

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION - REY BALDUINO DE BELGICA**

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO BASADA EN TPM
PARA LÍNEA DE RETAPE AUTOMÁTICO
PLANTA DE TERCIAOS NUEVA ALDEA, REGIÓN DE ÑUBLE**

Trabajo de titulación para optar al título
profesional de **INGENIERO EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Nombre del alumno:

Joaquín Hurtado Salgado

Profesor guía:

Fabrizzio Cariñe Avendaño

2025

RESUMEN

Este trabajo analiza los problemas de mantenimiento en la línea de retape de la planta de terciados Nueva Aldea, identificando el desgaste prematuro de componentes clave, como rodamientos y bancadas, como una de las principales causas de tiempos muertos y pérdidas en la productividad. A partir de este diagnóstico, se plantea una propuesta de mejora que busca optimizar la operación mediante estrategias enfocadas en la implementación de sistemas de lubricación automática y la capacitación del personal en Mantenimiento Productivo Total (TPM).

El análisis incluye una revisión detallada de los factores técnicos que contribuyen a las fallas, tales como la falta de lubricación adecuada, las sobrecargas mecánicas y las deficiencias en la planificación del mantenimiento. Para abordar estas problemáticas, la propuesta incluye soluciones tecnológicas y organizativas que no solo buscan reducir los tiempos muertos, sino también mejorar la confiabilidad operativa y prolongar la vida útil de los equipos.

Además, se realizó una evaluación económica para medir la viabilidad de la propuesta, utilizando herramientas como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Los resultados muestran que las mejoras propuestas son altamente rentables y ofrecen un retorno rápido de la inversión inicial, destacando su impacto positivo en los costos operativos y en la productividad general de la línea.

Es importante resaltar que este trabajo es de carácter propositivo y no contempla la implementación directa de las soluciones planteadas. En cambio, ofrece una base sólida para la toma de decisiones futuras, destacando la necesidad de validar las propuestas mediante estudios adicionales y ajustes según el contexto operativo de la planta.

En conjunto, este estudio proporciona un enfoque integral para enfrentar los desafíos actuales de mantenimiento, alineándose con los objetivos de eficiencia, sostenibilidad y mejora continua de la planta.

INDICE TEMATICO

INTRODUCCION 1

OBJETIVOS.....2

 OBJETIVO GENERAL 2

 OBJETIVOS ESPECIFICOS 2

ALCANCE Y LIMITACIONES 3

 ALCANCES.....3

 LIMITACIONES.....3

CAPITULO 1: CONTEXTO DEL MANTENIMIENTO 4

 1.1. TPM Y SUS PILARES 5

 1.2. CULTURA DEL MANTENIMIENTO EN EL CONTEXTO DE LA INDUSTRIA 4.0 7

 1.2.1. TQM y TPM: Enfoques Complementarios 7

 1.2.2. Importancia del TPM en la Cultura del Mantenimiento.....8

 1.2.3. Integración con Normas ISO 9

 1.3. BENEFICIOS DEL TPM Y SU IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD 10

 1.3.1. Principales Ventajas de Implementar TPM en la Industria Forestal 10

 1.3.2. Maximización de la Eficiencia y Compromiso con el Medio Ambiente 12

 1.3.3. Enfoque Integral y Compromiso Organizacional en el TPM..... 12

 1.4. NORMATIVA DEL MANTENIMIENTO 13

 1.4.1. Normativa ISO: Gestión Integral de Activos Físicos, Calidad, Seguridad y Medio Ambiente 13

 1.4.2. ISO 55000: Gestión de Activos Físicos..... 13

 1.4.3. ISO 9001: Gestión de la Calidad..... 14

 1.4.4. ISO 45001: Gestión de la Seguridad y Salud Ocupacional..... 14

 1.4.5. 14001: Gestión Ambiental..... 15

 1.5. CIENCIA DEL DESGASTE..... 16

1.5.1. Tribología: Concepto, Aplicaciones y Relevancia en Procesos Industriales	16
1.5.2. Conceptos Fundamentales de la Tribología	16
1.5.3. Importancia de la Tribología en una Planta de Procesamiento Industrial	17
1.6. IMPLEMENTACIÓN DE LA TRIBOLOGÍA EN EL TPM	19
1.6.1. Tribología en los Pilares del TPM	19
1.6.2. Importancia de los Expertos en Tribología en Plantas Industriales	21
1.6.3. Roles de los expertos en tribología en un entorno de TPM:	21
CAPITULO 2: SITUACION ACTUAL	22
2.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO	23
2.1.1. Proceso de fabricación de tableros PLYWOOD planta terciados nueva aldea ARAUCO	23
2.1.2. Usos de los productos	24
2.1.3. Descripción del Equipos	25
2.2. DESCRIPCION DE PROCESO A OPTIMIZAR	36
2.2.1. Funcionamiento y Ventajas de las Líneas Automáticas R7 Raute	36
2.2.2. Etapas del Proceso	38
2.2.3. Capacidad operativa	42
2.3. DATOS DE DISPONIBILIDAD EN ÁREA	43
2.3.1. Disponibilidad actual	43
2.3.2. Análisis de la Disponibilidad Actual	45
2.4. IDENTIFICACIÓN DE CAUSA RAÍZ:	46
2.4.1. Contexto del análisis:	46
2.4.2. Distribución del Tiempo Muerto	46
2.4.3. Análisis de causa de mayor tiempo muerto	47
2.4.4. Principales daños observados en rodamientos:	48
2.4.5. Diagrama de Ishikawa: Clasificación de las Causas	50
2.4.6. Método de los 5 Por Qué: Identificación de la Causa Raíz	52
2.4.7. Hallazgos Combinados	53
CAPITULO 3: PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	54

3.1. PROPUESTA TÉCNICA: SISTEMA DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICA	55
3.3.1. Componentes de robots cartesianos	55
3.3.2. Principios del sistema de lubricación	56
3.3.3. Diseño e Implementación del Sistema	57
3.3.4. Impacto Esperado	59
3.3.5. Relación con el TPM	59
3.3 Propuesta Organizacional: Capacitación del Personal	61
3.3.1. Objetivo de la Capacitación	61
4.1.2. Contenidos del Programa Corporativo	61
4.1.3. Metodología de Enseñanza.....	64
4.1.4. Evaluación Final.....	66
4.1.5. Duración Total del Programa	66
4.1.6. Beneficios de la Capacitación Interna	67
4.1.7. Relación del Plan de Capacitación con los Pilares del TPM.....	67
3.4. PLAN DE SEGUIMIENTO Y COMPROBACIÓN DE RESULTADOS PARA LA MEJORA DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICA	68
3.4.1. Etapas del Plan	68
3.4.2. Indicadores Clave de Desempeño (KPIs).....	69
3.4.3. Mantenimiento de los Vasos Lubricadores.....	70
3.4.4. Verificación de flujo: Inspección para asegurar la distribución uniforme del lubricante.	70
CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA	71
3.2.1. Costos y Especificaciones Adicionales	72
4.1. Situación Actual: Costos Anuales mantenimiento	73
4.2.1. Costos por fallas en rodamientos y bancadas.....	73
4.2.2. Costos asociados a lubricación manual	74
4.2. Proyeccion costos asociados a Implementacion de Lubricacion automatica	75
4.2.1. Costos Directos de los Vasos Lubricadores.....	75
4.2.2. Bloques Distribuidores	75

4.2.3.	Mano de Obra para la Instalación	75
4.2.4.	Insumos Iniciales.....	76
4.2.5.	Resumen de costos	76
4.2.6.	Flujo de caja Costos	76
4.3.	Proyección de Costos ASOCIADOS A LA CAPACITACION.....	77
4.2.1.	Honorarios del Instructor	77
4.2.2.	Costo total honorarios del instructor	77
4.2.3.	Costo Equipo Audiovisual.....	77
4.2.4.	Costo Material Audiovisual.....	78
4.2.5.	Flujo de Caja Total	78
4.2.7.	Resumen Final:.....	78
4.4.	Análisis del VAN y TIR	79
4.3.1.	Inversión Propuesta	79
4.3.2.	Reducción de Costos Operativos por Implementación del Sistema de Lubricación	81
4.3.3.	Cálculo del VAN y TIR	81
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
	Conclusiones	84
	Recomendaciones.....	85
	BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE LA INFORMACION	86

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- 1: Pilares del TPM	5
Ilustración 2- 1: Diagrama producción Plywood	23
Ilustración 2- 2: túneles de macerado.....	25
Ilustración 2- 3: Línea de debobinado.....	26
Ilustración 2- 4: Línea de secado.....	28
Ilustración 2- 5: Línea de composición.....	29
Ilustración 2- 6: Línea de encolado	30
Ilustración 2- 7: Línea de prensado	31
Ilustración 2- 8: Línea de retape.....	32
Ilustración 2- 9: Lijadora IMEAS	33
Ilustración 1- 10: línea de empaque	35
Ilustración 2- 11: Layout retape	37
Ilustración 2- 12: Transporte alimentación.....	38
Ilustración 2- 13: Alimentación de tableros.	38
Ilustración 2- 14: Transportes de alimentación	39
Ilustración 2- 15: Scanner de tableros.	39
Ilustración 2- 16: zona de retape	40
Ilustración 2- 17: robot router	40
Ilustración 2- 18: robot masilla	41
Ilustración 2- 19: Daños en rodamientos por falta de lubricación	48
Ilustración 2- 20: Lubricación manual	49
Ilustración 2- 21: Daños en bancadas.....	49
Ilustración 3- 1: Robot cartesiano	55
Ilustración 3- 2: bancada eje X.....	55
Ilustración 3- 3: Dosificadores de grasa Cherston	56
Ilustración 3- 4: Modificación a rodamientos	57
ilustración 3- 5: Block distribuidor	58
Ilustración 3- 6: Fundamentos de la Tribología	62
Ilustración 3- 7: Funcionamiento de los Vasos Lubricadores Automáticos	63
Ilustración 3- 8: Alarma en Vasos lubricador	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1: base de datos falla en línea de retape 43

Tabla 3- 1: duración programa de capacitación..... 66

tabla 3- 2: Cronograma general 70

Tabla 4- 1: costo por cambio de rodamientos y bancada 73

Tabla 4- 2 : costo lubricación manual 74

Tabla 4- 3: Resumen costos instalación vasos lubricadores.....76

Tabla 4- 4: Flujo de caja de instalación de vasos 76

Tabla 4- 5: Flujo de caja confección curso..... 78

Tabla 4- 6: Flujo caja total proyecto.....80

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 2- 1 Distribución de mayor tiempo muerto 46

Gráfico 2- 2: Diagrama de Pareto de fallas en zona de retape 47

Gráfico 2- 3: análisis 5 ¿Por qué? 50

Gráfico 2- 4: diagrama de ISHIKAWA 50

INTRODUCCION

La competitividad en el sector industrial requiere una constante búsqueda de eficiencia y sostenibilidad en los procesos productivos. En este contexto, la gestión del mantenimiento juega un papel clave, especialmente en instalaciones complejas como las líneas de retape de tableros contrachapados, donde la confiabilidad y disponibilidad de los equipos son fundamentales para garantizar la continuidad operativa y la calidad del producto final.

Este trabajo aborda la problemática específica de los tiempos muertos prolongados en la línea de retape de la planta de terciados Arauco, analizando las causas raíz que afectan negativamente la productividad, tales como la lubricación deficiente, el desgaste acelerado de componentes críticos como rodamientos y bancadas. Estas limitaciones no solo incrementan los costos operativos, sino que también generan desafíos importantes en términos de eficiencia y sostenibilidad.

A través de un enfoque basado en el Mantenimiento Productivo Total (TPM), este estudio propone soluciones concretas orientadas a optimizar la operación. Estas incluyen la implementación de un sistema de lubricación automática y la capacitación del personal en prácticas de mantenimiento preventivo. Además, se evalúa la viabilidad económica de las propuestas mediante herramientas como el análisis del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), demostrando que estas iniciativas no solo son técnicamente factibles, sino también altamente rentables.

El propósito de este trabajo es no solo abordar los problemas actuales, sino también establecer un marco de referencia para la mejora continua, permitiendo que la línea de retape alcance estándares más altos de disponibilidad, confiabilidad y sostenibilidad. Este enfoque integral no solo responde a las demandas operativas inmediatas, sino que también fortalece la competitividad de la planta a largo plazo, alineándose con los objetivos estratégicos de Arauco.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Entregar una propuesta de mejora para optimizar el proceso de fabricación de tableros de PLYWOOD, basándose en la metodología del TPM.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el proceso productivo de tableros contrachapados con el fin de entender sus etapas y detectar posibles áreas de mejora.
- Realizar una propuesta con soluciones tecnológicas para abordar las deficiencias identificadas en el proceso de fabricación de PLYWOOD.
- Realizar una evaluación económica de la propuesta de optimización basada en la metodología TPM, aplicada al proceso de fabricación de PLYWOOD.

ALCANCE Y LIMITACIONES

ALCANCES

Este trabajo identifica problemas de mantenimiento en la línea de retape, enfocándose en el desgaste prematuro de componentes clave como rodamientos y bancadas. Como respuesta, se plantea una propuesta que incluye la implementación de lubricación automática y control de desgaste para reducir tiempos muertos y mejorar la eficiencia operativa.

Además, se propone capacitar al personal en las nuevas tecnologías asociadas, con el fin de optimizar las prácticas de mantenimiento. También se presenta una evaluación económica preliminar para analizar la viabilidad del proyecto. Es importante destacar que esta propuesta es un punto de partida y no un plan definitivo, quedando su implementación sujeta a un análisis más detallado.

LIMITACIONES

Este trabajo se enfoca únicamente en presentar una propuesta de mejora para abordar los problemas detectados en la línea de retape, como el desgaste prematuro de componentes. Las soluciones planteadas, como la lubricación automática y la capacitación en TPM, son recomendaciones preliminares que no incluyen su implementación ni evaluación directa en campo.

La efectividad y viabilidad de estas propuestas dependerán de estudios más detallados, validaciones técnicas y decisiones estratégicas internas. Además, la evaluación económica realizada se basa en estimaciones que podrían variar según los datos reales, lo que refuerza la naturaleza preliminar de esta propuesta como un punto de partida para futuros análisis.

CAPITULO 1: CONTEXTO DEL MANTENIMIENTO

1.1. TPM Y SUS PILARES

El Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés) es una metodología de gestión integral que busca maximizar la eficiencia de los sistemas de producción mediante la participación activa de todos los niveles de la organización. Surgido en Japón en la década de 1970, el TPM se desarrolló como una respuesta a los desafíos de las industrias modernas, donde la confiabilidad y disponibilidad de los equipos son esenciales para alcanzar altos niveles de productividad y calidad. Este enfoque combina prácticas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo con una filosofía centrada en la mejora continua, fomentando la colaboración entre los departamentos de producción, mantenimiento y gestión.

El objetivo principal del TPM es eliminar por completo las "seis grandes pérdidas", que incluyen tiempos muertos, paradas menores, defectos de calidad, tiempos de configuración, pérdidas por velocidad y fallas en los equipos. Para lograr esto, el TPM se estructura en ocho pilares fundamentales, que representan áreas clave de intervención y mejora:

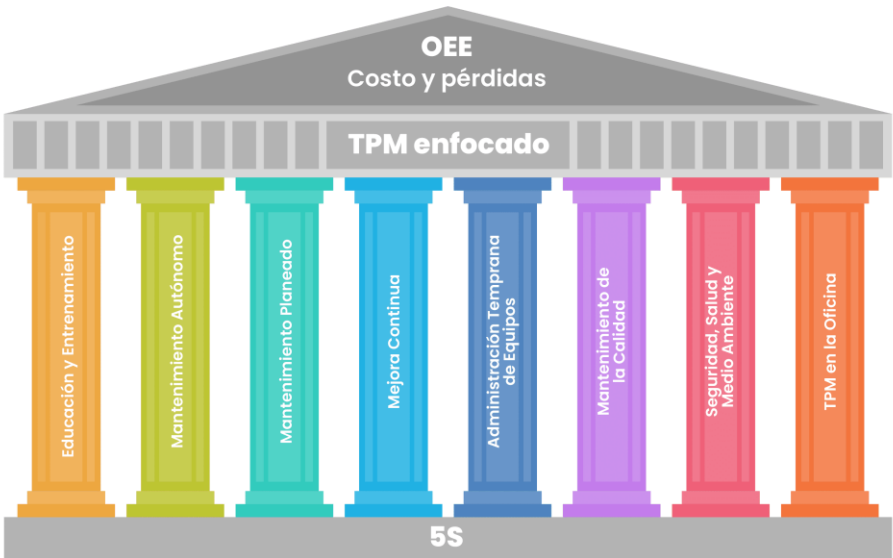


Ilustración 1- 1: Pilares del TPM

Mantenimiento Autónomo: Involucra a los operarios en tareas básicas de mantenimiento, como la limpieza, inspección y lubricación de los equipos. Esto no solo aumenta la eficiencia operativa, sino que también fomenta un sentido de responsabilidad compartida sobre el estado de los activos.

Mantenimiento Planificado: Enfocado en prevenir fallas mediante la programación de actividades de mantenimiento basadas en la condición y el uso de los equipos. Este pilar busca maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos.

Mejora Enfocada: Consiste en identificar y eliminar las causas raíz de los problemas recurrentes en los equipos, utilizando herramientas como el análisis causa raíz (RCA) y diagramas de Ishikawa.

Gestión Temprana de Equipos: Se centra en la integración de prácticas de mantenimiento desde la fase de diseño e instalación de los equipos, asegurando que estos sean más confiables y fáciles de mantener desde el inicio.

Control de Calidad: Busca evitar defectos en los productos mediante el control riguroso de las condiciones de operación y el estado de los equipos, garantizando una producción consistente y de alta calidad.

Gestión de la Seguridad y el Medio Ambiente: Enfocado en crear un entorno de trabajo seguro y sostenible, este pilar busca minimizar los riesgos laborales y el impacto ambiental de las operaciones.

Capacitación y Desarrollo de Competencias: Promueve el desarrollo continuo de habilidades técnicas y de gestión en los colaboradores, fortaleciendo la capacidad del equipo para implementar y sostener las prácticas de TPM.

Gestión de la Eficiencia en la Oficina: Extiende los principios del TPM a las áreas administrativas, optimizando los procesos de gestión y soporte que impactan directamente en la operación de la planta.

1.2. CULTURA DEL MANTENIMIENTO EN EL CONTEXTO DE LA INDUSTRIA 4.0

La Industria 4.0 representa una transformación profunda en la forma en que se gestiona el mantenimiento y los activos dentro de las organizaciones. Este nuevo paradigma se basa en la integración de interfaces hombre-máquina, sistemas ciberfísicos, y redes de sensores conectados a Internet, creando una infraestructura interconectada que permite monitorear, controlar y optimizar los procesos de producción en tiempo real. La capacidad de recopilar, analizar y responder a datos de manera instantánea no solo mejora la eficiencia y productividad, sino que también permite una producción adaptativa y flexible que se ajusta rápidamente a las demandas del mercado, reduciendo errores y tiempos de inactividad.

Esta era digital ha impulsado a las organizaciones a adoptar una cultura de mantenimiento más integral y preventiva, que permite anticipar problemas en lugar de reaccionar a ellos. Mediante la implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y la automatización, la Industria 4.0 potencia el alcance de metodologías tradicionales de gestión de activos, tales como TQM (Total Quality Management) y TPM (Total Productive Maintenance), facilitando una estrategia de mantenimiento proactiva que abarca no solo los equipos, sino también los procesos y el personal involucrado en la operación diaria.

1.2.1. TQM y TPM: Enfoques Complementarios

El TQM o Gestión Total de la Calidad es un enfoque integral orientado hacia el éxito a largo plazo, donde la satisfacción del cliente ocupa un papel central. En lugar de limitarse a productos o servicios específicos, el TQM busca transformar la cultura organizacional hacia una de mejora continua. Involucra a todos los niveles de la organización, promoviendo la colaboración para optimizar los procesos y aumentar la calidad. Esta metodología se enfoca en establecer estándares y prácticas que aseguren una alta calidad en todos los aspectos del negocio, desde la producción hasta el servicio al cliente, creando una cultura organizacional basada en la eficiencia y en el cumplimiento de objetivos de calidad.

Por su parte, el TPM o Mantenimiento Productivo Total se centra en mantener y mejorar la integridad de los sistemas de producción a través de la implementación de prácticas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. No se enfoca solo en los activos físicos, sino que involucra a todos los colaboradores de la organización, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Al involucrar a cada empleado en la gestión de los activos, el TPM se convierte en un pilar fundamental dentro de la cultura de mantenimiento de la organización. Las estrategias de TPM ayudan a prevenir problemas, mejorar la eficiencia de los equipos y maximizar la disponibilidad de los activos, lo que se traduce en una producción más fiable y rentable.

1.2.2. Importancia del TPM en la Cultura del Mantenimiento

El TPM surgió como una iniciativa durante la revolución de la calidad en las últimas décadas, un período en el cual las organizaciones empezaron a reconocer la importancia de la eficiencia de los equipos para la competitividad. En el núcleo de esta metodología, el TPM aboga por un sistema de mantenimiento integral que cubre todo el ciclo de vida de los activos, desde la instalación y operación hasta el retiro, promoviendo una gestión sostenible de los equipos y los recursos de la organización. Esta metodología no solo busca la reducción de fallas y costos de mantenimiento, sino también la creación de un entorno donde los trabajadores se sientan empoderados para contribuir activamente a la mejora continua.

Una característica distintiva del TPM es la promoción de actividades grupales voluntarias que tienen como objetivo mejorar la moral y el compromiso de los empleados. Estas actividades, como los círculos de calidad y los grupos de mejora, fomentan la colaboración y el intercambio de conocimientos entre los trabajadores, permitiendo que todos participen en la identificación de problemas y soluciones. Además, el TPM fortalece el capital humano al crear un entorno en el que todos los empleados se sienten responsables de la gestión de los activos, lo que no solo beneficia a los equipos físicos, sino que también mejora la cohesión y el compromiso del personal.

1.2.3. Integración con Normas ISO

En el contexto de la Industria 4.0 y el mantenimiento, el TPM y el TQM encuentran su base en varias normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO), como las siguientes:

ISO 9001: Enfocada en la gestión de la calidad, asegura que los procesos de producción y mantenimiento cumplan con altos estándares de calidad, estableciendo prácticas y procedimientos que minimicen defectos y errores. La ISO 9001 promueve la mejora continua en la calidad de los productos y servicios, lo que es fundamental para la implementación de TQM y el mantenimiento de estándares en la Industria 4.0.

ISO 45001: Centrada en la gestión de la seguridad y salud ocupacional, esta norma garantiza que el entorno de trabajo sea seguro y saludable, mitigando riesgos que puedan afectar la integridad de los empleados. Al estar alineada con el TPM, la ISO 45001 permite que la gestión del mantenimiento sea también una herramienta para asegurar la seguridad, haciendo que los operarios participen en un ambiente seguro y con menor riesgo de accidentes.

ISO 14001: Relacionada con la gestión ambiental, impulsa el cumplimiento de prácticas sostenibles, asegurando que los procesos de mantenimiento minimicen su impacto ambiental. Esta norma permite que los procesos de TQM y TPM estén alineados con los objetivos de sostenibilidad de la empresa, contribuyendo a reducir el desperdicio y promoviendo un uso responsable de los recursos.

1.3. BENEFICIOS DEL TPM Y SU IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD

En la industria forestal chilena, caracterizada por la producción de celulosa, aserraderos y paneles, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) se ha convertido en una herramienta esencial para asegurar la competitividad y la eficiencia en todos los procesos operativos. En un sector que depende de un uso intensivo de maquinaria y grandes volúmenes de producción para satisfacer la demanda interna y de exportación, la aplicación del TPM no solo maximiza la eficiencia de los activos, sino que también aporta beneficios en áreas clave como la sostenibilidad, la seguridad y la cultura organizacional.

1.3.1. Principales Ventajas de Implementar TPM en la Industria Forestal

Aumento de la Productividad: En el contexto forestal, donde los equipos están sometidos a condiciones de trabajo extremas, el tiempo de inactividad no planificado puede resultar costoso y perjudicial para la productividad general. A través del TPM, las empresas pueden reducir las interrupciones y maximizar la disponibilidad de los activos, lo cual es fundamental para plantas que operan de manera continua, como las de celulosa y paneles. La disponibilidad constante de equipos asegura que el flujo de trabajo no se interrumpa, manteniendo un ritmo de producción que permite cumplir con las metas de exportación y satisfacer la alta demanda de mercados como Estados Unidos, Europa y Asia.

Cumplimiento de Plazos y Mejora en la Calidad del Producto: La confiabilidad de los equipos permite a las empresas forestales cumplir con los plazos de entrega, especialmente en exportaciones, donde la precisión en la logística es crítica para evitar penalizaciones y asegurar la satisfacción del cliente. La implementación del TPM optimiza la calidad del producto final, ya que minimiza las fallas y variaciones en el proceso de fabricación, lo que es particularmente importante en la producción de paneles y tableros, donde los defectos comprometen la resistencia y el acabado final. En mercados exigentes, como el europeo, el cumplimiento de los plazos de entrega y los altos estándares de calidad son fundamentales para mantener relaciones comerciales de largo plazo.

Seguridad y Moral de los Empleados: La aplicación de TPM promueve un ambiente de trabajo seguro y organizado, mejorando la moral y el compromiso de los empleados. En la industria forestal, donde se utilizan equipos de gran tamaño y potencia, el riesgo de accidentes es elevado si no se implementan medidas de seguridad y mantenimiento adecuadas. Al involucrar a todos los empleados en actividades de mantenimiento preventivo y en la mejora de los procesos, el TPM fomenta una cultura de seguridad, lo que reduce significativamente los riesgos de accidentes y crea un ambiente laboral donde los trabajadores se sienten valorados y comprometidos con la eficiencia operativa.

Reducción de Desperdicio y Optimización de Recursos: En la industria forestal, que consume recursos naturales y energéticos de forma intensiva, el TPM promueve un uso eficiente de la materia prima, minimizando el desperdicio de madera y optimizando los recursos energéticos en plantas de celulosa y paneles. La reducción de residuos y el reciclaje de subproductos (como la biomasa utilizada para generar energía) son elementos clave para cumplir con las regulaciones ambientales y los estándares de sostenibilidad. Además, el TPM reduce los costos operativos al disminuir la necesidad de materiales adicionales y mejorar la eficiencia del proceso.

Organización y Limpieza mediante 5S: Uno de los principios fundamentales del TPM es la implementación de las 5S (clasificar, organizar, limpiar, estandarizar y mantener la disciplina), que mejoran la organización y la limpieza en los espacios de trabajo. En industrias como los aserraderos y plantas de celulosa, donde el polvo y los residuos de madera se acumulan fácilmente, la aplicación de las 5S permite reducir el riesgo de incendios y accidentes, mejorar la seguridad y aumentar la eficiencia operativa.

1.3.2. Maximización de la Eficiencia y Compromiso con el Medio Ambiente

La industria forestal chilena tiene un impacto ambiental significativo debido al consumo de recursos naturales y las emisiones asociadas al procesamiento de madera y celulosa. A través de la implementación de TPM, las empresas pueden gestionar sus operaciones de manera más sostenible. Al optimizar el uso de energía, agua y otros recursos, y al reducir el desperdicio de materiales, el TPM contribuye a la disminución de la huella de carbono y a la conservación del entorno natural. Este enfoque sostenible permite a las empresas alinearse con normas internacionales como la ISO 14001, que promueve una gestión ambiental responsable, y con políticas de economía circular que maximizan el valor de los recursos a lo largo del ciclo de vida del producto.

1.3.3. Enfoque Integral y Compromiso Organizacional en el TPM

El TPM adopta un enfoque integral en el que la participación de todos los miembros de la organización es clave para el éxito de la metodología. En el contexto chileno, la industria forestal enfrenta desafíos que requieren de una coordinación efectiva entre el área de producción y el área de mantenimiento para asegurar la continuidad operacional de los equipos y la disponibilidad de activos críticos. La alta dirección debe fomentar una cultura de mantenimiento y de mejora continua, mientras que los operarios de campo desempeñan un papel crucial en las actividades diarias de mantenimiento preventivo y correctivo. Este enfoque de TPM contribuye a mejorar la comunicación y la colaboración entre departamentos, eliminando posibles conflictos y promoviendo una alineación de objetivos organizacionales hacia la eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad.

1.4. NORMATIVA DEL MANTENIMIENTO

1.4.1. Normativa ISO: Gestión Integral de Activos Físicos, Calidad, Seguridad y Medio Ambiente

Las normas ISO proporcionan marcos de referencia y directrices que permiten a las organizaciones gestionar sus activos de manera eficaz, optimizar la calidad de sus productos y servicios, garantizar la seguridad de los trabajadores y minimizar su impacto ambiental. En particular, las normas ISO 55000, ISO 9001, ISO 45001 e ISO 14001 se integran para construir una estructura de gestión sólida que optimice los recursos, garantice la calidad y fomente una cultura de mejora continua en la organización.

1.4.2. ISO 55000: Gestión de Activos Físicos

La ISO 55000 establece un marco integral para la gestión de activos físicos, definiendo un activo como “una cosa con valor real o potencial” y abarcando todos los activos tangibles, desde maquinaria e infraestructura hasta sistemas de información y tecnología. La norma enfatiza la importancia de alinear la gestión de activos con los objetivos estratégicos de la organización, cubriendo todo el ciclo de vida de estos, desde su adquisición hasta su retiro.

Para implementar la ISO 55000, se requieren actividades estratégicas y operativas específicas, como el desarrollo de planes de operación, el establecimiento de políticas, y la definición de roles y procedimientos en torno a los activos. La implementación de esta norma es responsabilidad de toda la organización, no solo de un departamento específico. A través de la colaboración entre áreas como mantenimiento, finanzas, recursos humanos y operaciones, se logra una visión compartida que potencia el uso óptimo de los activos y maximiza su valor durante toda su vida útil.

Históricamente, el mantenimiento de los activos se consideraba una carga que debía minimizarse. Sin embargo, con el enfoque de la ISO 55000, el mantenimiento se entiende ahora como una inversión estratégica orientada a la confiabilidad y disponibilidad de los activos, fundamentales para la competitividad. Las metodologías de mantenimiento preventivo y predictivo han ganado relevancia, permitiendo una gestión proactiva que no solo asegura la eficiencia operativa, sino que también responde a exigencias de calidad, seguridad y sostenibilidad.

1.4.3. ISO 9001: Gestión de la Calidad

La ISO 9001 es una de las normas de calidad más adoptadas a nivel mundial y está diseñada para ayudar a las organizaciones a asegurar que sus productos y servicios cumplen consistentemente con las expectativas del cliente. Esta norma es clave para integrar la gestión de la calidad en todos los niveles de la organización, fomentando una cultura de mejora continua que optimiza los procesos, reduce el desperdicio y eleva la satisfacción del cliente.

Alineada con la ISO 55000, la ISO 9001 asegura que los procesos de gestión de activos se realicen bajo estándares de calidad rigurosos, mejorando la eficiencia y garantizando que cada intervención en los activos cumpla con especificaciones de calidad y objetivos estratégicos de la empresa. Esta sinergia no solo optimiza el rendimiento de los activos, sino que también fortalece la reputación de la organización y mejora la satisfacción del cliente.

1.4.4. ISO 45001: Gestión de la Seguridad y Salud Ocupacional

La ISO 45001 proporciona un marco que ayuda a las organizaciones a gestionar los riesgos de seguridad y salud laboral, asegurando un entorno de trabajo seguro y saludable. Esta norma establece directrices para identificar, evaluar y mitigar riesgos en el lugar de trabajo, ayudando a proteger a los empleados y a reducir incidentes que puedan afectar la continuidad operativa.

Al integrarse con la ISO 55000 y la ISO 9001, la ISO 45001 asegura que la gestión de activos físicos incluya una evaluación exhaustiva de los riesgos de seguridad y salud. Esta integración no solo protege a los trabajadores, sino que también optimiza la operatividad de los activos, minimizando el riesgo de accidentes y daños que pueden interrumpir los procesos y afectar negativamente la productividad de la organización.

1.4.5. 14001: Gestión Ambiental

La ISO 14001 establece un marco para la gestión ambiental, permitiendo a las organizaciones reducir su impacto en el medio ambiente. Esta norma impulsa la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de residuos, promoviendo prácticas sostenibles que minimicen los efectos ambientales adversos. Al estar alineada con la ISO 55000, la ISO 14001 refuerza el ciclo de vida de los activos, asegurando que estos se gestionen de forma respetuosa con el medio ambiente desde su adquisición hasta su desmantelamiento.

Implementar ISO 14001 junto con la ISO 55000 y la ISO 9001 permite a las organizaciones alcanzar una gestión de activos que sea tanto eficiente como ambientalmente responsable. Esta combinación promueve la economía circular al maximizar la vida útil de los activos, reducir el desperdicio y optimizar el uso de recursos naturales. Al reducir el impacto ambiental y gestionar los recursos de manera responsable, las empresas no solo cumplen con las regulaciones ambientales, sino que también fortalecen su sostenibilidad y reputación corporativa.

1.5. CIENCIA DEL DESGASTE

1.5.1. Tribología: Concepto, Aplicaciones y Relevancia en Procesos Industriales

La tribología es una rama de la ingeniería y la física que se centra en el estudio de la fricción, el desgaste y la lubricación de los materiales en contacto. Este campo multidisciplinario integra conocimientos de mecánica, materiales, física, química y termodinámica para comprender y controlar los procesos que ocurren en superficies que interactúan bajo movimiento relativo. En un contexto de ingeniería mecánica y procesamiento industrial, la tribología juega un rol crucial en la mejora de la vida útil de los componentes, la eficiencia energética, y la reducción de costos operativos y de mantenimiento.

1.5.2. Conceptos Fundamentales de la Tribología

Fricción: Es la resistencia que experimentan dos superficies en contacto cuando intentan deslizarse una sobre otra. La fricción puede ser de varios tipos (deslizante, rodante, estática) y depende de múltiples factores, como la rugosidad de las superficies, el tipo de material y la velocidad de deslizamiento. Aunque la fricción es inevitable en sistemas mecánicos, se puede reducir mediante técnicas de lubricación y tratamiento de superficies.

Desgaste: Es el proceso gradual de pérdida de material en las superficies debido al movimiento relativo. Existen diferentes tipos de desgaste (abrasivo, adhesivo, corrosivo, erosivo), y cada uno tiene sus causas específicas. El desgaste puede provocar fallos prematuros en los componentes, lo que genera pérdidas económicas y tiempos de inactividad en la producción.

Lubricación: Se refiere a la aplicación de sustancias (lubricantes) para reducir la fricción y el desgaste. La lubricación puede ser sólida, líquida o gaseosa, y su correcta selección y aplicación son fundamentales para mejorar el rendimiento de los componentes mecánicos, especialmente en condiciones de altas cargas o temperaturas extremas.

1.5.3. Importancia de la Tribología en una Planta de Procesamiento Industrial

En el contexto de una planta de procesamiento industrial, la tribología es indispensable para el mantenimiento preventivo y predictivo, así como para la optimización de los procesos productivos. La presencia de expertos en tribología dentro de la planta aporta beneficios significativos en términos de eficiencia y sostenibilidad. A continuación, se destacan algunos puntos clave de su importancia:

Reducción de tiempos de inactividad: El desgaste y la fricción excesivos pueden provocar fallos en los equipos y detener la producción. La tribología permite analizar las causas del desgaste y proponer soluciones, como el uso de recubrimientos resistentes o el cambio en los tipos de lubricantes, lo cual ayuda a prevenir paradas no planificadas.

Optimización del consumo de energía: La fricción es responsable de pérdidas energéticas considerables en equipos mecánicos. Mediante una correcta selección de lubricantes y la optimización de las superficies de contacto, se puede reducir el consumo energético, lo que tiene un impacto directo en la reducción de costos y en la mejora de la sostenibilidad de la planta.

Mejora en la seguridad: El desgaste excesivo y la falta de lubricación pueden generar riesgos de fallo catastrófico, poniendo en peligro a los operarios y a la instalación misma. Un enfoque tribológico permite anticipar fallas, reduciendo los riesgos de accidentes en la planta.

Sostenibilidad y cumplimiento normativo: La tribología contribuye a una menor generación de residuos, ya que el uso adecuado de lubricantes y materiales reduce la necesidad de reemplazo de piezas y la generación de desechos peligrosos. En industrias reguladas, donde la gestión de residuos y el consumo de energía son monitoreados, el conocimiento tribológico ayuda a cumplir con normativas ambientales.

Desde una perspectiva tribológica, el objetivo no solo es minimizar el desgaste, sino también asegurar la vida de los componentes críticos, maximizando su valor operativo a lo largo del tiempo. Los expertos en tribología pueden diseñar estrategias de mantenimiento basadas en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación, el tipo de material y las interacciones de superficie, lo que permite implementar técnicas que aseguren que los componentes trabajen dentro de parámetros óptimos durante el mayor tiempo posible.

Estas estrategias incluyen la selección y aplicación de recubrimientos protectores que reducen el desgaste en entornos severos y el uso de lubricantes avanzados que evitan el contacto directo entre superficies, minimizando así la fricción. Además, el uso de monitoreo de condición en tiempo real y análisis de lubricantes permite a los expertos identificar y corregir factores de desgaste antes de que se presenten daños significativos, lo que preserva la integridad funcional de los componentes a lo largo de su vida útil.

Al ampliar el ciclo de vida de un componente, se evita su reemplazo prematuro, lo cual es esencial en industrias donde el costo de los equipos es alto y el reemplazo o la reparación implica inversiones importantes. Esta estrategia de mantenimiento basado en la extensión del ciclo de vida no solo contribuye a reducir costos, sino que también permite una planificación de recursos más eficiente, asegurando que los activos generen valor durante el mayor tiempo posible y cumplan con los objetivos de productividad de la planta.

1.6.IMPLEMENTACIÓN DE LA TRIBOLOGÍA EN EL TPM

La tribología y el Mantenimiento Productivo Total (TPM) son dos áreas complementarias dentro de la ingeniería de mantenimiento y la optimización de activos en entornos industriales. Mientras que la tribología se centra en el estudio de la fricción, el desgaste y la lubricación para mejorar la interacción de superficies en movimiento, el TPM se enfoca en optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos mediante un mantenimiento integral, que incluye tanto la prevención de fallas como la participación de todos los niveles organizacionales en las tareas de mantenimiento y mejora continua.

La integración de la tribología en el TPM permite abordar problemas de desgaste y fricción desde una perspectiva más completa, combinando la prevención de fallas con la reducción de costos y el incremento de la eficiencia energética. A continuación, se detalla cómo la tribología fortalece los pilares de TPM y los beneficios que aporta a las plantas de procesamiento industrial.

1.6.1. Tribología en los Pilares del TPM

El TPM se estructura en varios pilares, como el mantenimiento autónomo, el mantenimiento planificado, la mejora enfocada y el entrenamiento, entre otros. La tribología se entrelaza de manera directa con varios de estos pilares:

Mantenimiento Autónomo: En este pilar, los operarios están capacitados para realizar tareas básicas de mantenimiento, como la lubricación y la limpieza de los equipos. La tribología es esencial aquí, ya que ayuda a los operarios a entender la importancia de una correcta lubricación y de la eliminación de contaminantes, lo cual evita el desgaste prematuro y mejora la eficiencia operativa. Además, el conocimiento tribológico permite a los operarios identificar señales tempranas de desgaste o fricción anormal, lo que facilita la intervención rápida y evita daños mayores.

Mantenimiento Planificado: La tribología contribuye a diseñar y programar actividades de mantenimiento planificado que se anticipan a problemas graves de desgaste o fricción, permitiendo la optimización de recursos y reduciendo el tiempo de inactividad. A través del análisis de lubricantes y de técnicas de monitoreo de vibraciones y temperatura, se pueden programar actividades de mantenimiento en los momentos óptimos, minimizando las interrupciones en la producción y asegurando que los equipos operen en condiciones ideales.

Mejora Enfocada: En este pilar, los equipos de trabajo analizan y resuelven problemas específicos en los procesos para mejorar la eficiencia y reducir las pérdidas. La tribología es una herramienta clave en la mejora enfocada, ya que ayuda a identificar causas raíz de fallos recurrentes en equipos donde la fricción y el desgaste tienen un impacto significativo. Al implementar soluciones tribológicas, como el uso de recubrimientos avanzados o lubricantes de alta calidad, se pueden eliminar las fuentes de pérdida en los procesos, mejorando así la productividad y prolongando la vida útil de los equipos.

Capacitación y Entrenamiento: La capacitación en tribología permite que tanto los técnicos como los operarios comprendan los mecanismos de fricción y desgaste y su impacto en la operación de los equipos. Con un conocimiento sólido en tribología, los empleados pueden identificar signos de problemas tribológicos antes de que se conviertan en fallos catastróficos, mejorando así la respuesta del equipo de mantenimiento y optimizando el uso de los activos.

Aplicación de la Tribología en el TPM para la Optimización de Procesos

La aplicación de la tribología dentro del TPM es fundamental para optimizar los procesos industriales, especialmente en plantas de procesamiento donde los equipos están expuestos a condiciones de trabajo intensivas. La tribología permite:

Reducir los Costos de Mantenimiento: Al reducir el desgaste de los componentes mediante una adecuada lubricación y selección de materiales, la tribología ayuda a disminuir la frecuencia de reemplazo de piezas y la necesidad de intervenciones correctivas. Esto resulta en una reducción directa de los costos de mantenimiento, ya que minimiza tanto la compra de repuestos como los costos asociados a las paradas de producción.

Mejorar la Eficiencia Energética: La fricción entre componentes mecánicos no solo acelera el desgaste, sino que también genera un consumo adicional de energía. La implementación de prácticas tribológicas permite reducir la fricción en los puntos de contacto, lo que a su vez reduce el consumo energético de los equipos. Esto es especialmente importante en industrias con altos costos energéticos, donde la eficiencia energética se convierte en un factor clave para la rentabilidad.

Aumentar la Disponibilidad de los Equipos: La tribología permite controlar el desgaste y la fricción, lo que contribuye a mejorar la disponibilidad de los equipos al reducir las fallas inesperadas. En un sistema de TPM, donde la disponibilidad es fundamental para mantener los niveles de producción, la tribología juega un papel crítico al evitar que los equipos sufran daños por falta de lubricación o por fricción excesiva.

1.6.2. Importancia de los Expertos en Tribología en Plantas Industriales

En una planta de procesamiento industrial, la presencia de expertos en tribología es fundamental para implementar un programa efectivo de TPM. Estos expertos pueden analizar los componentes críticos que presentan mayor riesgo de desgaste o fricción y diseñar estrategias específicas de lubricación y mantenimiento que prolonguen la vida útil de estos componentes y optimicen su rendimiento. Además, la tribología aplicada al TPM permite que los expertos desarrollen sistemas de monitoreo de condición y diagnóstico de fallos que detecten problemas tribológicos en etapas tempranas, evitando así reparaciones costosas y tiempos de inactividad no planificados.

1.6.3. Roles de los expertos en tribología en un entorno de TPM:

Asesoramiento en la selección de lubricantes y recubrimientos: Los tribólogos pueden recomendar lubricantes específicos y recubrimientos avanzados que minimicen el desgaste en condiciones de operación exigentes.

Implementación de monitoreo de condición: A través de análisis de lubricantes, vibraciones y temperatura, los expertos en tribología pueden identificar problemas en los componentes antes de que se produzcan fallos críticos.

Capacitación del personal operativo: La capacitación en prácticas tribológicas permite que los operarios realicen tareas de mantenimiento autónomo de manera más efectiva y comprendan la importancia de la lubricación en la longevidad de los equipos.

CAPITULO 2: SITUACION ACTUAL

2.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO

2.1.1. Proceso de fabricación de tableros PLYWOOD planta terciados nueva aldea
ARAUCO

La Planta de Terciados Arauco Nueva Aldea, ubicada en la comuna de Ránquil, está diseñada para una producción diaria de 1.050 m³ de tableros contrachapados de madera de pino, operando de forma continua 24 horas al día. Sus principales mercados de exportación son Estados Unidos y Europa, destacando por la calidad de sus productos. El proceso de producción, mantención divide la planta en tres áreas principales: Chapa, Tablero y Terminación.

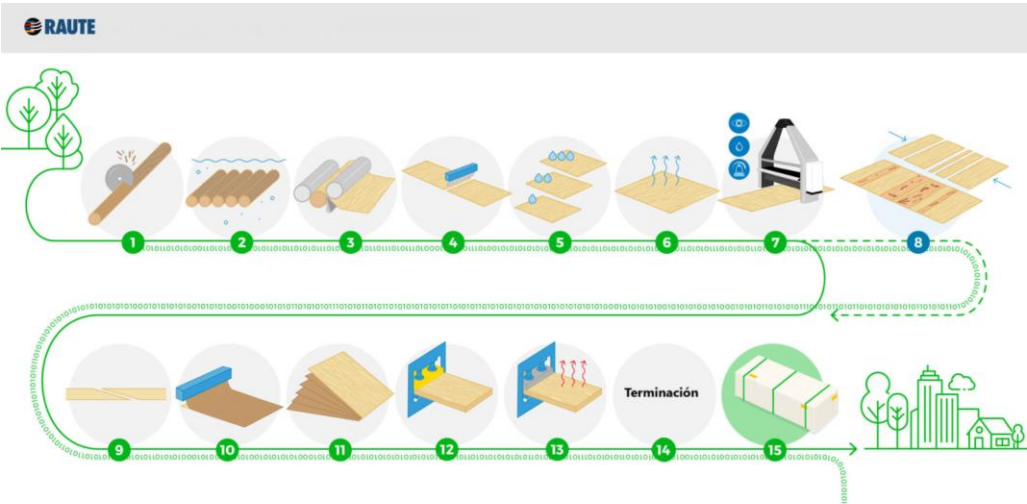


Ilustración 2- 1: Diagrama producción Plywood

AraucoPly es una línea de tableros destacada por su apariencia superior y su alta resistencia, atributos logrados gracias al uso de rollizos podados y al riguroso control de calidad aplicado en cada etapa de producción. Estos tableros cuentan con la certificación de diversos estándares internacionales, avalados por agencias externas, lo que garantiza su calidad y confiabilidad para múltiples aplicaciones.

Gracias a su composición con resina fenólica, AraucoPly es ideal tanto para interiores como para exteriores, ofreciendo una amplia versatilidad que se adapta a necesidades específicas en construcción, revestimiento decorativo, mueblería, proyectos industriales y otras aplicaciones creativas. La gama de productos incluye tableros lisos y ranurados, disponibles en diferentes grados, acabados y espesores, lo que asegura una solución para cada tipo de proyecto.

Compuestos al 100% de madera, los tableros AraucoPly aportan una terminación natural y decorativa que realza el valor estético de cualquier iniciativa. Su diseño y funcionalidad hacen que las posibilidades de uso estén limitadas únicamente por la creatividad del usuario, consolidándolos como una opción versátil y confiable para una amplia variedad de proyectos.

2.1.2. Usos de los productos

Los tableros AraucoPly se han posicionado como una solución versátil y confiable en diversas aplicaciones industriales y de diseño, destacándose especialmente en los sectores de construcción, mueblería y revestimientos naturales. Su resistencia, calidad y acabado superior los convierten en una opción preferida para proyectos que requieren materiales de alto rendimiento y estética refinada.

En el ámbito de la construcción, los tableros AraucoPly son ampliamente utilizados para moldajes y aplicaciones estructurales. Gracias a su robustez y durabilidad, pueden soportar cargas y condiciones exigentes, asegurando un rendimiento óptimo incluso en ambientes de alta demanda. Además, su composición con resina fenólica les otorga una resistencia superior a la humedad, lo que los hace ideales para exteriores y estructuras temporales en obras.

En el sector de la mueblería, los tableros AraucoPly se destacan por su facilidad de manipulación y su excelente acabado superficial. Esto permite la creación de muebles de alta calidad con diseños personalizados, adecuados tanto para entornos residenciales como comerciales. Su versatilidad facilita la adaptación a diferentes estilos, desde lo moderno y minimalista hasta lo rústico y tradicional.

Para revestimientos naturales, los tableros AraucoPly ofrecen una terminación decorativa que resalta la belleza de la madera en su estado más puro. Son ideales para proyectos de interiorismo que buscan incorporar elementos naturales y cálidos en sus diseños, ya sea en paredes, techos o detalles arquitectónicos. Su aspecto natural no solo aporta estética, sino también una sensación de autenticidad y conexión con el entorno.

En resumen, los tableros AraucoPly son un material multifuncional que combina rendimiento, calidad y estética, convirtiéndose en un componente clave para proyectos de construcción, diseño de mobiliario y revestimientos naturales.

2.1.3. Descripción del Equipos

Recepción y Preparación de Madera (Chapa)

Los trozos de madera bruta, ya descortezados, se transportan desde las canchas de riego, donde se mantienen humectados para prevenir que se resequen y así asegurar su calidad antes de los siguientes pasos. Posteriormente, son llevados a los túneles de macerado, donde se someten a un proceso de ablandamiento. Este paso es crucial porque facilita el desenrollado o debobinado, que transforma la madera en chapas finas para su posterior procesamiento.

Interacción Crítica en el Proceso: La correcta humedad y el tratamiento químico son esenciales para mantener la calidad del debobinado de las chapas. Si este proceso no se realiza adecuadamente, la madera podría sufrir deformaciones o un rendimiento deficiente durante el desenrollado, afectando la calidad de las chapas producidas y, en consecuencia, el rendimiento de toda la línea de producción.



Ilustración 2- 2: túneles de macerado

Contexto técnico de macerado:

El proceso de macerado es crucial para preparar la madera, asegurando que las fibras se ablanden uniformemente mediante condiciones controladas de humedad y, a veces, el uso de aditivos suaves. Sin una hidratación adecuada, la madera se vuelve quebradiza, lo que puede generar roturas y pérdidas de material, afectando tanto la eficiencia como la calidad del producto final. Mantener un equilibrio óptimo entre la humedad y el tiempo de tratamiento es esencial y debe ajustarse según la especie de madera y las condiciones ambientales. Además, un macerado adecuado mejora el desenrollado, produciendo chapas más uniformes y con menos defectos, lo que es clave para las etapas de encolado y prensado en la fabricación de tableros contrachapados.

Debobinado de Chapa (Chapa)

Las chapas producidas en las líneas de tornos RAUTE se clasifican y distribuyen en función de su contenido de humedad. Este proceso de selección es crucial para garantizar un secado eficiente y uniforme en las etapas posteriores. Al lograr una clasificación precisa, se optimiza la eficiencia del secado y se obtienen porcentajes de humedad más exactos, lo que contribuye a una mayor eficacia general del proceso. La uniformidad en el secado no solo mejora la calidad del producto final, sino que también reduce el consumo energético, promoviendo una operación más sostenible y rentable.

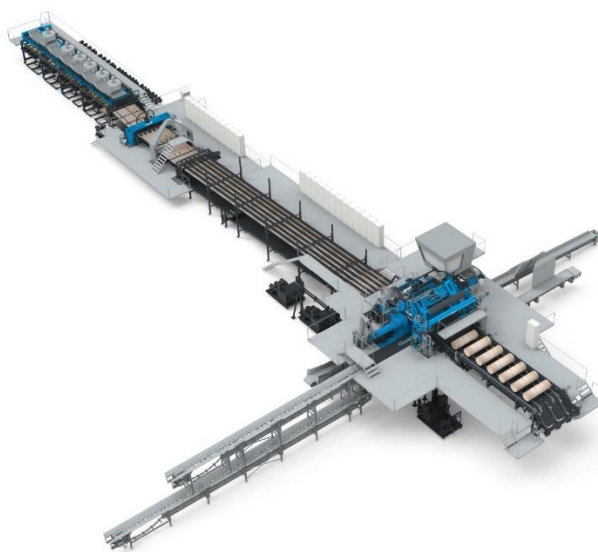


Ilustración 2- 3: Línea de debobinado

Fuente: Raute

Interacción Técnica: La eficiencia de la clasificación y la uniformidad de las chapas dependen en gran medida del adecuado ablandamiento que se lleva a cabo en los túneles de macerado. Si el ablandamiento de la madera no se realiza correctamente, la calidad de las chapas puede verse afectada, lo que compromete su comportamiento en las siguientes fases del proceso. Una madera mal preparada puede presentar inconsistencias, como variaciones en el espesor o defectos estructurales, que impactan negativamente en la precisión del secado y en la calidad general de los productos derivados.

Por lo tanto, existe una relación crítica entre la preparación inicial de la madera y la eficiencia operativa de los tornos y secadores. Mantener un equilibrio adecuado en el tratamiento previo no solo maximiza el aprovechamiento de los recursos, sino que también garantiza que el producto final cumpla con los estándares de calidad exigidos por el mercado.

Secado y Clasificación de Chapa (Chapa)

Las chapas húmedas pasan a los secadores, donde se reduce cuidadosamente el contenido de humedad hasta alcanzar los niveles óptimos necesarios para las siguientes etapas del proceso. Una vez secas, las chapas se clasifican según su apariencia y calidad, asegurando que solo las chapas que cumplen con los estándares requeridos avancen de forma directa en la cadena de producción.

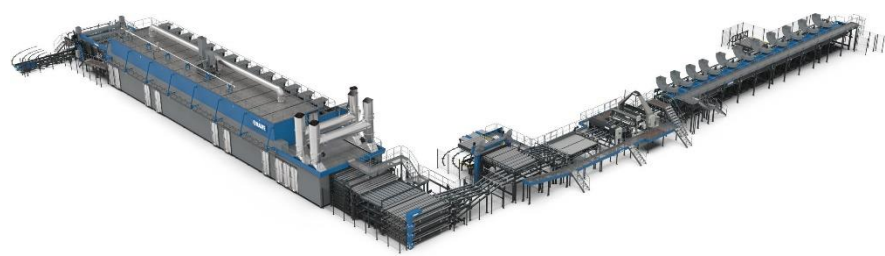


Ilustración 2- 4: Línea de secado

Interacción Técnica: Es fundamental que el secado se realice de manera uniforme para evitar defectos como deformaciones, grietas o tensiones internas que puedan afectar negativamente la calidad del producto final. Un secado inconsistente puede provocar problemas de estabilidad estructural y comprometer el rendimiento de las chapas en aplicaciones posteriores, como el encolado y el prensado. Por lo tanto, un control preciso del proceso de secado es clave para mantener la integridad del material y optimizar la eficiencia general de la producción.

Parchado y Composición de Chapa (Tablero)

Las chapas clasificadas se envían a la línea de parchado para corregir defectos visibles o a la línea de composición, donde se ensamblan chapas tipo RANDOM para formar chapas completas (FULL), listas para ser utilizadas en la fabricación de tableros. Este proceso permite optimizar el uso del material y asegurar que las chapas cumplan con los estándares de calidad necesarios para el producto final.

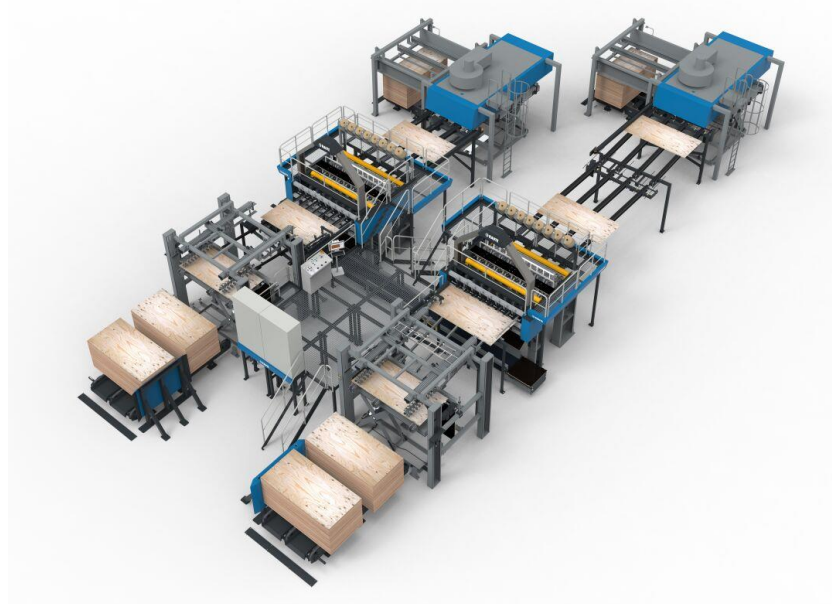


Ilustración 2- 5: Línea de composición

Interacción Técnica: Para lograr un producto de alta calidad, es fundamental que las chapas estén bien secas y presenten una superficie uniforme antes de ingresar a las líneas de parchado y composición. Si las chapas presentan variaciones de humedad o defectos visibles, estos pueden afectar negativamente la adhesión y la resistencia del tablero, generando problemas de calidad en las etapas de encolado y prensado. De este modo, un secado adecuado y la eliminación de imperfecciones son esenciales para garantizar que los tableros resultantes cumplan con los requerimientos de calidad y durabilidad del mercado.

Encolado y Pre-prensado (Tablero)

Las chapas se apilan cuidadosamente, aplicándoles un adhesivo fenólico que sirve de unión para formar el preparado del tablero. Este paso es fundamental para garantizar la integridad estructural del producto. A continuación, los lotes pasan por una etapa de pre-prensado, que permite estabilizar las chapas y el adhesivo antes de entrar en la fase de prensado final. El pre-prensado asegura una distribución uniforme del adhesivo y facilita la cohesión inicial de las chapas, evitando desplazamientos o irregularidades en el material durante el prensado caliente.



Ilustración 2- 6: Línea de encolado

Interacción Técnica: La uniformidad y disposición de las chapas en esta etapa son esenciales para la calidad del producto final. Si el encolado es desigual o presenta áreas sin adhesivo suficiente, pueden surgir problemas de soplado o delaminación durante el prensado caliente, comprometiendo la resistencia y durabilidad del tablero. Un preparado de chapas bien organizado y con una aplicación uniforme de adhesivo es clave para evitar estos defectos y asegurar un producto final de alta calidad que cumpla con los estándares de resistencia requeridos en aplicaciones de construcción y mobiliario.

Prensado Final (Tablero)

El prensado se lleva a cabo a altas temperaturas, un paso crucial que permite curar el adhesivo fenólico y consolidar las chapas en un tablero sólido. Este proceso es fundamental para la integridad estructural del producto final, ya que asegura que las chapas se unan de forma permanente. Debido a su duración y complejidad, el prensado es considerado el cuello de botella del proceso de fabricación, limitando la capacidad productiva de la línea.

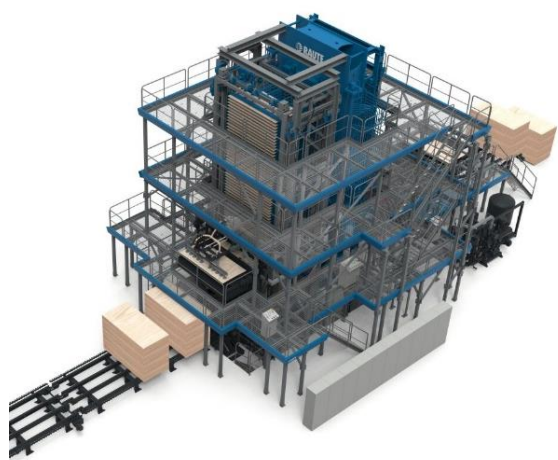


Ilustración 2- 7: Línea de prensado

Interacción Técnica: El éxito del prensado depende en gran medida de la correcta preparación en las etapas de encolado y pre-prensado. Si se produce un fallo en el encolado, como una aplicación desigual de adhesivo o una disposición incorrecta de las chapas, el prensado puede resultar en defectos estructurales, como delaminaciones o soplado, comprometiendo la resistencia y calidad del tablero. La precisión en la aplicación del adhesivo y la estabilidad inicial lograda en el pre-prensado son esenciales para asegurar que el prensado final cumpla con los estándares de calidad requeridos en aplicaciones exigentes, como construcción y fabricación de muebles.

Retape y Reparación (Terminación)

Los tableros prensados pasan por un lector automatizado para identificar posibles defectos de superficie y estructura. Aquellos que presentan irregularidades o fallas son enviados a líneas de retape para su reparación. Este proceso puede ser automático o manual, dependiendo de la gravedad del defecto, del espesor del tablero y del tipo de corrección requerida. Los tableros que no cumplen con los estándares de calidad en el análisis automático pueden ser rechazados y redirigidos para ser reprocesados en la línea manual, asegurando así que solo los productos de calidad adecuada avancen en la línea de producción.

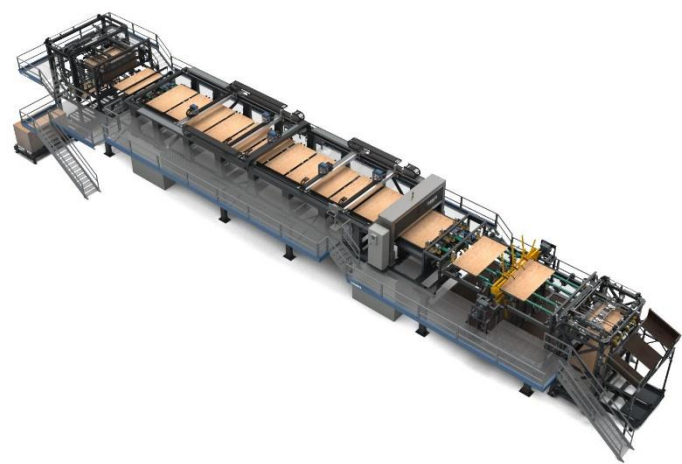


Ilustración 2- 8: Línea de retape

Interacción Técnica: La relación entre el prensado y el proceso de retape es fundamental para la eficiencia y calidad del producto final. Tableros que han pasado por un prensado deficiente suelen requerir una mayor intervención en la línea de retape, lo que incrementa el tiempo de trabajo y los costos de reparación. La precisión en el proceso de prensado es esencial para reducir la carga de trabajo en la etapa de retape y asegurar la calidad estructural y estética de los tableros, optimizando así el flujo de producción y los recursos.

Escuadrado, Lijado y Ranurado (Terminación)

Los tableros reparados pasan por las líneas de encuadrado, donde se definen sus dimensiones finales con precisión para cumplir con los estándares establecidos. Este paso de encuadrado es obligatorio para todos los tableros, ya que garantiza la uniformidad dimensional, esencial para la funcionalidad y apariencia del producto. Posteriormente, los tableros pueden continuar a otras etapas de acabado según los requerimientos del cliente, que incluyen procesos de lijado, ranurado y texturizado.

El proceso de lijado permite obtener un acabado superficial uniforme, ideal para productos que requieran una estética cuidada y una textura suave al tacto. Por su parte, el ranurado añade características adicionales, como canales y diseños específicos, adaptándose a las especificaciones solicitadas para aplicaciones como revestimientos o paneles decorativos. En algunos casos, los tableros pueden recibir tratamientos de texturizado que crean una apariencia y sensación distintivas, ajustándose a demandas estéticas y funcionales particulares. Estos procesos son independientes entre sí y se aplican de forma selectiva en función del tipo de acabado final que se desee; solo el encuadrado es una etapa común y obligatoria para todos los tableros.



Ilustración 2- 9: Lijadora IMEAS

Interacción Técnica: La calidad de los tableros en cada una de estas etapas depende en gran medida del estado en que se reciban. Imperfecciones o defectos provenientes de fases anteriores, como el prensado o el retape, pueden dificultar el trabajo de encuadrado, lijado o ranurado, complicando el acabado final y afectando la consistencia y apariencia del producto. Por tanto, un control de calidad riguroso en cada etapa es esencial para minimizar la necesidad de ajustes adicionales y asegurar que cada tablero cumpla con los estándares de calidad requeridos.

Pintado (Terminación)

En función de los requerimientos del cliente, los tableros terminados pueden pasar por una etapa de pintado previo. Este proceso aplica una pintura base al agua de color gris, recubriendo completamente el tablero para crear una capa impermeabilizante que lo protege de la humedad y otros factores ambientales. Esta protección es esencial para productos que deben soportar condiciones especiales de exposición, asegurando que mantengan su integridad durante su vida útil.

Interacción Técnica: El éxito de este proceso depende de la correcta aplicación del recubrimiento y del secado uniforme de la pintura. Si la capa impermeabilizante se aplica de forma irregular o no se seca adecuadamente, la protección del tablero puede verse comprometida, lo que lo hace susceptible a daños en ambientes húmedos. Un pintado uniforme y completamente seco es crucial para maximizar la durabilidad del tablero y garantizar que cumpla con los estándares de calidad exigidos por el cliente.

Empaque (Terminación)

El último paso en la fabricación es el empaquetado automático, que prepara los tableros para su envío al área de almacenamiento y distribución (BPT). En este proceso, los tableros se organizan en lotes, se les colocan tacos en la base para facilitar el manejo con grúas horquilla, y luego se recubren completamente con stretch film. Este recubrimiento garantiza que los tableros estén protegidos y se mantengan estables durante el transporte, reduciendo el riesgo de daño.



Ilustración 1- 10: línea de empaque

Interacción Técnica: Un empaquetado adecuado es fundamental para proteger los tableros y optimizar su manipulación en el transporte. Si los tacos no están bien asegurados o el stretch film no cubre correctamente el lote, los tableros pueden desplazarse o dañarse durante el traslado y el almacenamiento. Un empaquetado bien ejecutado asegura que el producto llegue en condiciones óptimas a los clientes, minimizando pérdidas y conservando la calidad final.

2.2.DESCRIPCION DE PROCESO A OPTIMIZAR

En el proceso de producción industrial de paneles en PTNA, las tres líneas de reparación automática R7 Raute representan un elemento esencial para garantizar la calidad y consistencia del producto final. Estas líneas han sido diseñadas específicamente para agregar valor a los paneles mediante la identificación y corrección automática de defectos visibles en la superficie, como grietas, nudos o irregularidades en la madera. Este sistema asegura que los paneles cumplan con los estándares de calidad establecidos, optimizando su apariencia y funcionalidad antes de ser enviados al cliente.

2.2.1. Funcionamiento y Ventajas de las Líneas Automáticas R7 Raute

Cada línea R7 Raute opera con tecnología avanzada de escaneo y automatización, que permite detectar y reparar defectos con alta precisión. El proceso se inicia con el análisis automatizado de los paneles mediante sistemas de visión mecano-óptica, que identifican defectos superficiales. Una vez detectados, los robots de reparación aplican automáticamente masillas o retape sobre las áreas afectadas, logrando un acabado uniforme. Este enfoque reduce significativamente las variaciones humanas asociadas con métodos manuales, garantizando un estándar constante en los productos.

Eficiencia Operativa: El uso de estas líneas automáticas permite reducir el tiempo dedicado a reparaciones, lo que incrementa la capacidad de producción. Esto resulta especialmente importante en industrias con demandas fluctuantes, donde el cumplimiento de los plazos de entrega es un factor clave para la satisfacción del cliente.

Reducción de Errores y Mayor Precisión: Gracias a los algoritmos de detección y reparación, las líneas R7 Raute logran acabados más consistentes y precisos en comparación con los métodos tradicionales. Este nivel de precisión asegura una mayor durabilidad y estética en los paneles, factores esenciales para aplicaciones de construcción y diseño de interiores.

Optimización de Recursos Humanos: Aunque las líneas automáticas no eliminan completamente la necesidad de intervención manual, reducen significativamente la dependencia de mano de obra para tareas repetitivas. Los operarios se enfocan en labores de supervisión y mantenimiento, mejorando la productividad y permitiendo una gestión más eficiente de los recursos humanos.

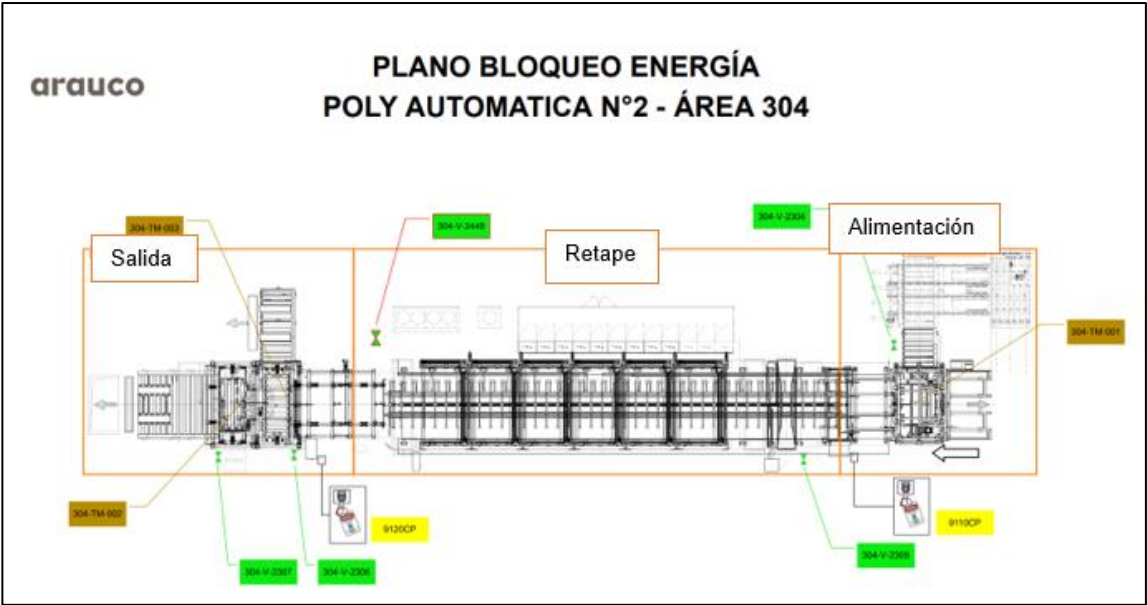


Ilustración 2- 11: Layout retape

El proceso de manipulación de tableros en la línea de retape automatizado inicia con la intervención de una grúa horquilla, que recoge un lote de tableros desde su área de almacenamiento. Este lote se transporta hasta los transportes de cadena, los cuales, a través de un sistema automatizado, desplazan el paquete completo hacia la mesa de levante. La función principal de esta mesa es separar los tableros individualmente, ajustando su altura para liberar un tablero a la vez, de manera controlada y precisa.

2.2.2. Etapas del Proceso

Transporte del Lote de Tableros:

Una vez en los transportes de cadena, el paquete se posiciona para ser procesado. Este sistema asegura que el lote completo avance sin interrupciones hacia la mesa de levante, integrando sensores y mecanismos que evitan atascos y garantizan la alineación adecuada del lote.



Ilustración 2- 12: Transporte alimentación

Separación y Alimentación de Tableros:

La mesa de levante, ajustable en altura, libera cada tablero de forma secuencial hacia las cintas de transporte. Este diseño asegura que los tableros sean alimentados al sistema uno por uno, evitando acumulaciones y asegurando un flujo continuo.



Ilustración 2- 13: Alimentación de tableros.

Transporte alimentación:

Las cintas de transporte están diseñadas para mover los tableros hacia las siguientes etapas del proceso con un flujo constante y sin interrupciones. Este sistema minimiza el riesgo de atascos, garantizando que los tableros lleguen a las estaciones de procesamiento posteriores de manera eficiente y en el orden correcto.



Ilustración 2- 14: Transportes de alimentación

Análisis de defectos:

Una vez que los tableros han sido individualizados y transportados, cada pieza es analizada mediante un escáner Mecano. Este sistema avanzado utiliza tecnología de visión mecano-óptica para identificar defectos en la superficie, tales como grietas, irregularidades y áreas con falta de material. Tras este análisis, los tableros son dirigidos a la línea de retape automatizado, equipada con seis robots cartesianos que ejecutan reparaciones de alta precisión.



Ilustración 2- 15: Scanner de tableros.

Etapas del Proceso de Reparación

El proceso de reparación se divide en tres fases principales, cada una realizada por grupos de robots especializados:



Ilustración 2- 16: zona de retape

Preparación con Router: Los primeros dos robots se encargan de identificar las imperfecciones más grandes en los tableros, como grietas profundas o nudos. Utilizan herramientas de corte tipo router para crear surcos precisos alrededor de los defectos. Este paso es crucial para asegurar que las reparaciones posteriores tengan una base sólida y permitan una mejor adhesión de los materiales de relleno.



Ilustración 2- 17: robot router

Aplicación de Masilla: En la siguiente etapa, tres robots aplican una masilla especialmente diseñada para reparar defectos más pequeños en la superficie del tablero. La masilla se distribuye con alta precisión, asegurando que las reparaciones sean uniformes y estéticamente adecuadas.



Ilustración 2- 18: robot masilla

Cobertura con Poly: El último robot, especializado en la aplicación de poliuretano (poli), completa el proceso al cubrir las aberturas creadas previamente por el router. Este material flexible y duradero elimina de manera eficiente los defectos mayores, garantizando que el tablero cumpla con los estándares de calidad requeridos.

Clasificación Automática:

Los tableros que no cumplen con la calidad deseada son rechazados y apilados de y clasificados como rechazo. Los tableros que no superan esta evaluación se retiran para un reproceso. Los defectos identificados en esta etapa pueden incluir reparaciones incompletas, daños estructurales o inconsistencias en la superficie.

Apilado de Tableros Aprobados:

Los tableros que cumplen con los criterios de calidad son apilados de manera ordenada y automatizada por los apiladores. Este sistema asegura que los lotes estén organizados y listos para su manipulación en las siguientes etapas de producción o almacenamiento. El apilado preciso facilita el transporte eficiente dentro de la planta y reduce el riesgo de daños durante su manipulación.

Al concluir el proceso de reparación, cada tablero es transportado mediante un sistema de cintas automatizadas hacia la etapa final de evacuación. Este sistema garantiza un movimiento continuo y seguro, evitando daños en los tableros durante su desplazamiento. Una vez en esta fase, los tableros se someten a un proceso de clasificación y apilado, esencial para mantener el flujo ordenado de producción.

2.2.3. Capacidad operativa

Los robots tienen una capacidad operativa de dieciséis tableros por minuto, lo que asegura un flujo continuo y eficiente. Este sistema de alta productividad requiere la supervisión de un solo operador, quien controla y monitorea todo el proceso desde una estación central. Los robots están diseñados para trabajar con tableros de diferentes espesores, entre 5 mm y 40 mm, lo que permite su uso en una amplia gama de productos y aplicaciones industriales.

2.3.DATOS DE DISPONIBILIDAD EN ÁREA

2.3.1. Disponibilidad actual

En la siguiente tabla podemos observar el registro de fallas ocurridas un plazo de aproximadamente un año.

Tabla 2- 1: base de datos falla en línea de retape

Zona	Componente	Modo de Falla	Tpo. Mrto. Acum. (min)	N° Ocurrencias
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Deformación	300	14
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	383	17
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desgaste	382	18
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Rotura	376	11
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	370	20
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Deformación	362	18
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	357	15
Zona de Retape	Elementos estructurales	Desalineación	347	12
Zona de Retape	Elementos estructurales	Fricción excesiva	345	8
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	337	13
Zona de Retape	Husillos	Desgaste	337	10
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desalineación	336	11
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Desgaste	336	10
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desalineación	334	13
Zona de Retape	Pinzas de sujeción	Desgaste	331	13
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desalineación	324	18
Zona de Retape	Husillos	Rotura	324	9
Zona de Retape	Pinzas de sujeción	Desgaste	313	6
Zona de Retape	Sistemas de presión	Desgaste	312	13
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Rotura	310	19
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desgaste	308	17
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Deformación	303	11
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Deformación	303	19
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Atasco	301	20
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	301	19
Zona de Retape	Sistemas de presión	Fricción excesiva	293	11
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desalineación	290	17
Zona de Retape	Sistemas de lubricación	Fricción excesiva	289	12
Zona de Retape	Pinzas de sujeción	Desgaste	288	8
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Atasco	283	18
Zona de Retape	Pinzas de sujeción	Atasco	279	14
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Fricción excesiva	275	18
Zona de Retape	Sistemas de presión	Desalineación	272	11
Zona de Retape	Elementos estructurales	Fricción excesiva	265	13
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desalineación	264	11
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Deformación	262	17
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desgaste	261	12
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desgaste	251	18
Zona de Retape	Husillos	Deformación	246	13
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	237	13
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Desgaste	233	20
Zona de Retape	Sistemas de lubricación	Desgaste	233	10
Zona de Retape	Husillos	Desalineación	232	7
Zona de Retape	Actuadores mecánicos	Desalineación	220	15
Zona de Retape	Rodamientos en Eje Z	Rotura	218	10
Zona de Retape	Pinzas de sujeción	Fricción excesiva	215	13
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	211	16
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Deformación	208	13
Zona de Retape	Rodamientos en Eje X	Rotura	204	16
Zona de Retape	Sistemas de lubricación	Fricción excesiva	201	6
Salida	Estructuras de soporte	Atasco	195	4
Zona de Retape	Pinzas de sujeción	Desalineación	191	8
Alimentación	Guías lineales	Rotura	191	2
Alimentación	Ejes mecánicos	Fricción excesiva	190	5
Zona de Retape	Elementos estructurales	Desgaste	189	15

Zona de Retape	Elementos estructurales	Desgaste	187	5
Salida	Placas de alineación	Fricción excesiva	186	6
Alimentación	Sistemas de soporte	Fricción excesiva	182	2
Zona de Retape	Sistemas de presión	Desalineación	181	9
Zona de Retape	Sistemas de presión	Fricción excesiva	181	15
Zona de Retape	Sistemas de presión	Desgaste	177	15
Zona de Retape	Sistemas de lubricación	Desalineación	177	11
Zona de Retape	Elementos estructurales	Rotura	174	8
Alimentación	Ejes mecánicos	Rotura	172	4
Salida	Cadenas de transporte	Deformación	171	10
Salida	Estructuras de soporte	Rotura	163	5
Zona de Retape	Husillos	Atasco	160	14
Zona de Retape	Husillos	Atasco	152	15
Zona de Retape	Actuadores mecánicos	Desalineación	150	12
Alimentación	Sistemas de soporte	Desalineación	141	7
Salida	Estructuras de soporte	Atasco	137	5
Salida	Rodillos de salida	Desalineación	129	6
Salida	Guías telescópicas	Deformación	129	7
Salida	Cadenas de transporte	Deformación	127	8
Alimentación	Poleas	Deformación	116	10
Alimentación	Sistemas de soporte	Desalineación	114	8
Alimentación	Sistemas de soporte	Fricción excesiva	113	5
Salida	Cadenas de transporte	Fricción excesiva	106	1
Alimentación	Rodillos de transporte	Desgaste	106	4
Salida	Cadenas de transporte	Desgaste	105	3
Alimentación	Poleas	Deformación	100	7
Alimentación	Correas de transmisión	Deformación	110	10
Alimentación	Ejes mecánicos	Deformación	95	9
Salida	Cadenas de transporte	Desalineación	93	6
Alimentación	Correas de transmisión	Atasco	93	7
Alimentación	Sistemas de soporte	Rotura	87	4
Alimentación	Ejes mecánicos	Atasco	86	7
Alimentación	Sistemas de soporte	Atasco	85	8
Salida	Estructuras de soporte	Desalineación	81	2
Salida	Transportador de paneles	Deformación	80	5
Salida	Placas de alineación	Desgaste	75	8
Salida	Guías telescópicas	Atasco	73	3
Salida	Placas de alineación	Desgaste	73	6
Alimentación	Rodillos de transporte	Atasco	73	2
Salida	Placas de alineación	Desalineación	70	4
Alimentación	Correas de transmisión	Fricción excesiva	61	9
Salida	Estructuras de soporte	Desalineación	45	9
Salida	Estructuras de soporte	Atasco	45	2
Salida	Estructuras de soporte	Desalineación	42	7
Alimentación	Correas de transmisión	Desgaste	41	5

Considerando que el total de horas de operacionales planificadas anuales corresponde a 8001.096 y la suma total de horas no planificadas producto de detenciones no planificadas corresponde a 346,03 nos da como resultado una disponibilidad del 95%.

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ operacionales\ planeadas - Horas\ de\ detencion}{Horas\ operacionales\ planeadas} * 100$$

$$95.675\% = \frac{8001.096 - 346.03}{8001.096} * 100$$

Debido que actualmente, el área de POLY-PATCH opera con una disponibilidad del 95%, un nivel que, si bien refleja un desempeño aceptable debido a la globalización es necesario mejorar.

Se ha establecido una meta de disponibilidad del 98% en el área de POLY-PATCH, un objetivo ambicioso que refleja la importancia de mantener una operación constante y eficiente para satisfacer las demandas de producción. Alcanzar este nivel de disponibilidad requiere un enfoque integral que combine mejoras en la eficiencia operativa, la optimización de procesos de mantenimiento y la reducción de paradas no planificadas, las cuales son el principal factor que impacta negativamente en la productividad.

2.3.2. Análisis de la Disponibilidad Actual

Actualmente, el área de POLYPATCH opera con una disponibilidad del 95%, lo cual, aunque es un indicador aceptable en términos industriales, no alcanza el estándar establecido del 98%. Este déficit del 3% implica una pérdida de tiempo significativo que afecta la capacidad de producción y genera costos adicionales asociados con interrupciones y reparaciones de emergencia.

2.4.**IDENTIFICACIÓN DE CAUSA RAÍZ:**

2.4.1. Contexto del análisis:

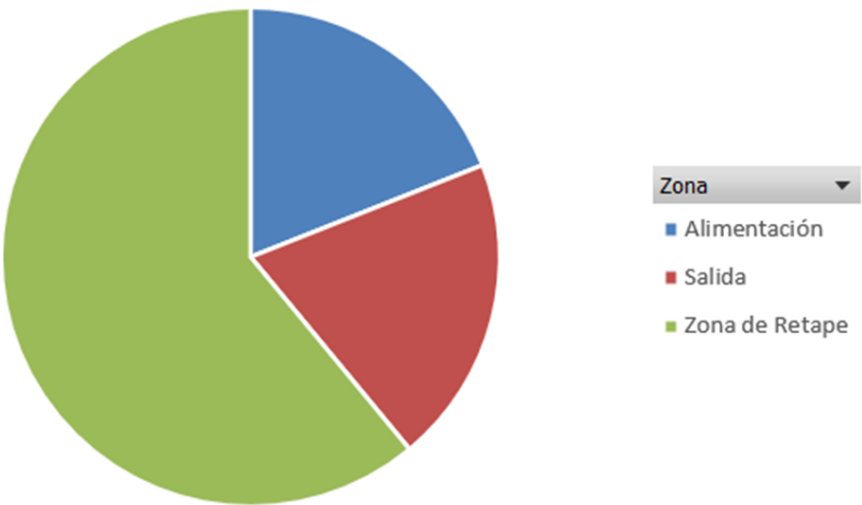
A partir de una base de datos que registra las fallas durante un periodo de un año, se realizó un análisis para identificar los puntos con mayor acumulación de tiempo muerto dentro de una línea de retape automático. La línea se dividió en tres secciones principales con el fin de filtrar los datos, siendo estas:

- Alimentación: recepción de lotes y posterior entrega unitaria de cada tablero.
- Retape: Análisis y reparación automática de defectos en los tableros.
- Salida: Clasificación y apilado de los tableros para su posterior transporte.

2.4.2. Distribución del Tiempo Muerto

Una vez analizado el total de los datos es posible determinar que la sección de Retape concentra el 60% aproximadamente del tiempo muerto total acumulado, convirtiéndola en el principal foco donde debemos centrar nuestros análisis para determinar el origen. Debido a que esto evidencia la necesidad de priorizar esta área para implementar mejoras que reduzcan el impacto de las fallas en la productividad global para nuestra línea de retape.

Gráfico 2- 1 Distribución de mayor tiempo muerto



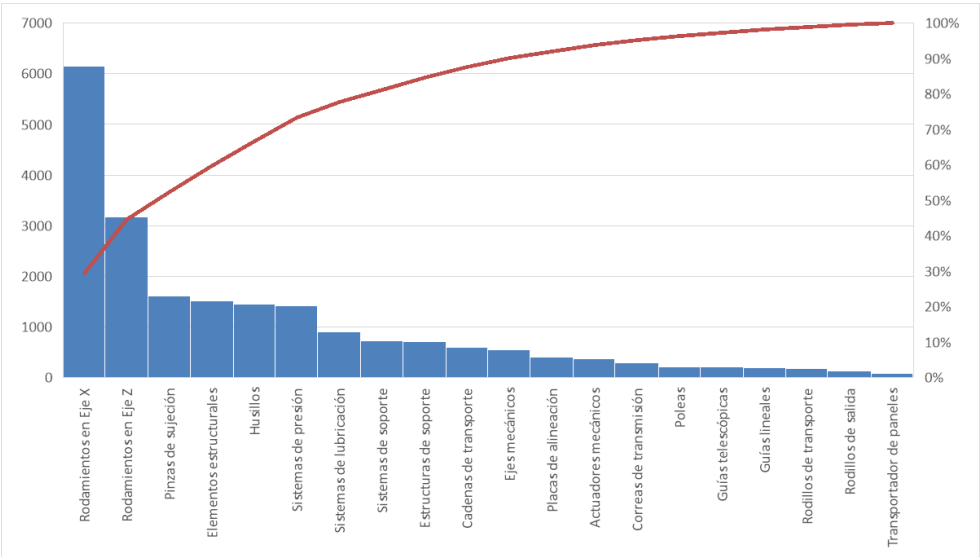
2.4.3. Análisis de causa de mayor tiempo muerto

Tras un análisis más profundo de las fallas registradas en la zona de retape, se utilizó el diagrama de Pareto para identificar las principales causas que contribuyen al tiempo muerto acumulado. Los resultados indican que:

- Fallas en rodamientos del eje X.
- Fallas en rodamientos del eje Z.

Estas dos categorías representan la mayor proporción del tiempo muerto acumulado, siendo responsables de un impacto significativo en la operación de la línea.

Gráfico 2- 2: Diagrama de Pareto de fallas en zona de retape



2.4.4. Principales daños observados en rodamientos:

El análisis exhaustivo de las fallas en la línea de retape ha revelado que los rodamientos son uno de los componentes más afectados, representando un punto crítico en la operación. Entre las causas principales que contribuyen a los daños se encuentra la lubricación deficiente, una problemática recurrente que impacta negativamente la vida útil de estos elementos. Producto de esta falta de lubricación, los rodamientos operan en condiciones subóptimas, lo que acelera su desgaste y aumenta la probabilidad de fallas mecánicas.



Ilustración 2- 19: Daños en rodamientos por falta de lubricación

Esta situación se ve agravada por la imposibilidad de realizar la lubricación con el equipo en servicio. La interrupción del proceso para llevar a cabo esta tarea genera tiempos muertos significativos, lo que afecta directamente la disponibilidad de la línea. Además, las intervenciones suelen ser demoradas e insuficientes, contribuyendo a una acumulación de problemas que podrían haberse prevenido con una lubricación constante y adecuada.



Ilustración 2- 20: Lubricación manual

En casos extremos, las condiciones adversas de operación provocan no solo el fallo de los rodamientos, sino también daños colaterales en componentes estructurales como las bancadas. Este tipo de averías requiere el traslado de piezas voluminosas hacia el equipo, un proceso que consume tiempo y recursos significativos, incrementando aún más los tiempos muertos asociados a la reparación.



Ilustración 2- 21: Daños en bancadas

En este contexto, es evidente que las fallas recurrentes en los rodamientos y los tiempos prolongados para realizar intervenciones críticas representan un desafío estructural que requiere una evaluación integral. Las limitaciones actuales en el mantenimiento y la accesibilidad demandan una solución estratégica para mitigar estos problemas de raíz.

Gráfico 2- 3: análisis 5 ¿Por qué?

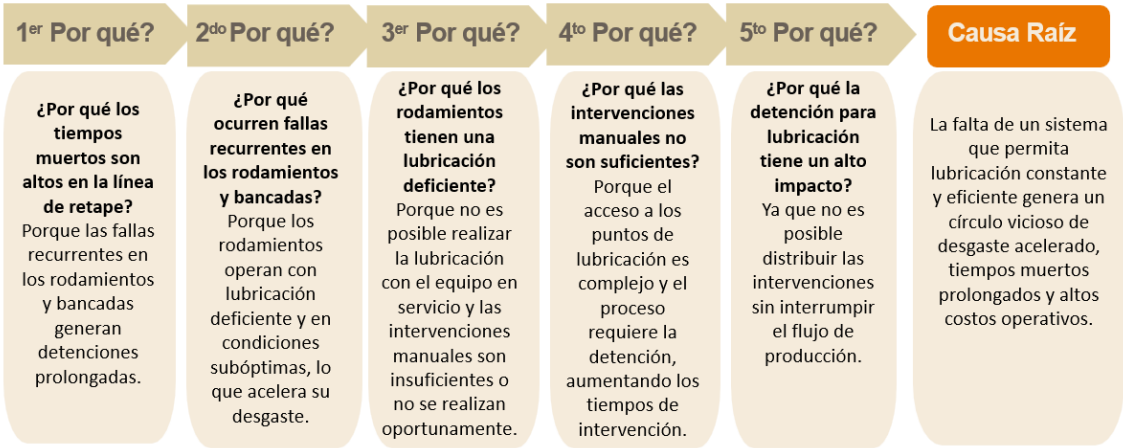
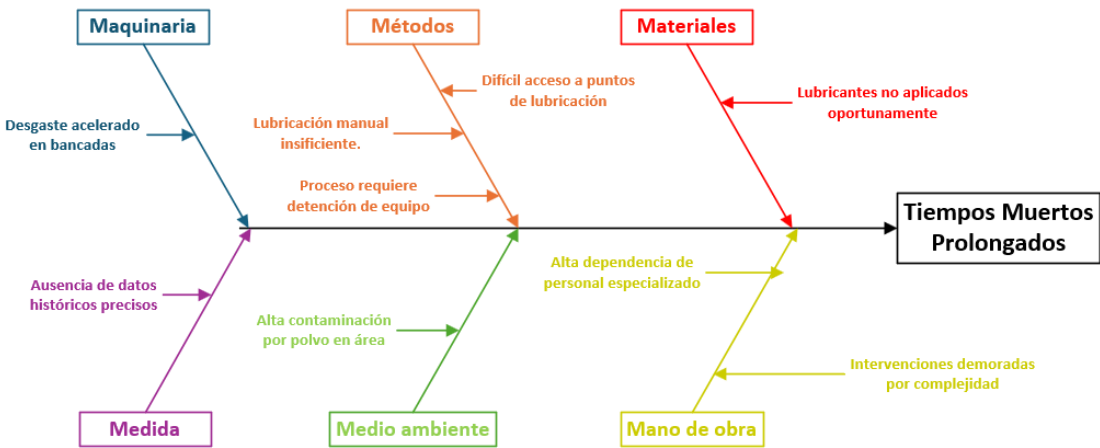


Gráfico 2- 4: diagrama de ISHIKAWA



2.4.5. Diagrama de Ishikawa: Clasificación de las Causas

A través del uso del diagrama de Ishikawa, se realizó un análisis exhaustivo de las principales causas que generan tiempos muertos prolongados en la línea de retape. Este enfoque permitió identificar cómo las deficiencias en diferentes áreas operativas convergen para intensificar los problemas de desgaste en rodamientos y bancadas, así como la falta de eficiencia en el sistema de mantenimiento.

El análisis agrupó las causas en seis categorías clave: método, máquina, material, mano de obra, medida y medio ambiente, proporcionando una visión integral de los factores que afectan el desempeño del sistema.

Método: El proceso actual de lubricación es completamente manual, lo que obliga a detener la operación cada vez que se realiza esta tarea. Esto genera interrupciones constantes y tiempos muertos significativos. Además, el acceso a los puntos de lubricación es complicado, lo que dificulta aún más las intervenciones y aumenta la probabilidad de retrasos.

Máquina: Los rodamientos y bancadas presentan un desgaste acelerado, principalmente debido a la falta de sistemas automáticos de lubricación que aseguren una aplicación constante y uniforme. La operación en condiciones subóptimas incrementa la frecuencia de fallas mecánicas, impactando negativamente en la disponibilidad operativa de los equipos.

Material: El uso inadecuado de lubricantes y la falta de especificidad en las propiedades requeridas para los sistemas de alta demanda, como los rodamientos del eje X, contribuyen a su desgaste prematuro. Además, se ha identificado que la calidad de algunos materiales empleados en el mantenimiento no cumple con los estándares óptimos para condiciones industriales adversas.

Mano de Obra: La falta de capacitación específica en temas clave, como la tribología y el mantenimiento preventivo, limita la capacidad del personal operativo para detectar y corregir fallas de manera oportuna. Esto genera una alta dependencia de técnicos especializados y reduce la capacidad de respuesta ante emergencias.

Medida: La ausencia de registros claros sobre el ciclo de vida de los componentes críticos dificulta la planificación de tareas preventivas y predictivas. Además, la falta de métricas de seguimiento preventivo impide la identificación temprana de patrones de fallas recurrentes, lo que podría ayudar a mitigar problemas antes de que se conviertan en fallas mayores.

Medio Ambiente: Las condiciones operativas del área de retape presentan desafíos significativos debido a la acumulación de polvo y suciedad, lo que incrementa el desgaste de los componentes. Estas condiciones ambientales adversas no solo afectan la vida útil

de los equipos, sino que también aumentan la necesidad de tareas de limpieza y mantenimiento más frecuentes.

2.4.6. Método de los 5 Por Qué: Identificación de la Causa Raíz

El análisis de los 5 Por Qué complementó al diagrama de Ishikawa, profundizando en la identificación de la causa raíz del problema. Este análisis destacó que la falta de un sistema de lubricación continuo es un factor central, ya que obliga a detener la operación para realizar el mantenimiento, lo que incrementa el desgaste y la probabilidad de fallas. Además, de provocar un desgaste en cadena acelerado aumentando los tiempos muertos y los costos operativos.

2.4.7. Hallazgos Combinados

Ambas metodologías muestran que los tiempos muertos acumulados son consecuencia de diversas deficiencias interrelacionadas en los procesos, los recursos y la gestión del mantenimiento. Estas limitaciones se agravan por la falta de un enfoque integral que aborde tanto las necesidades tecnológicas como organizacionales y operativas.

Los resultados indican que las estrategias para solucionar este problema deben abarcar varias áreas simultáneamente, como la implementación de un sistema de lubricación automatizada y la capacitación del personal de operaciones en prácticas de mantenimiento preventivo. Un enfoque integral permitirá atacar las causas raíz identificadas, mejorar la disponibilidad de la línea de retape y alcanzar los objetivos de productividad establecidos.

CAPITULO 3: PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

3.1.PROPUESTA TÉCNICA: SISTEMA DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICA

3.3.1.Componentes de robots cartesianos

La línea de retape está equipada con seis robots cartesianos de la reconocida marca FESTO, los cuales desempeñan un papel fundamental en la ejecución del proceso. Estos robots son responsables de realizar las tareas más críticas, asegurando precisión y eficiencia en cada etapa de la operación.

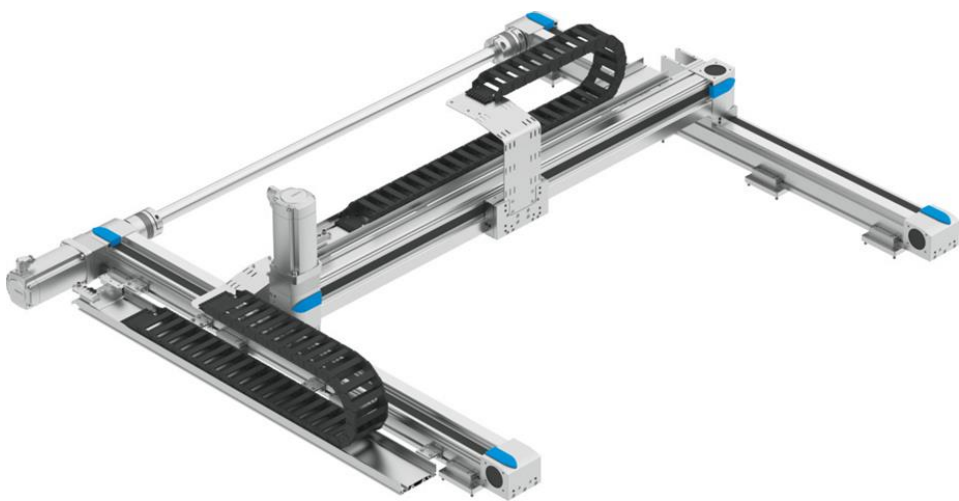


Ilustración 3- 1: Robot cartesiano

Cada robot cartesiano está diseñado para operar en tres ejes, gracias a su configuración con tres bancadas que corresponden a los ejes X, Y y Z. Debido a que las fallas en el eje X son significativamente más frecuentes y tienen un mayor impacto en el tiempo de operación, se ha decidido priorizar la automatización de la lubricación en este eje. Esta medida busca mejorar la confiabilidad y reducir los tiempos muertos asociados a estas fallas críticas.



Ilustración 3- 2: bancada eje X

3.3.2. Principios del sistema de lubricación

El sistema de lubricación automática está diseñado para abordar de manera eficiente las necesidades de lubricación en puntos críticos, como los rodamientos de los ejes X en la línea de retape. Este sistema asegura una aplicación continua y precisa de lubricante, eliminando la necesidad de detener el proceso productivo para realizar intervenciones manuales. Entre las soluciones disponibles, los vasos lubricadores automáticos, como los modelos Cherston, destacan por su capacidad de dispensar grasa de manera uniforme en intervalos controlados, resolviendo problemas comunes como la sublubricación o la sobrelubricación.



Ilustración 3- 3: Dosificadores de grasa Cherston

El funcionamiento de estos dispositivos se basa en un mecanismo de presión constante. Este mecanismo empuja el lubricante hacia los puntos de aplicación con alta precisión, garantizando una operación continua y eficiente. Los vasos lubricadores pueden configurarse para operar en ciclos que varían entre 15 días y un año, dependiendo de las necesidades específicas de los equipos. Esta flexibilidad, junto con su capacidad para funcionar en condiciones adversas como altas temperaturas, vibraciones y accesos complicados, los hace ideales para aplicaciones industriales críticas.

3.3.3. Diseño e Implementación del Sistema

El diseño de un sistema de lubricación automática para la línea de retape incluye la selección estratégica de los componentes y su integración en los puntos críticos de operación. En este caso, los vasos lubricadores se instalarán en los rodamientos de los ejes X, teniendo en cuenta las condiciones de presión, temperatura y frecuencia de uso de los equipos. Los modelos Cherston están disponibles en capacidades que oscilan entre 60 y 500 cc, lo que permite ajustarse a diferentes requisitos operativos.

Para implementar eficazmente los sistemas de lubricación automática en la línea de retape, es necesario realizar modificaciones específicas en los rodamientos de los ejes X. Estas modificaciones permiten la instalación de los vasos lubricadores, asegurando una integración adecuada y un funcionamiento óptimo del sistema.

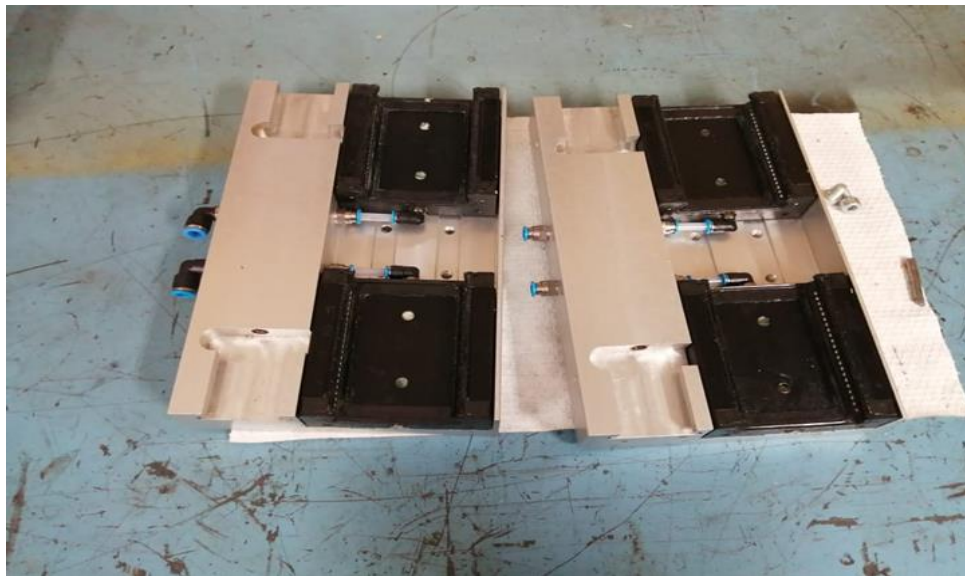


Ilustración 3- 4: Modificación a rodamientos

El diseño del sistema de lubricación considera la instalación de dos vasos lubricadores y dos blocks distribuidores por cada bancada del eje X, lo que garantiza una aplicación uniforme y continua del lubricante en los puntos críticos. Esta configuración está diseñada para satisfacer las demandas específicas de carga y movimiento del eje X, que soporta la mayor tensión y frecuencia de uso en los robots cartesianos.



ilustración 3- 5: Block distribuidor

Además, este enfoque asegura que el lubricante se distribuya de manera eficiente, reduciendo el riesgo de desgaste prematuro y maximizando la vida útil de los componentes. La incorporación de dos lubricadores por bancada también proporciona redundancia en el sistema, aumentando la confiabilidad y reduciendo el tiempo necesario para el mantenimiento correctivo. Esta solución técnica representa un paso clave hacia la optimización de la operación y la reducción de los tiempos muertos asociados al desgaste de los rodamientos.

Estos dispositivos están diseñados para ser altamente resistentes a variaciones de temperatura y no requieren mantenimiento frecuente, lo que reduce los costos operativos y la dependencia de recursos humanos. Durante un mantenimiento programado, los lubricadores serán instalados y configurados para dispensar lubricante en ciclos que aseguren una operación óptima y continua. Este enfoque permitirá mantener una lubricación precisa y uniforme, evitando el desgaste acelerado de los componentes y mejorando significativamente la eficiencia operativa.

3.3.4. Impacto Esperado

La implementación del sistema de lubricación automática en la línea de retape promete generar mejoras significativas en múltiples aspectos operativos. Entre los beneficios más destacados se encuentra la reducción de hasta un 80% en las fallas relacionadas con los rodamientos, lo que incrementará la disponibilidad operativa de los equipos al minimizar los tiempos muertos asociados a intervenciones correctivas.

Asimismo, este sistema permitirá una disminución del 80% en el número de intervenciones manuales necesarias para la lubricación de los componentes. Este cambio no solo optimiza el uso de recursos humanos, sino que también reduce en un 80% el tiempo muerto relacionado con estas tareas, contribuyendo directamente al aumento de la eficiencia productiva.

Desde una perspectiva económica, la optimización en el uso de lubricantes reducirá los costos de mantenimiento al evitar la sublubricación o sobrelubricación, al mismo tiempo que prolongará la vida útil de los componentes críticos como los rodamientos. Esto se traduce en una reducción de gastos por reemplazo de piezas y una mayor estabilidad operativa.

En cuanto a sostenibilidad, el sistema de lubricación automática también tiene un impacto positivo al mejorar la eficiencia energética de los equipos. Al reducir la fricción innecesaria, disminuye el consumo de energía, lo que contribuye a operaciones más limpias y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque integral no solo mejora la productividad, sino que también refuerza el compromiso con prácticas sostenibles que benefician tanto a la organización como al entorno.

3.3.5. Relación con el TPM

La implementación del sistema de lubricación automática en la línea de retape está estrechamente alineada con los pilares fundamentales del Mantenimiento Productivo Total (TPM), reforzando su filosofía integral de mejora continua y colaboración entre equipos. A continuación, se detalla la relación entre esta mejora y los principales pilares del TPM:

Mantenimiento Autónomo: La lubricación automática fomenta el mantenimiento autónomo al reducir la necesidad de intervenciones manuales frecuentes. Los operarios, que tradicionalmente debían realizar esta tarea, ahora podrán enfocarse en inspecciones visuales y actividades básicas de limpieza y supervisión. Esto refuerza su sentido de responsabilidad sobre el estado de los equipos y facilita la detección temprana de posibles anomalías.

Mantenimiento Planificado: La automatización de la lubricación contribuye directamente al mantenimiento planificado al garantizar que los componentes críticos reciban lubricante en intervalos precisos, eliminando las incertidumbres asociadas al mantenimiento manual. Esto no solo previene fallas por sublubricación, sino que también permite programar intervenciones más estratégicas, optimizando el tiempo y los recursos disponibles.

Mejora Enfocada: La implementación de este sistema responde a un análisis detallado de las causas raíz de las fallas en los rodamientos del eje X. Al abordar específicamente este problema, se eliminan barreras operativas y se genera un impacto positivo directo en la eficiencia y disponibilidad de los equipos. Esta acción concreta refuerza el pilar de mejora enfocada al solucionar un problema recurrente con soluciones prácticas y efectivas.

Gestión de Seguridad y Medio Ambiente: El sistema de lubricación automática mejora la seguridad del entorno de trabajo al minimizar las intervenciones manuales en zonas de difícil acceso. Esto reduce el riesgo de accidentes durante las tareas de mantenimiento. Desde una perspectiva ambiental, al garantizar una lubricación precisa, se evita el desperdicio de lubricantes, contribuyendo a operaciones más limpias y sostenibles.

Gestión Temprana de Equipos: La mejora en la lubricación automática también fomenta un enfoque proactivo en la gestión de equipos. Al integrar esta tecnología desde el diseño del sistema de mantenimiento, se asegura que los equipos sean más confiables y fáciles de mantener a lo largo de su ciclo de vida.

3.3 PROPUESTA ORGANIZACIONAL: CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

3.3.1. Objetivo de la Capacitación

El objetivo principal de la capacitación es desarrollar un programa corporativo interno de Arauco que aproveche la experiencia de sus especialistas en mantenimiento y operaciones. Este enfoque busca transmitir conocimientos prácticos y específicos para mejorar la gestión de los sistemas automáticos de lubricación en la línea de retape, fortaleciendo las habilidades de los operarios en la inspección básica, ajustes preventivos y mantenimiento de los sistemas.

La capacitación corporativa se orientará a fortalecer la autonomía de los equipos de trabajo, garantizando una mayor eficiencia en la operación y reduciendo los tiempos muertos. Además, fomentará una cultura de compromiso con la mejora continua, alineando las competencias del personal con los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM), específicamente en los pilares de Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado.

4.1.2. Contenidos del Programa Corporativo

El programa de capacitación en lubricación automática ha sido diseñado para capacitar a los operadores de la línea de retape, con el objetivo de fortalecer su conocimiento técnico y habilidades prácticas en el manejo de los sistemas de lubricación automática recientemente implementados. Este curso se desarrollará en colaboración entre el líder mecánico del área de terminación y el departamento audiovisual de FORMA, asegurando la creación de un programa estructurado, didáctico y adaptado a las necesidades específicas de la planta.

El departamento audiovisual de FORMA contribuirá con la producción de materiales audiovisuales dinámicos y didácticos, que incluirán videos explicativos, simulaciones y presentaciones interactivas. Estos recursos facilitarán la comprensión de conceptos técnicos complejos y garantizarán una experiencia de aprendizaje más enriquecedora.

Posteriormente, el líder mecánico del área de terminación será el encargado de impartir las sesiones prácticas del curso, utilizando los materiales desarrollados para complementar la formación teórica. Además, será responsable de realizar evaluaciones prácticas al final del programa, asegurándose de que cada operador demuestre las competencias adquiridas tanto en conocimientos como en habilidades aplicadas.

Este enfoque mixto, que combina materiales audiovisuales innovadores con formación práctica directa, asegura que los operadores adquieran una comprensión profunda del sistema de lubricación automática y estén completamente preparados para gestionar y mantener estos sistemas de manera autónoma y eficiente en su entorno de trabajo.

Módulo 1: Fundamentos de Tribología

En este primer módulo se introducirá a los participantes en los conceptos fundamentales de la tribología, con un enfoque en cómo la fricción y el desgaste afectan el rendimiento y la vida útil de los componentes mecánicos. También se abordará la importancia de una correcta lubricación para garantizar la eficiencia operativa y minimizar los tiempos muertos. Los participantes comprenderán el impacto directo de la lubricación automática en la mejora de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

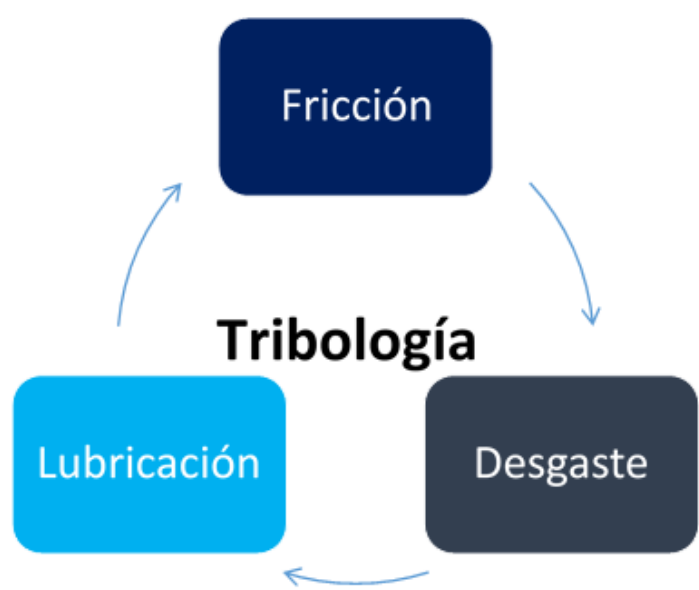


Ilustración 3- 6: Fundamentos de la Tribología

Módulo 2: Funcionamiento de los Vasos Lubricadores Automáticos

Este módulo técnico se enfocará en el funcionamiento de los vasos lubricadores, explicando el principio de operación basado en mecanismos de presión constante. Los operadores aprenderán a configurar los lubricadores para diferentes ciclos de lubricación, ajustándose a las necesidades de los rodamientos del eje X. Además, se enseñará cómo interactuar con los sistemas instalados para optimizar su rendimiento.



Ilustración 3- 7: Funcionamiento de los Vasos Lubricadores Automáticos

Módulo 3: Manejo de Alarmas y Mantenimiento de los Vasos Lubricadores

En esta etapa, se instruirá a los participantes sobre cómo identificar y resolver alarmas generadas por los vasos lubricadores, asegurando una respuesta rápida y eficiente. También se cubrirán las tareas de mantenimiento requeridas, incluyendo el cambio de baterías y recipientes de lubricante, destacando la importancia de estas acciones para garantizar una operación continua y sin interrupciones.



Ilustración 3- 8: Alarma en Vasos lubricador

Módulo 4: Inspección y Detección de Fallas

Este módulo práctico está diseñado para capacitar a los colaboradores en la identificación temprana de signos de desgaste en los rodamientos y otros componentes clave. A través de técnicas visuales y el uso de herramientas básicas de diagnóstico, los operadores aprenderán a anticipar posibles fallas, permitiendo implementar acciones correctivas antes de que estas afecten la operación.

4.1.3. Metodología de Enseñanza

El programa de capacitación en lubricación automática combina sesiones teóricas basadas en material audiovisual con prácticas en terreno, asegurando que los operadores adquieran tanto conocimientos técnicos como habilidades aplicables. Este enfoque asegura que el aprendizaje sea contextualizado al entorno productivo y adaptado a las necesidades de la planta.

Sesiones Teóricas: Material Audiovisual

Las sesiones teóricas tendrán una duración total de 6 horas, distribuidas en dos módulos de 3 horas cada uno. Serán desarrolladas en colaboración con el departamento audiovisual de FORMA e incluirán:

Videos Explicativos: Introducción a la tribología, funcionamiento de los sistemas de lubricación automática y su relevancia en la operación.

Simulaciones Animadas: Representaciones visuales del funcionamiento de los vasos lubricadores y su interacción con los componentes del sistema.

Presentaciones Interactivas: Explicaciones detalladas sobre cómo identificar y solucionar alarmas en los sistemas, junto con los pasos para realizar tareas de mantenimiento preventivo.

El contenido audiovisual permitirá a los operadores comprender los conceptos clave de la lubricación automática de manera clara y efectiva, estableciendo una base sólida para la capacitación práctica.

Sesiones Prácticas: Formación en Terreno

Las sesiones prácticas tendrán una duración total de 4 horas, distribuidas en dos módulos de 2 horas cada uno. Serán lideradas por el líder mecánico del área de terminación y estarán enfocadas en:

Configuración de Sistemas: Ajuste práctico de los vasos lubricadores y su instalación en los puntos críticos.

Diagnóstico y Resolución de Problemas: Identificación de signos de desgaste en los rodamientos y aplicación de soluciones inmediatas.

Mantenimiento Básico: Realización de tareas como el cambio de baterías, recipientes de grasa y limpieza de los sistemas.

4.1.4.Evaluación Final

Al término del curso, cada participante deberá realizar una evaluación práctica para demostrar los conocimientos y habilidades adquiridas durante la capacitación. Esta evaluación consistirá en la realización de tareas específicas, como la configuración y operación de los vasos lubricadores, la resolución de alarmas simuladas y la identificación de fallas en componentes críticos. La evaluación práctica permitirá asegurar que los operarios estén plenamente capacitados para aplicar lo aprendido en su entorno de trabajo, garantizando así la eficacia del programa.

4.1.5.Duración Total del Programa

El programa completo tiene una duración estimada de 11,5 horas por operador, distribuidas en:

- 6 horas de teoría (audiovisual).
- 4 horas de práctica en terreno.
- 1,5 horas de evaluación final.

Tabla 3- 1: duración programa de capacitación

Módulo	Contenido Principal	Duración por Operador	Formato
Módulo 1: Fundamentos de Tribología	Conceptos de fricción, desgaste y lubricación. Importancia de la tribología en el mantenimiento	3 horas	Teórico (Audiovisual)
Módulo 2: Funcionamiento de Vasos Lubricadores	Configuración y operación de los sistemas. Cómo identificar y resolver alarmas.	3 horas	Teórico (Audiovisual)
Módulo 3: Configuración y Diagnóstico	Instalación de vasos lubricadores, ajuste según especificaciones, detección de fallas en sistemas.	2 horas	Práctico
Módulo 4: Mantenimiento y Resolución de Problemas	Cambio de baterías, recipientes de grasa y limpieza de sistemas. Uso de herramientas básicas.	2 horas	Práctico
Evaluación Práctica	Prueba de instalación, configuración y mantenimiento. Diagnóstico y solución de problemas simulados.	1,5 horas	Práctico

Esta metodología eficiente equilibra teoría y práctica, optimizando el tiempo de capacitación sin comprometer la calidad del aprendizaje. Esto asegura que los operadores sean plenamente capaces de operar y mantener los sistemas de lubricación automática, contribuyendo significativamente a la mejora de la disponibilidad operativa de la línea de

4.1.6. Beneficios de la Capacitación Interna

La realización de esta capacitación de manera interna, mediante el programa FORMA, garantiza que el contenido esté alineado con las necesidades específicas de la planta. Además, fomenta un sentido de pertenencia y compromiso entre los participantes, quienes reciben formación directamente de sus líderes y compañeros. Este enfoque no solo reduce costos asociados a capacitaciones externas, sino que también fortalece la cultura organizacional y fomenta la mejora continua.

Al completar el programa, los operarios estarán mejor preparados para gestionar el sistema de lubricación automática, identificar problemas potenciales y realizar mantenimientos preventivos, contribuyendo significativamente a la reducción de tiempos muertos y al aumento de la disponibilidad operativa en la línea de retape.

4.1.7. Relación del Plan de Capacitación con los Pilares del TPM

El programa de capacitación diseñado para la línea de retape está estrechamente alineado con los pilares fundamentales del Mantenimiento Productivo Total (TPM), asegurando que las competencias adquiridas por los operarios contribuyan directamente a la mejora continua de los procesos.

Formación y Educación

El plan de capacitación es una manifestación directa del pilar de formación y educación. Al estructurar un programa interno compuesto por módulos teóricos, prácticos y evaluativos, se asegura que los operarios no solo comprendan la tecnología implementada, sino que también desarrollen habilidades prácticas aplicables en su día a día. Esta formación fomenta la confianza y autonomía de los trabajadores, fortaleciendo su compromiso con la mejora continua.

3.4.PLAN DE SEGUIMIENTO Y COMPROBACIÓN DE RESULTADOS **PARA LA MEJORA DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICA**

El siguiente plan tiene como objetivo garantizar la efectividad del sistema de lubricación automática, con un enfoque en reducir las fallas relacionadas con los rodamientos del eje X en un 80% y mejorar la disponibilidad operativa de la línea de retape. La implementación del sistema está planificada para un periodo de 12 meses, considerando la instalación progresiva de 12 lubricadores automáticos, uno por cada rodamiento crítico con una tasa de fallas mensual documentada.

3.4.1. Etapas del Plan

Etapas de preparación (duración: 1 mes antes de la implementación):

Capacitación del personal: Entrenamiento teórico y práctico sobre operación y mantenimiento de los lubricadores automáticos.

Selección de puntos críticos: Verificación de las condiciones específicas para la instalación en los rodamientos del eje X.

Establecimiento de indicadores base: Registro de la frecuencia de fallas y el tiempo muerto actual relacionado con la lubricación manual.

Prueba piloto: Instalación inicial en un rodamiento para ajustar parámetros de flujo y ciclos de lubricación.

Etapas de Implementación (duración: 12 meses):

Instalación progresiva: Se instalará un lubricador por mes, asegurando la continuidad del proceso productivo durante las modificaciones.

Monitoreo inicial: Revisión semanal del desempeño de cada lubricador recién instalado.

Recolección de datos: Registro mensual de la frecuencia de fallas, tiempos muertos y condiciones operativas.

Etapa de Evaluación y Mantenimiento (cada trimestre tras la instalación):

Mantenimiento preventivo: Cambio de baterías y depósitos de grasa en los lubricadores cada tres meses.

Análisis comparativo: Evaluación de indicadores clave como tiempo muerto y frecuencia de fallas antes y después de la implementación.

Inspección técnica: Verificación del estado de los rodamientos y ajustes en el sistema de lubricación si es necesario.

3.4.2. Indicadores Clave de Desempeño (KPIs)

Reducción de Fallas en Rodamientos del Eje X:

Meta: Disminución del 80%.

Monitoreo: Trimestral.

Tiempo Muerto por Lubricación:

Meta: Reducción del 80%.

Monitoreo: Mensual.

Disponibilidad Operativa:

Meta: Incremento del 95% al 98%.

Monitoreo: Mensual.

Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo:

Meta: 100% de cambios realizados a tiempo.

Monitoreo: Trimestral.

3.4.3. Mantenimiento de los Vasos Lubricadores

Cada lubricador requerirá mantenimiento preventivo cada tres meses. Las actividades incluyen:

Cambio de baterías: Para mantener la presión constante y garantizar el flujo de lubricante.

Reposición del depósito de grasa: Ajustado a los ciclos de lubricación configurados.

3.4.4. Verificación de flujo: Inspección para asegurar la distribución uniforme del lubricante.

Plan de Comprobación de Resultados

Comparación de Indicadores

Comparación trimestral de datos históricos versus datos obtenidos tras la implementación.

Verificación Técnica

- Inspección del sistema de lubricación y estado de los rodamientos.
- Retroalimentación del Personal
- Encuestas y entrevistas con operadores y técnicos para evaluar la usabilidad y efectividad del sistema.

tabla 3- 2: Cronograma general

Etapa	Duración	Actividades Clave
Preparación	1 mes	Capacitación inicial, prueba piloto
Implementación	12 meses	Instalación progresiva y monitoreo
Evaluación y Mantenimiento	Cada 3 meses	Mantenimiento y análisis comparativo

CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica es una herramienta clave para justificar la implementación de mejoras operativas en la línea de retape. En este capítulo se analizan los costos actuales asociados al mantenimiento correctivo, los beneficios esperados de la propuesta de mejora, y se realiza un análisis detallado del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la viabilidad económica del proyecto.

3.2.1. Costos y Especificaciones Adicionales

Los vasos lubricadores Cherston tienen un costo inicial que varía entre 50 y 200 USD por unidad, dependiendo de su capacidad y configuración. Cada dispositivo tiene una vida útil ajustada según su capacidad de lubricante y los ciclos de operación programados. Algunos modelos también ofrecen opciones de recarga, lo que permite reducir los costos a largo plazo y minimizar el impacto ambiental al evitar el reemplazo completo del dispositivo. La instalación de estos lubricadores es sencilla y puede realizarse sin necesidad de grandes modificaciones en la infraestructura, lo que asegura una implementación ágil y rentable.

4.1.SITUACIÓN ACTUAL: COSTOS ANUALES MANTENIMIENTO

4.2.1.Costos por fallas en rodamientos y bancadas

El costo asociado al cambio de componentes, como los rodamientos y las bancadas, representa una carga significativa para la operación. Anualmente, se realizan 25 cambios de rodamientos en el eje X, lo que genera un costo total de \$58.250.000 CLP. Por otro lado, se realizan 8 cambios de bancadas al año, con un costo total de \$21.840.000 CLP. Además, el tiempo muerto asociado a las fallas en el eje X asciende a aproximadamente 100 horas al año, considerando un costo promedio de \$500.000 CLP por hora de inactividad. Esto eleva el costo total anual relacionado con estas fallas sumando las horas-hombre (HH) involucradas a \$138.590.000 CLP, reflejando la necesidad urgente de implementar mejoras en la gestión de mantenimiento y reducción de fallas en estos componentes críticos.

Tabla 4- 1: costo por cambio de rodamientos y bancada

Descripcion	Cantidad	Valor Unitario	Costo total
HH Mantencion	500	\$ 17.000	\$ 8.500.000
Costo Rodamiento	25	\$ 2.330.000	\$ 58.250.000
Costo bancada	8	\$ 2.730.000	\$ 21.840.000
Detencion Linea de Retape	100	\$ 500.000	\$ 50.000.000
Costo anual total lubricacion manual			\$138.590.000

4.2.2.Costos asociados a lubricación manual

Como el costo estimado por hora de inactividad de la línea de retape es de \$500.000 CLP, lo cual incluye los costos de oportunidad asociados a la pérdida de producción. Actualmente, la línea permanece detenida en promedio 3.5 horas mensuales debido a tareas de lubricación manual, lo que se traduce en un costo anual de \$27.230.000 CLP. Este valor considera tanto las horas-hombre (HH) involucradas en las intervenciones como los gastos asociados al uso de insumos. Estos datos evidencian el impacto económico de las detenciones recurrentes y resaltan la necesidad de optimizar el proceso de lubricación para reducir los tiempos muertos y los costos relacionados.

Tabla 4- 2 : costo lubricación manual

Descripcion	Cantidad	Valor Unitario	Costo total
HH Mantencion	230	\$ 17.000	\$ 3.910.000
Grasa (24g)	50	\$ 2.400	\$ 120.000
Insumos (pañós guantes)	20	\$ 10.000	\$ 200.000
Detencion Línea de Retape	46	\$ 500.000	\$ 23.000.000
Costo anual total lubricacion manual			\$ 27.230.000

En conjunto, los costos anuales derivados de estas deficiencias ascienden a \$165.820.000 CLP.

4.2.PROYECCION COSTOS ASOCIADOS A IMPLEMENTACION DE LUBRICACION AUTOMATICA

La implementación de un sistema de lubricación automática en la línea de retape de la planta, que contempla la instalación de 12 vasos lubricadores, ha sido diseñada para ejecutarse progresivamente durante las mantenciones programadas, minimizando el impacto en la producción. A continuación, se desglosan y explican los costos asociados:

4.2.1. Costos Directos de los Vasos Lubricadores

Cada vaso lubricador tiene un costo unitario de 110,000 CLP, y se instalarán un total de 12 unidades. Este componente principal garantiza un suministro constante de lubricante, reduciendo la frecuencia de fallas por desgaste.

Costo total por los vasos lubricadores: $110,000 \text{ CLP} \times 12 = 1,320,000 \text{ CLP}$.

4.2.2. Bloques Distribuidores

Para la instalación de cada vaso lubricador, se requiere un bloque distribuidor, cuyo costo unitario es de 8,500 CLP. Este accesorio es esencial para conectar el vaso lubricador al sistema de lubricación de los rodamientos.

Costo total por los bloques distribuidores: $8,500 \text{ CLP} \times 12 = 102,000 \text{ CLP}$.

4.2.3. Mano de Obra para la Instalación

La instalación de cada vaso lubricador implica la participación de dos mecánicos durante 2 horas, con un costo de 17,000 CLP por hora por cada mecánico. Este trabajo se realizará exclusivamente durante las mantenciones programadas para evitar interrupciones en la producción.

Costo por instalación de mano de obra: $2 \text{ mecánicos} \times 2 \text{ horas} \times 17,000 \text{ CLP} = 68,000 \text{ CLP}$.

Costo total por mano de obra: $68,000 \text{ CLP} \times 12 = 816,000 \text{ CLP}$.

4.2.4. Insumos Iniciales

En el primer mes, será necesario adquirir insumos complementarios, tales como tubing, guantes y herramientas menores, para garantizar la correcta instalación y operación del sistema de lubricación. Este costo único se estima en 40,000 CLP.

4.2.5. Resumen de costos

El siguiente desglose resume los costos totales asociados a la instalación del sistema de lubricación automática:

Tabla 4- 3: Resumen costos instalación vasos lubricadores

Concepto	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total (CLP)
Vasos lubricadores	\$ 110.000	12	\$ 1.320.000
Bloques distribuidores	\$ 8.500	12	\$ 102.000
Mano de obra por instalación	\$ 68.000	12	\$ 816.000
Insumos iniciales (primer mes)	\$ 40.000	1	\$ 40.000
Total Proyecto			\$ 2.278.000

4.2.6. Flujo de caja Costos

El proyecto se desarrollará en un periodo de 12 meses, considerando una instalación mensual. A continuación, se detalla el flujo de caja mensual:

Tabla 4- 4: Flujo de caja de instalación de vasos

Mes	Vasos Instalados	Costo Vasos (CLP)	Costo Block (CLP)	Costo Mano de Obra	Costo Insumos	Costo Total Mes (CLP)
1	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	\$40.000	\$ 226.500
2	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
3	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
4	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
5	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
6	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
7	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
8	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
9	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
10	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
11	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
12	1	\$ 110.000	\$ 8.500	\$ 68.000	-	\$ 186.500
Total	12	\$ 1.320.000	\$ 102.000	\$ 816.000	\$40.000	\$ 2.278.000

4.3. PROYECCIÓN DE COSTOS ASOCIADOS A LA CAPACITACION

4.2.1. Honorarios del Instructor

El instructor encargado de la capacitación será personal interno, con un costo de \$20.000 CLP por hora. El tiempo total dedicado a la recopilación de información para crear realizar el material didáctico junto al equipo audiovisual será de 16 horas, distribuidas en 2 días de 8 horas cada uno. Además, el instructor se encargará de la formación práctica (4 horas por operador) y de la evaluación (1,5 horas por operador).

Total horas entrega información a equipo audiovisual: 16 horas.

Total horas formación práctica: 48 horas (4 horas x 12 operadores).

Total horas evaluación: 18 horas (1,5 horas x 12 operadores).

4.2.2. Costo total honorarios del instructor

Recolección de información: $20,000 \text{ CLP} \times 16 \text{ horas} = 320,000 \text{ CLP}$.

Formación práctica: $20,000 \text{ CLP} \times 48 \text{ horas} = 960,000 \text{ CLP}$.

Evaluación: $20,000 \text{ CLP} \times 18 \text{ horas} = 360,000 \text{ CLP}$.

Total instructor = 1,640,000 CLP.

4.2.3. Costo Equipo Audiovisual

Un equipo audiovisual compuesto por 3 personas trabajará en la preparación del material audiovisual para la capacitación. Cada miembro del equipo tendrá un costo de 15,000 CLP por hora. El tiempo total de preparación será de 16 horas por persona, distribuidas en 2 días de 8 horas cada uno.

Costo total equipo audiovisual = $15,000 \text{ CLP} \times 16 \text{ horas} \times 3 \text{ personas} = 720,000 \text{ CLP}$.

4.2.4.Costo Material Audiovisual

Se requiere una persona adicional del equipo audiovisual para preparar los módulos de aprendizaje, lo que implica un costo de 15,000 CLP por hora durante 6 horas de trabajo.

Costo material audiovisual = 15,000 CLP x 6 horas = 90,000 CLP.

4.2.5.Flujo de Caja Total

El flujo de caja para la capacitación interna, considerando los costos detallados, es el siguiente:

Tabla 4- 5: Flujo de caja confección curso

Concepto	Costo Unitario (CLP)	Cantidad	Total (CLP)
Honorarios del Instructor (formación teórica)	20,000 CLP	16 horas	320,000 CLP
Honorarios del Instructor (formación práctica)	20,000 CLP	48 horas	960,000 CLP
Honorarios del Instructor (evaluación)	20,000 CLP	18 horas	360,000 CLP
Costo Equipo Audiovisual (preparación)	15,000 CLP	48 horas	720,000 CLP
Costo Material Audiovisual (preparación)	15,000 CLP	6 horas	90,000 CLP
Total			2,430,000 CLP

4.2.7. Resumen Final:

El costo total de la capacitación interna, que incluye los honorarios del instructor, el equipo audiovisual para la preparación del material y la creación de los módulos audiovisuales alcanza un total de 2,430,000 CLP. Este monto cubre la formación teórica, la práctica, la evaluación, así como los costos asociados con la creación y entrega del material audiovisual para la capacitación.

4.4. ANÁLISIS DEL VAN Y TIR

4.3.1. Inversión Propuesta

La presente propuesta integra dos iniciativas clave para mejorar la confiabilidad y eficiencia operativa de la línea de retape: la capacitación de los operadores y la implementación de un sistema de lubricación automática. A continuación, se presenta un resumen de la inversión total requerida para ambas iniciativas, destacando su importancia en el contexto del mantenimiento proactivo y la optimización de recursos.

Capacitación de Operadores

La capacitación tiene como objetivo principal mejorar las competencias técnicas de 12 operadores, fortaleciendo sus habilidades tanto teóricas como prácticas en la operación y mantenimiento de los equipos. Este proceso contempla actividades como:

Desarrollo de material audiovisual y didáctico.

Formación teórica con un instructor interno.

Prácticas supervisadas y evaluaciones individuales.

El costo total asociado a esta actividad es de 1,992,000 CLP, distribuido en componentes como honorarios del instructor, recursos audiovisuales y horas de práctica. Este gasto se realiza íntegramente en el primer mes y representa una inversión esencial en capital humano, clave para garantizar el éxito del sistema implementado.

Implementación del Sistema de Lubricación Automática

El sistema de lubricación automática busca reducir la incidencia de fallas en los rodamientos críticos, las cuales representan una de las principales causas de tiempo muerto en la línea de retape. La instalación progresiva de 12 vasos lubricadores, acompañada de bloques distribuidores y materiales auxiliares, se llevará a cabo durante las mantenciones programadas a lo largo de 12 meses.

- Vasos lubricadores: 1,320,000 CLP.
- Bloques distribuidores: 102,000 CLP.
- Mano de obra: 816,000 CLP.
- Insumos iniciales (primer mes): 40,000 CLP.

El costo total del sistema asciende a 2,278,000 CLP, distribuido mensualmente con un mayor impacto en el primer mes debido a los insumos iniciales.

Inversión Total del Proyecto

La suma de las inversiones realizadas en capacitación y lubricación resulta en un costo total de 4,270,000 CLP. Este gasto se distribuye de la siguiente manera:

- Capacitación: 46.6% del total.
- Sistema de lubricación: 53.4% del total.

Tabla 4- 6: Flujo caja total proyecto

Mes	Capacitación (CLP)	Lubricación (CLP)	Costo Total (CLP)
1	\$ 1.992.000	\$ 227.000	\$ 2.219.000
2	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
3	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
4	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
5	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
6	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
7	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
8	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
9	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
10	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
11	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
12	\$ -	\$ 187.000	\$ 187.000
Total Anual	\$ 1.992.000	\$ 2.284.000	\$ 4.276.000

4.3.2. Reducción de Costos Operativos por Implementación del Sistema de Lubricación

Actualmente, las fallas en los rodamientos de las bancadas del eje X representan un costo anual de \$165,820,000 CLP. Según literatura especializada, hasta el 80% de estas fallas pueden atribuirse a problemas de lubricación. Por lo tanto, la implementación de un sistema de lubricación automática tiene el potencial de reducir estos costos en un 80%, lo que equivaldría a una disminución anual de \$132,656,000 CLP en pérdidas operativas.

La inversión requerida para la implementación del sistema de lubricación y la capacitación del personal técnico asciende a \$4,276,000 CLP, lo que representa un costo inicial relativamente bajo en comparación con los ahorros proyectados.

4.3.3. Cálculo del VAN y TIR

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se consideran los siguientes parámetros:

Inversión inicial: \$4,276,000 CLP.

Ahorro anual proyectado (F): \$132,656,000 CLP.

Horizonte de evaluación: 1 año.

Tasa de descuento (r): 10%.

Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) se basa en estos valores.

$$Van = \Sigma \frac{F}{(1+r)^t} - Inversion\ inicial$$

$$Van = \Sigma \frac{132656000}{(1+0.10)^1} - 4276000$$

El resultado del cálculo del VAN sería \$120,596,364 CLP en un año por lo que sería viable económicamente.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$0 = \frac{132656000}{4276000} - 1$$

En el análisis de la rentabilidad de la inversión, la Tasa Interna de Retorno (TIR) a 1 año es un indicador fundamental que refleja la tasa de rendimiento que se obtiene en el primer año de ejecución del proyecto. En este caso, al calcular la TIR a 1 año, se obtuvo un valor de 30.02, lo que corresponde a un 3002% de retorno.

Este resultado es extremadamente alto, lo que sugiere que la inversión inicial de \$4,276,000 CLP se recuperaría de manera rápida durante el primer año. Además, la TIR a este nivel implica que el proyecto generaría un retorno significativamente superior a la inversión inicial, lo cual es un indicador claro de la alta rentabilidad del proyecto en su primer año de operación.

En términos prácticos, una TIR de 3002% implica que la inversión realizada en la implementación del sistema de lubricación automática tendría un rendimiento extremadamente positivo en un plazo corto, generando un impacto financiero considerablemente favorable desde el inicio. Este alto rendimiento subraya la viabilidad y efectividad de la inversión, justificando su ejecución como una decisión acertada para la mejora de la eficiencia operativa en la planta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido analizar de manera integral la situación actual de la línea de retape en la planta de terciados Arauco, identificando problemas críticos relacionados con la lubricación deficiente, el desgaste prematuro de componentes clave como rodamientos y bancadas. Estas deficiencias generan tiempos muertos significativos que afectan directamente la productividad, incrementan los costos de operación y reducen la confiabilidad del sistema.

La implementación de un sistema de lubricación automática y la capacitación del personal se presentan como soluciones estratégicas para abordar las causas raíz de estos problemas. Estas propuestas no solo permitirán reducir los tiempos de inactividad y los costos asociados, sino que también promoverán una operación más eficiente, sostenible y alineada con los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

El análisis económico realizado demuestra la viabilidad de estas mejoras, destacando un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) elevada, lo que confirma que el proyecto es rentable y sostenible a largo plazo. Además, se espera una recuperación rápida de la inversión inicial, acompañada de beneficios acumulativos significativos en términos de ahorro, productividad y eficiencia operativa.

RECOMENDACIONES

Implementación de Lubricación Automática:

Instalar un sistema de lubricación automática como prioridad para garantizar una aplicación constante y precisa de lubricante en los rodamientos y otros puntos críticos. Esto reducirá el desgaste prematuro de los componentes y los costos asociados a las fallas mecánicas.

Capacitación Interna del Personal:

Diseñar programas de capacitación corporativa liderados por expertos internos en mantenimiento y confiabilidad. Este enfoque garantizará que el personal operativo esté preparado para realizar inspecciones básicas y mantenimiento preventivo, mejorando la autonomía y eficiencia del equipo.

Enfoque en la Cultura de Mejora Continua:

Promover una cultura organizacional basada en los principios del TPM, donde la participación de todos los colaboradores sea clave para el éxito del proyecto. Esto incluye integrar indicadores de rendimiento específicos que midan la disponibilidad, el tiempo muerto y los costos operativos.

Extensión de las Mejores Prácticas:

Considerar la replicación de estas mejoras en otras áreas de la planta o en líneas similares, aprovechando los aprendizajes obtenidos y los beneficios demostrados para generar un impacto positivo más amplio en la operación global de Arauco.

BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE LA INFORMACION

- ATS Electro-Lube. (n.d.). *Automatic Lubricators: Product Specifications*. Retrieved from www.atselectrolube.com
- Arauco. (2023). *Reporte de Sostenibilidad 2023*. Arauco Corporativo.
- Instituto Nacional de Normalización. (2015). *Norma ISO 55000: Gestión de Activos Físicos*. Santiago, Chile: INN.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018). *Norma ISO 9001: Gestión de la Calidad*. Ginebra, Suiza: ISO.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018). *Norma ISO 45001: Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional*. Ginebra, Suiza: ISO.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018). *Norma ISO 14001: Gestión Ambiental*. Ginebra, Suiza: ISO.
- Smith, E. E. (2011). *Tribology for Industrial Applications*. New York, USA: Industrial Press.
- Sherston Lubrication. (n.d.). *Technical Specifications for Automatic Lubricators*. Retrieved from www.sherstonlubrication.com
- Scielo.org. (2016). *Análisis económico en la gestión de mantenimiento industrial*. Recuperado de www.scielo.org