

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

**PLAN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL DE CORREAS
TRANSPORTADORAS EN LA PLANTA TERCIA DOS NUEVA ALDEA
MADERAS ARAUCO, CHILE.**

Trabajo de titulación para optar al
título profesional de TECNICO EN
MECANICA INDUSTRIAL.

Alumno:
Joao Medina Castro.

Profesor Guía:
Víctor Valdebenito.

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: PLAN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL DE CORREAS TRANSPORTADORAS EN LA PLANTA TERCADOS NUEVA ALDEA MADERAS ARAUCO, CHILE.

Nombre del candidato(a): JOAO LUIS MEDINA CASTRO

Carrera / Grado: TECNICO EN MECANICA INDUSTRIAL

Campus: Concepcion ; Departamento: MECANICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

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

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

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 07.01.26

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07.01.26

; Firma:

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

DEDICATORIA

Agradecimientos a mis padres, esposa e hija, por su amor, apoyo y fe inquebrantable.
Gracias por ser el pilar que sostiene cada uno de mis sueños.

Extiendo mi más sincero agradecimiento a la empresa Arauco, por haberme brindado la
oportunidad de trabajar en su equipo de mantención y en un entorno industrial de
excelencia.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud y
profunda admiración hacia la Universidad
Técnica Federico Santa María, por su
compromiso con la excelencia académica, la
formación integral de sus estudiantes y por
inculcar valores de innovación y
responsabilidad profesional.

RESUMEN

Las correas transportadoras constituyen un elemento crítico dentro de los procesos productivos de la Planta terciados Nueva Aldea de la empresa Arauco, ya que permiten el transporte continuo de materia prima. Sin embargo, las fallas recurrentes y las paradas no planificadas generan pérdidas de tiempo, incremento en los costos de reparación y disminución en la eficiencia operativa.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento integral para las correas transportadoras de la planta, orientado a mejorar la disponibilidad de los equipos, reducir las fallas mecánicas y optimizar los recursos destinados a la mantención. Para ello, se realizó un diagnóstico del estado actual del sistema de correas mediante la revisión de registros históricos de fallas, entrevistas al personal de producción e inspecciones en terreno. Posteriormente, se aplicaron herramientas de análisis de confiabilidad, como el cálculo de indicadores MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time To Repair), junto con la identificación de las causas raíz más frecuentes.

A partir de los resultados obtenidos, se propone un plan de mantenimiento que integra acciones preventivas, predictivas y correctivas, acompañado de procedimientos estandarizados y checklists de inspección. Con su implementación, se espera disminuir significativamente los tiempos de detención no programada y contribuir al aumento de la productividad y seguridad en la operación de la planta.

ÍNDICE CONTENIDO

Contenido

DEDICATORIA 2

RESUMEN.....4

ÍNDICE CONTENIDO.....5

ÍNDICE DE IMÁGENES 6

ABREVIATURAS EN ORDEN ALFABÉTICO 7

INTRODUCCION 8

OBJETIVOS 9

OBJETIVO GENERAL 9

OBJETIVOS ESPECIFICOS.....9

i. CAPITULO 1: MARCO TEORICO.....10

1.1. Antecedentes generales de empresa maderas arauco 10

1.2. Historia de la madera y su proyección como material del futuro 12

1.3. Construcción en madera del siglo XXI 14

1.4. Materiales de ingeniería en madera.....17

1.5. Correas transportadoras en la industria 25

1.6. Componente de una correa transportadora.....29

1.7. Marco normativo correas transportadoras.....36

1.9. Indicadores de confiabilidad 40

1.10. Fallas mas comunes en correas transportadoras.....40

ii. CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 41

2.1. Función y principio de trabajo 42

2.2. Analisis Tecnico del problema.....43

2.3. Procedimiento de empalme escalonado 45

2.4. Fusión y Enfriamiento Controlado.....47

2.5. Costos.....49

2.6. Disponibilidad de equipos.....49

2.7. Seguridad 50

iii. CAPITULO 3: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN 51

3.1. Proposito 51

3.2. Objetivo.....51

3.4. Metodología de análisis causa raíz (RCA).....52

3.5. Solución Integral Propuesta 52

iv. CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y CONCLUSION 60

BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE LA INFORMACION 63

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1: Economía circular de la madera 11

Imagen N° 2: Edificio Tamango, Coyhaique, Chile 15

Imagen N° 3: Punto EV Estación de carga vehículo eléctricos USM.....16

Imagen N° 4: Configuración de madera laminada encolada 17

Imagen N° 5: Configuración de madera contralaminada 18

Imagen N° 6: Construcción modular con OSB 19

Imagen N° 7: Interior casa Wikkellhouse 20

Imagen N° 8: Comparación huella de carbono 23

Imagen N° 9: Componentes principales del sistema 35

Imagen N° 10: Core Veneer Composing Line R5 42

Imagen N° 11: Desgarro de empalme 43

Imagen N° 12: Falla recurrente 44

Imagen N° 13: Ejecución de marcado de cinta 45

Imagen N° 14: Dimensiones de empalme escalonado 46

Imagen N° 15: Gráfico de temperatura y presión de vulcanizado 48

Imagen N° 16: Riesgos asociados al procedimiento de empalme 50

Imagen N° 17: Análisis causa raíz 52

Imagen N° 18: Datos técnicos de la cinta transportadora 53

Imagen N° 19: Diferencias de tejidos internos de cinta transportadora 54

Imagen N° 20: Tipos de empalmes 55

Imagen N° 21: Prensa vulcanizadora QSP 60 LF PLUS 57

Imagen N° 22: Características principales de la máquina 59

Imagen N° 23: Evaluación económica del proyecto 60

ABREVIATURAS EN ORDEN ALFABÉTICO

BIM	<i>Building Information Modeling</i> — Modelación de información de construcción.
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i> — Certificación ambiental de edificios (Reino Unido)
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> — Diseño asistido por computadora.
CLT	<i>Cross Laminated Timber</i> — Madera contralaminada.
CNC	<i>Computer Numerical Control</i> — Control numérico computarizado.
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i> — Instituto Alemán de Normalización.
EP	Poliéster.
EWP	<i>Engineered Wood Product</i> — Producto de madera de ingeniería.
GLULAM	<i>Glued Laminated Timber</i> — Madera laminada encolada.
IA	Inteligencia Artificial (<i>Artificial Intelligence</i>).
ISO 2286	Norma para textiles recubiertos (espesor, masa por área, etc.).
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> — Certificación de construcción sostenible.
LVL	<i>Laminated Veneer Lumber</i> — Madera microlaminada.
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> — Tiempo medio entre fallas.
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> — Tiempo medio de reparación.
NN	Nylon.
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
OSB	<i>Oriented Strand Board</i> — Tablero de virutas orientadas.
PTNA	Planta terciados Nueva Aldea .
SIP	<i>Structural Insulated Panel</i> — Panel estructural aislado.
ST	<i>Steel</i> — Cables de acero.

INTRODUCCION

En la industria maderera chilena, los procesos productivos exigen sistemas de transporte internos que aseguren el movimiento eficiente, seguro y continuo de grandes volúmenes de materia prima y productos semielaborados. Dentro de estos sistemas, las correas transportadoras cumplen un papel fundamental, al permitir el traslado constante de trozos, astillas y tableros dentro de las distintas etapas del proceso productivo. No obstante, la exposición a condiciones ambientales adversas, el desgaste mecánico natural y la acumulación de residuos pueden provocar fallas recurrentes que generan detenciones imprevistas, disminución de la productividad y aumento de los costos operacionales.

En este contexto, la Planta Terciados Nueva Aldea de la empresa Arauco se presenta como un actor clave en la producción nacional de tableros contrachapados y productos derivados de la madera. La planta forma parte del complejo industrial Nueva Aldea, uno de los más grandes de Latinoamérica, y abastece tanto al mercado nacional como internacional. Por ello, la continuidad operacional de sus líneas de producción es un factor estratégico para la competitividad de la empresa. Sin embargo, se han identificado problemas relacionados con el mantenimiento de las correas transportadoras, donde prevalece un enfoque reactivo (correctivo) frente a las fallas, en desmedro de prácticas preventivas o predictivas que podrían anticipar y mitigar los riesgos de detención.

Ante esta situación, surge la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento integral para las correas transportadoras de la Planta Terciados Nueva Aldea, que incorpore procedimientos estandarizados de inspección, registros sistemáticos de fallas, y la aplicación de indicadores de confiabilidad como MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time To Repair). La implementación de dicho plan permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos, reducir costos asociados a reparaciones no planificadas y mejorar la seguridad en las operaciones.

Este trabajo busca aportar una propuesta técnica y aplicada que contribuya a la optimización de la gestión de mantenimiento en la planta, fortaleciendo su productividad y apoyando la sustentabilidad de la industria maderera nacional en un entorno cada vez más competitivo y exigente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento integral para las correas transportadoras de la Planta Terciados Nueva Aldea de la empresa Arauco, con el fin de aumentar la disponibilidad operativa de los equipos, reducir los riesgos asociados y optimizar los costos de la mantención.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Diagnosticar el estado actual de las correas transportadoras de la Planta Terciados Nueva Aldea, mediante inspecciones en terreno y revisión de registros de mantenimiento.
2. Identificar y clasificar las fallas más frecuentes que afectan a las correas transportadoras, utilizando herramientas de análisis de causa raíz.
3. Calcular y analizar indicadores de confiabilidad, tales como MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time To Repair), a partir de los datos recopilados.
4. Diseñar procedimientos estandarizados de inspección y mantenimiento preventivo, incluyendo checklists y protocolos de intervención.
5. Proponer un plan de mantenimiento integral, que combine acciones preventivas, predictivas y correctivas para las correas transportadoras.
6. Evaluar los beneficios esperados del plan propuesto en términos de disponibilidad operativa, reducción de tiempos de detención y optimización de costos.

I. CAPITULO 1: MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE EMPRESA MADERAS ARAUCO

La empresa Arauco es una de las principales compañías forestales y madereras de Chile y Latinoamérica, dedicada a la producción de celulosa, madera aserrada, tableros y productos derivados de la madera. La Planta terciados Nueva Aldea, ubicada en la región del Bío Bío, es un centro de producción de tableros contrachapados (plywood), que abastece tanto al mercado nacional como internacional.

La planta forma parte del complejo industrial Nueva Aldea, reconocido por su alto nivel de automatización, procesos productivos integrados y estándares de calidad. Sus líneas de producción requieren de equipos críticos como correas transportadoras, que permiten el transporte eficiente de madera en bruto, tableros intermedios y residuos de producción. La confiabilidad de estos sistemas es fundamental para asegurar la continuidad del proceso productivo, minimizar pérdidas por paradas no programadas y garantizar la seguridad del personal y del producto final.

La empresa ARAUCO ha desarrollado un enfoque integral y estratégico hacia la construcción en madera, basado en la sostenibilidad, la innovación tecnológica y el aprovechamiento eficiente de los recursos forestales. Su visión busca posicionar a la madera como un material estructural de alto desempeño, competitivo frente a los sistemas constructivos tradicionales y alineado con los desafíos actuales de sustentabilidad y cambio climático.

En primer lugar, ARAUCO promueve la madera como material renovable y capturador de carbono, contribuyendo a reducir las emisiones asociadas al sector de la construcción. Sus productos provienen de bosques gestionados de manera sostenible, bajo certificaciones internacionales que garantizan trazabilidad y manejo responsable del recurso forestal. Este compromiso se enmarca dentro de una economía circular y bioeconomía, donde la madera es considerada un elemento clave para el desarrollo de edificaciones con menor impacto ambiental.

En el ámbito tecnológico, la compañía impulsa la construcción industrializada y modular en madera, incorporando soluciones de madera masiva (CLT y glulam) que permiten fabricar componentes estructurales prefabricados de alta precisión. Estos sistemas reducen significativamente los tiempos de obra, los residuos generados y mejoran la eficiencia energética de las edificaciones. El concepto de construcción modular en madera desarrollado por ARAUCO busca transformar el proceso constructivo tradicional hacia uno más ágil, sustentable y tecnológicamente avanzado.

Además, la empresa participa activamente en proyectos de innovación y certificación en construcción sustentable, aportando conocimiento técnico y promoviendo la adopción de normativas orientadas a edificaciones carbono-neutrales. A través de alianzas con instituciones académicas, asociaciones gremiales y organismos reguladores, ARAUCO ha impulsado la difusión de estándares técnicos y buenas prácticas para fortalecer el uso de madera estructural en el sector.

Por otra parte, su estrategia incluye un fuerte componente de educación y transferencia tecnológica, orientado a proyectistas, arquitectos e ingenieros, con el fin de fomentar una cultura constructiva basada en materiales renovables. La empresa busca no solo ser un proveedor de productos forestales, sino un agente de cambio en la industria de la construcción, demostrando que la madera es un material moderno, resistente, versátil y capaz de responder a las exigencias del diseño contemporáneo y la sustentabilidad urbana.

En síntesis, el enfoque de ARAUCO hacia la construcción en madera refleja una visión industrial y ambientalmente responsable, donde la innovación, la eficiencia y el compromiso con el medio ambiente convergen para consolidar una nueva forma de construir, alineada con los principios de sostenibilidad y desarrollo tecnológico del siglo XXI.



Imagen N° 1: economía circular de la madera

1.2. HISTORIA DE LA MADERA Y SU PROYECCIÓN COMO MATERIAL DEL FUTURO EN LA CONSTRUCCIÓN

La madera es uno de los materiales más antiguos utilizados por el ser humano para la construcción. Desde las primeras civilizaciones, ha sido empleada para levantar viviendas, puentes, embarcaciones y templos, gracias a su disponibilidad natural, facilidad de trabajo y resistencia estructural. En culturas como la egipcia, griega, romana y china, la madera desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de la arquitectura y la ingeniería.

Durante la Edad Media, las estructuras de entramado de madera dominaron el paisaje urbano europeo, mientras que en Asia se perfeccionaron sofisticadas técnicas de ensamblaje sin clavos, como en los templos japoneses (*pagodas*) que aún hoy se conservan. , en América, las culturas precolombinas y posteriormente los colonizadores europeos emplearon ampliamente la madera como principal recurso constructivo, adaptándola a las condiciones climáticas y geográficas locales.

A partir de la Revolución Industrial, el uso de la madera en la construcción comenzó a disminuir debido al auge del acero, el hormigón y otros materiales industrializados que prometían mayor durabilidad y resistencia al fuego. Sin embargo, la madera continuó utilizándose en edificaciones rurales, viviendas y carpintería estructural, manteniendo su valor estético y funcional.

1.2.1. La evolución tecnológica de la madera como material estructural

Con el desarrollo de la ingeniería de materiales en el siglo XX, la madera experimentó una profunda transformación. La aparición de los productos de madera de ingeniería, como el contrachapado (plywood), la madera laminada encolada (glulam), la madera contralaminada (CLT, Cross-Laminated Timber) y los paneles OSB (Oriented Strand Board), marcó el inicio de una nueva era para la construcción en madera.

Estos avances permitieron mejorar sus propiedades estructurales, estabilidad dimensional y resistencia al fuego, haciendo posible la construcción de edificios de mediana y gran altura completamente en madera. Además, la integración de tecnologías de fabricación digital y prefabricación modular ha potenciado la precisión, eficiencia y competitividad del material frente a alternativas convencionales.

En la actualidad, la madera se considera un material tecnológicamente avanzado y altamente versátil, que combina las ventajas de un recurso natural con el respaldo de la ingeniería moderna.

1.2.2. La madera en el contexto de la sostenibilidad y el cambio climático

El resurgimiento de la madera en la construcción contemporánea está estrechamente vinculado con la urgencia global de reducir la huella de carbono. A diferencia del hormigón o el acero, cuya fabricación requiere grandes cantidades de energía y emite CO₂, la madera almacena carbono durante toda su vida útil, actuando como un sumidero natural.

Además, cuando proviene de bosques gestionados de manera sostenible, su producción contribuye a un ciclo renovable de bajo impacto ambiental. Por ello, organismos internacionales como la ONU y el World Green Building Council han reconocido la construcción en madera como una herramienta clave para alcanzar los objetivos de sostenibilidad del sector edificatorio.

1.2.3. La madera como material del futuro

En el siglo XXI, la madera se ha consolidado como un material del futuro en la industria de la construcción. Su combinación de rendimiento estructural, ligereza, estética natural y comportamiento térmico la posicionan como una alternativa estratégica frente a materiales no renovables.

La tendencia hacia la construcción industrializada y modular, junto con los avances en madera masiva y digitalización de procesos, ha impulsado proyectos de gran escala — como edificios de hasta 20 pisos contruidos íntegramente en CLT—, demostrando que la madera puede competir con éxito en el ámbito urbano y arquitectónico de alta exigencia.

Además, su capacidad para integrarse en modelos de economía circular, su reciclabilidad y su bajo impacto energético refuerzan su rol como material protagonista en la transición hacia ciudades sostenibles. En este sentido, la madera no solo representa una herencia constructiva del pasado, sino una solución tecnológica, ambiental y estética para el futuro.

La historia de la madera es la historia de la construcción misma: desde los primeros refugios humanos hasta los rascacielos modernos de madera laminada. Gracias a la innovación científica, la gestión forestal responsable y la conciencia ambiental global, este material ancestral ha renacido como símbolo de progreso sostenible.

En consecuencia, la madera se proyecta no solo como un recurso renovable, sino como un vector de cambio en la arquitectura del siglo XXI, capaz de unir tradición, tecnología y sostenibilidad en una nueva visión para el futuro de la construcción.

1.3. CONSTRUCCIÓN EN MADERA DEL SIGLO XXI

La construcción en madera del siglo XXI representa una de las transformaciones más relevantes en la industria arquitectónica e ingenieril contemporánea. Este cambio se sustenta en la convergencia entre la tecnología estructural, la sostenibilidad ambiental y la eficiencia productiva, donde la madera —un material ancestral— se reinterpreta bajo un enfoque industrial, digital y sustentable.

1.3.1. Revolución tecnológica y digitalización del diseño

Los avances en la ingeniería estructural, el diseño asistido por computador (CAD/BIM) y la fabricación digital (CNC) han permitido desarrollar edificaciones de madera con una precisión milimétrica y un comportamiento estructural predecible. Estas herramientas posibilitan el diseño paramétrico, la optimización de componentes estructurales y la coordinación integral entre diseño, fabricación y montaje.

Gracias a estas tecnologías, los componentes en madera se producen de forma prefabricada e industrializada, reduciendo tiempos de obra, costos de mano de obra y residuos en el sitio de construcción. Así, el siglo XXI marca el tránsito desde la carpintería artesanal hacia una construcción digitalizada y automatizada en madera.

1.3.2. Madera masiva y materiales de ingeniería

El desarrollo de materiales de ingeniería como el CLT (Cross Laminated Timber), el Glulam (madera laminada encolada), el LVL (Laminated Veneer Lumber) y el OSB (Oriented Strand Board) ha revolucionado el papel estructural de la madera. Estos productos ofrecen resistencias comparables al hormigón y al acero, pero con una fracción mínima del peso y una huella de carbono notablemente menor.

Los sistemas estructurales en madera masiva permiten construir edificios de mediana y gran altura, alcanzando hasta 20 o más pisos, con excelentes propiedades sísmicas, térmicas y acústicas. En el ámbito de la construcción modular, estos materiales posibilitan el montaje rápido de módulos tridimensionales, garantizando calidad, seguridad y repetibilidad industrial.

La versatilidad de la madera de ingeniería la posiciona como el material estructural del futuro urbano, combinando desempeño técnico y responsabilidad ambiental.

1.3.3. Sostenibilidad, economía circular y neutralidad de carbono

La preocupación global por el cambio climático ha convertido a la madera en un material estratégico para la descarbonización del sector construcción. A diferencia de materiales tradicionales de alta emisión (como el acero o el hormigón), la madera almacena CO₂ durante su vida útil y puede ser gestionada de manera renovable a través de bosques certificados.

La construcción en madera se integra plenamente en los principios de la economía circular, promoviendo edificaciones desmontables, reciclables y energéticamente eficientes. Además, la combinación de madera estructural con diseños pasivos y tecnologías de aislamiento térmico natural permite alcanzar estándares internacionales como LEED, BREEAM o Passive House.

1.3.4. Arquitectura contemporánea en madera

El siglo XXI ha sido testigo de una renovación estética y conceptual en la arquitectura en madera. Los arquitectos y diseñadores han redescubierto el material no solo por su eficiencia, sino por su valor simbólico, sensorial y cultural.

Proyectos icónicos como el edificio Mjøstårnet (Noruega), el HoHo Wien (Austria) o el Sara Cultural Centre (Suecia) demuestran que la madera puede ser protagonista de rascacielos, centros culturales y viviendas colectivas con altas exigencias estructurales y arquitectónicas.

La expresividad natural del material, junto con su capacidad de adaptación a soluciones híbridas (madera-acero-hormigón), refuerza su papel como símbolo de innovación ecológica y diseño responsable.



Imagen N° 2: Edificio Tamango, Coyhaique, Chile.

1.3.5. Industrialización y futuro del sector

El futuro de la construcción en madera se orienta hacia la industrialización integral del proceso constructivo, en la que el edificio se ensambla como un sistema de componentes prefabricados. Este paradigma impulsa un cambio profundo en la productividad del sector, favoreciendo la construcción modular, el ensamblaje en seco y la trazabilidad digital de cada elemento.

La incorporación de tecnologías emergentes como inteligencia artificial (IA), fabricación robotizada, sensores IoT y gemelos digitales (digital twins) permitirá optimizar la eficiencia estructural y energética de las edificaciones de madera, fortaleciendo su posición como material inteligente y adaptable.

En este contexto, la madera no es un material del pasado, sino la base de una nueva era constructiva, en la que el diseño, la ingeniería y la sostenibilidad convergen para redefinir la arquitectura contemporánea.

La construcción en madera del siglo XXI sintetiza tres grandes aspiraciones del desarrollo humano: eficiencia tecnológica, equilibrio ambiental y calidad de vida. Su renacimiento industrial demuestra que es posible construir ciudades sostenibles utilizando materiales renovables, precisos y estéticamente integradores.

Más que una tendencia, la construcción en madera es un cambio de paradigma, que redefine la forma en que concebimos, diseñamos y habitamos los espacios del futuro. En ella se combinan tradición y vanguardia, naturaleza y tecnología, dando lugar a una arquitectura verdaderamente sostenible y humana.



Imagen N° 3: Punto EV Estacion de carga vehículos eléctricos USM

1.4. MATERIALES DE INGENIERÍA EN MADERA

La evolución de la industria de la construcción hacia sistemas más eficientes, sustentables y precisos ha impulsado el desarrollo de materiales de ingeniería en madera, los cuales constituyen la base técnica de la construcción modular y prefabricada moderna. Estos materiales combinan el comportamiento natural de la madera con procesos industriales avanzados que mejoran su desempeño estructural, su estabilidad dimensional y su durabilidad frente a agentes externos.

A diferencia de la madera aserrada tradicional, los productos de madera de ingeniería (Engineered Wood Products, EWP) son el resultado de la unión de láminas, fibras o partículas de madera mediante adhesivos estructurales, aplicando presión y control de humedad para garantizar propiedades mecánicas homogéneas y previsibles.

1.4.1. Madera Laminada Encolada (Glulam – Glued Laminated Timber)

La madera laminada encolada, o glulam, se fabrica mediante la unión de láminas de madera seca con adhesivos de alta resistencia. Esta técnica permite obtener elementos estructurales de grandes dimensiones, libres de defectos naturales y con una relación resistencia-peso superior al acero y al hormigón en determinadas aplicaciones.

Los elementos glulam se utilizan en pórticos, vigas, arcos y columnas de edificaciones modulares e industriales, debido a su capacidad para soportar grandes luces y su excelente comportamiento ante esfuerzos de flexión. Además, su proceso de fabricación permite curvaturas y geometrías personalizadas, lo que amplía su aplicación en arquitectura contemporánea.

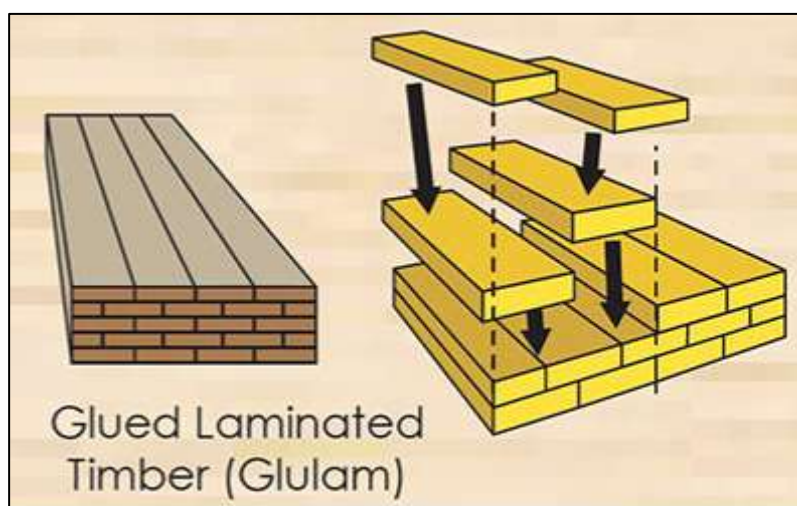


Imagen N° 4: Configuración de madera laminada encolada

1.4.2. Madera Contralaminada (CLT – Cross Laminated Timber)

La madera contralaminada (CLT) representa uno de los mayores avances en la construcción moderna en madera. Se compone de paneles estructurales multicapa, formados por tablas dispuestas en capas cruzadas (perpendiculares entre sí) y unidas mediante adhesivos estructurales.

Esta configuración mejora significativamente la rigidez, estabilidad dimensional y resistencia a la compresión y al fuego. Los paneles CLT se utilizan como muros, losas y cubiertas estructurales en edificaciones modulares y de media o gran altura. Su fabricación industrial permite una precisión milimétrica mediante corte CNC, facilitando el ensamblaje rápido y limpio en obra.

La combinación de ligereza, resistencia y sustentabilidad ha posicionado al CLT como el material estructural más prometedor para el desarrollo de la arquitectura modular de alta eficiencia.

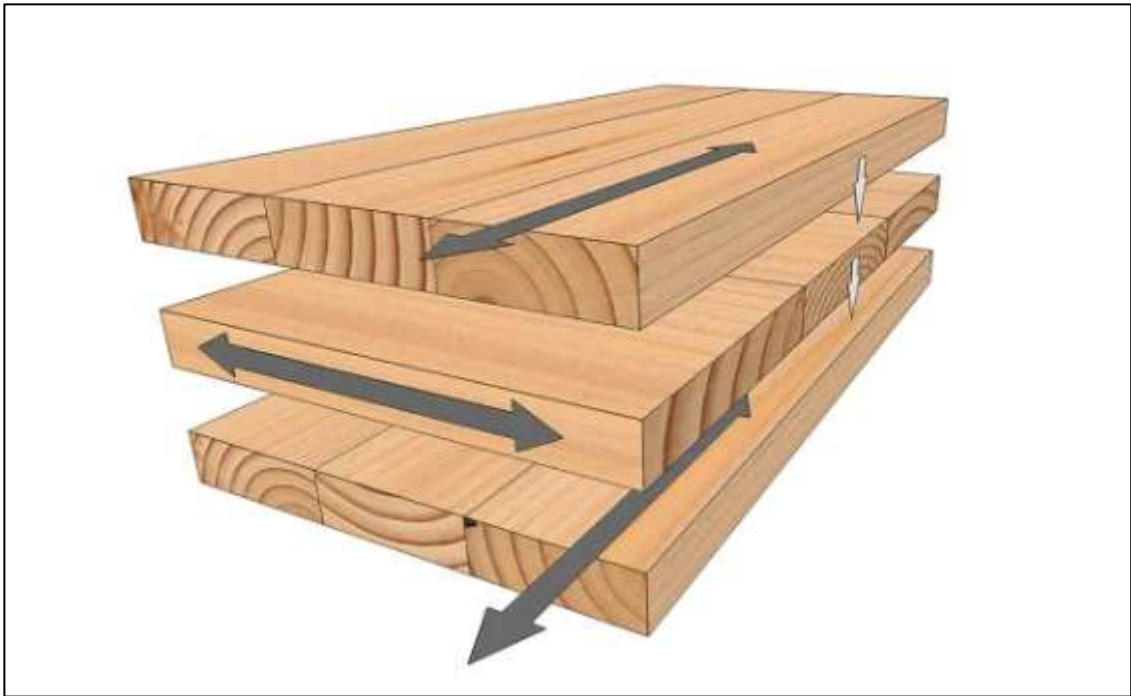


Imagen N° 5: Configuración de madera contralaminada

1.4.3. Paneles de Partículas y OSB (Oriented Strand Board)

El OSB es un panel compuesto por virutas o astillas orientadas en capas cruzadas y unidas mediante resinas sintéticas. Se caracteriza por su uniformidad estructural y alta resistencia a la tracción y flexión, siendo ampliamente utilizado en cerramientos, revestimientos, pisos y techumbres en sistemas modulares.

Su versatilidad, bajo costo y capacidad de mecanizado lo convierten en un material esencial dentro de los módulos prefabricados, especialmente como componente de cerramiento y rigidización estructural. Además, el OSB aprovecha subproductos del proceso forestal, contribuyendo a la eficiencia en el uso de recursos renovables.



Imagen N° 6: construcción modular con OSB

Los paneles OSB son un componente esencial en la construcción en seco y modular. Se utilizan como:

- Revestimientos estructurales de muros, pisos y techos.
- Diafragmas y rigidizadores en estructuras de madera o acero liviano.
- Base para cubiertas y pisos flotantes.
- Encofrados reutilizables y componentes de mobiliario arquitectónico.

Su resistencia al corte y estabilidad dimensional los convierte en un material ideal para sistemas de paneles estructurales prefabricados (SIP – Structural Insulated Panels), ampliamente empleados en viviendas de bajo consumo energético y edificios modulares.

1.4.4. Contrachapado (Plywood)

El contrachapado es uno de los materiales de ingeniería más antiguos y versátiles. Está formado por láminas delgadas de madera encoladas con las fibras alternadas en sentido transversal, lo que le otorga gran estabilidad, rigidez y resistencia a la deformación.



Imagen N° 7: Interior casa Wikkellhouse

1.4.5. Propiedades físicas y mecánicas

El contrachapado se caracteriza por su alto rendimiento estructural y su comportamiento uniforme en ambas direcciones del plano. Sus propiedades dependen del tipo de madera, número de capas y tipo de adhesivo utilizado.

Propiedad	Valor típico	Observaciones
Densidad aparente	500–700 kg/m³	Varía según especie y adhesivo
Módulo de elasticidad (E)	6.000–10.000 MPa	Alta rigidez en dirección de la fibra
Resistencia a la flexión (MOR)	40–80 MPa	Excelente desempeño estructural
Resistencia al corte	3–8 MPa	Alta estabilidad en conexiones
Conductividad térmica	0,12–0,15 W/m·K	Buen aislante natural
Clasificación (EN 636)	1–3	Según uso interior, exterior o estructural

Estas propiedades hacen del Plywood un material confiable para aplicaciones de carga y superficies sometidas a esfuerzos combinados.

El proceso industrial de fabricación del plywood integra diversas etapas que aseguran la calidad estructural y el rendimiento del producto final.

1.4.6. PROCESO DE FABRICACION DE PLYWOOD

A) Selección y preparación de la materia prima

El proceso inicia con la selección de trozas de especies madereras adecuadas (generalmente coníferas o especies de crecimiento rápido). Las trozas se descortezan mediante equipos mecánicos o hidráulicos para eliminar impurezas y evitar defectos superficiales en la chapa.

Posteriormente, los troncos se calientan en tinas o túneles de vapor a temperaturas entre 50 y 90 °C, durante un tiempo que puede variar según el diámetro y la especie. Este tratamiento térmico mejora la plasticidad de la madera y facilita el desenrollado en el torno.

B) Obtención de las chapas (Veneer production)

El desenrollado se realiza mediante un torno pelador (lathe), que convierte la troza ablandada en una lámina continua de chapa de espesor uniforme (entre 1.5 mm y 4 mm, según el uso final). La chapa obtenida se corta, clasifica y recorta en hojas estandarizadas. Luego se seca en túneles o secadores de rodillo a temperaturas controladas (entre 150 °C y 180 °C) hasta alcanzar una humedad del 6 % al 10 %.

C) Clasificación y reparación de chapas

Una vez secas, las chapas se inspeccionan visual o automáticamente para detectar defectos como nudos, grietas o irregularidades de espesor.

Las chapas de caras exteriores se seleccionan cuidadosamente, mientras que las interiores pueden presentar reparaciones o empalmes mediante uniones finger joint o scarf joint, optimizando el uso del material.

D) Encolado

Las chapas se recubren con adhesivos termoendurecibles, generalmente fenol-formaldehído (para uso estructural o exterior) o urea-formaldehído (para uso interior). El adhesivo se aplica mediante rodillos o cortinas de encolado con un gramaje controlado (entre 150 g/m² y 250 g/m², según el tipo de adhesivo y chapa). Las chapas encoladas se apilan alternando la dirección de las fibras, generalmente en número impar (3, 5, 7, o más capas), para garantizar el equilibrio estructural del panel.

E) Prensado en caliente

El paquete de chapas encoladas se somete a una prensa hidráulica o mecánica de calentamiento controlado, a temperaturas entre 120 °C y 150 °C, bajo presiones de 0.8 a 1.5 MPa, durante un tiempo que varía entre 4 y 8 minutos por milímetro de espesor. En esta etapa, el adhesivo cura completamente, formando una unión rígida y resistente entre las capas.

F) Acondicionamiento y estabilización

Después del prensado, los paneles se enfrían y acondicionan en cámaras de equilibrado para estabilizar su humedad interna y reducir tensiones internas que podrían generar deformaciones.

G) Corte, lijado y acabado

Los paneles se recortan a formato comercial estándar (por ejemplo, 1220 × 2440 mm) y se lijan por ambas caras para obtener una superficie lisa y calibrada. En algunos casos se aplican recubrimientos superficiales, como películas fenólicas, melamínicas o selladores, dependiendo de su destino (industrial, decorativo o estructural).

H) Clasificación final y control de calidad

Finalmente, los paneles terminados se clasifican según normas internacionales, tales como:

- **EN 636** (Europa),
- **PS 1-19 (APA)** (EE. UU.),
- **ISO 12465** (global),
- o **AS/NZS 2271 y 2272** (Oceanía).

Los ensayos de control incluyen adhesión, resistencia a flexión, módulo de elasticidad, hinchamiento, absorción de agua y delaminación. Solo los paneles que cumplen las especificaciones se empaquetan y etiquetan para su distribución.

1.4.7. Madera Laminada Microlaminada (LVL – Laminated Veneer Lumber)

La madera microlaminada (LVL) se produce a partir de finas chapas de madera encoladas en una misma dirección, lo que le otorga una resistencia uniforme y controlada a lo largo de su eje longitudinal. Se emplea en vigas, columnas, marcos y componentes estructurales donde se requiere alta capacidad de carga y estabilidad dimensional.

El LVL es especialmente adecuado para la prefabricación modular, ya que combina la resistencia de materiales de gran densidad con la facilidad de mecanizado y montaje de la madera. Además, su proceso de producción utiliza adhesivos de bajo contenido de formaldehído, contribuyendo a edificaciones más saludables y sostenibles.

Comparación entre una viga LVL y una viga de hormigón armado con acero

Las vigas y columnas LVL ofrecen un rendimiento de sostenibilidad superior al de los materiales alternativos de base mineral. A continuación, se presenta una comparación de las emisiones de los materiales de fabricación de una viga LVL y una viga equivalente de hormigón armado.

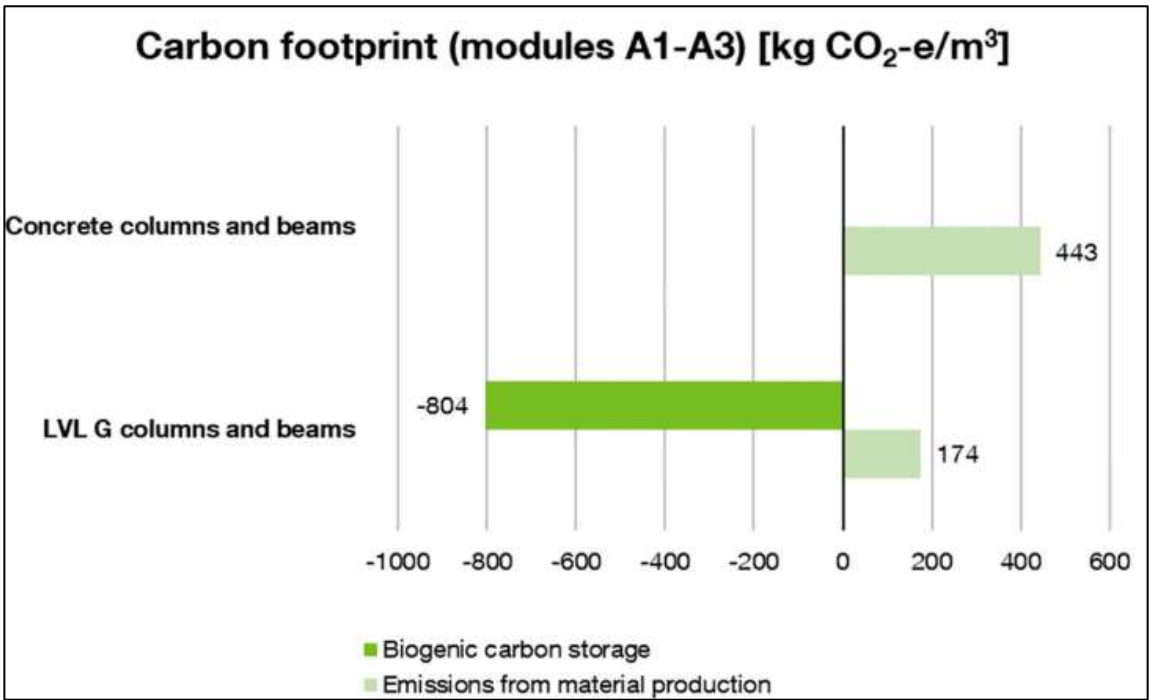


Imagen N° 8: Comparación huella de carbono

El uso de materiales de ingeniería en madera ofrece ventajas significativas para la construcción modular industrializada, entre ellas:

- Alta precisión dimensional, compatible con procesos de fabricación automatizados (CNC, BIM).
- Reducción del tiempo de montaje, gracias al preensamblaje y la facilidad de transporte.
- Menor peso estructural, lo que reduce costos de cimentación.
- Excelente comportamiento térmico y acústico.
- Menor huella de carbono, al tratarse de un material renovable y reciclable.
- Posibilidad de desmontaje y reutilización de módulos, fomentando la economía circular.

Comparación con otros materiales de ingeniería en madera

Material	Estructura	Dirección de fibras	Aplicación principal	Comentario técnico
Plywood	Chapas cruzadas	Alternada (0°/90°)	Paneles y recubrimientos	Estabilidad bidireccional
CLT	Tablas macizas cruzadas	Alternada	Muros, losas	Material masivo estructural
LVL	Chapas paralelas	Unidireccional	Vigas y columnas	Alta rigidez longitudinal
Glulam	Listones encolados	Paralela	Estructuras curvas o de gran luz	Alta resistencia y estética

Los materiales de ingeniería en madera representan la base tecnológica de la construcción modular del futuro. Su desarrollo combina los principios de la ingeniería estructural moderna con la sostenibilidad ambiental, posicionando a la madera como un material inteligente, adaptable y de bajo impacto.

En este contexto, la convergencia entre innovación, diseño y sustentabilidad hace de la madera un elemento central en la transformación industrial de la construcción, capaz de responder a los desafíos de eficiencia, calidad y sostenibilidad del siglo XXI.

1.5. CORREAS TRANSPORTADORAS EN LA INDUSTRIA

Una cinta transportadora, banda transportadora, transportador de banda es un sistema de transporte continuo formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores.

Por lo general, la banda es arrastrada por la fricción de sus tambores, que a la vez este es accionado por su motor. Esta fricción es la resultante de la aplicación de una tensión a la banda transportadora, habitualmente mediante un mecanismo tensor por husillo o tornillo tensor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores. Denominados rodillos de soporte.

Debido al movimiento de la banda el material depositado sobre la banda es transportado hacia el tambor de accionamiento donde la banda gira y da la vuelta en sentido contrario. En esta zona el material depositado sobre la banda es vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad y/o de la inercia.

Las cintas transportadoras se usan principalmente para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales, tales como cereales, carbón, minerales, etcétera, aunque también se pueden usar para transportar personas en recintos cerrados (por ejemplo, en grandes hospitales y ciudades sanitarias).

A menudo para cargar o descargar buques cargueros o camiones. Para transportar material por terreno inclinado se usan unas secciones llamadas cintas elevadoras. Existe una amplia variedad de cintas transportadoras, que difieren en su modo de funcionamiento, medio y dirección de transporte, incluyendo transportadores de tornillo, los sistemas de suelo móvil, que usan planchas oscilantes para mover la carga, y transportadores de rodillos, que usan una serie de rodillos móviles para transportar cajas o palés.

Las cintas transportadoras ligeras, se usan como componentes en las cadenas de montaje, como extracción en procesos de fabricación, como enlace y fundamentalmente como ayuda en el transporte de cargas. Asimismo son utilizadas en distribución y almacenaje automatizados.

Combinados con equipos informatizados de manejo de palés (normalmente transportados por caminos de rodillos), permiten una distribución minorista, mayorista y manufacturera más eficiente, permitiendo ahorrar mano de obra y transportar rápidamente grandes volúmenes en los procesos, lo que ahorra costes a las empresas que envía o reciben grandes cantidades, reduciendo además el espacio de almacenaje necesario.

Esta misma tecnología se usa en dispositivos de transporte de personas tales como cintas y escaleras mecánicas y en muchas cadenas de montaje industriales. Las tiendas suelen contar con cintas transportadoras en las cajas para desplazar los artículos comprados. Las estaciones de esquí también usan cintas transportadoras para remontar a los esquiadores.

La cinta transportadora más larga del mundo está en el Sáhara Occidental, tiene 100 km de longitud y va desde las minas de fosfatos de Bu Craa hasta la costa sur de El Aaiún. La cinta transportadora simple más larga tiene 17 km y se usa para transportar caliza y pizarra desde Meghalaya (India) hasta Sylhet (Bangladés).

1.5.1.Descripción general

Los transportadores son componentes duraderos y fiables que se utilizan en distribución y almacenamiento automatizados, así como en instalaciones de fabricación y producción. En combinación con el equipo de manejo de palets controlado por ordenador, esto permite una venta minorista, venta mayorista, fabricación y distribución más eficientes. Se considera un sistema de ahorro de mano de obra que permite que grandes volúmenes se muevan rápidamente a través de un proceso, lo que permite a las empresas enviar o recibir mayores volúmenes con un espacio de almacenamiento más pequeño y con menor gasto de mano de obra.

Las cintas transportadoras son los transportadores motorizados más utilizados porque son los más versátiles y los menos costosos.³ Los productos se transportan directamente en la cinta, por lo que tanto los objetos de forma regular como irregular, grandes o pequeños, ligeros y pesados, pueden transportarse con éxito. Las cintas transportadoras también se fabrican con secciones curvas que utilizan rodillos cónicos y cintas curvas para transportar productos en una esquina. Estos sistemas transportadores se utilizan comúnmente en las oficinas de clasificación postal y en los sistemas de manejo de equipaje de los aeropuertos.

Las cintas transportadoras se pueden utilizar para transportar productos en línea recta o mediante cambios de elevación o dirección. Para el transporte de materiales a granel como granos, minerales, carbón, arena, etc., sobre pendientes suaves o curvaturas suaves, se utiliza una cinta transportadora de artesa. El canal de la correa asegura que el material fluido quede contenido dentro de los bordes de la correa. El canal se logra manteniendo los rodillos en un ángulo con la horizontal a los lados del marco loco. Un transportador de tuberías se utiliza para trayectos de material que requieren curvas más pronunciadas e inclinaciones de hasta 35 grados.⁴ Un transportador de tubería presenta los bordes de la correa enrollados para formar una sección circular como una tubería. Al igual que un transportador de banda acanalada, un transportador de tubería también utiliza rodillos. Sin embargo, en este caso, el marco de la rueda rodea completamente la cinta transportadora ayudándola a retener la sección de tubería mientras la empuja hacia adelante. En el caso de trayectos que requieran ángulos elevados y curvaturas en forma de serpiente, se utiliza una correa tipo sándwich. El diseño de la banda tipo sándwich permite que los materiales transportados viajen a lo largo de un camino de grandes pendientes con ángulos de hasta 90 grados,⁵ permitiendo un camino vertical en lugar de uno horizontal. Esta opción de transporte también está propulsada por rodillos.

1.5.2. Tipos de correas transportadoras

Según su aplicación y diseño, las correas transportadoras se clasifican en varias categorías:

- **Correas planas:** utilizadas para el transporte de materiales livianos o empaquetados, típicas en líneas de montaje, logística y manufactura.
- **Correas de banda nervada o chevron:** con superficie texturizada que mejora la adherencia en pendientes.
- **Correas modulares plásticas:** formadas por eslabones articulados, resistentes a la humedad y productos químicos, ideales para la industria alimentaria.
- **Correas de malla metálica:** empleadas en procesos de alta temperatura o secado industrial.
- **Correas tubulares o cerradas:** evitan derrames y contaminación del material, usadas en el sector minero y agrícola.
- **Correas de alta resistencia (EP o Steel Cord):** reforzadas con tejidos o cables de acero, para transporte de grandes volúmenes y largas distancias.

1.5.3. Aplicaciones industriales

Las correas transportadoras se encuentran en prácticamente todos los sectores productivos. Algunas aplicaciones típicas incluyen:

- **Industria minera:** transporte de mineral, áridos, carbón y concentrados a granel.
- **Industria forestal y maderera:** movimiento de trozas, astillas, chapas, tableros y paneles.
- **Industria manufacturera:** líneas de ensamblaje, manipulación de piezas y productos terminados.
- **Industria alimentaria:** transporte higiénico de alimentos procesados, frutas, carnes y productos envasados.
- **Industria logística y de distribución:** clasificación, empaque y despacho en centros automatizados.
- **Industria del cemento, química y energética:** transporte de materias primas, combustibles y subproductos industriales.

1.5.4. Ventajas del uso de correas transportadoras

- **Eficiencia y continuidad:** permiten el transporte constante sin interrupciones.
- **Reducción de costos operativos:** menor uso de maquinaria pesada y de personal para manipulación.
- **Versatilidad:** adaptables a distintas configuraciones (rectas, curvas, inclinadas, modulares).
- **Seguridad:** minimizan el riesgo de accidentes asociados a la carga manual.
- **Automatización e integración:** pueden vincularse a sistemas de control industrial (PLC, sensores, variadores de frecuencia).
- **Sostenibilidad:** reducen el consumo energético por tonelada transportada frente a otros métodos.

1.5.5. Innovación y tendencia tecnológica

En la actualidad, las correas transportadoras incorporan sensores inteligentes, monitoreo en línea y sistemas de diagnóstico predictivo, permitiendo la detección temprana de fallas y la optimización del mantenimiento.

Además, el desarrollo de bandas ecológicas con materiales reciclables y adhesivos sin solventes responde a las exigencias de sostenibilidad y eficiencia energética del siglo XXI.

1.6. **COMPONENTE DE UNA CORREA TRANSPORTADORA**

Los sistemas de transporte por correa están formados por diversos componentes interdependientes:

1.6.1. **Cinturón o banda:**

La banda transportadora —también denominada cinturón transportador— es el elemento principal de los sistemas de transporte mecánico continuo, encargada de soportar y desplazar materiales de un punto a otro mediante un movimiento lineal continuo impulsado por tambores motrices.

Desde el punto de vista técnico, la banda está compuesta por una o varias capas estructurales, diseñadas para resistir esfuerzos de tracción, flexión y abrasión, dependiendo del tipo de material a transportar y las condiciones de operación

Una banda transportadora típica se compone de las siguientes capas:

Capa superior o de cobertura:

Fabricada en caucho natural, PVC, poliuretano (PU) o elastómeros sintéticos. Su función es proteger la estructura interna de la banda contra el desgaste, impactos, temperatura y agentes químicos del material transportado.

Capa de refuerzo o carcasa:

Constituye el núcleo resistente de la banda. Puede estar formada por tejidos de poliéster (EP), nylon (NN), algodón (CC) o cables de acero (ST). Esta capa otorga resistencia a la tracción y estabilidad dimensional, asegurando que la banda mantenga su forma bajo carga.

Capa inferior o de retorno:

Similar en material a la superior, pero diseñada para minimizar la fricción con los rodillos de retorno y prolongar la vida útil de la banda.

Tipo de Banda	Material de Refuerzo	Aplicación Principal
EP (Poliéster/Nylon)	Textil multicapa	Transporte de materiales a granel, minería, forestal
NN (Nylon/Nylon)	Textil de alta flexibilidad	Curvas o transportes con rodillos múltiples
ST (Steel Cord)	Cables de acero longitudinales	Grandes distancias y altas tensiones
PVC / PU	Polímeros termoplásticos	Industria alimentaria, farmacéutica o de empaque

1.6.2. Poleas

Las poleas (también denominadas *pulleys*) son elementos motrices o de cambio de dirección que transmiten el movimiento de rotación a la banda mediante fricción o tracción directa.

Cada polea cumple una función específica dentro del sistema transportador.

Tipos de poleas

Tipo de polea	Función principal	Características
Polea motriz (drive pulley)	Transmite la potencia desde el motor al sistema	Se ubica normalmente en el extremo de descarga. Su superficie puede ser lisa o recubierta con caucho para aumentar el coeficiente de fricción.
Polea de retorno (tail pulley)	Guía la banda en el extremo de carga	Facilita el retorno de la banda y puede incorporar dispositivos tensores.
Polea tensora (take-up pulley)	Mantiene la tensión constante de la banda	Puede ser fija o móvil, controlada por contrapesos o cilindros hidráulicos.
Polea de desvío o desviadora (snub pulley)	Modifica el ángulo de contacto de la banda con la polea motriz	Aumenta la fricción efectiva para mejorar la tracción.
Polea de limpieza (cleaning pulley)	Facilita la remoción de residuos adheridos	Comúnmente instalada antes del tramo de retorno.

Características técnicas

- Fabricadas en acero estructural o aluminio reforzado, con eje montado sobre cojinetes o rodamientos.
- Diámetro típico: entre 200 mm y 1000 mm, según potencia y tipo de banda.
- Equilibradas dinámicamente para evitar vibraciones y desgaste irregular.
- Revestimientos de caucho o cerámica para mejorar adherencia y prolongar la vida útil.
- Diseño conforme a ISO 1537, ISO 5048, y estándares CEMA B–F para poleas industriales.

1.6.3. Rodillos

Los rodillos (también llamados *idlers*) son componentes cilíndricos que giran libremente sobre ejes fijos y tienen la función de soportar la banda transportadora y la carga. Existen diversos tipos de rodillos, clasificados según su ubicación y función dentro del sistema.

Tipos de rodillos

Tipo de rodillo	Ubicación / Función	Descripción técnica
Rodillos portantes	Tramo superior	Soportan el peso de la banda y del material transportado. Su disposición puede ser plana o en artesa (en ángulos de 20°, 35° o 45°).
Rodillos de retorno	Tramo inferior	Guían el retorno de la banda vacía y reducen la fricción. Generalmente se instalan en disposición plana.
Rodillos de impacto	Zona de carga	Poseen revestimiento de caucho o poliuretano que absorbe el impacto del material al caer sobre la banda.
Rodillos autocentrantes	Tramo superior o inferior	Diseñados con mecanismos de autocorrección que evitan el desalineamiento lateral de la banda.
Rodillos limpiadores o de transición	Proximidades del tambor motriz	Aseguran el retorno limpio de la banda y mejoran la eficiencia de los raspadores.

Características técnicas

- Diámetro estándar: entre 63 mm y 159 mm, según capacidad y ancho de banda.
- Ejes en acero macizo o hueco, montados sobre rodamientos sellados para evitar ingreso de polvo o humedad.
- Carcasa metálica o de polímero reforzado, con precisión de balanceo para reducir vibraciones.
- Vida útil esperada: entre 10,000 y 50,000 horas en operación continua, dependiendo de la carga y el entorno.

1.6.4. Sistema Tensor en Correas Transportadoras

El sistema tensor es un componente esencial en los equipos de transporte mecánico continuo, cuya función principal es mantener la tensión adecuada en la banda transportadora durante su operación.

Su correcto diseño y ajuste garantizan la transmisión eficiente de potencia, la alineación de la banda, y la reducción del desgaste prematuro de los componentes principales (poleas, rodillos y la propia banda).

El sistema tensor tiene tres objetivos fundamentales:

- 1. **Mantener la tracción suficiente** entre la banda y la polea motriz, evitando deslizamientos durante la transmisión de potencia.
- 2. **Compensar la elongación** natural de la banda causada por la carga, la temperatura o el envejecimiento del material.
- 3. **Asegurar la estabilidad geométrica** de la banda, manteniendo su alineación y evitando que se salga de los rodillos o poleas.

La tensión adecuada garantiza que la banda se mantenga firme pero flexible, asegurando la eficiencia del transporte sin producir esfuerzos excesivos que puedan dañar su estructura.

Existen varios tipos de sistemas tensores, seleccionados según la longitud de la banda, la potencia instalada y las condiciones operativas.

Tipo de tensor	Mecanismo	Características técnicas	Aplicación típica
Tensor por tornillo (screw take-up)	Ajuste manual mediante husillos roscados en el eje de la polea de retorno.	Simples, económicos, requieren mantenimiento periódico.	Bandas cortas o medianas, instalaciones fijas.
Tensor por gravedad (gravity take-up)	Uso de contrapesos suspendidos que aplican tensión constante mediante poleas intermedias.	Compensa automáticamente la elongación de la banda, tensión uniforme.	Bandas largas o sistemas de alta capacidad.
Tensor por resorte o acumulador hidráulico	Emplea cilindros hidráulicos o muelles que ejercen fuerza controlada.	Alta precisión y respuesta dinámica, adecuado para variaciones de carga.	Instalaciones automatizadas o con cambios frecuentes de operación.
Tensor automático motorizado	Controlado electrónicamente por actuadores eléctricos o hidráulicos.	Permite monitoreo remoto, ajuste programado y control por sensores.	Sistemas modernos de transporte inteligente o automatizado.

Principio de funcionamiento

El tensor actúa sobre la polea de retorno o tensora, desplazándola linealmente para aumentar o disminuir la longitud efectiva de la banda.

Cuando la banda se alarga por carga o temperatura, el tensor compensa automáticamente esa variación para mantener la tracción constante.

Del mismo modo, ante una disminución de la tensión, el sistema libera parte de su recorrido para evitar un exceso de esfuerzo o daño mecánico.

La tensión efectiva T_{eTe} se calcula según los métodos definidos en la norma **ISO 5048**, considerando la potencia transmitida, el peso del material transportado, la fricción y la inclinación del transportador.

$$T_{eTe} = \frac{P}{v} \quad T_{eTe} = vP$$

Donde:

- T_{eTe} = Tensión efectiva (N)
- P = Potencia transmitida (W)
- v = Velocidad de la banda (m/s)

Parámetros de diseño

El diseño del sistema tensor considera los siguientes factores:

- Recorrido total del tensor (stroke): Longitud disponible para compensar la elongación de la banda.
- Fuerza de tensado (F): Valor requerido para garantizar la tracción sin deslizamiento, calculado según la fórmula de Euler.
- Tipo de control: Manual, mecánico, neumático, hidráulico o electrónico.
- Posición de instalación: Generalmente en el tramo de retorno, aunque puede instalarse en la polea motriz en sistemas reversibles.

Los sistemas tensores modernos incluyen indicadores de posición, sensores de tensión y dispositivos de seguridad para prevenir sobrecargas o roturas de la banda.

1.6.5. Empalme o unión

El empalme o unión de la banda transportadora es un elemento fundamental en el sistema de transporte continuo, ya que asegura la continuidad mecánica y funcional de la correa, permitiendo su montaje, reparación o sustitución sin comprometer la resistencia ni la alineación del sistema.

La calidad del empalme influye directamente en la eficiencia del transporte, la vida útil de la banda y la seguridad operativa del equipo.

Función y requisitos del empalme

El empalme tiene como finalidad reconectar ambos extremos de la banda de modo que pueda operar como una superficie continua, capaz de transmitir la tracción y soportar las cargas del material transportado.

Para cumplir con su función, el empalme debe satisfacer los siguientes requisitos técnicos:

- Poseer una resistencia mecánica comparable a la de la banda original.
- Mantener una alineación precisa, evitando desviaciones o vibraciones.
- Ser flexible para adaptarse a los rodillos y poleas.
- Ofrecer resistencia a la abrasión, humedad y temperatura.
- Permitir un mantenimiento o sustitución eficiente cuando sea necesario.

Tipos de empalmes

Los empalmes se clasifican según el método de unión y el tipo de material de la banda:

Tipo de empalme	Método	Características técnicas	Aplicación
Empalme mecánico	Unión mediante grapas o conectores metálicos (por ejemplo, tipo Alligator, Flexco).	Rápido de instalar, permite desmontaje; menor suavidad en el paso sobre poleas.	Bandas de caucho o PVC en plantas móviles o de mantenimiento frecuente.
Empalme en frío (vulcanizado en frío)	Unión mediante adhesivos químicos y presión controlada.	Resistencia media-alta, sin necesidad de equipos complejos; depende del tipo de adhesivo.	Aplicaciones medianas o temporales.
Empalme en caliente (vulcanizado en caliente)	Unión mediante calor, presión y capas de goma no vulcanizada (raw rubber).	Alta resistencia, alineación perfecta, acabado uniforme; requiere prensa vulcanizadora.	Bandas de caucho EP, NN o ST en transporte pesado o continuo.
Empalme por termosoldadura (bandas termoplásticas)	Unión por fusión de los extremos mediante calor controlado.	Sin elementos metálicos, alta higiene, buena flexibilidad.	Bandas de PVC, PU o poliéster utilizadas en la industria alimentaria y farmacéutica.

- **Principio de empalme vulcanizado**

El empalme vulcanizado en caliente es el más utilizado en la industria pesada (minería, forestal, cementera), debido a su superior resistencia y durabilidad. El proceso consiste en superponer los extremos biselados de la banda y aplicar presión y temperatura controladas mediante una prensa vulcanizadora —por ejemplo, el modelo QSP 60 LF Plus, utilizado para empalmes de correas textiles o de poliuretano.

El ciclo de vulcanización genera una adhesión molecular entre las capas de caucho y los tejidos de refuerzo, logrando una unión homogénea y continua, prácticamente indistinguible del resto de la banda.

Parámetros típicos de vulcanización:

- Temperatura: **140–160 °C**
- Presión: **1,0–1,5 MPa**
- Tiempo: **30–60 minutos**, según espesor y tipo de banda

- **Diseño del empalme escalonado o en cuña**

Para minimizar las concentraciones de esfuerzo, los empalmes se realizan con solapes escalonados (step splice) o en forma de cuña (finger splice). Estos diseños distribuyen las cargas de tracción de manera gradual, evitando fallas localizadas.

- Tipos de configuración

- Empalme escalonado: Capas superpuestas con longitudes variables.
- Empalme en dedos (finger splice): Extremos cortados en forma de “dientes”, ofreciendo mayor superficie de contacto.
- Empalme biselado (skived splice): Reducción gradual del espesor en el extremo para evitar transiciones abruptas.



Imagen N° 9: componentes principales del sistema

1.7. MARCO NORMATIVO CORREAS TRANSPORTADORAS

En la ingeniería industrial moderna, las normas ISO 5048, ISO 5049 y los estándares CEMA constituyen la base técnica para el diseño, validación y operación segura de correas transportadoras. Su aplicación permite garantizar eficiencia energética, compatibilidad internacional y seguridad ocupacional en plantas industriales, mineras, forestales y manufactureras. El cumplimiento de estos estándares contribuye a la confiabilidad de los sistemas de transporte y al cumplimiento de las regulaciones internacionales de calidad y desempeño.

- **NORMA ISO 5048:1989**

La norma ISO 5048:1989, titulada 'Continuous mechanical handling equipment — Belt conveyors with carrying idlers — Calculation of operating power and tensile forces', define los principios de cálculo para determinar la potencia de accionamiento y las tensiones que actúan sobre las correas transportadoras en sistemas de transporte continuo. Su aplicación asegura el dimensionamiento correcto de motores, la selección del tipo de banda y la optimización energética del sistema. Esta norma sigue vigente tras su confirmación en 2019 por el comité ISO/TC 101.

- **NORMA ISO 5049:1989**

La norma ISO 5049:1989 complementa la ISO 5048 y detalla los métodos para la medición, ensayo y verificación de parámetros de funcionamiento de equipos de transporte mecánico. Proporciona criterios para el control de calidad, calibración y evaluación del rendimiento de componentes como rodillos, tambores, bandas y sistemas de tensado, garantizando la confiabilidad operativa y la durabilidad de los equipos industriales.

- **CEMA STANDARD – BELT CONVEYORS FOR BULK MATERIALS**

El estándar CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association), en su publicación 'Belt Conveyors for Bulk Materials', es uno de los documentos de referencia más importantes a nivel mundial para el diseño, selección y operación de correas transportadoras. CEMA complementa las normas ISO mediante tablas empíricas, coeficientes de fricción y fórmulas de cálculo derivadas de la práctica industrial. Incluye recomendaciones sobre capacidad, dimensiones, potencia, seguridad y mantenimiento.

1.8. TIPOS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento de correas transportadoras puede clasificarse en tres grandes enfoques:

1.8.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo en sistemas de correas transportadoras comprende el conjunto de acciones técnicas y operativas destinadas a reparar fallas o averías que interrumpen el funcionamiento normal del equipo. Su principal objetivo es restablecer la operatividad del sistema en el menor tiempo posible, garantizando la seguridad, la eficiencia y la continuidad del proceso productivo.

Este tipo de mantenimiento se ejecuta una vez que se ha detectado una falla o tras la parada imprevista del sistema, a diferencia del mantenimiento preventivo, que busca anticiparse a los fallos.

El mantenimiento correctivo tiene los siguientes objetivos principales:

- **Restaurar la funcionalidad del equipo** a su condición operativa original.
- **Minimizar el tiempo de inactividad (downtime)** de la línea transportadora.
- **Identificar la causa raíz** de la falla para evitar su recurrencia.
- **Proteger la integridad de los componentes adyacentes**, evitando daños en cadena.
- **Garantizar condiciones seguras** para los operarios y el entorno industrial.

1.8.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo comprende el conjunto de actividades planificadas y sistemáticas destinadas a preservar el funcionamiento óptimo de las correas transportadoras y sus componentes, anticipando fallas antes de que ocurran. A diferencia del mantenimiento correctivo, que actúa una vez que el fallo se ha manifestado, el mantenimiento preventivo se basa en inspecciones periódicas, ajustes y reemplazos programados, orientados a reducir el tiempo de inactividad y aumentar la vida útil de los equipos.

El mantenimiento preventivo tiene como propósito:

- **Prevenir fallas inesperadas** en la banda y componentes del sistema.
- **Asegurar la continuidad operativa** de la línea transportadora.
- **Optimizar la eficiencia energética** y el rendimiento del sistema.
- **Extender la vida útil** de la banda y los elementos mecánicos.
- **Garantizar condiciones seguras** para los trabajadores y el entorno industrial.

El plan preventivo se desarrolla según un programa calendarizado, basado en horas de operación, ciclos de carga o inspecciones semanales/mensuales, dependiendo de la criticidad del sistema.

Componente	Actividad preventiva	Frecuencia recomendada
Banda transportadora	Inspección visual de desgaste, limpieza y verificación de alineación.	Semanal / diaria en zonas críticas.
Rodillos	Revisión del giro libre, lubricación de rodamientos, reemplazo de rodillos dañados.	Mensual o según vibración.
Poleas y tambores	Verificación de recubrimiento, alineación y ajuste de ejes.	Trimestral.
Sistema tensor	Control de la presión o peso del tensor, inspección del desplazamiento.	Mensual.
Empalmes	Inspección del estado del vulcanizado, signos de delaminación o grietas.	Cada 500 h de operación.
Motores y reductores	Control de temperatura, nivel de aceite, vibraciones y sellos.	Mensual / trimestral.
Estructura y chasis	Revisión de fijaciones, soldaduras y corrosión.	Trimestral.
Sistema eléctrico y de control	Pruebas de funcionamiento, limpieza de tableros, calibración de sensores.	Semestral.

1.8.2.1. Procedimiento general del mantenimiento preventivo

1. **Planificación:**
 - Elaboración de un calendario de inspecciones y tareas rutinarias.
 - Definición de responsables y recursos técnicos.
2. **Inspección visual y técnica:**
 - Evaluación del estado general del sistema.
 - Revisión de vibraciones, ruidos anómalos, temperatura y tensión de la banda.
3. **Limpieza y lubricación:**
 - Remoción de residuos adheridos en rodillos, tambores y estructura.
 - Lubricación de rodamientos y ejes según especificaciones del fabricante.
4. **Ajustes y calibraciones:**
 - Corrección de desalineaciones.
 - Ajuste de tensores y empalmes.
 - Verificación del centrado de la banda sobre la trayectoria.
5. **Reemplazo programado de componentes:**
 - Sustitución preventiva de rodillos, sellos, pernos y bandas con desgaste significativo.
6. **Registro y seguimiento:**
 - Documentación de actividades realizadas.
 - Análisis de tendencias de desgaste y frecuencia de intervención.
 - Actualización del historial técnico de mantenimiento (MTBF y MTTR).

1.8.2.2. Beneficios del mantenimiento preventivo

Un programa preventivo bien estructurado ofrece múltiples beneficios operativos y económicos:

- Reducción de fallas no planificadas y de tiempos muertos.
- Disminución del costo total de mantenimiento frente a reparaciones mayores.
- Mayor confiabilidad y disponibilidad del sistema transportador.
- Optimización del consumo energético gracias a la reducción de fricción y desalineación.
- Incremento de la seguridad industrial al detectar anomalías antes de generar riesgos.

1.8.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una estrategia avanzada de gestión industrial orientada a predecir el momento óptimo para intervenir un equipo, mediante la medición, monitoreo y análisis continuo de sus condiciones operativas reales.

En los sistemas de correas transportadoras, este tipo de mantenimiento permite detectar fallas incipientes en la banda, poleas, rodillos, motores o reductores antes de que ocurran paradas no planificadas, optimizando los recursos y mejorando la disponibilidad global del sistema.

A diferencia del mantenimiento preventivo, que se basa en intervalos fijos de tiempo, el mantenimiento predictivo se ejecuta en función del estado real de los componentes, gracias al uso de sensores, análisis de datos y técnicas de diagnóstico no destructivo.

- Objetivos del mantenimiento predictivo

Los principales objetivos de esta metodología son:

- Predecir el desgaste o deterioro de componentes críticos antes de una falla.
- Optimizar los tiempos de intervención, reduciendo el mantenimiento innecesario.
- Aumentar la confiabilidad y disponibilidad de las correas transportadoras.
- Disminuir costos operativos, extendiendo la vida útil de los componentes.
- Integrar monitoreo continuo en el sistema de control y gestión industrial (SCADA, PLC o CMMS).

El mantenimiento predictivo se basa en el concepto de monitoreo de condición (“Condition Monitoring”). A través de instrumentación y sensores especializados, se recopilan datos de operación (vibración, temperatura, velocidad, tensión, ruido, etc.) que son analizados mediante software de diagnóstico o algoritmos predictivos. Cuando los valores medidos superan umbrales predefinidos, el sistema genera una alerta temprana, indicando la necesidad de una intervención programada.

1.9. INDICADORES DE CONFIABILIDAD

Para evaluar la eficacia del mantenimiento se utilizan indicadores clave:

- **MTBF (Mean Time Between Failures):** promedio de tiempo entre fallas, mide la confiabilidad del equipo.
- **MTTR (Mean Time To Repair):** promedio de tiempo de reparación, evalúa la eficiencia de las intervenciones.
- **Disponibilidad operativa:** porcentaje del tiempo en que la correa está disponible y funcionando correctamente.

1.10. FALLAS MAS COMUNES EN CORREAS TRANSPORTADORAS

Entre los problemas recurrentes en correas transportadoras de la industria maderera se encuentran:

Tipo de falla	Descripción	Consecuencia operativa
Ruptura o daño del empalme	Desgaste o despegue del empalme vulcanizado o mecánico.	Parada total del sistema; riesgo de desalineación.
Desgaste o corte de la banda	Abrasión, impacto o exposición a químicos.	Reducción de vida útil, pérdida de capacidad de carga.
Desalineación de la banda	Desajuste de rodillos, poleas o tensores.	Daño lateral de la banda, pérdida de material.
Falla en rodillos o poleas	Bloqueo o fractura de rodamientos.	Vibraciones, sobrecalentamiento, riesgo de incendio.
Exceso o falta de tensión	Fallo en el sistema tensor.	Deslizamiento, sobreesfuerzo mecánico o rotura de la banda.
Contaminación o acumulación de material	Material adherido bajo la banda o en rodillos.	Pérdida de tracción, desgaste irregular.

II. CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para elaborar el producto final en la planta terciados nueva aldea se utilizan maquinas tecnológicamente muy avanzadas y automatizadas. El proveedor de estas máquinas es Raute Corporation, una empresa finlandesa líder mundial en el desarrollo y fabricación de maquinaria, equipos y soluciones tecnológicas para la producción industrial de plywood, veneer y LVL (Laminated Veneer Lumber). Su enfoque integral abarca desde el manejo inicial de troncos hasta las etapas finales de prensado, acabado y control de calidad de los productos de madera laminada. Con más de un siglo de trayectoria, Raute se ha consolidado como uno de los principales proveedores globales de líneas completas de producción para la industria maderera y de paneles estructurales.

Raute ha orientado su desarrollo hacia la automatización avanzada, la eficiencia energética y la producción sostenible. Sus líneas de plywood y LVL integran sistemas de control digital que optimizan el uso de materia prima, reducen desperdicios y mejoran la calidad dimensional de los paneles.

La empresa promueve la filosofía de “Smart Mill Technology”, que combina sensores inteligentes, monitoreo en tiempo real y análisis de datos para maximizar la productividad y la trazabilidad en los procesos de fabricación. Estas innovaciones posicionan a Raute como pionera en la digitalización de la industria maderera.

La máquina a intervenir es La Core Veneer Composing Line R5 es una máquina especializada de la serie R5 de Raute, diseñada para la composición de chapas de núcleo (core veneer composing) en la producción de plywood. Su función principal es unir fragmentos de chapas (randoms) para formar hojas completas, optimizando el uso de materia prima y reduciendo desperdicios.

2.1. FUNCIÓN Y PRINCIPIO DE TRABAJO

La máquina toma pedazos de chapa y los une mediante adhesivos termofusibles (hot-melt), aplicados en puntos y cordones de pegamento (glue spots y glue strings), logrando uniones precisas y resistentes. El sistema de escaneo visual detecta defectos y cortes necesarios (clipping), garantizando uniformidad y calidad. Su operación automatizada permite que un solo operador controle todo el proceso, aumentando la eficiencia.



Imagen N° 10: Core Veneer composing Line R5.

2.2. ANALISIS TECNICO DEL PROBLEMA

En la industria de producción de tableros contrachapados (Plywood), los sistemas de transporte continuo constituyen un elemento esencial para asegurar la fluidez operacional entre etapas como descortezado, debobinado, secado, clasificación y prensado. La eficiencia de la línea depende directamente de la continuidad del transporte interno, el cual se encuentra altamente condicionado por la confiabilidad mecánica de las correas transportadoras de poliamida utilizadas en distintos tramos críticos del proceso.

En la maquina estudiada Core Veneer Composing Line R5, ubicada en le área de clasificación de chapas, se ha identificado un patrón persistente de fallas en los empalmes de las correas, particularmente rupturas longitudinales y desprendimiento del empalme termopegado bajo carga. Estas fallas recurrentes se manifiestan a pesar del cumplimiento aparente de los procedimientos de mantenimiento y de la selección de bandas de especificación industrial.

Esta tendencia genera un impacto operativo significativo, incluyendo paradas no programadas, interrupciones del flujo productivo, tiempos de mantención correctiva superiores a los estándares de referencia y altos costos asociados tanto a reposiciones como a pérdidas de producción.



Imagen N° 11: desgarro de empalme

Normativas internacionales como ISO 14890 (especificaciones de bandas transportadoras textiles), ISO 252 (ensayos de resistencia a tracción), ISO 5048 (cálculo de tensiones) y DIN 22101 (dimensionamiento de sistemas transportadores) establecen requisitos mínimos para asegurar que una banda transportadora cumpla una vida útil esperada acorde a las cargas del sistema. Sin embargo, el análisis preliminar sugiere una posible discrepancia entre la resistencia nominal declarada por el fabricante y la tensión real medida en los puntos críticos del circuito transportador, especialmente en zonas donde la banda experimenta flexión repetitiva sobre poleas de diámetro reducido o desalineación transversal.

Las condiciones ambientales de la industria de la madera polvo abrasivo, humedad variable, contaminación por resinas y altas temperaturas en áreas cercanas al secado pueden acelerar la degradación del empalme, incrementando la fatiga del material. Asimismo, factores mecánicos como tensión insuficiente o excesiva, rodillos desgastados, poleas contaminadas o sistemas tensores desregulados contribuyen a la propagación de microgrietas que evolucionan hacia fallas mayores. Una vez que el empalme pierde integridad, la banda colapsa súbitamente, generando riesgos de seguridad para el personal e impactos productivos inmediatos.



Imagen N° 12: falla recurrente

Por tanto, se requiere un análisis integral que considere: características físico–mecánicas de la banda, método y calidad del empalme, tensiones reales aplicadas, condiciones operacionales, cumplimiento normativo y frecuencia e historial de fallas. Este estudio permitirá identificar causas raíz y proponer mejoras en selección de materiales, parámetros de tensión, procesos de empalme y estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo.

2.3. PROCEDIMIENTO ANTIGUO DE EMPALME ESCALONADO

El empalme escalonado termofundido es un método utilizado en correas transportadoras de poliamida (PA) y bandas de transmisión de alta eficiencia, cuyo objetivo es obtener una unión homogénea, flexible y con alta resistencia mecánica. Este tipo de empalme asegura la continuidad estructural de la banda mediante la aplicación controlada de temperatura, presión y tiempo, logrando la fusión parcial del recubrimiento y la adhesión del núcleo textil.

El proceso involucra la preparación del material, la configuración precisa del escalonamiento y la aplicación de un ciclo térmico estandarizado, garantizando una unión estable según los parámetros del fabricante y normativas de referencia (ISO 14890 e ISO 252).

A) Preparación del Área y de la Banda

Limpieza del área de trabajo

- El sector debe estar libre de polvo, humedad, resina y partículas abrasivas.
- La mesa o superficie debe ser totalmente plana para evitar variaciones en la geometría del empalme.

B) Identificación y marcado

- Se determina la longitud del empalme según especificación de la banda (usualmente entre **120 – 200 mm** para PA).
- Se marca la línea de corte utilizando escuadra metálica y marcador técnico.

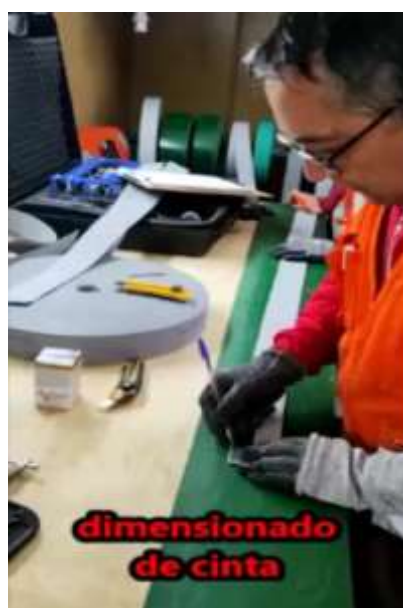


Imagen N° 13: ejecución de marcado de cinta

C) Corte Escalonado (Step Splice)

El escalonamiento se realiza en capas secuenciales de la banda:

Remoción de capas

- Se extraen las capas de poliamida del recubrimiento superior en pasos o “escalones”, con profundidades controladas.
- Cada escalón tiene una longitud definida, asegurando que el total del empalme distribuya la carga de manera uniforme.

Control dimensional

- La tolerancia del espesor de cada escalón debe ser:
 - ✓ $\pm 0,1$ mm en capas delgadas
 - ✓ $\pm 0,2$ mm en capas estructurales
- Se verifica que el solape final coincida en toda la superficie.

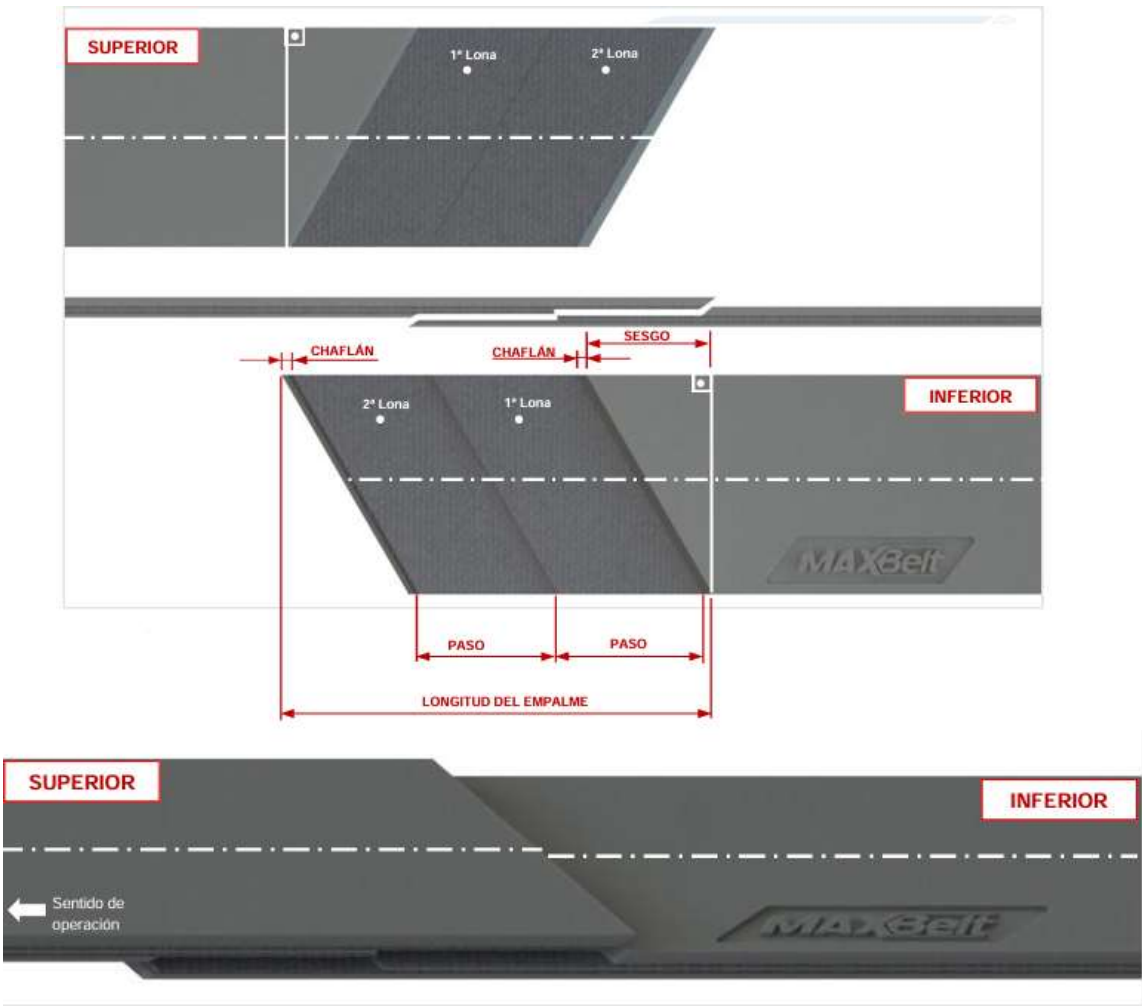


Imagen N° 14: dimensiones de empalme escalonado

D) Montaje en la Prensa termofusora

Preparación de la prensa

- Verificación de placas calefactoras limpias y sin residuos.
- Revisión del sistema de presión (neumático).

Colocación del empalme

- Las dos mitades escalonadas se superponen de acuerdo al diseño.
- Se colocan láminas antiadherentes (PTFE) y aislantes.

E) Aplicación de adhesivo de Poliuretano Bicomponente (2K PU Adhesive)

Es el sistema más utilizado para poliamida debido a su:

- Alta afinidad química con PA (hidrógeno–amide bonding)
- Excelente resistencia a la tracción
- Alta resistencia a la fatiga por flexión
- Gran durabilidad térmica
- Elasticidad controlada para soportar ciclos dinámicos

Composición típica

Componente	Función
Prepolímero de poliuretano (PU)	Base adhesiva, responsable de la cohesión y flexibilidad.
	Endurecedor que reacciona con la PA para crear enlaces fuertes.
Catalizadores	Aceleran el curado bajo presión y temperatura.
Plastificantes controlados	Ajustan la flexibilidad del empalme.
Solventes orgánicos (MEK, acetona o mezcla)	Mejoran la humectación y penetración en capas.

Parámetros típicos de ciclo térmico

(Los valores pueden variar según fabricante Ammeraal/Forbo/Continental)

Parámetro	Rango típico
Temperatura	145 – 170°C
Presión aplicada	1,5 – 3,0 bar
Tiempo de fusión	8 – 15 min
Tiempo de enfriamiento	10 – 20 min

2.4.FUSIÓN Y ENFRIAMIENTO CONTROLADO

2.4.1. Fase de calentamiento

- La presión se mantiene constante.
- La poliamida entra en estado de transición y permite el anclaje entre capas.

2.4.2. Fase de enfriamiento

- La banda debe enfriar dentro de la prensa para evitar deformación.
- No debe abrirse hasta alcanzar 70 °C.

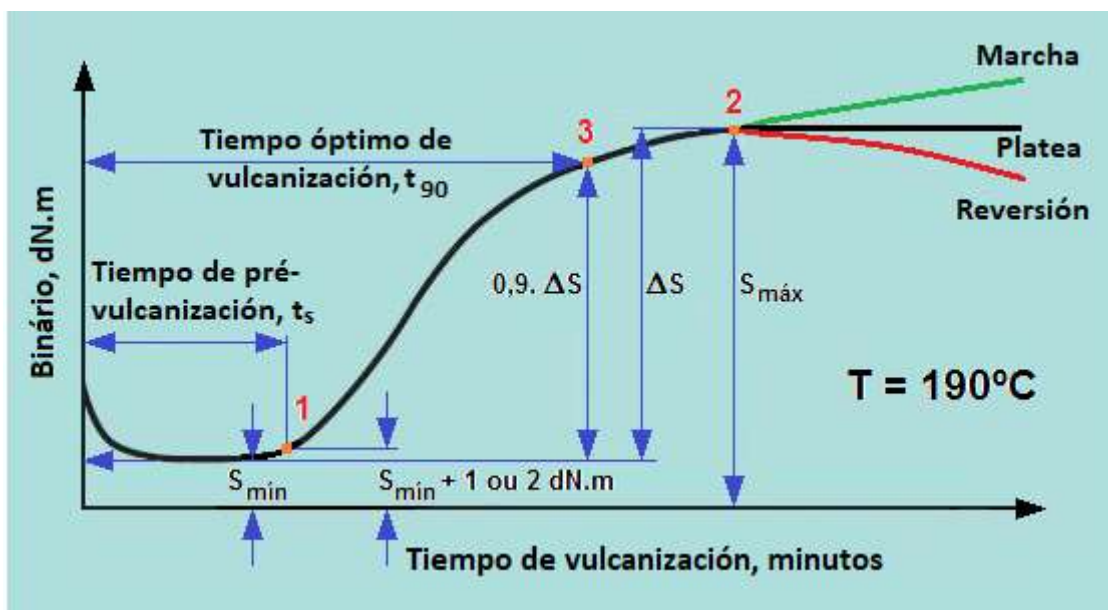
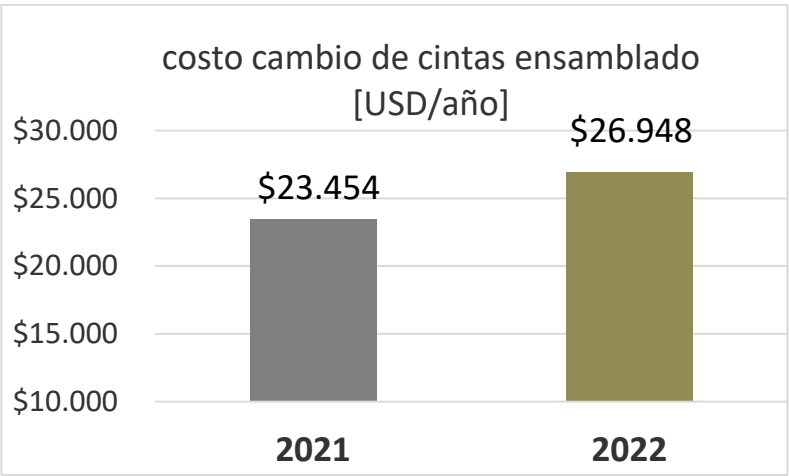


Imagen N° 15: grafico de temperatura y presión de vulcanizado

2.5. COSTOS

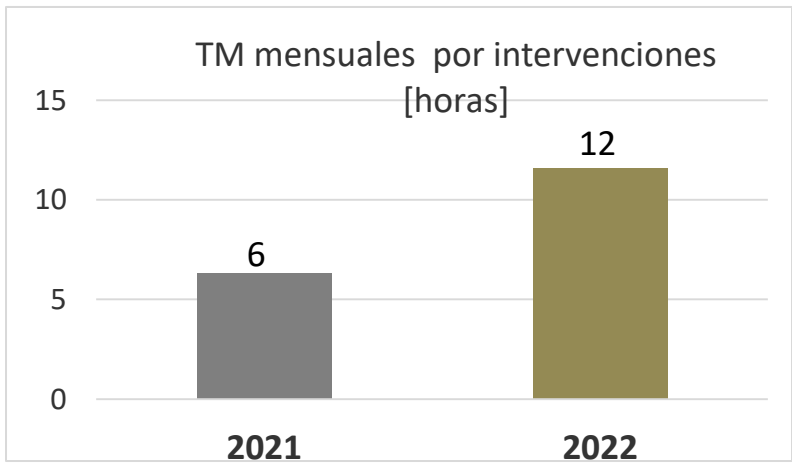
Entre los años 2021 y 2022 se observó un incremento en los costos asociados al cambio de cintas transportadoras de forma considerable, el promedio en los anos anteriores era de 20.000 USD

Los costos de mantención y los tiempos muertos de operación por consecuencia de un cambio de cinta transportadora afectan directamente a los costos operacionales de la planta.



2.6. DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS

El tiempo relacionado con la reparación de las fallas en cintas transportadoras también incremento afectando directamente a a la productividad de la planta.



2.7. SEGURIDAD

En el proceso de fabricación de la cinta transportadora se identificaron riesgos asociados a la etapa de empalme, que pueden generar un potencial accidente laboral.

A pesar de utilizar todos elementos de protección personal se requiere un cambio de procedimiento para eliminar los riesgos de:

- Contacto con elementos de corte (cuchillo cartonero)
- Contacto con químicos peligrosos (adhesivo)
- Contacto con altas temperaturas (prensa de empalme)

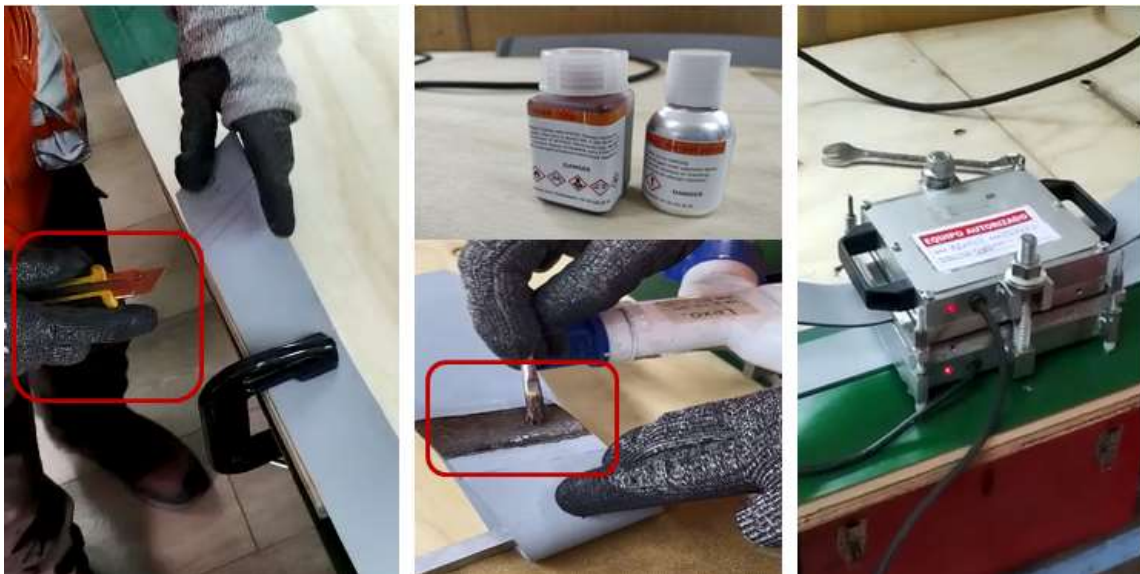


Imagen N° 16 riesgos asociados al procedimiento de empalme

III. CAPITULO 3: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

DISEÑO DE LA SOLUCION

3.1. PROPÓSITO

Tras el análisis técnico de fallas, se determinó que las rupturas recurrentes de los empalmes en los transportadores de la línea de producción plywood estaban relacionadas con:

- Empalmes escalonados sensibles a tensión y fatiga.
- Banda de poliamida con variación dimensional bajo humedad.
- Procedimiento de empalme inestable por falta de control térmico y presión uniforme.
- Falta de estandarización en parámetros de empalme y calidad.

Por lo tanto, el diseño de solución propuesto integra un cambio en el tipo de banda, el tipo de unión y la tecnología de empalme, garantizando un sistema robusto, estable y con mayor vida útil.

3.2. OBJETIVO.

- Eliminar las causas raíz de ruptura del empalme.
- Incrementar la resistencia mecánica y estabilidad dimensional.
- Optimizar el proceso de empalme con tecnología moderna.
- Reducir paradas no programadas y costos de mantenimiento.
- Aumentar la seguridad y confiabilidad operacional.

Se propone implementar una nueva metodología de empalme, utilizando cintas tipo Tessuto poliéster. Este cambio elimina la necesidad de utilizar herramientas de corte, adhesivos químicos y prensas calientes, reduciendo así los riesgos laborales y aumentando la vida útil de las cintas.

3.4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA)



Imagen N° 17: Análisis causa raíz

3.5. SOLUCIÓN INTEGRAL PROPUESTA

La solución se compone de tres elementos clave:

A. Cambio de banda a poliéster de alta resistencia (PET)

B. Cambio de unión a empalme de dedos QuickSplice

C. Implementación de prensa RAPPLON® QSP 60 LF Plus

A continuación se integran en detalle.

A) *Cambio de banda a poliéster de alta resistencia (PET)*

Como parte de la mejora integral del sistema transportador, se seleccionó una nueva banda de la línea **RAPPLON® TG QuickSplice**, diseñada específicamente para aplicaciones exigentes, con alta resistencia al desgaste y compatibilidad directa con el empalme de dedos QuickSplice.

Las características técnicas de esta familia de bandas aportan mejoras significativas en estabilidad dimensional, resistencia mecánica y vida útil operativa.

El reemplazo de la antigua banda de poliamida por una banda con núcleo poliéster (PET) mejora notablemente:

Propiedad	Poliamida (PA)	Poliéster (PET)	Beneficio
Absorción de humedad	Alta	0,3–0,8%	Estabilidad dimensional
Resistencia mecánica	Media	Alta	Mayor tracción admisible
Fatiga por flexión	Media	Muy alta	Menos delaminaciones
Estabilidad térmica	Media	Alta	Empalme más estable
Compatibilidad PU	Media	Alta	Unión más fuerte

La banda PET es ideal para ambientes húmedos, variables y abrasivos, como la industria del plywood.

Especificaciones técnicas oficiales de la nueva banda seleccionada

De acuerdo con la ficha técnica RAPPLON® TG QuickSplice (Ammeraal Beltech), los modelos utilizados para la solución son:

Item	Descrip-tion	Thickess [mm]	K1% N/mm dynamic	Min. pulley Ø in mm	Cover material bottom side	Cover material top side	Endless joining method
FBTG054576	TG E15.30 RQ	3.0	15	40	Polyamide Fabric	XNBR elastomer	QuickSplice
FBTG054577	TG E15.35 RQ	3.5	15	40	Polyamide Fabric	XNBR elastomer	QuickSplice

Imagen N° 18: datos técnicos de la cinta transportadora

- Beneficios directos:

Cobertura inferior de baja fricción (tejido PA)

- Menor rozamiento con la cama deslizante
- Reducción del consumo energético
- Menor temperatura por contacto

Cobertura superior XNBR

- Alta resistencia al desgaste por abrasión
- Apta para materiales como astillas, polvo y paneles
- Mayor agarre y durabilidad

Elementos de tracción altamente flexibles

- Funciona en poleas de Ø 40 mm
- Menor fatiga de flexión
- Mayor vida útil del empalme

Sin prácticamente elongación

- Sin necesidad de re-tensado frecuente
- Tensión operativa más estable

Total compatibilidad con empalme QuickSplice

- Geometría diseñada para diente a diente
- Mayor resistencia mecánica
- Unión homogénea y repetible

El material de la cinta transportadora fue mejorado por recomendación de empresa proveedora Ammeraal Beltech bajo algunas pruebas de tensión y resistencia. Una de las mayores características es su flexibilidad y tejido intermedio de poliéster.



Imagen N° 19: diferencias de tejidos internos de cinta transportadora.

B) Cambio de unión a empalme de dedos QuickSplice

El sistema de unión QuickSplice (unión de dedo) garantizan una unión sin fin segura y rápida sin el uso de adhesivos. Las uniones resultantes son altamente flexibles y duraderas.

- Permite realizar empalmes en la máquina de un modo rápido y sencillo
- Todas las herramientas necesarias caben en un maletín portátil
- El juego viene con alicates térmicos con ajuste de temperatura
- Tecnología de empalme produce un espesor consistente sobre un área de empalme perfectamente derecha.
- Unión segura, perfectamente alineada que todo el mundo puede empalmar
- Reducción del período de inactividad; aumento del período de actividad.

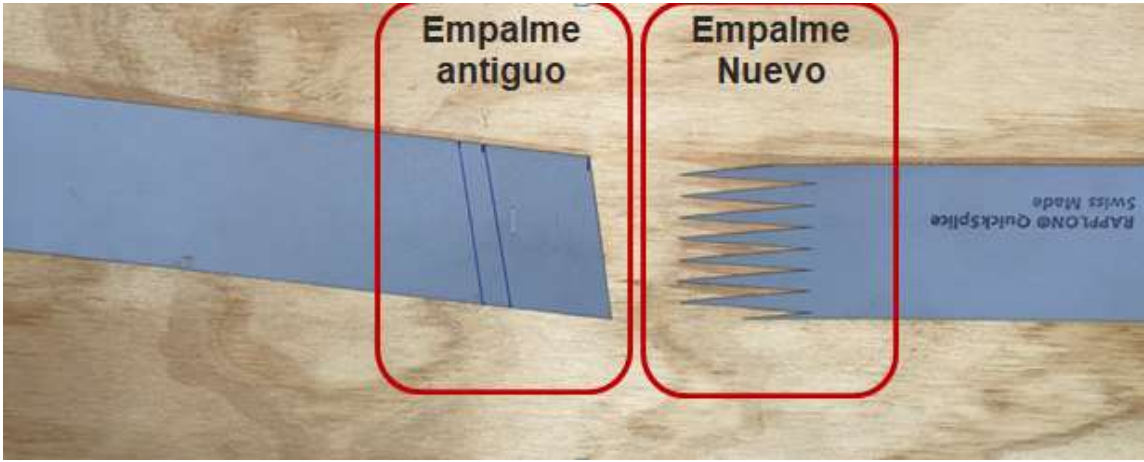
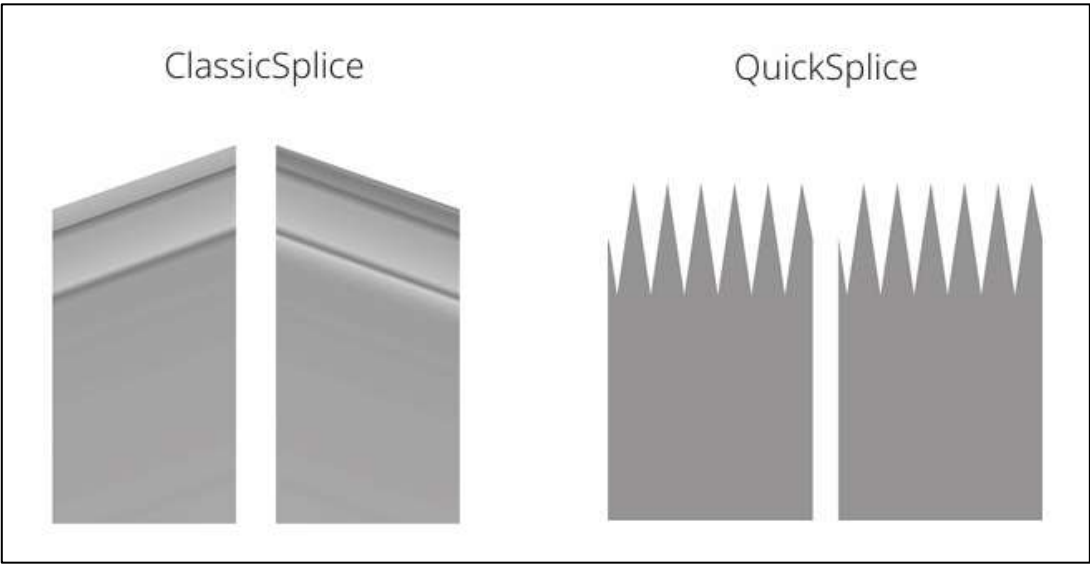


Imagen N° 20: tipos de empalmes

El empalme QuickSplice reemplaza al escalonado, ofreciendo:

- ✓ **Beneficios mecánicos:**
 - Distribución homogénea de tensiones
 - Mayor resistencia a tracción
 - Muy alta flexibilidad → ideal para poleas pequeñas
 - Reducción de delaminaciones y microfisuras
- ✓ **Beneficios operacionales:**
 - Proceso más rápido
 - Menor variabilidad entre operadores
 - Eliminación del uso de adhesivos líquidos
 - Tiempos de empalme más cortos

✓ **Parámetros típicos:**

Parámetro	Valor
Longitud del diente	70–110 mm
Temperatura	150–170 °C
Presión	1.0–1.4 bar
Tiempo calentamiento	6–12 min
Tiempo de enfriamiento	8–15 min

✓ **Reducción de Riesgos y Mejora de la Seguridad Industrial**

El reemplazo de las técnicas anteriores elimina varios riesgos operacionales importantes.

- **Eliminación del uso de cuchillos cartoneros**

El método antiguo de empalme requería:

- Corte manual de escalones
- Manipulación de cuchillos afilados
- Riesgo alto de cortes en manos y dedos (accidentes frecuentes)

Con la tecnología QuickSplice: **No se realizan cortes manuales** → el empalme viene preformado (QuickSplice).

- **Eliminación del uso de adhesivos químicos 2K**

Antes se empleaban adhesivos:

- PU + isocianatos
- Disolventes como MEK o acetona
- Riesgo por inhalación
- Exposición dérmica
- Inflamabilidad

La tecnología QuickSplice no requiere adhesivos químicos, por lo tanto: Se elimina totalmente la exposición química y el riesgo asociado.

C) Implementación de prensa RAPPLON® QSP 60 LF Plus.

Como parte fundamental del diseño de solución, se incorpora la prensa vulcanizadora **RAPPLON® QSP 60 LF Plus**, una herramienta moderna diseñada para la unión rápida y controlada de bandas termoplásticas mediante empalme QuickSplice. Esta prensa representa un salto tecnológico respecto del equipamiento previamente empleado en planta, y resuelve directamente varias de las causas raíz de fallas detectadas.



Imagen N° 21: Prensa vulcanizadora QSP 60 LF PLUS

Características Principales

- Sistema de empalme más rápido disponible
- Guías de alineación exclusivas → garantizan precisión absoluta
- Temperatura ajustable (105 a 205 °C)
- Presión ajustable
- Fabricación suiza (Swiss Made)
- Ideal para empalme QuickSplice

Accesorios incluidos en el set

- Prensa QSP 60 LF Plus
- Pinzas de enfriamiento **CP 60 LF**
- Temporizador digital
- Soporte de sujeción
- Clamps
- Espacio para 6 guías
- Maleta robusta con espuma interior

El sistema está compuesto por dos placas calefactoras de La QSP 60 LF PLUS es una prensa de empalme de alto rendimiento desarrollada por Ammeraal Beltech para la unión térmica de correas planas RAPPLON®, utilizadas en sistemas de transmisión y transporte ligero. Este equipo combina precisión, uniformidad térmica y facilidad

operativa, permitiendo la ejecución de empalmes confiables y de calidad industrial en tiempos reducidos.

El aluminio con control electrónico de temperatura, las cuales aseguran una distribución homogénea del calor a lo largo de la superficie de empalme. La regulación de la presión y el tiempo de calentamiento y enfriamiento se realiza mediante un panel de control integrado, lo que garantiza la repetibilidad del proceso y la consistencia de los resultados.

Según la ficha técnica oficial de Ammeraal Beltech RAPPLON-QSP-60LF-plus- presenta las siguientes características:

Parámetro	Especificación
Modelo	QSP 60 LF PLUS
Fabricante	Ammeraal Beltech
Tipo de equipo	Prensa de empalme térmico para correas RAPPLON®
Ancho máximo de empalme	60 mm
Fuente de alimentación	230 V AC / 50–60 Hz
Potencia instalada	1.0 kW (aprox.)
Rango de temperatura	0 – 200 °C
Control de temperatura	Electrónico, con termorregulación digital
Tiempo de calentamiento	2 – 5 minutos (según material de correa)
Sistema de enfriamiento	Enfriamiento rápido integrado
Material de las placas	Aluminio anodizado de alta conductividad térmica
Peso aproximado del equipo	12 – 15 kg
Dimensiones aproximadas	380 × 150 × 120 mm

La prensa QSP 60 LF Plus es un componente esencial de la solución final, ya que:

- Profesionaliza completamente el proceso de empalme.
- Elimina riesgos operacionales que existían con el sistema anterior.
- Garantiza empalmes perfectamente controlados.
- Maximiza el desempeño de la banda TG QuickSplice.
- Asegura un proceso seguro, rápido y repetible.

Con su implementación, la planta obtiene un sistema transportador más confiable, más seguro y con una vida útil significativamente mayor.

Características principales de las bandas QuickSplice

- Espesor de banda uniforme en la zona de empalme
- Sustitución rápida
- No tienen sentido de giro único
- Alta resistencia, incluso en diámetros de polea pequeños
- Sistema de empalme a prueba de fallos
- Tensores más cortos
- Permanentemente antiestática

"Un proceso de empalme simple y fiable que puede llevarse a cabo en 15 minutos con las herramientas de RAPPLON® QuickSplice. Lleva la mitad del tiempo en comparación con los sistemas similares de la competencia". (comentarios de los clientes después de probar la herramienta QuickSplice)





Troquelado



Preparación



Calentamiento



Refrigeración

~ 15 min

Imagen N° 22: Características principales de la maquina

Eliminación del contacto accidental con prensas antiguas de alta temperatura

Las prensas antiguas:

- Tenían superficies expuestas
- No poseían aislamiento
- Presentaban riesgo de quemaduras graves
- Poseían sistemas de enfriamiento deficientes

La QSP 60 LF Plus:

- Tiene diseño aislado
- Superficies frías externas
- Pinzas de enfriamiento CP 60 LF
- Maleta de transporte segura

Disminuye prácticamente a cero los riesgos de quemaduras.

IV. CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y CONCLUSION

El análisis económico del proyecto muestra una inversión inicial de 238 USD, con un Valor Actual Neto (VAN) a 3 años de 7.925 USD y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 47,406%. El período de recuperación de la inversión es de 0,15 meses, lo que demuestra una alta rentabilidad del proyecto.

Evaluación económica

Inversión (USD)	TIR (%)
238	7925
VAN a 3 Años (USD)	Período de recuperación (meses)
47.406	0,15
IR Antes	IR Después
6	2

arauco

Imagen N° 23: Evaluación económica del proyecto

Hay que tener en consideración que el valor de la prensa QSP 60 LF Plus está incluido en la inversión ya que está dentro de las garantías del contrato marco vigente con la empresa proveedora de los materiales.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de este trabajo permitió realizar un análisis integral del sistema de correas transportadoras de la Planta Terciados Nueva Aldea, identificando fallas recurrentes en los empalmes, procedimientos no estandarizados y condiciones operativas que afectan directamente la continuidad del proceso productivo.

A través del diagnóstico técnico, la revisión normativa y el cálculo de indicadores como MTBF y MTTR, se determinó que las detenciones no programadas se originan principalmente por empalmes deficientes, tensiones incorrectas y desgaste prematuro de componentes. La adopción de un nuevo tipo de cinta y el uso de la prensa vulcanizadora moderna representan mejoras sustanciales en seguridad, durabilidad y desempeño, reduciendo riesgos asociados al uso de cuchillos, adhesivos químicos y altas temperaturas del método tradicional.

Además, este trabajo permitió reconocer la importancia estratégica que tiene la industria maderera en el contexto global de sostenibilidad. La construcción en madera — particularmente mediante sistemas industrializados como CLT, glulam y modulación digital— se ha posicionado como una de las soluciones más eficientes para enfrentar los desafíos climáticos. La madera actúa como un sumidero natural de carbono, reduciendo significativamente la huella ambiental de los proyectos constructivos. Su carácter renovable, su capacidad de almacenamiento de CO₂ y su potencial en procesos industrializados permiten disminuir residuos, optimizar recursos y promover edificaciones más limpias y eficientes.

De este modo, mejorar la confiabilidad y continuidad operacional de los sistemas internos de transporte en plantas madereras no solo impacta en la productividad, sino que también contribuye al fortalecimiento de una industria clave para la mitigación del cambio climático. Asegurar procesos eficientes y sostenibles dentro de la planta es un eslabón fundamental para garantizar que los productos finales —tableros estructurales y soluciones constructivas en madera— mantengan su rol protagónico en el avance hacia ciudades más sustentables.

En conclusión, el plan de mantenimiento integral propuesto permite optimizar la operación, reducir costos, mejorar la disponibilidad de equipos y aportar directamente a la sostenibilidad industrial, garantizando un sistema más seguro, eficiente y alineado con las exigencias actuales y futuras del sector maderero.

RECOMENDACIONES

1. Implementar de manera inmediata el plan de mantenimiento integral, estandarizando el procedimiento de empalme y fortaleciendo las inspecciones preventivas y predictivas.
2. Mantener el uso del nuevo tipo de cinta y la prensa vulcanizadora QSP 60 LF Plus para optimizar la vida útil de los empalmes y disminuir riesgos operativos.
3. Incorporar monitoreo de condición mediante mediciones de vibración, temperatura, tensión y desgaste de componentes.
4. Capacitar continuamente al personal técnico en normativas ISO, técnicas de empalme, alineación y buenas prácticas de mantenimiento.
5. Registrar y analizar de forma sistemática indicadores de confiabilidad (MTBF y MTTR) para mejorar la toma de decisiones.
6. Verificar periódicamente la alineación de rodillos y poleas, ya que pequeños desajustes pueden generar fallas recurrentes.
7. Implementar rutinas de limpieza y control de contaminación para evitar acumulación de polvo, resinas o humedad.
8. Evaluar la incorporación futura de sensores IoT y sistemas de monitoreo remoto para avanzar hacia mantenimiento inteligente.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE LA INFORMACION

- Ammeraal Beltech. (2023). *QSP 60 LF PLUS – RAPPLON® Splicing Equipment Technical Datasheet*. Ammeraal Beltech. <https://www.ammeraalbeltech.com>
- Raute Corporation. (2023). *Company profile and solutions for veneer, plywood, and LVL industries*. Recuperado de <https://www.raute.com>
- Arauco S.A. (2023). *Innovación y desarrollo en madera estructural: Productos EWP para la construcción sustentable*. <https://www.arauco.cl/sostenibilidad/innovacion>
- Metsä Wood. (2023). *Kerto® LVL Technical Manual*. Metsä Group. <https://www.metsagroup.com/metsawood/products/kerto-lvl>
- Stora Enso. (2023). *Engineered Wood Products for Sustainable Construction*. Stora Enso Building Solutions Division. <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products>
- Weinmann Holzbausystemtechnik GmbH. (2022). *Industrial Prefabrication of Timber Construction Systems*. Holz-Her Group. <https://www.weinmann-partner.com>
- APA – Engineered Wood Association → <https://www.apawood.org>
- European Panel Federation (EPF) → <https://europanel.org>
- International Organization for Standardization (ISO). (2017). *ISO 12465 – Plywood Specifications*. <https://www.iso.org/standard/63829.html>
- ISO 5049-1:1994 — *Mobile equipment for continuous handling of bulk materials — Part 1: Rules for the design of steel structures* [iso.org](https://www.iso.org)
- Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA) — *Belt Conveyors for Bulk Materials, 7th Ed.* [cemanet.org+2cemastore.com+2](https://www.cemanet.org+2cemastore.com+2)