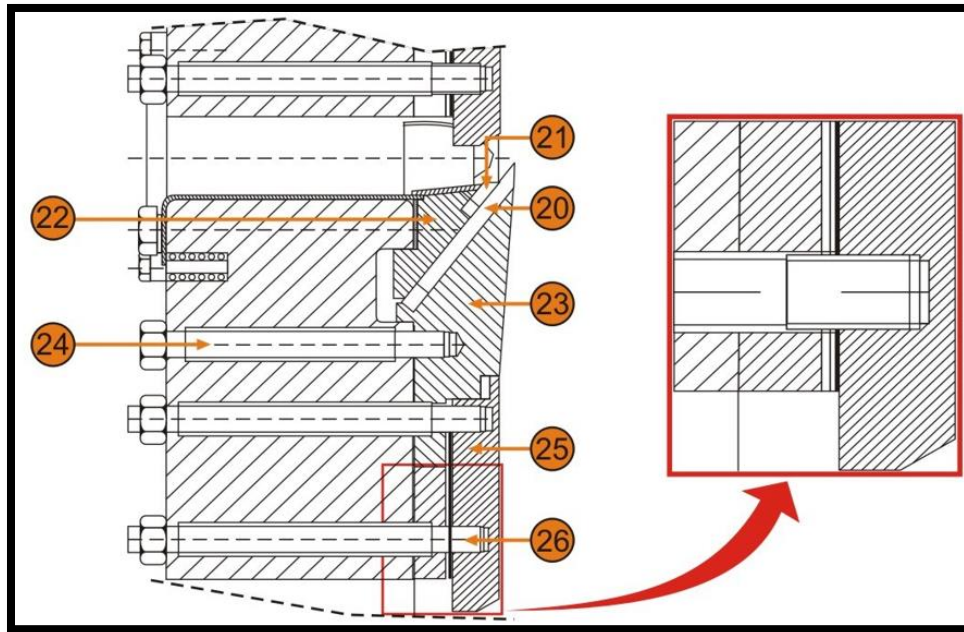
7Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

17. Pernos de fijación: Estos pernos desempeñan la función de apretar el sujetador

contra los cuchillos, asegurando una fijación adecuada en el rotor.

18. Perno de retracción: Encargado de liberar los cuchillos al retirar los pernos de fijación, Permitiendo así el movimiento necesario durante el proceso de astillado.

19. Resorte del perno de retracción: Suministra la fuerza requerida para el perno de retracción, contribuyendo a la liberación eficiente de los cuchillos móviles en el rotor.



8Figura 2-4 Componentes astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

20. Cuchillos Móviles: Esenciales para la producción de astillas al cortar los rollizos cuando se enfrentan al cuchillo fijo.

21. Contra-Cuchillos: Absorben el desgaste de los sujetadores de los cuchillos móviles, mejorando la calidad de las astillas producidas.

22. Sujetador de Cuchillos: Fija de manera segura los cuchillos móviles al rotor, garantizando un funcionamiento preciso.

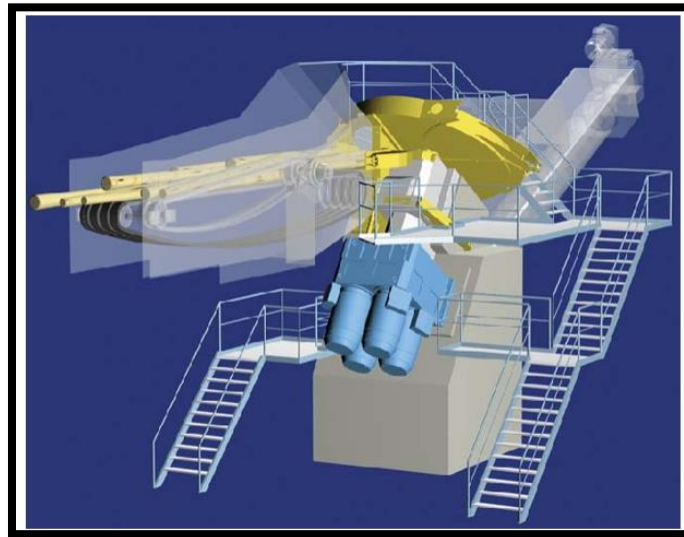
23. Placas frontales: Sustentan y protegen los cuchillos móviles y el rotor.

24. Pernos de Placas Frontales: Unen de forma sólida las placas frontales al rotor, asegurando estabilidad estructural.

25. Placas de desgaste: Absorben el desgaste provocado por el roce en la evacuación de astillas del rotor.

26. Pernos Placas de desgaste: Fijan las placas de desgaste al rotor, manteniendo la integridad de la estructura.

2.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ASTILLADOR



9Figura 2-5 Principio de funcionamiento astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

La alimentación a los astilladores se realiza horizontalmente hacia el rotor del mismo. El canalón de entrada, cuenta con un diámetro máximo de 780 mm y un ángulo de entrada de 62° con respecto a los cuchillos de corte, guía la madera hacia el rotor del astillador.

En el canalón de entrada, las placas de desgaste brindan soporte a la madera. A continuación, se encuentra el yunque (sufridera), cuya función es servir de apoyo final para que la madera sea cortada por los cuchillos del rotor. Un ajuste y mantenimiento adecuados de este yunque son cruciales para obtener astillas de alta calidad.

Los 16 cuchillos móviles, montados en el rotor que gira a una velocidad promedio de 249 rpm, trituran la madera. Esta pasa a través de las ranuras del rotor y golpea contra los contra-cuchillos, desmenuzándose en pequeñas astillas debido a la velocidad de giro y la acción de las espas en la periferia del rotor.

Las astillas resultantes son dirigidas a la tolva de descarga mediante la velocidad de giro y la ayuda de las espas. Desde allí, a través de un tornillo transportador, se mueven hacia la correa y, finalmente, son depositadas en la pila de almacenamiento.

2.6 INFORME DE DETECCIÓN, CAUSAS Y POSIBLE SOLUCIÓN

SE DETECTA	CAUSAS PROBABLES	SOLUCIÓN POSIBLE
Vibración de los Soportes.	Desbalanceo.	Equilibrar Rotor.
	Pernos sueltos.	Apretar los pernos de los Soportes.
	Soportes desgastados.	Cambiar soportes.
	Rodamientos dañados.	Cambiar rodamientos y ajustar claros.
Alta temperatura en los soportes.	Falta lubricación.	Lubricar y revisar periódicamente la lubricación.
	Lubricante inadecuado.	Cambiar el tipo de lubricante.
	Claros de los rodamientos o muy grandes o muy ajustados.	Revisar y ajustar claros de los rodamientos.
	Juego axial muy pequeño en el soporte libre.	Revisar y ajustar el juego axial del Soporte libre.
	Alto nivel de vibraciones.	Ver falla de vibraciones en los soportes.
Aumento cantidad de finos en las astillas.	Placas frontales desgastadas.	Cambiar placas frontales.
Alto amperaje en el Motor Eléctrico.	Filo de Cuchillos desgastados.	Cambiar Cuchillos.
Ruido anormal (Golpeteo).	Algún Cuchillo más ancho.	Identificar Cuchillo que golpea y cambiar. De preferencia cambiar juego completo.
Aumento de la cantidad de finos y sobre tamaños.	Distancia "C" demasiado grande.	Ajustar Cuchillos.
Vibración en el Canalón.	Pernos sueltos.	Reapretar pernos.

10Figura 2-6 Diagnóstico astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

SE DETECTA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN POSIBLE
Vibración y ruido canalón de entrada.	Soltura o corte de pernos de fijación de las placas.	Fijar y/o cambiar pernos.
Aumento del desgaste de la carcasa del Astillador.	Aspas de soplado gastadas o dañadas.	Cambiar todas las aspas.
Aumenta el sobretamaño de las Astillas.	Cuchillo fijo con desgaste.	Cambiar cuchillo fijo.
	Contra cuchillo con desgaste.	Cambiar contra cuchillo.
Ruido roce metálico en sector freno hidráulico.	Balatas gastadas.	Cambiar balatas.
No frena freno hidráulico.	No llega señal a rotor de Bomba Hidráulica.	Revisar sistema eléctrico.
	Bajo nivel de aceite del sistema hidráulico.	Rellenar y/o cambiar aceite.
	Rotura flexible hidráulico	Cambiar flexible.
	Pistones trabados.	Retirar y suavizar.
	Pistones con fugas.	Retirar y cambiar sellos.
Baja la corriente de uno de los motores.	Acoplamiento flexible no acopla.	Cambiar acoplamiento.

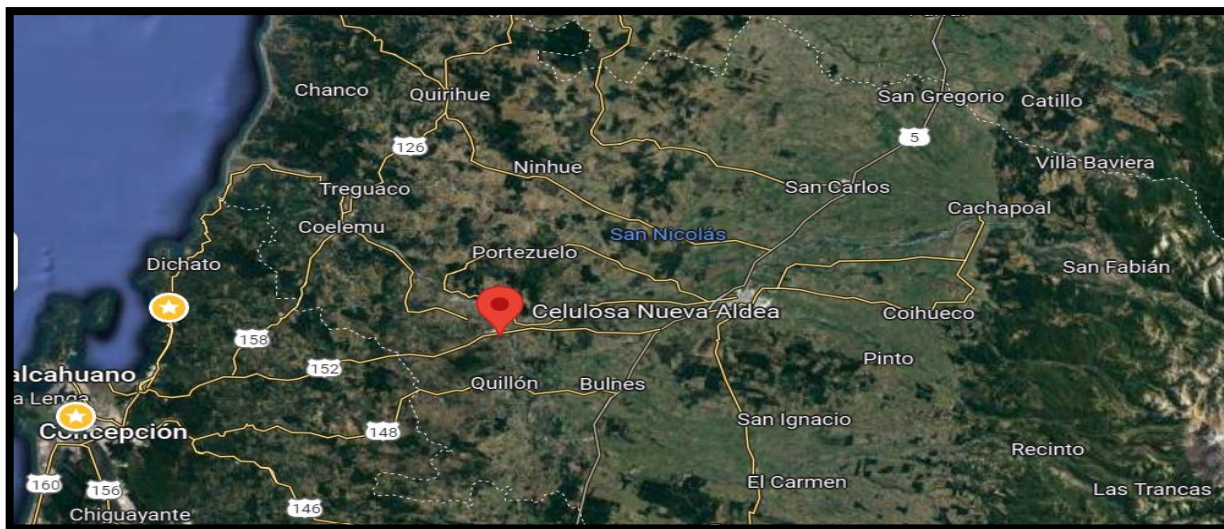
11Figura 2-6 Diagnóstico astillador. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

A partir de las tablas de posibles fallas-soluciones entregadas por el fabricante, es como la empresa Arauco logra identificar en primera instancia la pérdida de filo de los cuchillos, ya que la alerta que genera las detenciones semanales es la subida de amperaje del motor. Alerta que ratifica la pérdida de filo y/o fractura.

CAPITULO III: DISEÑO DE SOLUCIÓN

3.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA PLANTA CELULOSA

A Continuación, se presentan registros de la zona geográfica en donde se llevará a cabo el proyecto (Planta celulosa Nueva Aldea).



12Figura 3-1 Ubicación Geográfica del lugar. Fuente: Google maps.

3.2 NORMATIVA VIGENTE A CONSIDERAR

Norma ISO 9001:2015:

La norma ISO 9001:2015 establece los requisitos para un sistema de gestión de la calidad (SGC) en cualquier organización, orientado a mejorar la satisfacción del cliente y garantizar la calidad de los productos o servicios ofrecidos. Basada en principios clave como el enfoque al cliente, el liderazgo, la participación del personal, la gestión basada en procesos, la mejora continua, la toma de decisiones basada en evidencias y la gestión de relaciones, esta norma proporciona un marco integral para la optimización de los procesos operativos. Su objetivo es asegurar que las organizaciones cumplan consistentemente con los requisitos del cliente y regulaciones, al tiempo que fomentan la mejora continua en sus operaciones y la gestión de calidad.

3.3 HISTORIAL DE FALLAS DEL EQUIPO, AÑO 2023

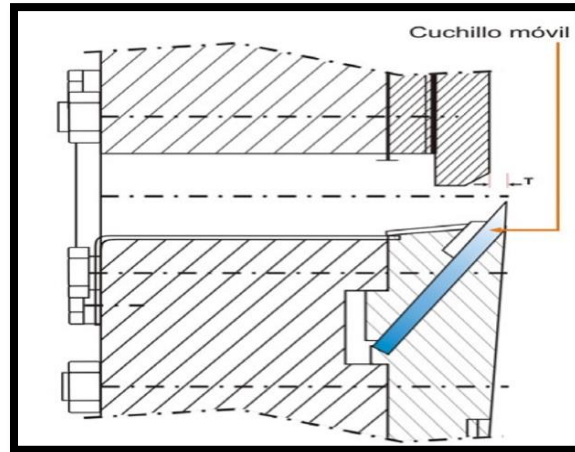
HISTORIAL DE FALLAS ASTILLADOR ANDRITZ XL 2023				
FECHA	EQUIPO	ÁREA	FALLA	CANTIDAD
ENERO	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	16
FEBRERO	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	14
MARZO	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	20
ABRIL	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	24
MAYO	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	24
JUNIO	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	24
JULIO	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	24
AGOSTO	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	24
SEPTIEMBRE	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	22
OCTUBRE	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	20
NOVIEMBRE	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	18
DICIEMBRE	ASTILLADOR	MADERAS	SUBIDA DE AMPERAJE	16

Tabla 1 Historial de fallas astillador año 2023. Fuente: Proporcionada por empresa mandante.

Si observamos con detenimiento, podemos notar que el equipo falla 24 veces al mes durante la estación más lluviosa del año (junio, julio y agosto). Esto sugiere que, durante este período, la madera tiene un mayor contenido de humedad, lo que se refleja en el desgaste de los filos de los cuchillos y en un aumento del amperaje en el motor.

3.3.1 CUCHILLO MÓVIL ASPECTOS A CONSIDERAR

El Cuchillo móvil indicado por el fabricante es de acero de alta dureza (D2). Sus dimensiones son: 990x135x12, 7 (mm). Con una dureza HRC 52.



13Figura 3-3 Cuchillo móvil. Fuente: Catálogo proporcionado por el fabricante (ANDRITZ)

Para la elección del material adecuado a utilizar, se deben considerar diversos factores que afectan el rendimiento del componente en condiciones extremas como impactos, abrasión y corrosión. A continuación, se presenta un análisis detallado de las opciones de materiales con sus propiedades físicas y químicas, seguido de una recomendación fundamentada.

3.3.2 FACTORES CLAVE

- Dureza: Capacidad del material para resistir el desgaste y mantener el filo.
- Resistencia Mecánica: Capacidad para soportar cargas de impacto y flexión.
- Tenacidad: Habilidad para absorber energía antes de fracturarse, importante para resistir impactos repentinos.
- Resistencia a la Corrosión: Capacidad para resistir el deterioro en ambientes húmedos y corrosivos.
- Costo: Evaluar el costo del material y los procesos asociados (tratamientos térmicos, maquinado) en relación con el presupuesto disponible.
- Desempeño Térmico: Comportamiento del material a temperaturas muy altas o bajas.

3.4 ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE POSIBLES CANDIDATOS

Acero de Alta Dureza:

Propiedades:

- Físicas: Alta dureza (HRC 60-65), buena resistencia al desgaste.
- Químicas: Vulnerable a la corrosión sin tratamientos adicionales.
- Análisis: A pesar de su alta dureza, la vulnerabilidad a la corrosión y la necesidad de tratamientos adicionales para mejorar la resistencia a la corrosión limitan su aplicabilidad sin medidas complementarias.

Carburo de Tungsteno:

Propiedades:

- Físicas: Extremadamente duro (HRC 88-92), muy resistente al desgaste.
- Químicas: Alta resistencia a la corrosión, pero frágil bajo impacto.
- Análisis: Su extrema dureza y resistencia al desgaste son ventajosas, pero su alto costo y susceptibilidad a fracturas por impacto lo hacen menos adecuado para aplicaciones con altas cargas de impacto.

Cerámica Técnica:

Propiedades:

- Físicas: Excelente resistencia al desgaste, baja densidad dureza (HRC 85-92)
- Químicas: Buena resistencia a la corrosión, pero frágil bajo impactos.
- Análisis: Aunque proporciona una excelente resistencia al desgaste y es ligera, su fragilidad bajo impacto limita su utilidad en entornos con impactos severos.

Aleaciones de Titanio:

Propiedades:

- Físicas: Buena relación resistencia-peso, menor dureza comparado con aceros de alta dureza (30-40 HRC)
- Químicas: Alta resistencia a la corrosión, pero requiere recubrimientos para mejorar la dureza.
- Análisis: La resistencia a la corrosión y la alta relación resistencia-peso son

beneficiosas, pero la menor dureza y el costo relativamente alto pueden ser desventajas en aplicaciones con altas demandas de dureza.

Acero Inoxidable de Alta Aleación 440B:

Propiedades:

- Físicas: Buena dureza (HRC 60), tenacidad adecuada, buena resistencia al desgaste.
- Químicas: Alta resistencia a la corrosión, especialmente en versiones de alta aleación.
- Análisis: Aunque su dureza es menor en comparación con algunos aceros de alta dureza, su resistencia a la corrosión y su tenacidad hacen que sea una opción equilibrada para aplicaciones donde se requiere durabilidad en entornos corrosivos y con impactos moderados.

3.4.1 ELECCIÓN DE MATERIAL

Al realizar una comparativa basada en los beneficios y costos de cada elemento propuesto como posible reemplazo al existente acero de alta dureza D2, pudimos notar que la opción más viable en relaciones de dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión es el acero inoxidable de alta aleación 440B. Puesto que su composición lo hace ideal para enfrentar las condiciones extremas del entorno de trabajo. Aunque su dureza puede ser un tanto menor que la de algunos aceros de alta dureza. Su capacidad de resistencia a la corrosión y su tenacidad aseguran un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada en las condiciones de funcionamiento del astillador en cuestión.

El acero inoxidable de alta aleación 440B puede mantener un filo significativamente más tiempo en comparación con el acero D2 debido a diferencias clave en su composición química y propiedades estructurales.

Los altos niveles de cromo forman una capa pasiva en la superficie del material. Esta capa de óxido de cromo protege el acero de la corrosión y mejora su durabilidad en ambientes agresivos. Además, el níquel presente en este tipo de acero estabiliza la estructura auténtica, lo que contribuye a una mayor tenacidad y

flexibilidad, ayudando a mantener el filo durante más tiempo. Elementos adicionales como el molibdeno y el vanadio también desempeñan un papel importante, ya que aumentan la resistencia al desgaste y mejoran la estabilidad de los carburos en el acero, contribuyendo a una mejor conservación del filo.

Por otro lado, el acero D2, aunque es conocido por su alta dureza y resistencia al desgaste, no cuenta con la misma cantidad de cromo ni con otros elementos que proporcionen una protección similar contra la corrosión. Su estructura, aunque dura, es más susceptible a la deformación bajo carga y a la pérdida de agudeza con el tiempo.

En resumen, la combinación de una capa protectora efectiva, una estructura más estable y la inclusión de elementos específicos en el acero inoxidable de alta aleación permiten que mantenga un filo más duradero y resistente en comparación con el acero D2.

3.5 COMPARACIÓN QUÍMICA, MECÁNICA Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ACERO INOXIDABLE DE ALTA ALEACIÓN 440B Y ACERO DE ALTA DUREZA D2 PARA CUCHILLOS MÓVILES DEL ASTILLADOR

3.5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

“Acero Inoxidable de alta aleación 440B:

- Cromo (Cr): 16-18%
- Carbono (C): 0.95-1.20%
- Manganeso (Mn): $\leq 1.0\%$
- Fósforo (P): $\leq 0.04\%$
- Silicio (Si): $\leq 1.0\%$
- Azufre (S): $\leq 0.03\%$
- Molibdeno (Mo): $\leq 0.75\%$.”

(American Iron and Steel Institute, 2020)

“Acero de alta dureza D2:

- Cromo (Cr): 11.0-13.0%
- Carbono (C): 1.40-1.60%
- Manganeso (Mn): $\leq 1.0\%$
- Fósforo (P): $\leq 0.03\%$
- Silicio (Si): $\leq 0.60\%$
- Azufre (S): $\leq 0.03\%$
- Vanadio (V): 0.50%”

(American Society for Testing and Materials, 2002)

3.5.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

“Acero Inoxidable de alta aleación:

- Dureza (HRC): El acero 440B puede alcanzar una alta dureza, generalmente entre 58-58 HRC.
- Resistencia a la Tracción: Posee una alta resistencia a la tracción, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren alta durabilidad (760 Mpa).
- Tenacidad: Moderada, equilibrada con la dureza.”
(American Iron and Steel Institute, 2020)

“Acero de Alta Dureza D2:

- Dureza (HRC): El acero D2 puede alcanzar niveles bastante elevados de dureza 60-62 HRC.
- Resistencia a la Tracción: Posee una buena resistencia a la tracción, pero no de un alto estándar (650 Mpa).
- Tenacidad: Buena, pero ligeramente menor que la del inoxidable 440B.”
(American Society for Testing and Materials, 2002)

Análisis Mecánico:

- Ambos aceros ofrecen alta dureza, pero el D2 puede alcanzar valores ligeramente superiores.
- El Acero de alta aleación 440B proporciona una resistencia a la tracción mayor, contribuyendo a su tenacidad equilibrada.
- El acero de alta dureza (D2), aunque más duro, puede ser más susceptible a fracturas por impacto.

3.5.3 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

Acero Inoxidable de alta aleación 440B:

Ofrece una resistencia excelente a la corrosión gracias al contenido de cromo.

Acero de alta dureza D2:

Es más susceptible a la corrosión debido a su menor contenido de cromo y requiere cuidados adicionales.

Análisis de Resistencia a la Corrosión:

El acero inoxidable de alta aleación destaca en entornos corrosivos, siendo una elección más resistente a la corrosión que el acero D2.

3.6 SELECCIÓN RECOMENDADA

Tras un análisis detenido, se recomienda el uso de acero inoxidable de alta aleación para los cuchillos móviles del astillador. Esta elección combina resistencia a la corrosión, dureza y tenacidad, características esenciales para enfrentar las condiciones de trabajo adversas.

3.6.1 JUSTIFICACIÓN CON NORMA AISI 440

“Aplicaciones del acero inoxidable 1.4112 (AISI 440B):

El acero inoxidable 1.4112 (AISI 440B, X90CrMoV18) se utiliza para diversas aplicaciones debido a sus propiedades específicas. Entre ellas se incluyen:

Cuchillos e instrumentos quirúrgicos: Debido a su dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión, el acero inoxidable 1.4112 se utiliza a menudo para la producción de cuchillos, instrumentos quirúrgicos y dispositivos médicos de alta calidad.

Cuchillos y herramientas industriales: En la industria, el acero inoxidable 1.4112 se utiliza para la fabricación de herramientas de corte, cuchillos, hojas y otras herramientas que requieren gran resistencia y durabilidad.

Rodamientos de bolas: Debido a su buena resistencia a la corrosión y dureza, el acero inoxidable 1.4112 también se utiliza en la fabricación de rodamientos de bolas para diversas aplicaciones, como la ingeniería mecánica, la industria del automóvil y la aeroespacial.

Tornillos y pernos: En las industrias que requieren elementos de fijación robustos y resistentes a la corrosión, como la construcción, la construcción naval y las plantas químicas, el acero inoxidable 1.4112 se utiliza a menudo para la producción de

tornillos, pernos y otros elementos de fijación” (American Iron and Steel Institute, 2020)

3.7 ESTUDIO DE MERCADO

Para implementar el material seleccionado, fue necesario realizar diversas cotizaciones del repuesto en cuestión con diferentes maestranzas, empresas locales y nacionales. Esto con el fin de verificar la viabilidad de su desarrollo y de identificar los costos asociados.

Como resultado, surgieron tres posibles candidatos para adjudicarse la fabricación de los cuchillos según las especificaciones del fabricante. A continuación, se detallan sus cotizaciones en función de la cantidad de repuestos que la empresa mandante (Arauco) exige como abastecimiento mensual y semanal.

La empresa solicita un mínimo de 250 unidades de cuchillos móviles mensualmente, los cuales deben ser entregados dentro de las primeras 4 semanas del mes, o preferentemente, todas las unidades dentro de los primeros 5 días hábiles de cada mes.

Maestranza Ávila S.A:

DETALLE DE TODOS LOS MATERIALES APORTADOS POR MAESTRANZA ÁVILA S.A					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	Valor unitario	\$ VALOR TOTAL
1	CUCHILLOS INOX ALTA ALEACIÓN	ctu	250	\$ 32.200	\$ 8.050.000
2					\$ -
3					\$ -
4					\$ -
5					\$ -
6					\$ -
7					\$ -
8					\$ -
9					\$ -
TOTAL MATERIALES					\$ 8.050.000

Tabla 2 presupuesto cuchillos Fuente: Maestranza Ávila S.A

Presupuesto efectuado con entrega dentro de los primeros 5 días hábiles de cada mes por parte de la empresa Maestranza Ávila.S.A.

Empresa Ingeman:

DETALLE DE TODOS LOS MATERIALES APORTADOS POR EMPRESAS INGEMAN					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	Valor unitario	\$ VALOR TOTAL
1	CUCHILLOS INOX ALTA ALEACIÓN	ctu	250	\$ 42.500	\$ 10.625.000
2				\$	-
3				\$	-
4				\$	-
5				\$	-
6				\$	-
7				\$	-
9				\$	-
TOTAL MATERIALES					\$ 10.625.000

Tabla 3 Presupuesto cuchillos Fuente: Empresa Ingeman.

Presupuesto realizado con entrega dentro de las 4 primeras semanas de cada mes por parte de la empresa correspondiente.

Empresa Ingetex:

DETALLE DE TODOS LOS MATERIALES APORTADOS POR EMPRESAS INGETEX					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	Valor unitario	\$ VALOR TOTAL
1	CUCHILLOS INOX ALTA ALEACIÓN	ctu	250	\$ 40.000	\$ 10.000.000
2				\$	-
3				\$	-
4				\$	-
5				\$	-
6				\$	-
7				\$	-
9				\$	-
TOTAL MATERIALES					\$ 10.000.000

Tabla 4 Presupuesto cuchillos Fuente: Empresa Ingetex.

Presupuesto en base a entrega dentro de los primeros 5 días hábiles de cada mes por parte de la empresa correspondiente.

3.7.1 ASIGNACIÓN

Tras revisar los datos proporcionados en los puntos 3.4 y 3.5, y considerando el posterior estudio de mercado para analizar las cotizaciones, se selecciona a Maestranza Ávila S.A. como el mejor candidato, ya que, al revisar los requisitos, es quien ofrece un presupuesto más ajustado a las necesidades de la empresa contratante.

3.8 TIEMPOS DE DETENCIÓN POR SUBIDA DE AMPERAJE

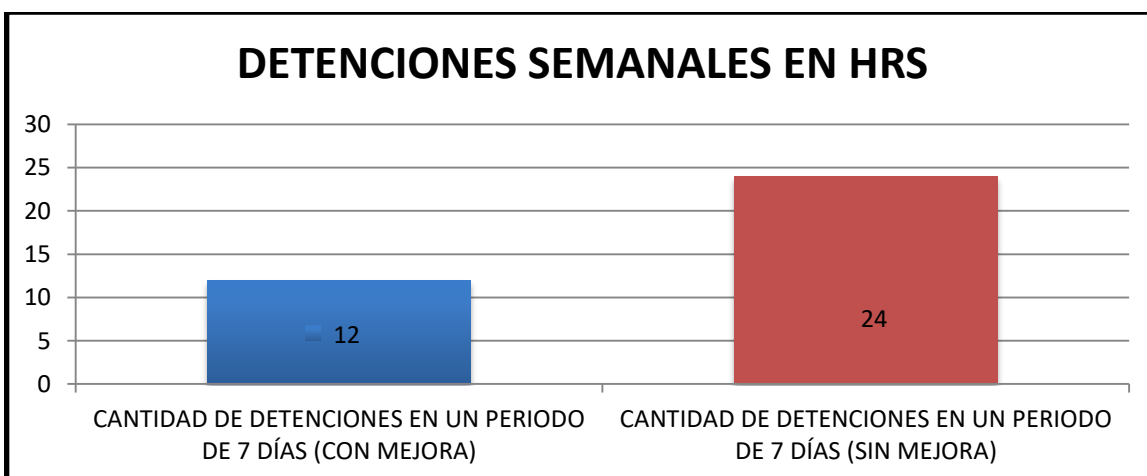
3.8.1 TIEMPOS DE DETENCIÓN POR SUBIDA DE AMPERAJE (CONDICIONES NORMALES)

Los tiempos de detención semanales varían entre 4-5 horas y hasta 8 horas, dependiendo de la cantidad de cuchillos a reemplazar y del estado en el que se encuentre el astillador. Si consideramos un promedio de 4 horas de detención y 6 detenciones semanales, el equipo se encuentra sin funcionamiento aproximadamente 24 horas en total.

3.8.2 TIEMPOS DE DETENCIÓN POR SUBIDA DE AMPERAJE (CON MEJORA)

Al implementar la mejora propuesta, podemos reducir significativamente el tiempo de detención del equipo, pasando de aproximadamente 24 horas semanales con 6 detenciones a solo 12 horas semanales con 3 detenciones, manteniendo un tiempo de mantenimiento no superior a 4 horas por detención.

A continuación, se presenta un gráfico comparativo de la cantidad de detenciones y las horas transcurridas, con el fin de visualizar la viabilidad en términos de mantenimiento y disponibilidad del astillador:



14-Figura 3-8-2 Detenciones en Hrs. Fuente: Elaboración propia.

3.8.3 APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE MEJORA DEL TIEMPO DE CICLO

(TMF)

Reducción del Tiempo de Ciclo:

La mejora en la durabilidad y rendimiento de los cuchillos lleva a una reducción en el tiempo necesario para procesar cada metro cúbico de material de madera.

Eficiencia Operativa Mejorada:

Con cuchillos más resistentes y duraderos, se reducen los tiempos de inactividad asociados con el cambio frecuente de cuchillos, mejorando así la eficiencia operativa.

3.8.4 BENEFICIOS ADICIONALES

Menor Mantenimiento:

La durabilidad del acero inoxidable de alta aleación reduce la frecuencia de reemplazo de cuchillos en un 50%, disminuyendo los costos asociados con el mantenimiento y aumentando la disponibilidad operativa en un 30%.

Calidad del Producto Mejorada:

La mejora en la durabilidad de los cuchillos también puede tener un impacto positivo en la calidad de las astillas producidas, al garantizar un corte más preciso y consistente.

CAPITULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 IMPACTO PRODUCTIVO

Contexto: El astillador, utilizado para procesar madera, experimenta una mejora sustancial en sus cuchillos como resultado de la implementación de acero inoxidable de alta aleación (440B) en lugar del material anterior (D2). Esta mejora busca aumentar la eficiencia y la vida útil de los cuchillos, lo que tiene un impacto directo en la producción de astillas.

Descripción de la Mejora:

En base a los diversos análisis presentados en conjunto con la norma AISI 440, se toma la decisión de realizar una implementación del acero Inoxidable de alta aleación como material definitivo de fabricación de los cuchillos móviles. Es necesario destacar que la nueva selección de material busca maximizar la durabilidad y la eficiencia del proceso de astillado. Esto gracias a que posee un 50% más de durabilidad en términos de pérdida de filo.

Impacto Medido:

Producción anterior: 200m³/h.

Antes de la mejora, el astillador procesaba eficientemente 200 metros cúbicos de material de madera en una hora de trabajo cíclico. Lo que nos da en condiciones ideales de trabajo 12h un resultado de 2400 m³ por día.

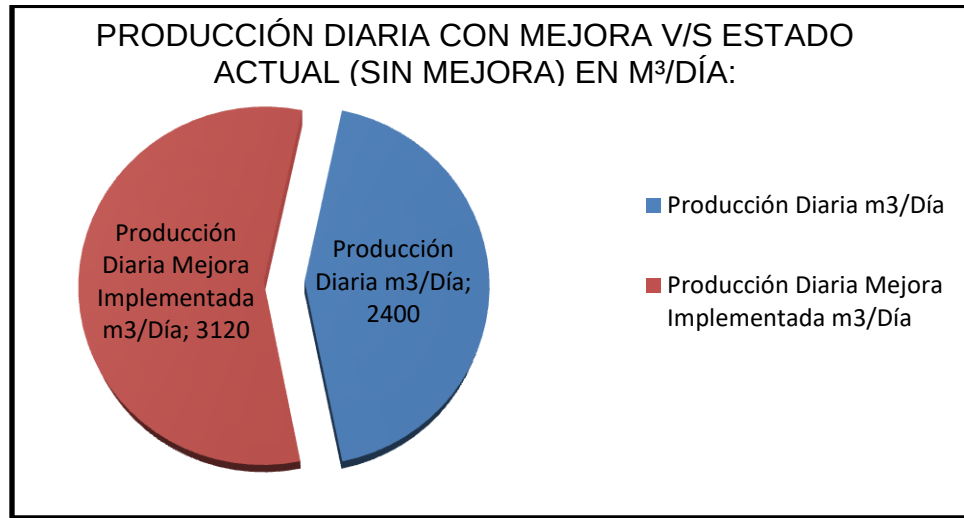
Producción post implementar mejora: 260m³/h

Con la implementación de cuchillos mejorados de acero inoxidable de alta aleación, la producción se llega a incrementar significativamente a 260 metros cúbicos por hora. Lo cual nos da en condiciones ideales de trabajo 12h un resultado de 3120 m³ por día.

Cálculo del Impacto Productivo: Aumento Producción: 720 m³/día.

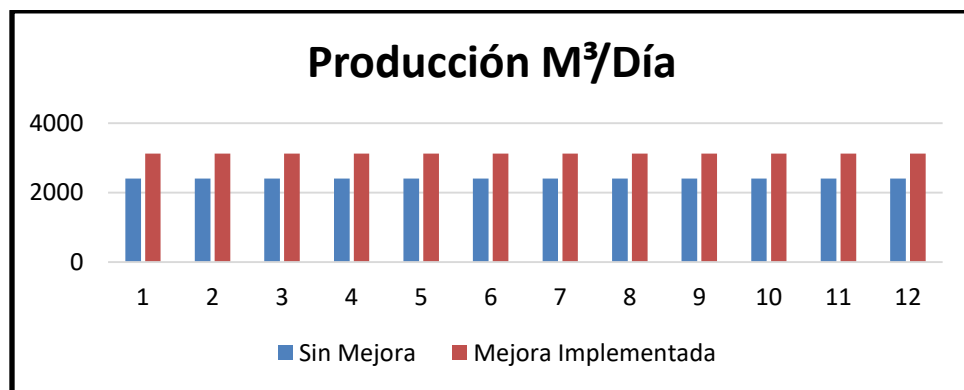
Dicho impacto se vio transformado y reflejado en el siguiente gráfico, en el cual podemos notar de forma abrasiva las diferencias de carácter diario en términos de producción. Pudiendo observar que la producción diaria con la implementación de la mejora a proponer en este informe es sustancialmente mayor que la ya realizada por

el equipo en caracteres normales.



15Figura 4-1 Gráfico Producción. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores, proyectados sin frecuencia acumulada por 12 días, nos presentan un gráfico de barras como el que se muestra a continuación. En él se detalla la nueva producción, representada con barras rojas, que alcanza una producción diaria de 3120 m³, y la producción antigua, representada con barras azules, que alcanza una producción diaria de 2400 m³.



16Figura 4-1 Gráfico comparativa producción. Fuente: Elaboración propia.

4.2 PRESUPUESTO POR DETENCIÓN EN DÍAS HÁBILES SIN IMPLEMENTAR MEJORA

DETALLE DE TODOS LOS MATERIALES APORTADOS POR EMPRESA CONTRATISTA							
ITEM	DESCRIPCION		UNIDAD	CANT.	Valor unitario	\$ VALOR TOTAL	
1	TRAJE PAPEL		du	8	\$ 2.800	\$ 22.400	
2	GUANTE ANTICORTE		par	8	\$ 3.200	\$ 25.600	
3	GRASA		KG	1	\$ 15.400	\$ 15.400	
4	CHASCON		du	2	\$ 2.400	\$ 4.800	
5	CUCHILLOS D2		du	10	\$ 29.900	\$ 299.000	
6	LUBRICANTE		L	2	\$ 17.980	\$ 35.960	
7						\$ -	
9						\$ -	
					TOTAL MATERIALES		\$ 403.160
DETALLE DE MANO DE OBRA							
ITEM	ESPECIALIDAD	N° Personas	días	H.extras	valor total dia	\$/HORA extr	\$ VALOR TOTAL
	M.O.terreno						
1	Mécanico	2	1	2	54000	8000	124.000
2	Ayudante Mécanico	1	1	2	35000	7000	49.000
ITEM	M.O.en maestranza	N° Personas	días	H.extras	\$/HORA normales	\$/HORA extr	\$ VALOR TOTAL
1							0
2							0
3							0
4							0
TOTAL DE MANO DE OBRA							173.000
Observaciones:							
DETALLE DE EQUIPOS/LOGISTICA							
ITEM	EQUIPOS		horas	días	\$/DIA	\$/HORA	\$ VALOR TOTAL
1	TRASLADO			1	80000		80.000
2	HOSPEDAJE			1	160000		160.000
3	HERRAMIENTAS		8	1	50000		50.000
4	COLACIÓN			1	20000		20.000
5							
TOTAL OTROS ÍTEMS							310.000
RESUMEN VALORIZACION							
MANO OBRA	MATERIAL	EQUIPOS	UTILIDAD	TOTAL NETO		Validez de la Oferta	Plazo de ENTREGA
\$	\$	\$	\$	\$			
173.000	403.160	310.000	230.464	1.116.624		30 días	

Tabla 5 Presupuesto en días hábiles actual. Fuente Elaboración propia.

La cotización que podemos ver anteriormente es entregada por la empresa a cargo del mantenimiento del astillador. Dicho documento nos entrega los valores que se cobra por cada una de las detenciones en las cuales hay que realizar un cambio de cuchillos al astillador debido a alerta en el equipo por subida de amperaje de los motores.

Costo por detención cada 3000 m³/h. \$1.116.624.

Información de detenciones semanales estimadas sin implementar mejora, proporcionada por la empresa mandante: **6 ocasiones en un periodo de 7 días.**

4.3 PRESUPUESTO POR DETENCIÓN EN DÍAS HÁBILES CON MEJORA IMPLEMENTADA

DETALLE DE TODOS LOS MATERIALES APORTADOS POR EMPRESA CONTRATISTA							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	Valor unitario	\$ VALOR TOTAL		
1	TRAJE PAPEL	cfu	8	\$ 2.800	\$	22.400	
2	GUANTE ANTICORTE	par	8	\$ 3.200	\$	25.600	
3	GRASA	KG	1	\$ 15.400	\$	15.400	
4	CHASCON	cfu	2	\$ 2.400	\$	4.800	
5	CUCHILLOS INOX	cfu	10	\$ 32.300	\$	323.000	
6	LUBRICANTE	L	2	\$ 17.980	\$	35.960	
7					\$	-	
9					\$	-	
TOTAL MATERIALES					\$	427.160	
DETALLE DE MANO DE OBRA							
ITEM	ESPECIALIDAD	N° Personas	días	H.extras	valor total día	\$/HORA extr	\$ VALOR TOTAL
	M.O.terreno						
1	Mécanico	2	1	2	54000	8000	124.000
2	Ayudante Mécanico	1	1	2	35000	7000	49.000
ITEM	M.O.en maestranza	N° Personas	días	H.extras	\$/HORA normales	\$/HORA extr	\$ VALOR TOTAL
1							0
2							0
3							0
4							0
TOTAL DE MANO DE OBRA							173.000
Observaciones:							
DETALLE DE EQUIPOS LOGISTICA							
ITEM	EQUIPOS	horas	días	\$/DIA	\$/HORA	\$ VALOR TOTAL	
1	TRASLADO		1	80000		80.000	
2	HOSPEDAJE		1	160000		160.000	
3	HERRAMIENTAS	8	1	50000		50.000	
4	COLACIÓN		1	20000		20.000	
5							
TOTAL OTROS ÍTEMS							310.000
RESUMEN VALORIZACION							
MANO OBRA	MATERIAL	EQUIPOS	UTILIDAD	TOTAL NETO		Validez de la Oferta	Plazo de ENTREGA
\$	\$	\$	\$	\$			
173.000	427.160	310.000	240.064	1.150.224		30 días	

Tabla 6 Presupuesto detención con mejora en días hábiles. Fuente Elaboración propia.

Es necesario mencionar que al momento de ejecutarse el estudio del proyecto se realizaron las investigaciones en distintas maestranzas y empresas especializadas en la realización de los nuevos cuchillos de acero inoxidable, obteniendo así como mejor resultado y más viable en base a los requisitos el de una empresa especializada con un valor de \$32.200 por cada unidad realizada.

Costo por detención con mejora implementada: \$1.150.224

Detenciones semanales estimadas al implementar mejora: 3 ocasiones en 7 días.

4.4 FLUJO DE CAJA COSTO/DETENCIONES SEMANAL

Costo \$ por detención	Detenciones semanales (7 días)	Costo
1116624	6	\$ 6.699.744
Costo \$ por detención	Detenciones semanales (7 días)	Costo
1150224	3	\$ 3.450.672
		Saldo a favor con mejora
		\$ 3.249.072

Tabla 7 Costo/detenciones semanales. Fuente: Elaboración Propia.

Lo que podemos observar en dicho flujo es la diferencia a favor con base en las detenciones la cual se obtiene al implementar la mejora en el astillador. Dichas cifras con muestran un saldo a favor semanal en relación a las detenciones en CLP \$3.249.072.

4.5 ANÁLISIS CONTABLE A FIN DE COMPROBAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

4.5.1 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN REPUESTOS SIN IMPLEMENTAR MEJORA

Como pudimos comprobar anteriormente, la empresa a cargo del mantenimiento del astillador, entrega una cotización en donde el cobro por cada unidad de cuchillo móvil con el material indicado por el fabricante es de \$29.900 CLP.

Si consideramos la cantidad mínima de dicho repuesto requerida por la empresa mandante tenemos que:

Cuchillos D2	Costo Unitario	Total requerido	Costo Total (mes)
c/u	\$29.900	250	\$7.475.000

Tabla 8 Detalle de inversión actual. Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN DETENCIONES SIN IMPLEMENTAR MEJORA

Si tomamos como base que cada detención tiene un valor aproximado en CLP de \$1.116.624. Con una cantidad de 6 detenciones semanales según la información entregada por la empresa mandante podemos deducir lo siguiente:

Costo por detención en CLP	Detenciones semanales	Detenciones mensuales	Costo Total (mes)
\$1.116.624	6	24	\$26.798.976

Tabla 9 Detalle detenciones en CLP actual: Fuente Elaboración propia.

4.5.3 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL TOTAL SIN IMPLEMENTAR MEJORA

Al realizar una sumatoria de la inversión mensual total en donde se incluyen las detenciones y el valor gastado en cuchillos móviles tenemos que el valor total por mes es de CLP \$34.273.976.

4.5.4 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN REPUESTOS CON MEJORA IMPLEMENTADA

Al considerar la producción del nuevo repuesto mediante la empresa previamente seleccionada tenemos por otro lado:

Cuchillos INOX	Costo Unitario	Total requerido	Costo total (mes)
c/u	\$32.200	250	\$8.050.000

Tabla 10 Detalle inversión mensual con mejora. Fuente: Elaboración propia.

Lo cual nos da como una inversión extra en repuestos mensuales en CLP de aproximadamente: \$575.000

4.5.5 DETALLE DE INVERSIÓN MENSUAL EN DETENCIONES CON MEJORA IMPLEMENTADA

Para desarrollar la siguiente tabla se tomó como valor aproximado a cada detención en CLP de \$1.150.224. Con una cantidad de 3 detenciones semanales según la información generada y entregada en el presente informe en base a revisiones de la pérdida de filo del material. A partir de ello tenemos que:

Costo por detención en CLP	Detenciones semanales	Detenciones mensuales	Costo total (mes)
\$1.150.224	3	12	\$13.802.688

Tabla 11 Detalle inversión mensual detenciones con mejora. Fuente: Elaboración propia.

4.5.6 BALANCE DE INVERSIÓN MENSUAL TOTAL CON MEJORA IMPLEMENTADA

Luego de sumar la inversión mensual en donde se incluyen las detenciones y el valor gastado en cuchillos móviles con el nuevo tipo de cuchillos en acero inoxidable de alta aleación es de CLP \$21.852.688.

4.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE INVERSIÓN Y PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN CLP A FIN COMPROBAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

Dado el análisis y los puntos presentados anteriormente, podemos determinar que la inversión necesaria para la adecuada realización del proyecto, considerando la cantidad de detenciones por mantenimiento y el material de repuesto solicitado mes a mes por la empresa mandante, es de CLP \$21.852.688.

La cifra actual de inversión mensual en detenciones y repuestos, sin implementar ningún tipo de mejora, es de CLP \$34.273.296.

Esto demuestra que el proyecto ofrece un saldo a favor mensual de CLP

\$12.420.608.

Los resultados nos entregan un balance positivo y un flujo de caja a favor, lo cual ratifica la viabilidad económica del proyecto además de su capacidad para generar un impacto abismal en términos de ahorro de costos en el corto plazo sin dejar atrás que la nueva producción diaria tendría un aumento en 60 m³/h Cifra que traducida al valor del m³ en CLP es: \$2.100.000

Para calcular la nueva producción semanal se tomó en cuenta el aumento diario del 30%, cifras que al agregar las detenciones esperadas dan como resultados semanales un saldo a favor de CLP \$179.640.072.

Producción normal m3/Día	Valor m3	Valor producto neto/ día	Valor Producto neto/Semana
2400	\$ 35.000	\$ 84.000.000	\$ 588.000.000
Producción con mejora m3/Día	Valor m3	Valor producto neto/día	Valor Producto neto/Semana
3120	\$ 35.000	\$ 109.200.000	\$ 764.400.000
			Saldo a favor con mejora/ Semana
			\$ 176.400.000
Balance semanal normal Costo/Producción	Balance semanal con mejora Costo/Producción		
Costo (-) \$6.669.744	Costo (-) \$3.450.672		
Producción (+) \$588.000.000	Producción (+) \$ 764.400.000		
\$ 581.300.256	\$ 760.949.328		
	A favor con mejora/total		
	\$ 179.649.072		

Tabla 12 Flujo de caja semanal. Fuente elaboración propia.

4.6.1 PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN CLP MENSUAL

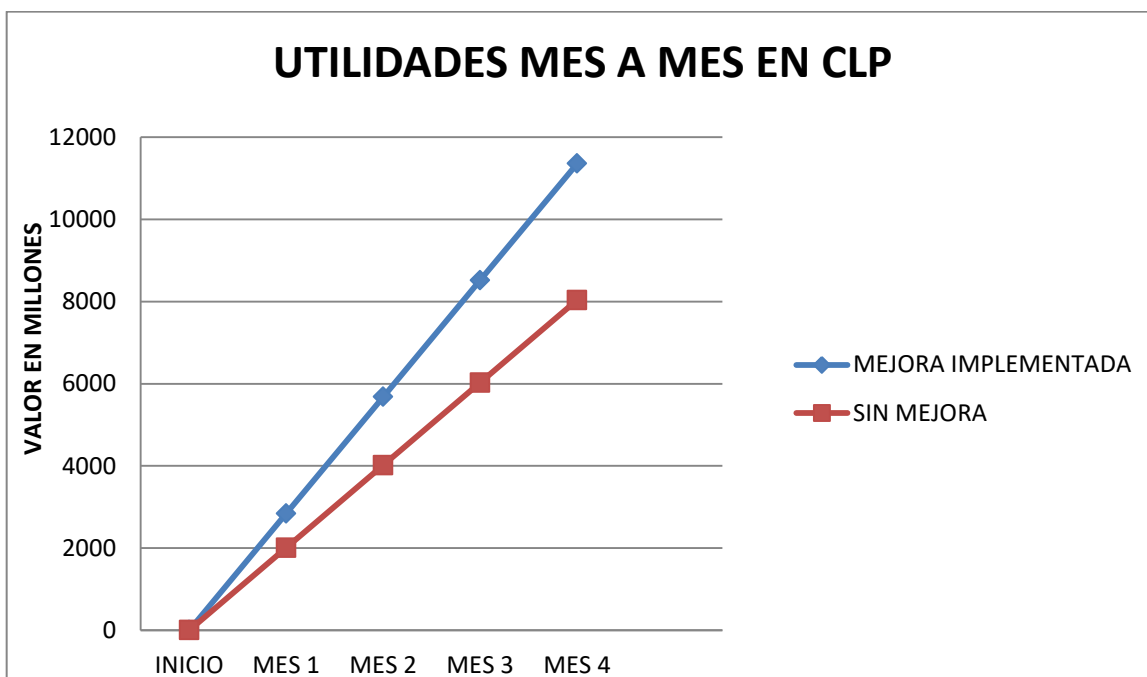
Para generar la proyección de la producción convertida en CLP es necesario tener en cuenta los siguientes valores:

- Producción con mejora implementada:
- Ingreso mensual / Costo mensual
- 3.057.600.000 / 21.852.688
- Producción sin mejora:
- Ingreso mensual / Costo mensual
- 2.352.000.000 / 34.273.296.

Es así como al comparar las cifras de ingreso por producción mensual, descontando el costo por mantenimiento y repuestos obtenemos la cifra mensual de CLP:

\$748.471.296 a favor.

A continuación se muestran dichas ganancias en frecuencia acumulada de forma mensual. Podemos observar que en la proyección de 4 meses, las utilidades generadas por la mejora alcanzan casi los CLP \$11.356.000.000 en el cuarto mes. Mientras que su contraparte sólo logra alcanzar los CLP \$8.037.000.000.



17Figura 4-6-1. Gráfico Producción mensual acumulado en millones. Fuente: Elaboración propia.

4.7 VIABILIDAD

Teniendo como base los análisis realizados a fin de comprobar si era realmente viable la realización del proyecto podemos apreciar de forma visible los beneficios directos en carácter de producción, reducción de mantenimiento, detenciones, inversión en repuestos y calidad de operación tanto como de producto final. Es así como se declara el proyecto admisible, de bajos costos y con una viabilidad positiva.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La implementación del acero inoxidable de alta aleación en los cuchillos móviles del equipo ha demostrado ser una inversión estratégica efectiva. Este material resulta en un incremento del 30% en la producción del astillador, lo que evidencia una mejora tangible en la capacidad operativa del equipo. Este aumento en la eficiencia del proceso de astillado permite procesar más material en menos tiempo, lo que refuerza la viabilidad del proyecto en términos de productividad.
- Además, el acero inoxidable de alta aleación ha optimizado los costos de mantenimiento. La durabilidad superior de este material en comparación con alternativas menos resistentes reduce la frecuencia y el costo de reemplazos y reparaciones. Esta reducción en los costos de mantenimiento contribuye a una inversión a largo plazo más rentable, destacando la viabilidad económica del proyecto.
- Otro beneficio importante es la extensión de la vida útil de los cuchillos móviles. Un mayor período de funcionamiento sin necesidad de reemplazos minimiza la interrupción del proceso de astillado y asegura una inversión duradera. Esta mejora en la durabilidad refuerza la viabilidad del proyecto al ofrecer retornos prolongados.
- La mayor resistencia a la corrosión del acero inoxidable de alta aleación también es un factor clave. Este material asegura que los cuchillos mantengan su rendimiento en condiciones adversas, como la exposición a humedad y otros agentes corrosivos. La capacidad del material para resistir la corrosión aumenta la confiabilidad del equipo y reduce el riesgo de fallos, confirmando la viabilidad del proyecto desde una perspectiva de durabilidad y desempeño.
- La implementación de acero inoxidable de alta aleación también ha elevado la calidad del producto final. La precisión y el corte más eficiente resultan en astillas de mayor calidad, lo que impacta positivamente en la satisfacción del cliente y en la competitividad en el mercado. Esta mejora en la calidad del

producto final valida la viabilidad del proyecto al fortalecer la posición de la empresa en el sector de procesamiento de madera.

- Finalmente, la decisión de utilizar un material de alta aleación refleja un compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia energética. La reducción en el uso de recursos para mantenimiento y la mejora en la eficiencia del proceso de astillado contribuyen a un menor impacto ambiental. Este enfoque sostenible y eficiente posiciona al astillador chipper como un referente en innovación y rendimiento, subrayando la viabilidad del proyecto en términos de responsabilidad ambiental y operativa.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para minimizar el impacto en la producción durante la transición, se recomienda una implementación gradual de los nuevos cuchillos. Inicie con un lote pequeño para evaluar su rendimiento en condiciones reales y ajusta el plan de acuerdo con los resultados obtenidos antes de proceder a una implementación completa.
- Es crucial establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar el desempeño de los nuevos cuchillos. Esto incluye el seguimiento de indicadores clave como el tiempo entre reemplazos, la calidad de las astillas producidas y la frecuencia de detenciones del chipper. Un análisis continuo ayudará a identificar problemas emergentes y permitirá ajustes proactivos.
- Proporcione capacitación adecuada al personal operativo y de mantenimiento sobre las nuevas especificaciones de los cuchillos y las mejores prácticas para su manejo e instalación. Esto garantizará que los cuchillos se mantengan en condiciones óptimas y que el equipo se utilice de manera eficiente.
- Realice revisiones periódicas del análisis de costos/beneficios para asegurar que los ahorros y mejoras en la producción se mantengan alineados con las expectativas iniciales. Ajuste las estrategias si es necesario para maximizar el retorno de la inversión y adaptarse a cualquier cambio en las condiciones operativas.
- Mantenga una vigilancia activa sobre nuevas tecnologías y materiales que

puedan ofrecer ventajas adicionales en términos de durabilidad y rendimiento. La innovación continua puede proporcionar oportunidades adicionales para optimizar aún más el rendimiento del chipper y reducir los costos operativos.

- Revise y ajuste el programa de mantenimiento preventivo para incluir las nuevas especificaciones de los cuchillos. Un mantenimiento preventivo bien planificado ayudará a prolongar la vida útil de los cuchillos y a reducir la frecuencia de fallas, contribuyendo a la estabilidad operativa del astillador.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mariani A, S., & Torres U, M. (2004). Análisis químico cuantitativo y condiciones de pulpaje kraft de colihue: Parte I. *Bosque (Valdivia)*, 25(1), 117–122. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002004000100010>
2. Mantenimiento Chipper clase XL; manual para el mantenedor basado en la producción del equipo (Libro)
3. Ag, A. (s/f). *Gravity-fed HQ-Chipper*. Andritz.com. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/woodyard/chip-processing/hq-chipper>
4. Sáez, H., & Ignacio, R. (s/f). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LÍNEA ENSAMBLADORA EN EMPRESA PANELES ARAUCO*. Usm.cl. 12 de junio de 2024, de <https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/7a516aa9-978d-4574-ab45-67964d967ed0/content>
5. Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. INGECON.
6. El Acero Inoxidable, Qué E. S. (s/f). *CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES*. Bonnet.es. 4 de julio de 2024, de <https://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>
7. (S/f). Renovetec.com.
<https://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>
8. García, E. (2023, junio 16). ¿Qué es el Acero inoxidable? Composición y Propiedades. *Ferretería y Suministros industriales Online*. - *Todoparalaindustria.com*. https://todoparalaindustria.com/blogs/blog/que-es-el-acero-inoxidable-composicion-y-propiedades?srsId=AfmBOorN-7IZb35W3y2giXqN_IDCVWBFARRFfSxRs9THegDO7C7wedMA

9. Fernández, F. J. G. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. FC Editorial (Libro).
10. Victoria, I. (2023, mayo 4). ¿Qué es el acero D2? Características y aplicaciones. *Aceros Inoxidables Victoria*.
<https://inoxidablesvictoria.com/blog/que-es-el-acero-d2/>
11. Universidad Técnica Federico Santa María. (n.d.). "Repositorio USM".
<https://repositorio.usm.cl>
12. American Iron and Steel Institute. (2020). *AISI 440 ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO*. ESTADOS UNIDOS: American Iron and Steel Institute.
13. American Society for Testing and Materials. (2002). ASTM A 681. En A. S. MATERIALS, *ANNUAL BOOK OF ASFTM STANDARS* (págs. 90-92). ESTADOS UNIDOS: ASTM.