

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA.
SEDE CONCEPCIÓN.

**PROPONER UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL ÁREA DE
PINTADO POR VACÍO DE LA EMPRESA ITI CHILE.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título Profesional de Licenciatura en
Ingeniería en Mantenición Industrial.

Alumno: Ricardo Jorge Pérez Beltrán.

Profesor Guía: Juan José Figueroa.

Fecha: 17-01-2022

DEDICATORIA.

A Dios, por apoyarme y guiarme en cada momento de mi vida.

Al amor incondicional de mis padres y hermano que siempre me apoyaron y animaron para dedicarme a lo que más me gusta, enseñándome y cuidando cada paso que di para llegar hasta este momento.

A mi pareja, María Paz, a quien amo y quien me apoya día a día y me motiva a entregar lo mejor de mí.

A mis compañeros de universidad con los cuales siempre nos apoyamos.

A aquellos profesores que siempre tuvieron la inmensa disposición de enseñar y educar.

RESUMEN.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el propósito y gran esperanza de poder mejorar la forma en que se realiza el mantenimiento por parte del equipo de maquinistas, electricistas y operarios de la empresa ITI CHILE. La creación de este plan requirió tiempo, dedicación y arduo estudio de los diversos conceptos del RCM y cómo implementarlos de manera efectiva en la empresa.

Por esta razón, el plan propuesto indica que, en cooperación con varias partes en el campo del mantenimiento y operación, se pueden obtener enormes beneficios a mediano plazo. Para crear este plan, se comenzó con el registro de fallas de producción. Con estos fallos, se utilizaron gráficos de dispersión logarítmicos para determinar el dispositivo crítico.

El análisis SIPOC permite identificar funciones primarias y secundarias de nuestros equipos críticos, para identificar modos de falla actuales, de acuerdo con este análisis y las normas SAE J1010 y J101, asignándoles una serie de preferencias de riesgo según la norma SAE J1739. Esto permite analizar modos de falla, impactos y severidad, la tabla de decisiones del RCM II y las tareas de mantenimiento recomendadas para los modos de falla.

Para los modos de falla con una gran cantidad de prioridades de riesgo, se crearon las tareas, los empleados y el tiempo que dedicarían a cada uno de estos métodos.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES GENERALES, PROCESO OPERATIVO Y PROBLEMÁTICA	
5	
1.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	5
1.2 PROCESO OPERATIVO	6
1.3 LAYOUT DE LA LÍNEA DE VACÍO	7
1.4 SISTEMA Y PROCESO PRODUCTIVO	8
1.5 PROBLEMÁTICA	20
1.6 MANTENIMIENTO	21
2 JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLO.....	24
2.1 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA: JACK KNIFE.....	24
2.2 SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO	25
2.3 FUNCIÓN DEL HORNO TRANSVERSAL.....	27
2.4 ANÁLISIS SIPOC: HORNO TRANSVERSAL	28
2.5 GENERACIÓN DEL FMECA	29
2.5.1 FALLA FUNCIONAL.....	30
2.5.2 MODO DE FALLO	30
2.5.3 EFECTO DE FALLO	30
2.5.4 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO	30
2.5.5 CRITERIO: PROBABILIDAD DE DETECCIÓN DE UN MODO DE FALLA (PD).....	31
2.5.6 CRITERIO: PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (PO)	31
2.5.7 CRITERIO: SEVERIDAD DE LA CONSECUENCIA (SO)	32
2.6 FMECA	34
2.7 DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II	37
2.7.1 TAREAS PROACTIVAS	38
2.7.2 TAREAS A FALTA DE	39
2.7.3 TAREAS PREDICTIVAS	39
2.8 HOJA DE DECISIÓN RCM II	41
3 PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS	43
3.1.1 POLÍTICA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA	44

3.1.2	PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	44
3.1.3	MEDIDAS DE SEGURIDAD	45
3.2	FORMATO DE LA PAUTA DE TRABAJO	46
3.2.1	VERIFICACIÓN AL HORNO TRANSVERSAL	48
3.3	COSTOS ASOCIADOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	49
3.3.1	ANÁLISIS ECONÓMICO DE RENTABILIDAD	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		52
BIBLIOGRAFÍA		53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1-1 Planta de remanufactura	6
Ilustración 1-2 Primera cámara de pintado	8
Ilustración 1-3 Segunda cámara de pintado	9
Ilustración 1-4 Horno principal transversal	9
Ilustración 1-5 Horno secundario lineal.....	10
Ilustración 1-6 Mesa de pulidores ajustables	10
Ilustración 1-7 Turbinas	11
Ilustración 1-8 Motor propulsor de cinta transportadora	12
Ilustración 1-9 Cargador y guía de perfiles.....	13
Ilustración 1-10 Pulidor propulsado por motor.....	14
Ilustración 1-11 Entrada a la primera cámara de pintado	15
Ilustración 1-12 Pintura utilizada.....	16
Ilustración 1-13 Mesa transversal de alimentación.....	17
Ilustración 1-14 Cilindro accionador de rueda alimentadora de perfiles	18
Ilustración 2-1 Horno transversal.....	26
Ilustración 2-2 Salida del horno transversal por rodillos	28
Ilustración 2-3 Diagrama de decisión RCM II.....	38
Ilustración 2-4 Intervalo P-F en las tareas a condición	40

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2-1 Muestra para uso de Jack Knife.....24

Tabla 2-2 Análisis SIPOC al Horno Transversal 28

Tabla 2-3 Criterios para diagnóstico de un fallo 31

Tabla 2-4 Criterios para el diagnóstico de la ocurrencia.....32

Tabla 2-5 Criterios para la severidad del efecto.....33

Tabla 2-6 Relación entre función, falla funcional, modo de falla y efecto de falla. 34

Tabla 2-7 Asignación de la prioridad de riesgo según norma SAE J1739.....36

Tabla 2-8 Representación de la hoja de decisión RCM II 37

Tabla 2-9 Hoja de decisiones RCM II.....41

Tabla 3-1 Modos de falla ordenados por número de prioridad de riesgo 45

Tabla 3-2 Pauta de trabajo de mantención Línea de Vacío.....47

Tabla 3-3 Hoja Check List Horno transversal.....48

Tabla 3-4 Costos de repuestos y materiales a adquirir.....50

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Grafica 2-1 Diagrama de Jack Knife.....25

Grafica 3-1 Disponibilidad esperada para el periodo de producción 2022 50

ÍNDICE DE ESQUEMAS.

Esquema 1-1 Layout Línea de vacío 7

Esquema 1-2 Layout Línea de vacío 19

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA.

SIGLAS.

FMECA: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.

SIPOC: Proveedor, entrada, proceso, salida, cliente.

MTTR: Tiempo medio entre fallas.

SAE: Sociedad de ingenieros automotrices.

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

NPR: Número de prioridad de riesgo.

SIMBOLOGÍA.

KW: Kilowatt.

": Pulgadas.

m/min: Metro por minuto.

RPM: Revoluciones por minuto.

mmCA: Milímetro columna de agua.

mm: Milímetro.

INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto de título se realizará respecto a la línea de vacío que consta de las máquinas Effisa Omega FF 301 y Effisa Omega FF 302 de la empresa ITI Chile, ubicada en el Parque Industrial de Coronel. La empresa en comento se dedica a la remanufactura de madera, pintado de madera y reclasificado de la misma.

ITI Chile, de propiedad familiar, es parte del Grupo ITI de empresas ubicadas en Australia, Nueva Zelanda e Indonesia. Con más de 30 años de experiencia en la industria de productos de madera, ITI ha desarrollado y distribuido productos de madera de alta calidad y aptos para su propósito.

En el año 2016, ITI Chile invirtió fuertemente en la planta, reemplazando de esta forma muchos procesos de producción manuales obsoletos por equipos automatizados de última generación, como tecnología de escaneo y optimización, mayor capacidad del horno, prensas laminadoras, línea de tratamiento de boro y muchas más actualizaciones. Esta inversión multimillonaria no sólo ha ampliado la capacidad a 90 contenedores por mes, sino que también ha permitido que los productos cumplan con mejores estándares de calidad para los mercados de Australia y América del Norte.

El objetivo de este trabajo de título es generar un plan de mantenimiento a la línea de pintado de pintura a perfiles y molduras de madera. Estos equipos permiten el proceso de pintado con distintos materiales, tales como: barnices, lacas, tintes, entre otros materiales a base de agua, como lo es en el caso de la empresa con la que pude trabajar: ITI Chile. El principio de funcionamiento consta en bañar la pieza o perfil con la pintura al agua con el sistema de aspiración por vacío el cual a su vez permite retirar la pintura sobrante, generando el gramaje de pintura necesaria.

Se describirá rigurosamente el funcionamiento de la línea de pintado con detallados valores reales de funcionamiento y se analizarán mejoras contundentes en los sistemas mecánicos, que incluye la línea de vacío para mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

1. El objetivo general es generar y elaborar un plan de mantenimiento a la línea de vacío, el cual consta de la máquina de pintado de perfiles de madera por vacío, del área de producción de la empresa ITI Chile ubicada en el Parque Industrial de Coronel, Chile; con el fin de mejorar la confiabilidad, disponibilidad y por consecuencia, la producción de la empresa.

Objetivos específicos.

- Recopilar información técnica del contexto operacional y los antecedentes históricos de la línea de vacío de la planta de pintado ITI CHILE, priorizando un equipo crítico mediante diagrama de dispersión logarítmica.
- Jerarquizar los modos de fallo del equipo seleccionado mediante el análisis de modos de fallas, efectos y criticidad para la selección de tareas periódicas de mantenimiento.
- Planificar las tareas de mantenimiento evaluando la prefactibilidad técnico-económica, estimando los principales beneficios económicos.

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES, PROCESO OPERATIVO Y
PROBLEMÁTICA.**

1. ANTECEDENTES GENERALES, PROCESO OPERATIVO Y PROBLEMÁTICA.

En el presente capítulo se presentará una pequeña, sin embargo, minuciosa reseña de lo que es ITI (Innovative Timber Ideas); tanto de la empresa original de Australia como la de Chile. Se abarcará en el proceso de pintado de madera de la línea de vacío de la planta para la obtención de perfiles y la problemática inicial de la empresa.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES.

Desde su establecimiento en Five Dock en Nueva Gales del Sur en 1987, el Importador Independiente de Madera (ITI) se ha comprometido a redefinir el panorama de distribución y venta al por mayor de la industria de la madera. ITI trabaja en estrecha colaboración con proveedores, clientes y asociaciones de la industria para promover la resistencia, la estética y los beneficios ambientales del uso de madera. Al mismo tiempo, ITI redefine el papel de los mayoristas con su modelo de distribución y servicio. Con la inversión masiva en centros de distribución, desarrollo de productos, personal y estándares de servicio a principios de 2002, ITI abandonó el nombre de un importador de madera independiente y lo reemplazó por ITI, e introdujo un nuevo logotipo con un "concepto innovador de madera", descripción de esta actitud de la empresa.

Actualmente, ITI consta de 9 puntos de distribución en Australia y 130.000 metros cuadrados de almacén subterráneo, la fábrica de reacondicionamiento, tratamiento e imprimación de Chile, una oficina en Indonesia, 2 puntos de distribución en Nueva Zelanda y ventas en América del Norte.

De igual manera, ITI Chile se estableció en 2006 como una planta de imprimación y tratamiento para satisfacer la creciente demanda de ITI Australia de productos de madera laminada y adherida de alta calidad con el objeto de introducir sus productos de madera procesada en el mercado norteamericano.

Debido a la alta disponibilidad de pino cultivado y cosechado de manera sostenible, Chile se presenta idóneamente como el lugar preciso para construir las respectivas líneas de procesamiento y producción de imprimaciones. Cuando la planta se completó en 2006, era la planta de procesamiento de LOSP ("es una efectiva fórmula preservante diseñada para brindar protección a largo plazo de los productos de madera utilizados sobre la tierra

al aire libre”) tecnológicamente más avanzada de Chile, y continúa siendo la misma en la actualidad.

En 2010, ITI Chile se expandió de una planta de tratamiento y de imprimación a una planta de remanufactura totalmente integrada mediante la compra de una planta de remanufactura contigua, por lo que tiene la capacidad de producir 30 contenedores por mes.

En 2016, ITI Chile realizó una gran inversión en la planta, reemplazando así muchos procesos de producción manual obsoletos con equipos de automatización, dentro de los cuales se incluye moderna tecnología de escaneo, uniones de dedos de alta velocidad, aumento de la capacidad del horno, máquinas laminadoras, líneas de procesamiento y más actualizaciones.

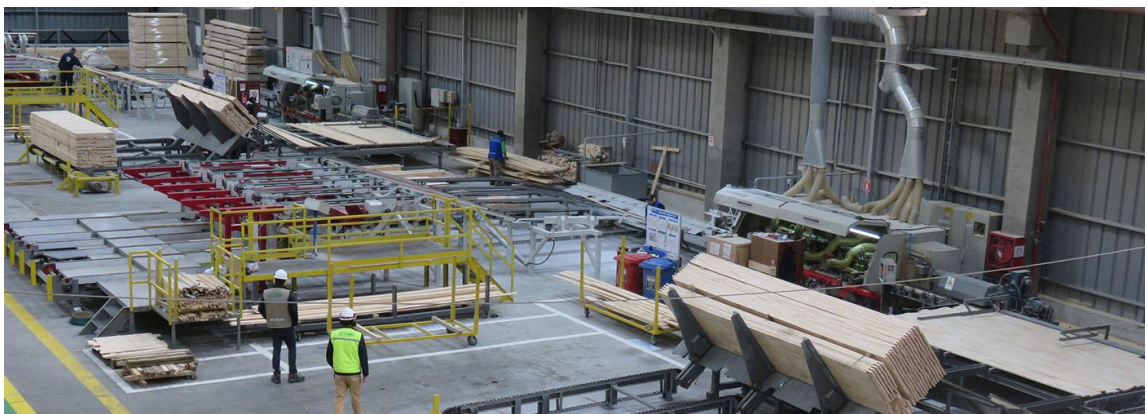


Ilustración 1-1 Planta de remanufactura

Fuente: <https://itiamericas.com/about-us/>

1.2 PROCESO OPERATIVO.

Actualmente, la empresa cuenta con tres plantas: remanufactura, pintado y reclasificado. En remanufactura se recibe la madera que no está procesada, de la cual se obtienen los perfiles de madera que son de diferentes medidas, las cuales varían respecto a las especificaciones de los clientes.

La medida más común dentro de la planta es de 16 pies de largo con 23 pulgadas de grosor, la cual cuenta con variedad de anchuras; 11”, 9”, 3”, etc. Sin embargo, el proceso continúa en la planta de pintado, la cual se encarga de pintar, clasificar y en el caso de que existan imperfecciones en la madera o pintura, reparar el producto con la finalidad de volver a pintarlo.

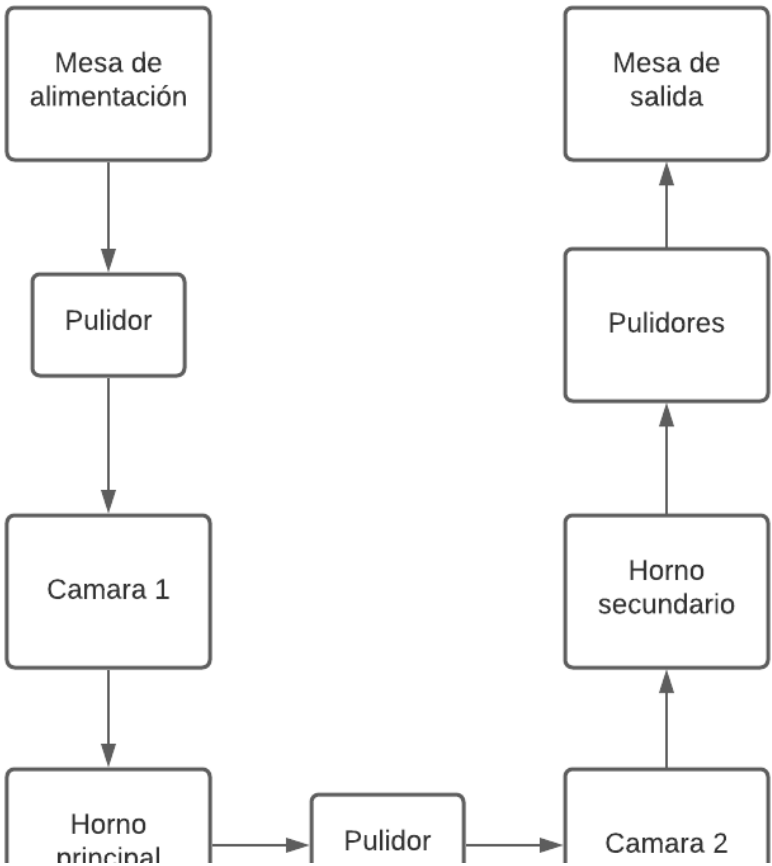
Por último, el procedimiento se sigue desarrollando en la respectiva planta de reclasificado, encargada de recibir y procesar aquella madera que no cumpla con los requisitos de calidad necesarios. El proceso consiste en disminuir las dimensiones de los perfiles a aquellas medidas que la empresa en el momento esté necesitando.

Ahora bien, la planta de pintado consta de 3 procesos principales: pintado, clasificado y embalaje. Los encargados de pintar la madera son: Airless 1 y 2 y Línea de Vacío.

A diferencia de Vacío, cabe destacar que Airless posee sólo una cámara de pintado y no cuenta con hornos. El método de secado se realiza con galpones que cuentan con ventilación continua.

1.3 LAYOUT DE LA LÍNEA DE VACÍO.

La línea de Vacío cuenta con un sistema de pintado completo, de marca Effisa. Esta área cuenta con los siguientes componentes esquematizados de manera ordenada en el siguiente layout:



Esquema 1-1 Layout Línea de vacío

Fuente: ITI CHILE

1.4 SISTEMA Y PROCESO PRODUCTIVO.

La línea de vacío está constituida por los siguientes elementos:

- Dos cámaras de pintado.



Ilustración 1-2 Primera cámara de pintado.

Fuente: elaboración propia.



Ilustración 1-3 Segunda cámara de pintado.

Fuente: elaboración propia.

- Dos hornos.



Ilustración 1-4 Horno principal transversal.

Fuente: elaboración propia.



Ilustración 1-5 Horno secundario lineal.

Fuente: elaboración propia.

- Una línea de 4 pulidores, segmentados de la siguiente manera: 2 abajo y 2 arriba.



Ilustración 1-6 Mesa de pulidores ajustables.

Fuente: elaboración propia.

- 5 turbinas.



Ilustración 1-7 Turbinas.

Fuente: elaboración propia.

- Cada cinta o cadena transportadora es propulsada por motores de 2,2 KW cada uno.

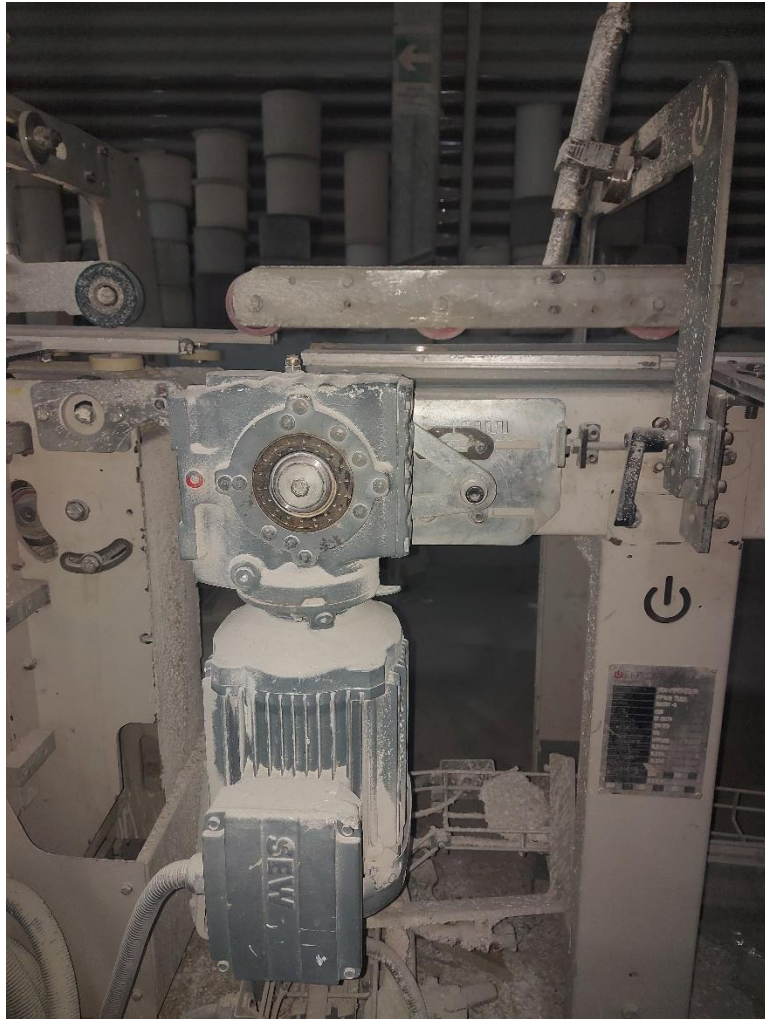


Ilustración 1-8 Motor propulsor de cinta transportadora.

Fuente: elaboración propia.

Con la finalidad de que tanto el operador como sus ayudantes trabajen correctamente, resulta menester reajustar la máquina cada vez que se cambie la medida de los perfiles. Este proceso consta de las siguientes etapas:

- Ajustar los cargadores y guías por donde son transportados los perfiles.



Ilustración 1-9 Cargador y guía de perfiles.

Fuente: elaboración propia.

- Cambiar o modificar los pulidores a la medida exacta de la superficie del perfil. Estos cuentan con un sistema de ajuste mecánico por tornillo sin fin, que permite calibrar la altura y la profundidad del pulidor con respecto al perfil.



Ilustración 1-10 Pulidor propulsado por motor.

Fuente: elaboración propia.

- Ajustar las entradas y salidas de cada cámara de pintado como se aprecia en la ilustración 1-11 Entrada a la cámara de pintado.



Ilustración 1-11 Entrada a la primera cámara de pintado.

Fuente: elaboración propia.

- Realimentar las cámaras de pintado con pintura WIL-PRO VC2000 OFF WHITE TOTE o VC2700.

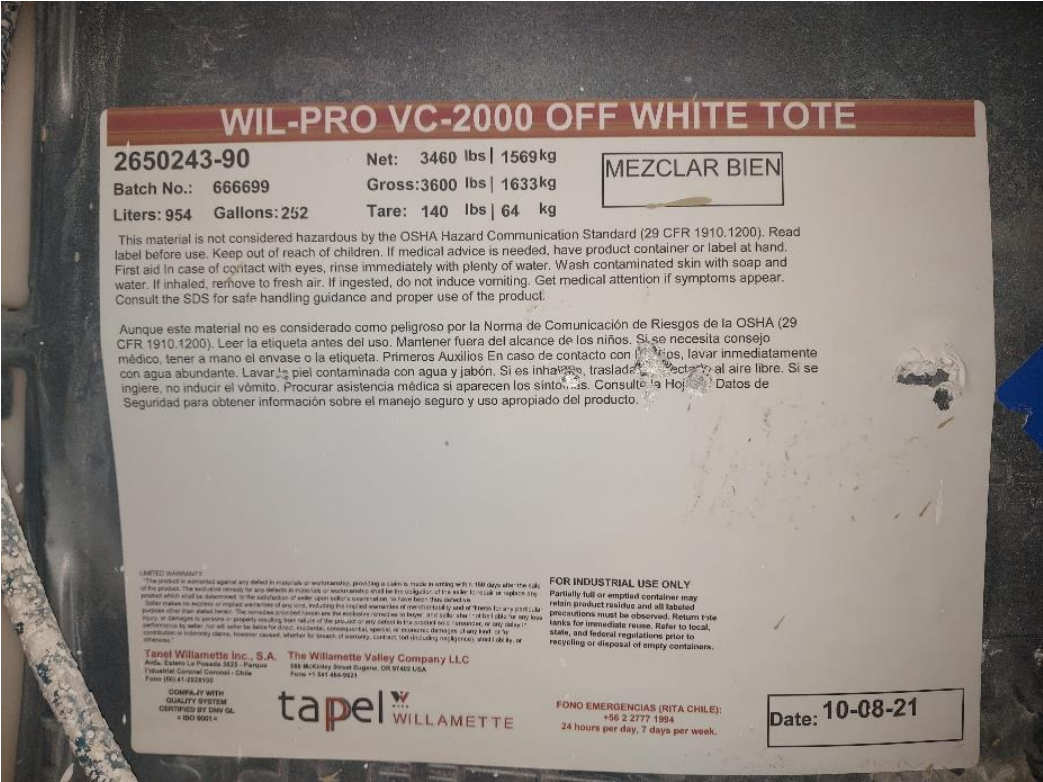


Ilustración 1-12 Pintura utilizada.

Fuente: elaboración propia.

En esta línea, el desarrollo para la obtención de un perfil de madera de calidad va en la siguiente secuencia:

1. La máquina es ajustada a la medida y especificaciones de la madera con la que se trabajará. Normalmente, este proceso demora entre 1 hora y 2 horas.
2. El alimentador de la máquina generalmente llena la mesa transportadora transversal de alimentado (ilustración 1-13) dependiendo del tamaño del producto, ya que al llenar la mesa con piezas demasiado grandes. ésta tiende a atocharse debido a que el peso del producto frena a las piezas que vienen detrás a la espera de ser introducidas a la máquina, generando paradas esporádicas en el sistema.

La madera es introducida a la máquina gracias a una rueda giratoria que actúa por un cilindro neumático (ilustración 1-14), cargando la madera contra la cinta transportadora a una velocidad media de 50 m/min.



Ilustración 1-13 Mesa transversal de alimentación.

Fuente: elaboración propia.



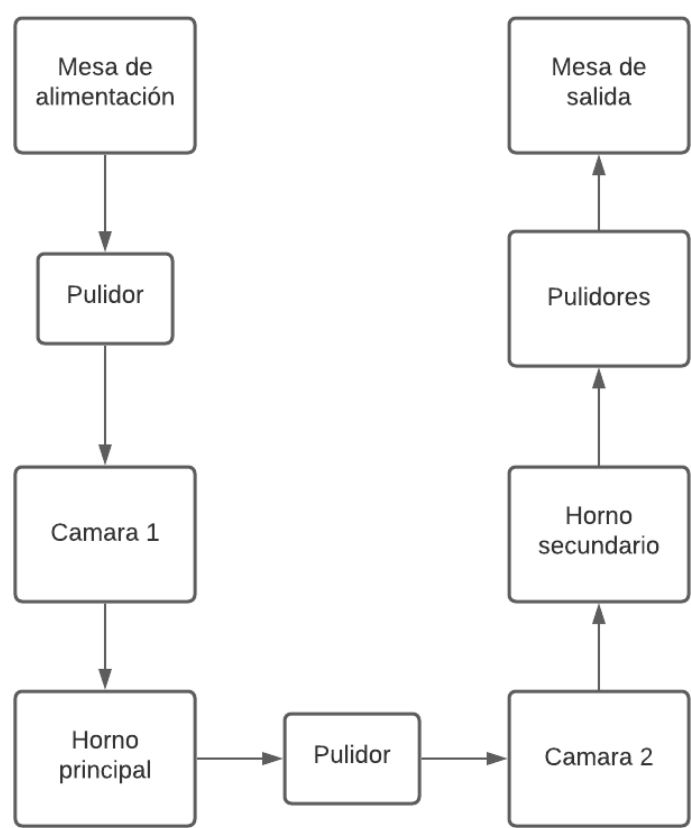
Ilustración 1-14 Cilindro accionador de rueda alimentadora de perfiles.

Fuente: elaboración propia.

3. Existen dos pulidores antes de la primera cámara, uno arriba y otro por debajo del perfil, que giran en sentido contrario de la dirección a la que va el perfil, con el fin de retirar cualquier astillado o impureza que aparezca en el perfil, las cuales trabajan a una velocidad de 1450 rpm, para que así el perfil de madera entre lo más descontaminado posible sin el peligro de que se genere una obstrucción dentro de la cámara de pintado.
4. La cámara de pintado 1, baña por completo la superficie del perfil con la pintura especificada por el cliente por el principio de vacío, el cual trabaja a una presión de 1240 mmCA.
5. Al salir de la cámara de pintado, el perfil entra al horno principal el cual es transversal al sentido de trabajo de la línea de transporte. Esto se logra mediante 5 brazos que se encargan de retirar cada perfil e introducirlo al horno. Este horno trabaja a una temperatura promedio de 80 ° Celsius y una velocidad de 4 m/min, permitiendo un secado completo de la madera.
6. Al salir del horno transversal, el perfil es recibido por múltiples rodillos giratorios que trabajan a una velocidad de 110 m/min en sentido lineal con dirección hacia dos pulidores. Éstos se ubican de la siguiente manera: uno arriba y otro abajo, que giran a una velocidad de 1450 rpm en sentido contrario a la dirección del perfil, permitiendo retirar las impurezas que se ubican en la superficie del perfil.
7. Luego, el perfil entra a la segunda cámara de pintado, la cual trabaja a una presión de 1240 mmCA, obteniendo un acabado en la pintura más pulcro, de acuerdo con lo que el cliente desea.

- 8. Por consiguiente, el perfil entra al horno secundario, el cual trabaja a una temperatura media de 550° y 650° Celsius. La alta temperatura no genera riesgo de incendio, ya que ésta se encuentra únicamente adentro del horno alrededor de 5 segundos.
- 9. Al salir del horno, la madera entra al proceso de pulido y satinado que se consigue gracias a los 4 pulidores ubicados de la siguiente manera: dos arriba y dos abajo. Dichos pulidores trabajan a una velocidad de 1450 rpm y giran en sentido contrario a la pieza. Los pulidores son ajustables en altura y profundidad, lo que permite un mayor o menor pulido y satinado.
- 10. Finalmente, la madera se encuentra con un tope, y un sensor acciona un cilindro neumático que baja los rodillos, permitiendo que la pieza entre a una mesa de 5 cintas transversales. Esta mesa de salida trabaja a una velocidad de 8 m/min. En esta etapa el área de calidad se encarga de monitorear el correcto estado del perfil y su pintura.

A continuación, se mostrará un esquema básico estructural de la línea de vacío:



Esquema 1-2 Layout Línea de vacío.

Fuente: ITI CHILE.

1.5 PROBLEMÁTICA.

Actualmente, la empresa cuenta con un déficit categórico que es comparado con años anteriores. En profundidad, la causa de este déficit se debe al incumplimiento de los mantenimientos preventivos, centrándose solamente en mantenimiento correctivo.

Igualmente, se ha podido constatar que la línea de vacío sufre de múltiples fallas que son constantemente ignoradas por la gerencia, siendo generalmente reparadas por el mismo personal a cargo de la producción en la máquina, como en este caso el operador y sus ayudantes de producción.

Por otra parte, la máquina no cuenta con un manual de mantenimiento preventivo. A raíz de esto, el único mantenimiento que se realiza a la máquina es una limpieza generalizada y estratégica, la cual es específica a los conductos y cañerías por donde transcurre la pintura.

El aumento de las fallas en los últimos 3 meses se ha incrementado debido al estado deplorable en que se encuentra la máquina: cintas transportadoras cortadas, cargadores y guías en mal estado, cadenas corroídas o flectadas. Todos estos componentes de la máquina que resultan indispensables para el correcto funcionamiento no son tomados en cuenta sino hasta que fallan y generan una detención en la producción. Se ha podido analizar y constatar que dichas fallas anteriormente mencionadas son de carácter constante y generan, al menos, dos detenciones por cada turno.

1.6 MANTENIMIENTO.

A continuación, se presentarán las distintas definiciones que ayudan a comprender el capítulo de mantenimiento de una manera más vertiginosa.

- Mantenimiento.

Se entiende por mantenimiento todas las acciones y gestiones administrativas que nos permiten resguardar, preservar o incluso restaurar todo artefacto, artículo o máquina con el fin de que éste pueda llevar a cabo su respectiva función requerida.

- Mantenimiento preventivo.

Este mantenimiento se realiza de una manera calendarizada para anticipar el surgimiento de fallas que generen un problema en el funcionamiento correcto del equipo o en su defecto la detención de éste.

Ventajas:

- Disminución de mantenimientos correctivos.
- Disminución de costos.
- Disminuciones de tiempos de detenciones por falla.
- Administración del stock de repuestos.

Desventajas:

- Aumento de costos por constantes capacitaciones del personal del área de mantención.

- Mantenimiento correctivo.

Es aquel mantenimiento cuyo fin consiste únicamente en localizar y reparar las fallas que se presentan en los dispositivos o maquinarias.

Ventajas:

- Permite extender la vida útil de los equipos.

Desventajas:

- Ante la imposibilidad de predecir el fallo, genera una detención obligada de la producción.

- A largo plazo, los costos evaluados por mantenimiento correctivo son excesivos.
- Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo o condicional evalúa el estado de la máquina y recomienda la intervención o no intervención según su estado, lo que se traduce en importantes ahorros.

Ventajas:

- Menos pérdida de material debido a paradas y reinicios no planificados.
- Reducir la tasa de intervención/diferencia año.
- Aumentar la disponibilidad de la máquina.
- Reduce el gasto en piezas de repuesto, ya que el número de intervenciones se puede disminuir durante la vida útil del activo hasta en 1/5 (por ejemplo, para rodamientos).
- Los costos de los seguros industriales son más bajos en razón de que la planta logra mejores indicadores clave de desempeño, lo que reduce los riesgos para la compañía de seguros.

Desventajas:

- Requiere una gran inversión inicial: el equipo utilizado en el mantenimiento predictivo está hecho de materiales especiales para mediciones precisas. Por lo tanto, el uso de tales instrumentos de medición implica altos costos iniciales.
- Requiere personal calificado: La implementación de esta estrategia requiere personal calificado para recopilar y analizar datos. Asimismo, es necesario invertir en la capacitación periódica de los empleados para que en el futuro estén capacitados para realizar los procedimientos de mantenimiento.
- No se aplica a todas las empresas: cada negocio tiene un objetivo específico, por lo tanto, en muchos casos no se puede aplicar el mantenimiento predictivo. Para la aplicación de esta estrategia de mantenimiento se debe consensuar razonablemente el cronograma, alcance y cooperación entre las distintas áreas del negocio. Esto incluye la gestión. Como resultado, algunas empresas optan por contratar analistas externos para realizar procedimientos de mantenimiento predictivo para máquinas o procesos específico.

CAPÍTULO 2: JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLOS.

2 **JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLO.**

En el siguiente capítulo se realizarán estudios basados en el historial de fallas proporcionados por la empresa.

2.1 **DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA: JACK KNIFE.**

Este diagrama de dispersión logarítmica se realizó basándose en los datos extraídos de la administración de la empresa por una bitácora de fallas del equipo. Esta bitácora de fallas transcurre desde inicio de agosto 2021 hasta octubre de 2021. Esta tabla se realizó en base de la clasificación de las fallas, la cantidad de éstas y el tiempo fuera de servicio.

El MTTR viene dado por la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{Numero de reparaciones}}$$

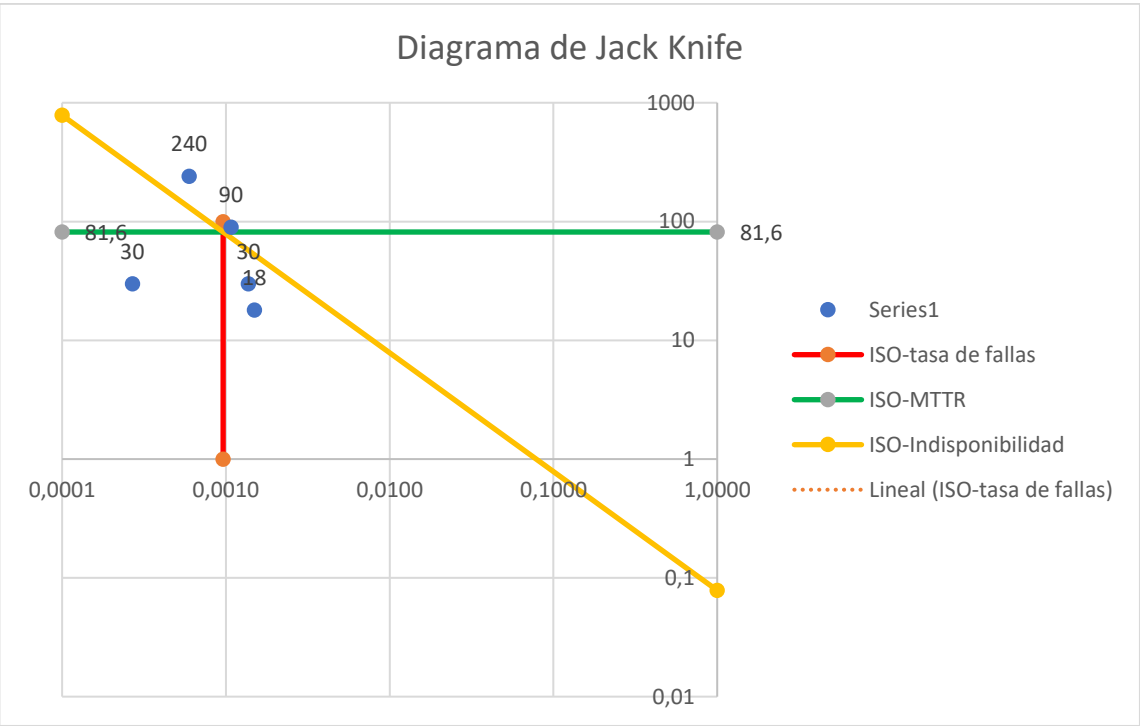
Tabla 2-1 Muestra para uso de Jack Knife.

Minutos trabajados	66960					
#	Subsistema	Cantidad de fallas	Tiempo fuera de servicio (min)	MTTR	Tasa de fallas (1/MTBF)	Indisponibilidad
1	Cámara 1	92	2760	30	0,0014	4%
2	Cámara 2	100	1800	18	0,0015	3%
3	Horno transversal	40	9600	240	0,0006	14%
4	Horno lineal	72	6480	90	0,0011	10%
5	Mesa de pulidores	18	540	30	0,0003	1%
				81,6	0,0010	8%

Fuente: Elaboración propia basándose en historial de fallas de agosto 2021 - octubre 2021.

Con los datos presentados en la anterior tabla se pudo llegar a la siguiente gráfica:

Grafica 2-1 Diagrama de Jack Knife.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el historial de fallas del sistema

Gracias a esta estrategia se pueden configurar los tiempos de indisponibilidad de los modos de falla de los equipos o sistemas. Se determinó un tiempo crítico de 120 (min), la cual, constituye o representa sin duda, una pérdida económica significativa para ITI Chile.

2.2 SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO.

El resultado entregado gracias al diagrama de Jack Knife habilita para concluir que el subconjunto crítico para el sistema, es el Horno Transversal, el cual es el encargado de secar la pintura de manera uniforme toda la sección de cada perfil de madera.

Este horno cuenta con un sistema de ventilación múltiple, el cual permite obtener una mayor temperatura en menor tiempo. De igual forma, este horno cuenta con 5 cadenas

orientadas transversalmente, las cuales desplazan convenientemente la madera de manera ordenada.

La técnica de Jack Knife indica que, el horno transversal cuenta con un modo de falla repetitivo, generando una detención importante en la producción. De este subconjunto del sistema, se generan diversas fallas que llegan a resultar críticas para la productividad de la empresa.



Ilustración 2-1 Horno transversal.

Fuente: <https://effisa.com.br/es/wp-content/uploads/2017/12/20170627100914.jpg>

2.3 FUNCIÓN DEL HORNO TRANSVERSAL.

En este capítulo, teniendo el equipo crítico ya seleccionado, se analizará este componente. El equipo cuenta con una capacidad para perfiles de hasta 5800 (mm) de largo. Las dimensiones del equipo son:

- Longitud: 10200 (mm).
- Ancho: 8900 (mm).
- Alto: 1600 (mm).

Su principio de funcionamiento consiste en secar múltiples materiales, tales como: pintura, barniz, selladores, yeso, entre otros. Sin embargo, en este proceso el material utilizado es la pintura.

Este equipo proporciona un secado uniforme, permitiendo que los perfiles procesados puedan dar continuidad a nuevos procesos como el lijado o pulido, siguiendo el flujo natural en la línea de producción de acabado de perfiles.

Este horno utiliza el gas como medio de calefacción, sin embargo, en otras industrias se puede utilizar vapor, agua caliente o resistencia eléctrica, dependiendo de la comodidad y necesidad de la empresa.

La madera ingresa al horno gracias a 5 brazos que giran en sentido antihorario y que permiten a la madera ser retirada de la línea sin mayor complejidad. Para que la pintura logre secarse por completo de manera uniforme, el horno debe estar a una temperatura de 80 ° a 90 ° Celsius. Las cadenas que transportan los perfiles dentro del horno se mueven a una velocidad de 4 (m/min).



Ilustración 2-2 Salida del horno transversal por rodillos.

Fuente: <https://effisa.com.br/projeto-detallhes/tunel-de-secagem-transversal-omega-ff-306-stgo/>

2.4 ANÁLISIS SIPOC: HORNO TRANSVERSAL.

El siguiente análisis habilita para identificar la función principal y secundaria del equipo e igualmente poder comprender y analizar de mejor manera los parámetros de funcionamiento que tiene el sistema analizado, a través de un proveedor, entradas, proceso, salidas y cliente.

Tabla 2-2 Análisis SIPOC al Horno Transversal.

SISTEMA: HORNO TRANSVERSAL.				
Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
La madera llega bañada en pintura de la primera cámara de pintado, transportada por cadenas transportadoras,	Gracias a los brazos, los perfiles son retirados del flujo de la línea, las cuales giran a una	Dentro del horno, la temperatura es de 90 ° Celsius, con 6 cadenas transportadoras que tienen un lento	A la salida del horno, los perfiles son arrastrados perpendicularmente uno por uno por 8 rodillos que giran a una velocidad de 110 (m/min).	Los perfiles son recibidos por 2 pulidores los cuales son los encargados de retirar las

completando así la primera capa de pintura.	velocidad de 2300 (RPM). De esta manera, los perfiles son ingresados de manera prolija a la entrada del horno.	movimiento de 4 (m/min), lo cual permite un secado uniforme por toda la sección del perfil.		impurezas que existan en la superficie del perfil, para luego ingresar a la segunda cámara de pintado.
---	--	---	--	--

Fuente: elaboración propia, según las funciones primarias y secundarias del horno transversal.

Del análisis, se puede deducir que, primeramente, la madera llega impregnada de pintura por todo el exterior al área del horno transversal y es retirada debido a la función de unos brazos, ser posteriormente ingresada a la entrada del horno de manera transversal.

Continuando el respectivo proceso, la madera es transportada por cadenas dentro del horno con la finalidad de secar cada perfil uniformemente. Al finalizar el proceso, la madera es devuelta a la línea gracias a unos rodillos, retirando cada perfil de manera exacta con el uso de un sensor que indica si el perfil ha salido del horno o no. Por último, la madera ingresa a otro proceso de pintado.

Con los objetivos principales y secundarios del horno transversal y mediante el análisis SIPOC, se obtiene que la función principal de este equipo es:

- Secar la madera humedecida con pintura por el proceso y transportarla a una velocidad de producción de 4 (m/min) desde el área de pintado 1 al área de pintado 2 de manera transversal.

2.5 GENERACIÓN DEL FMECA.

Gracias a los estudios, investigación y análisis que anteriormente se realizaron, en referencia al equipo crítico, se definirán algunos conceptos.

2.5.1 FALLA FUNCIONAL.

Cuando un activo físico no puede satisfacer la función deseada por el usuario, fallará. Todo lo que un activo necesita hacer se define como una función; cada función tiene múltiples funciones y, por lo general, muchas funciones diferentes.

Dado que cada una de estas funciones puede fallar, cualquier activo puede experimentar una variedad de estados de falla diferentes. Esto explica por qué es más preciso definir la falla en función de la pérdida de una función específica, en lugar de la falla del activo en su conjunto.

El proceso RCM utiliza el término "falla funcional" para describir el estado de falla, no solo "falla", por lo que, para completar la definición de falla, se deben examinar los problemas del estándar de desempeño con más cuidado. En el caso del horno transversal, éste debe transportar diferentes cantidades de madera en kilogramos, por lo cual, con el transcurso del tiempo, esto irá deteriorando la máquina significativamente, reduciendo muchas veces la producción deseada.

2.5.2 MODO DE FALLO.

Un modo de falla se puede describir como una situación que puede causar la falla de un activo, sistema o proceso.

2.5.3 EFEECTO DE FALLO.

Son los síntomas previos que nos indican que el modo de fallo está ocurriendo o lo estará.

2.5.4 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO.

A partir de los modos de falla, los impactos y el desglose de la criticidad, se identificó un número de prioridad de riesgo, NPR, para cada modo de falla, priorizando así entre cada uno. Este NPR vendrá dado por la probabilidad de ocurrencia (Po), la severidad del resultado (So) y la probabilidad de detección (Pd) de dicho modo de falla.

$$NPR = Po \times So \times Pd$$

Las variables mostradas en la ecuación anterior vienen dadas por los estándares según SAE J1739. Este estándar define números del 1 al 10, que indican debilidad severa y aguda, respectivamente.

2.5.5 CRITERIO: PROBABILIDAD DE DETECCIÓN DE UN MODO DE FALLA (PD).

Las siguientes tablas se utilizan con el fin de mostrar los distintos criterios de asignación numérica para el cálculo del número de prioridad de riesgo.

La Probabilidad de detección de un modo de fallo nos muestra, según la norma SAE J1739, la manera en que los operadores se pueden anticipar a un modo de fallo antes de que éste se convierta en un fallo funcional.

Tabla 2-3 Criterios para diagnóstico de un fallo.

Detección	Criterios: Probabilidad de detección de un modo de falla	Ranking
Casi imposible	No existen controles disponibles para detectar el modo de falla	10
Muy remota	Muy remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	9
Remota	Remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	8
Muy baja	Muy baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	7
Baja	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	6
Moderada	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	4
Alta	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	3
Muy alta	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	2
Casi cierta	Los actuales controles son casi certeros para detectar el modo de falla. Detección confiable	1

Fuente: Norma SAE J1739

2.5.6 CRITERIO: PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (PO).

Este criterio hace referencia a la frecuencia con la que ocurre un modo de fallo, teniendo una asignación numérica en el ranking.

Tabla 2-4 Criterios para el diagnóstico de la ocurrencia.

Probabilidad de falla	Posible tasa de falla	Ranking
Muy alta: La falla es casi inevitable	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con frecuencia	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Bajas: Fallas aisladas asociadas con procesos similares	1 en 15.000	3
Muy baja: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Remota: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos	≤ 1 en 1.500.000	1

Fuente: Norma SAE J1739

2.5.7 CRITERIO: SEVERIDAD DE LA CONSECUENCIA (SO).

Este criterio se debe seleccionar de acuerdo con las consecuencias operacionales que tiene la producción respecto al equipo analizado.

Tabla 2-5 Criterios para la severidad del efecto.

EFEECTO	CRITERIO: Severidad del Efecto.	RANKING
Peligros sin Advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla no se advierte al ocurrir.	10
Peligros con Advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla se advierte al ocurrir.	9
Muy Alto	Perturbación grave a la línea productiva. Las pérdidas pueden alcanzar al 100% del producto. Equipo inoperable, pérdida de la función primaria. Cliente muy insatisfecho.	8
Alto	Perturbación menor en la línea productiva. La producción puede tener que ser ordenada y una part desechada (menor al 100%). Equipo operable, pero con un nivel de calidad reducido. Cliente insatisfecho.	7
Moderado	Perturbación menor en la línea de producción. Una porción (enor al 100%) puede ser desechada (no ordenada). Equipo operable, pero con algunos ítems de confort inoperables. El cliente experimenta insatisfacción.	6
Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. 100% del producto tiene que ser adaptado. Equipo operable, pero con algunos ítems de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta algo de insatisfacción.	5
Muy Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. El producto puede ser ordenado y una porción (menor al 100% adaptado. Ajustes y terminaciones y sonidos en el ítem no están en conformidad. Defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
Menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menos al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y chirridos que no estan en conformidad. Defecto notado por el promedio de los clientes.	3
Muy Menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menos al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y pequeñas vibraiones en el ítem que no están en conformidad. Defecto notado por la minoría de los clientes.	2
Ninguno	Sin efectos.	1

Fuente: Norma SAE J1739

NPR permite priorizar, en el momento del mantenimiento, dónde algunos modos de falla presentan mayores riesgos que otros, ya sea para la seguridad del trabajador o la producción o una de las variables que pueden verse afectadas por fallas por ese modo. Los modos de falla con NPR superior a 60 se considerarán para los propósitos de este estudio, con las tareas de mantenimiento relevantes realizadas para cada modo en la tabla de decisiones de RCM.

2.6 FMECA.

En la siguiente tabla 2-6 se observa la relación existente entre la función de cada elemento del equipo crítico, su respectiva falla funcional, el modo de falla y el efecto de la falla.

Tabla 2-6 Relación entre función, falla funcional, modo de falla y efecto de falla.

Equipo:	#	Función.	#	Falla funcional.	#	Modo de falla.	#	Efectos de la falla.
Horno transversal .	1	Retirar el perfil de la línea para ser ingresada al horno transversal.	1.1	Atascamiento de perfiles en la entrada del horno.	1.1.1	Desajuste del tope de salida de la línea.	1	Ruido, rotura de piezas y detención de la máquina.
					1.1.2	Velocidad de giro de los brazos excedido.	1	Ruido, rotura de piezas y detención de la máquina.
	2	Secar y transportar los perfiles dentro del horno.	2.1	Perfiles húmedos.	2.1.1	Conductos de ventilación apagados.	1	La madera sale completamente húmeda.
					2.1.2	Bajo nivel de temperatura.	1	La madera sale completamente húmeda.
			2.2	Atascamiento de perfiles dentro del horno.	2.2.1	Desacople de una o dos cadenas al giro del motor rotativo.	1	Ruido por atascamiento.
					2.2.2	Peso excesivo de los perfiles transportados.	1	Ruido por atascamiento.

	3	Retirar el perfil del horno transversal para ser ingresada a la línea.	3.1	Atascamiento de los perfiles a la salida del horno.	3.1.1	Sensor de salida desajustado.	1	Atascamiento y rotura de perfiles.
					3.1.2	Cinta transportadora desacoplada.	1	Atascamiento y rotura de perfiles.
					3.1.3	Entrada a la línea demasiado pequeña para el perfil.	1	Atascamiento y rotura de perfiles.

Fuente: elaboración propia, de acuerdo con función, modo de falla y efectos de la falla.

Finalmente, en la tabla 2-7, se encuentra la asignación de prioridad identificada por un número, según la norma SAE J1739.

Tabla 2-7 Asignación de la prioridad de riesgo según norma SAE J1739.

#	Modo de falla	Análisis de criticidad			
		Po	So	Pd	NPR
1.1.1	Desajuste del tope de salida de la línea.	3	6	5	90
1.1.2	Velocidad de giro de los brazos excedido.	5	6	4	120
2.1.1	Conductos de ventilación apagados.	4	8	9	288
2.1.2	Bajo nivel de temperatura.	4	8	8	256
2.2.1	Desacople de una o dos cadenas al giro del motor rotativo.	3	7	10	210
2.2.2	Peso excesivo de los perfiles transportados.	5	6	10	300
3.1.1	Sensor de salida desajustado.	7	6	5	210
3.1.2	Cinta transportadora desacoplada.	6	5	7	210
3.1.3	Entrada a la línea demasiado pequeña para el perfil.	8	7	5	280

Fuente: Elaboración propia, de acuerdo con los criterios de la norma SAE J1739

2.7 DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II.

El diagrama de decisión RCM II permite analizar las consecuencias de las fallas. Dichas consecuencias pueden ser en relación con la seguridad y medio ambiente, operacionales y no operacionales o fallas ocultas. El objetivo de este diagrama es generar tareas de mantenimiento para cada modo de fallo analizado en el FMECA. A continuación, la tabla 8-2 está representado de manera sencilla la forma que debe tener la hoja de decisión RCM.

Tabla 2-8 Representación de la hoja de decisión RCM II.

Sistema: Horno transversal																	
Subsistema: Entrada al horno, horno, salida del horno.																	
Referencia de la información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas a falta de			Tareas de mantenimiento		Frecuencia inicial	Realizarse por:	NPR
							S1	S2	S3								
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	N3	H4	H5	S4					

Fuente: Elaboración propia, de acuerdo con el texto RCM II, John Moubray, 2004.

La información en la hoja de decisión permite organizar los datos del FMECA a través del diagrama de decisión RCM II, asignando tareas de mantenimiento para cada modo de fallo (MF) y eliminar las fallas funcionales (FF).

Ahora bien, para comprender de mejor manera esta tabla, se definirá a grandes rasgos cada aspecto de esta. Cuando se encuentra una falla oculta, se designa como H, las consecuencias en la seguridad son S, la E corresponde a las consecuencias en el medio ambiente y la O son las consecuencias operacionales y no operacionales.

Luego, las columnas que continúan van de acuerdo con cada una de las letras anteriormente mencionadas, asignándoles un número del 1 al 3. Éstas representan el tipo de tarea proactiva que se realizará mediante la respuesta Si o No a las preguntas en el diagrama de decisión.

Las columnas H4, H5 y S4 son aquellas a las que no se le asignan tareas proactivas y que están registradas como “tareas a falta de”.

También, existe la columna de “tareas de mantenimiento” las cuales se registran para cada modo de fallo analizado, en el que exista una tarea propuesta que se requiere para mitigar la falla funcional.

El encargado de llevar a cabo la labor de mantenimiento asignado se registra en la columna de “realizarse por”.

Finalmente, el NPR, el cual se ha calculado anteriormente, indica el número de prioridad de riesgo para cada modo de falla.

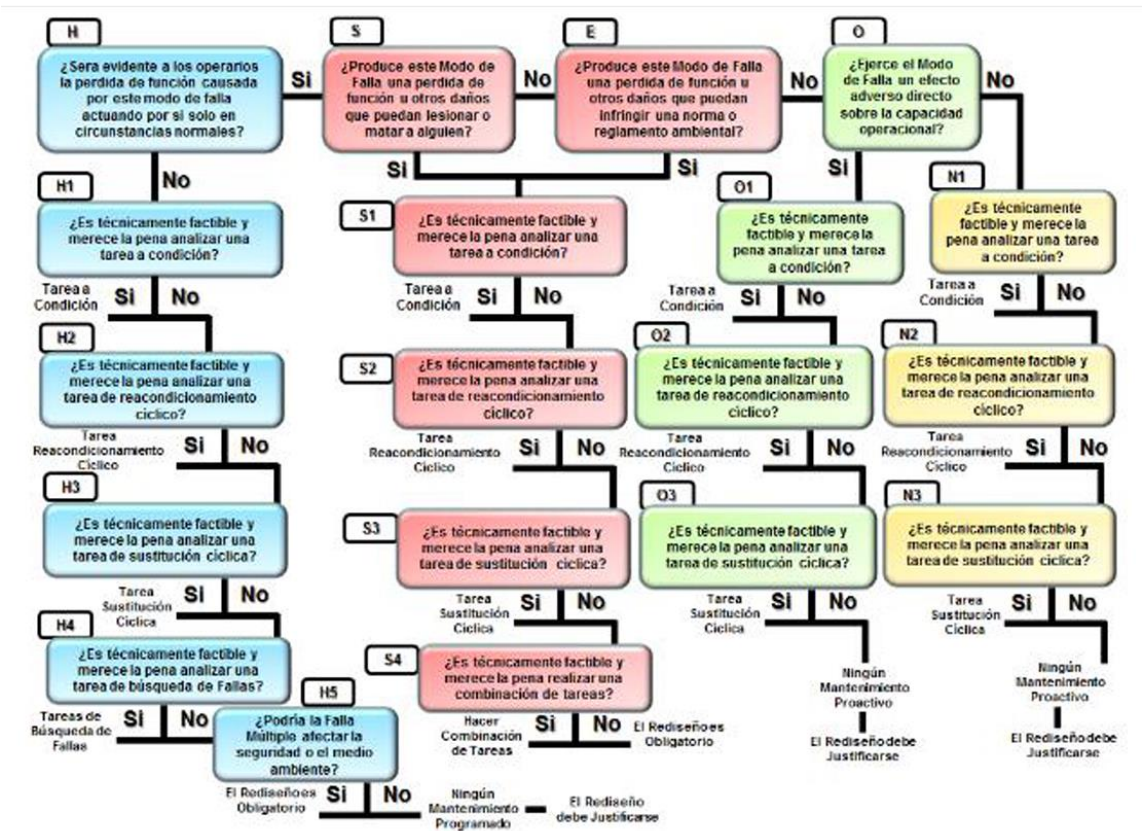


Ilustración 2-3 Diagrama de decisión RCM II.

Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM II, John Moubray.

Se debe responder cada modo de fallo con la pregunta H, la cual debe ir continuando la rama de decisiones de acuerdo con la respuesta de SI o NO, hasta llegar a un tipo de tarea.

2.7.1 TAREAS PROACTIVAS.

Es un mantenimiento muy común denominado preventivo, aunque RCM utiliza términos como “tareas de reacondicionamiento” o “sustitución cíclicos”. “Estas tareas se llevan a cabo antes que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla” (Moubray, 2004).

La persona que ejecuta el RCM escoge las tareas anteriormente mencionadas, mediante su propio criterio, el cual toma en cuenta los costos y efectividad que tendrá sobre los componentes.

A continuación, se definirán las tareas de reacondicionamiento, de sustitución y a condición:

- Tareas de reacondicionamiento cíclico: “El reacondicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento”. Evita que el componente alcance su zona de desgaste, produciendo un fallo potencial y dando origen a una falla funcional del equipo.
- Tareas de sustitución cíclica: “Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independientemente de su condición en ese momento”. Ésta se diferencia de la anterior, ya que, el componente que falla se sustituye por uno nuevo.

2.7.2 TAREAS A FALTA DE.

“Éstas tratan con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento a rotura o correctivo” (Moubray, 2004).

- Tarea de búsqueda de fallas: Se aplican a activos para el reconocimiento de nuevas fallas que puedan ocurrir. Mitiga las condiciones que ayudan a que las fallas funcionales sean más concurrentes.
- Tareas de rediseño: Cuando un activo está produciendo altas pérdidas a la empresa, se recurre a este tipo de tarea. Esto implica que la empresa debe tener en cuenta los altos costos por el diseño de un nuevo componente o la adquisición de éste.
- Tarea a rotura o correctiva: Este tipo de tarea es aplicable cuando los activos poseen una tasa de fallo constante a lo largo de su vida útil. Se utiliza el máximo de tiempo de un componente, sin intervenir, hasta que algún componente se dañe, reemplazándolo por uno nuevo.

2.7.3 TAREAS PREDICTIVAS.

Las tareas predictivas o a condición, son aquellas que consisten en verificar si existe alguna falla potencial, para que ésta se pueda intervenir, previniendo una falla funcional del componente y evitando las consecuencias de ésta.

Se trata de predecir si el elemento va a fallar, por lo que toma este nombre de mantenimiento predictivo, o también mantenimiento basado en la condición. Estas tareas deben ser realizadas a intervalos menores al intervalo PF, que es el período de tiempo

entre el momento en que ocurre una falla potencial y su decaimiento hasta convertirse en una falla funcional.

- Tareas de mantenimiento a condición: Este tipo de tareas recae en el monitoreo del equipo, permitiendo anticiparse a la falla funcional que está por ocurrir en algún componente del equipo. Se debe considerar que todos los equipos trabajan dentro de parámetros que son normales para su funcionamiento, y existen, por tanto, síntomas en los equipos que permiten anticiparse a un fallo potencial que esté por ocurrir, con el objeto de evitar un posterior paro por avería del equipo.

Dicho intervalo PF se puede ver a continuación, en el cual P, representa un fallo potencial. A su vez, F nos muestra el punto en el cual el equipo queda inoperante por producirse un fallo funcional. Fuente: RCM II, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Figura 24. Intervalo P— John Moubray F en las tareas a condición.

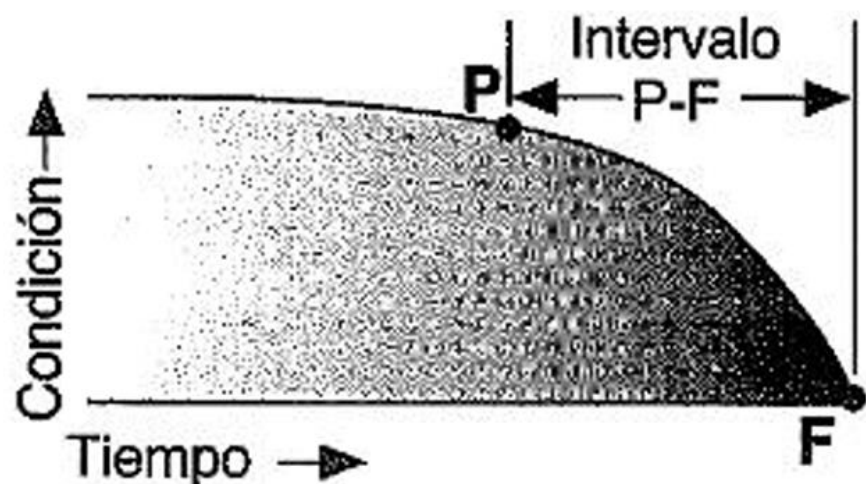


Ilustración 2-4 Intervalo P-F en las tareas a condición.

Fuente: RCM II, Mantenimiento centrado en la confiabilidad - John Moubray.

2.8 HOJA DE DECISIÓN RCM II.

Tabla 2-9 Hoja de decisiones RCM II.

Sistema: Horno transversal.																	
Subsistema: Entrada al horno, horno, salida del horno.																	
Referencia de la información.			Evaluación de las consecuencias.				H1	H2	H3	Tareas a falta de			Tareas de mantenimiento.	Frecuencia inicial.	Realizarse por:	NPR	
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3								
							E1	E2	E3	H4	H5	S4					
							O1	O2	N3								
1	1.1	1.1.1	S	N	N	S	S							Tareas a condición. Chequeo de longitud de los perfiles.	Semanal.	Mecánico 1.	90
		1.1.2	S	N	N	S	S							Tareas a condición. Recalibración de velocidad de giro de los brazos.	Semanal.	Mecánico 2.	120
2	2.1	2.1.1	N				N	N	N	S				Tareas de búsqueda de fallas. Diagnostico al sistema eléctrico del horno transversal.	Mensual.	Ingeniero Electromecánico.	288
		2.1.2	S	N	N	S	S							Tarea a condición. Chequeo y diagnóstico del panel de ajustes.	Semanal.	Ingeniero Eléctrico	256
	2.2	2.2.1	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento cíclico. Realizar recalibración a las paletas y guías de la cadena.	Mensual.	Mecánico 1.	210
		2.2.2	N					N	N	N	S				Realizar un estudio de búsqueda de fallas.	Mensual.	Ingeniero en Mantención.
3	3.1	3.1.1	S	N	N	S	S							Tarea a condición. Chequear el ajuste correcto de los sensores.	Semanal.	Electromecánico.	210
		3.1.2	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento cíclico.	Mensual.	Mecánico 2.	210
		3.1.3	S	N	N	S	S							Tarea a condición. Chequear el ajuste de cada guía o cargador.	Semanal.	Mecánico 1.	280

Fuente: Elaboración propia, basándose en texto RCM II, John Moubray, 2004.

**CAPÍTULO 3: PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y
COSTOS ASOCIADOS.**

3 PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS.

En el presente capítulo se realizará un estudio de la planificación de las tareas de mantenimiento para la mitigación de las fallas, y el estudio de la evaluación económica de la propuesta del plan de mantenimiento para la empresa.

Se presentará la comparativa y las principales ventajas entre la manera de realizar el mantenimiento ya existente de la empresa ITI CHILE y la propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, así como también las consecuencias esperadas de la implementación de RCM.

Del análisis técnico realizado, se concretó que la planta de pintado de la empresa usaría para cada modo de fallo, con un número de prioridad de riesgo superior a 60, una tarea de mantenimiento adecuada, basada en uno de los tipos de mantenimiento existente: Preventivo, correctivo, o predictivo.

La capacidad de la producción es de 29 [ton/semana], que deben ser pintados y transportadas continuamente por las líneas de pintado hacia el área de embalaje. Para ejecutar esto, actualmente en la empresa se realiza un tipo de mantención correctivo o a la rotura, es decir, cuando el mecanismo deja de funcionar o se rompe, se procede a realizar el cambio por un componente nuevo. Esto es consecuencia de que no existe un plan de mantenimiento por parte del departamento de mantención y que de esta manera, se logran en muchos casos los objetivos de producción planteados por la gerencia.

De este modo, se desconocen los niveles de producción que puede lograr la empresa utilizando un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Difícilmente será perjudicial si se tiene en cuenta la buena predisposición de los operadores, los mecánicos, los eléctricos e ingenieros.

Si técnicamente es viable, se parte porque económicamente también lo sea, y para lograr esta comprobación, se realizará el estudio correspondiente de ambas partes, comparando éstas con las ya existentes.

3.1 PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Se requiere llevar a cabo tareas de mantenimiento proactivo, cambiando la ejecución de los mantenimientos que existen en la actualidad en la empresa. El enfoque consiste en disminuir las mantenciones correctivas, aumentando también la disponibilidad de los activos.

Tareas como la creación de rutas de lubricación para los motores y cadenas, inspecciones rutinarias para ver el estado de los componentes, y más importante, generar los procedimientos que den seguridad a quien ejecutará la tarea y que se muestre el paso a paso de la mantención es de vital importancia para tener un protocolo de seguimiento y registro de lo que se realiza. Las competencias técnicas que requiere el trabajo son de mecánica, rodamientos y lubricación, neumática.

3.1.1 POLÍTICA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA.

En la actualidad, en la empresa no existe un plan para realizar reparación a los componentes que fallan. La forma de operar consta en que, en los tiempos de producción, simplemente se realizan reparaciones correctivas a los equipos, es decir, se reparan al fallo.

Para esto se cuenta con una sola persona, el electromecánico, encargado de realizar rondas por los equipos. Por otra parte, los operarios, cuentan con 6 ayudantes, de los cuales sólo el operador posee conocimientos adquiridos por experiencia en la empresa. Esto, sin duda, es peligroso, puesto que si se cuenta con personas encargadas de realizar inspecciones de rutina en frecuencias de tiempo adecuadas, más el electromecánico, se podrían prevenir fallas funcionales de los equipos, evitando pérdidas de producción.

3.1.2 PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO.

La planificación de mantenimiento implica los tiempos utilizados para realizar el tipo de mantención prediseñado, la persona encargada y la tarea que debe ejecutar en el área del equipo que el modo de falla involucre.

Es importante realizar un diseño para las tareas y procedimientos que se deben llevar a cabo, con el fin de registrar las condiciones de trabajo del equipo o componente que se evaluará.

Para lograr la implementación de RCM y generar un aumento en la disponibilidad de los equipos, es de suma importancia que los formatos que se diseñen presenten con total claridad cada procedimiento y tarea que llevará a cabo el personal de la empresa a los equipos con los que cuentan, recopilando toda la información, para que ésta misma sirva como respaldo en un futuro.

Para lograr el avance que se espera, la presente planificación se trabajará con hojas de procedimientos y formato de Check List. Esta pauta de trabajo será realizada asignando tareas en orden de prioridad de riesgo según NPR de los modos de falla, para esto se reordenó la tabla presentada en el capítulo 2 para el FMECA:

Tabla 3-1 Modos de falla ordenados por número de prioridad de riesgo.

#	Modo de falla.	Análisis de criticidad.		Pd	NPR
		Po	So		
2.2.2	Peso excesivo de los perfiles transportados.	5	6	10	300
2.1.1	Conductos de ventilación apagados.	4	8	9	288
3.1.3	Entrada a la línea demasiado pequeña para el perfil.	8	7	5	280
2.1.2	Bajo nivel de temperatura.	4	8	8	256
2.2.1	Desacople de una o dos cadenas al giro del motor rotativo.	3	7	10	210
3.1.1	Sensor de salida desajustado.	7	6	5	210
3.1.2	Cinta transportadora desacoplada.	6	5	7	210
1.1.2	Velocidad de giro de los brazos excedido.	5	6	4	120
1.1.1	Desajuste del tope de salida de la línea.	3	6	5	90

Fuente: Elaboración propia, basándose en norma SAE J1739

3.1.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD.

Para llevar a cabo un mantenimiento seguro se debe de seguir un protocolo estricto de seguridad; existen 5 puntos importantes que se deben considerar y poner en práctica:

1. Identificar y comunicar las máquinas que necesitan ser aisladas: Se deben incluir todas las fuentes de energía y los puntos de aislamiento. Se debe, igualmente, informar a los supervisores y demás trabajadores en la zona (empleados afectados) que se seccionará el accionamiento de la maquinaria.
2. Apagar la maquinaria y el equipo, detener la máquina, desenergizar el motor, vaciar de presión una manguera.

3. Aislar todas las fuentes de energía: liberar toda la energía acumulada, tales como líquidos, gases o polvo de las bombas, tuberías, presión hidráulica o neumática en caso de existir, vapor, etc. Se deben posicionar los interruptores de aislamiento en OFF (APAGADO) y se debe dejar una tarjeta de seguridad que impida o advierta a cualquier tercero de no energizar las máquinas.
4. Subdividir el accionamiento y etiquetar todos los puntos de aislamiento: Es necesario colocar una tarjeta de seguridad en los lugares donde sea posible advertir a cualquier tercero que no debe de energizar el equipo, la etiqueta de peligro debe incluir información de contacto del responsable que esté a cargo de la mantención, en caso de cualquier posible problema, se deben dar las explicaciones correspondientes.
5. Verificar si la máquina ha sido inhabilitada: con los interruptores en posición OFF, y los motores correspondientes desenergizados, se debe accionar el botón de INICIAR para ver si la máquina arranca o no.

Luego de este último paso, los electromecánicos del área de mantenimiento pueden empezar a realizar las tareas al activo.

Además de estos procedimientos, existen 5 reglas para el personal que esté involucrado en la mantención, las cuales son:

1. Toda aquella persona que entre en el área de la intervención de la máquina debe recibir una capacitación anual en relación con la seguridad y con respecto al peligro que representa el movimiento de las piezas.
2. El personal que trabaje con la máquina debe llevar puesta ropa adecuada, se prohíbe ropa suelta y accesorios.
3. El personal que tenga el cabello largo debe llevarlo recogido.
4. El personal que esté trabajando en cintas transportadoras debe estar totalmente informado de los aspectos de seguridad de la máquina y conocer los peligros de área en que trabaje. Las áreas de peligro deben estar demarcadas con etiquetas o adhesivos, o de ser necesario, letreros.

3.2 FORMATO DE LA PAUTA DE TRABAJO.

Determinando los puntos seguros para realizar las tareas y entendiendo los riesgos que existen cuando se trata de equipos, la directiva de trabajo sólo nombra una serie de pasos que deben tomar quienes van a realizarlos.

El horario de trabajo es de vital importancia, ya que incluye las tareas a realizar, las personas que las realizan, los registros de los trabajadores con sus nombres, firmas y horarios de mantenimiento de los equipos, y proporciona las horas de trabajo que deben realizar.

Cabe destacar que este tiempo es el óptimo para realizar la tarea, y puede variar dependiendo de las condiciones del entorno de trabajo. Este modelo marcará el anverso y el reverso de la empresa, y se lleva a cabo en las etapas de producción y en una serie de pruebas a medida que concluye la temporada.

En la imagen de la página siguiente se puede ver el formato que incluirán las instrucciones de trabajo para los trabajadores y el tiempo necesario para completarlas, en el que se realizarán las tareas de mantenimiento en orden de prioridad por nivel. La prioridad numérica del riesgo para cada modo de falla, por lo que es posible especificar un método específico para realizar todas las operaciones involucradas en el patrón de negocios.

Tabla 3-2 Pauta de trabajo de mantención Línea de Vacío.

N.º	Tarea por realizar	Realiza	Nombre	Firma	Fecha	HH
1	Des energizar motor eléctrico	Electromecánico				0,5
2	Interruptores de aislamiento posición OFF	Electromecánico				0,5
3	Activar los botones de paradas de emergencia	Electromecánico				0,5
4	Verificación la correcta inhabilitación de la maquinaria	Electromecánico				0,5
5	inspección visual a los ejes que contienen los piñones transmisores de potencia	Electromecánico				0,3
6	Comprobar el alineamiento entre los ejes y el motor	Electromecánico				0,5
7	Comprobar el estado de los rodamientos	Electromecánico				0,5
8	Engrasar los rodamientos	Electromecánico				1
9	Verificar el estado del aceite del motor	Electromecánico				0,5

10	Verificar el estado de las cadenas que mueven los carriles	Electromecánico				1
11	Verificar el estado de los ventiladores de los hornos	Electromecánico				2
12	Inspección de vibración de los motores	Electromecánico				2
13	Inspección de vibración de los rodamientos	Electromecánico				0.5
14	Verificación de la temperatura de los motores	Electromecánico				1
15	Inspección de ruidos	Electromecánico				0,5
16	Verificar la calibración de guías y cargadores	Electromecánico				1
17	Verificar vibración en las cintas transportadoras	Electromecánico				1
18	Revisión de las protecciones térmicas	Electromecánico				0,5
19	Limpieza de filtros de pintura	Electromecánico				1
20	Verificar el estado de las cámaras de pintado	Electromecánico				2
	Total, HH					16,8

Fuente: Elaboración propia, basándose en hoja de decisión RCM II.

3.2.1 VERIFICACIÓN AL HORNO TRANSVERSAL.

Se diseña un Check List para el horno transversal, con el fin de registrar la correcta ejecución del mantenimiento.

A continuación, se muestra el formato de las hojas de Check List para el Horno Transversal:

Tabla 3-3 Hoja Check List Horno transversal.

ITI CHILE – Coronel – 2021

Check List: Horno Transversal			
Ítem	Actividad	Si	No
1	Verificar energía en el tablero eléctrico		
2	Verificar Temperatura de quemadores		
3	Verificar la ventilación		
4	Verificar pernos de sujeción		
5	Verificar alineamiento con los carriles		
6	Verificar cadenas de transmisión		
7	Verificar aceite de motor		
8	Verificar rodillos de salida		
9	Verificar correas transportadoras		
10	Verificar brazos de entrada		
Observaciones			
Nombre			
Fecha			
Firma			

Fuente: Elaboración propia, Check List Equipo Horno Transversal

3.3 COSTOS ASOCIADOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

Esta sección evalúa el costo de realizar tareas de mantenimiento para reducir los modos de fallos específicos y la eficiencia del mantenimiento, en relación con los costos directos, como materiales.

El grupo de tareas determinará la duración de las tareas a realizar, dependiendo de si se trata de una condición, una reparación periódica, un reemplazo periódico, un diagnóstico o una reparación.

La empresa mantiene el costo de mano de obra o el costo de la hora de trabajo, por lo que el valor será muy cercano al valor real. En este punto, se evaluarán los costos existentes por los modos de falla elegidos, traducidos en tiempo y efecto en función de cómo afecten al proceso de fabricación, para comparar con cómo se está realizando el mantenimiento actual, con los nuevos procedimientos de mantenimiento.

A continuación, en la siguiente página, se muestra la tabla 3.4. Costos de repuestos, los costos de los materiales que se deben utilizar.

Tabla 3-4 Costos de repuestos y materiales a adquirir.

Repuesto	Cantidad	Precio Unitario	Total
Cinta transportadora	10	\$ 10.990	\$ 109.900
Correa con superficie de agarre	3	\$ 18.990	\$ 56.970
Rodillo	5	\$ 20.990	\$ 104.950
Rueda con rodamiento	5	\$ 21.990	\$ 109.950
Mobil Chainlube	1	\$ 45.067	\$ 45.067
Mobil Grease MP	1	\$ 40.240	\$ 40.240
Mobigear 600 XP 220	1	\$ 82.808	\$ 82.808
Total			\$ 549.885

Fuente: Elaboración propia, basándose en cotización productos nacionales.

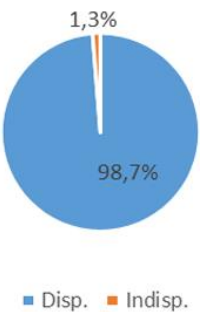
3.3.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DE RENTABILIDAD.

Si se realiza un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, se ven señales muy positivas para la empresa.

Esto significa que es posible lograr esto y hacer RCM, siempre que el foco esté en el origen, así como en el foco selectivo importante, que en este caso es el horno horizontal. Reducción del tiempo de inactividad por falla del equipo, menor probabilidad de falla en el próximo período y vida útil actual en comparación con el período anterior, todo enfocado en medir la efectividad de la adopción de RCM, que se espera que mejore drásticamente con la adopción del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Como se puede apreciar en la Figura 3.7. Con la implementación del RCM, se espera lograr un 98,7% de disponibilidad que, a efectos ilustrativos, es generado por el gráfico circular.

Grafica 3-1 Disponibilidad esperada para el periodo de producción 2022-

Disponibilidad esperada para
período de producción 2021



Fuente: Elaboración propia, en base a la mejora esperada por implementación del RCM II.

El aumento de la disponibilidad de los equipos en un 1%, equivale a disminuir los tiempos de parada de 15 a 10 horas, teniendo en cuenta que el costo por hora es de \$2.121,5 UF, esto significaría que la empresa tendrá una ganancia de:

$$5 (h) \times 2121,5 \left(\frac{UF}{H} \right) = 10,607.5 UF$$

Considerando los costos por repuestos y materiales que se deben adquirir para la implementación del plan de mantenimiento, hace un total de 17,71 UF en gastos totales.

Teniendo en cuenta que el RCM logrará aumentar la disponibilidad, aumentando en 1%, para obtener la rentabilidad de este proceso, se debe sustraer el costo total de los costos para implementar el plan de mantenimiento al ingreso total recién estudiado, entonces la ganancia esperada será de:

$$GANANCIA = 10,607.5 UF - 17,71 UF = 10,589.7 UF$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Luego de haber abordado rigurosamente cada punto analizado en el presente trabajo de investigación, y teniendo en consideración los diferentes comentarios en relación a los esquemas, valores, imágenes, se permite llegar a la conclusión de que principal problema de la empresa es la falta de capacidad de planificación adecuada para los activos, creando de esta manera, un notorio desorden durante el mantenimiento de prioridad y equipo.

La propuesta de crear un plan de mantenimiento efectivo se ha presentado como una solución, la cual se encuentra respaldada por las normas SAE J1011, J1012 y SAE J1739 y que conllevarían aparejado el resultado de reducir la falla y, a su vez, aumentar el uso de la capacidad de dispositivos.

Al seleccionar un equipo crítico, el sistema de descentralización de los modos de falla, el análisis de la clave y las subfunciones para completar la tabla de decisiones de FMECA y RCM II y la tarea de prioridad de riesgo para cada modo predeterminado, puede entender cuántas tareas deben ser priorizadas para otros.

La propuesta se ha beneficiado de la compañía desde la fase de detención incorrecta para producir pérdidas significativas de ganancias, además de crear un proceso tangible para los trabajadores relacionado con el correcto proceso de mantenimiento, el cual debe ser de una manera clara y segura.

Finalmente, se puede mencionar que la aplicación RCM siempre es efectiva, mientras que el enfoque sea el correcto. Se determina la importancia de un grupo, así como la prioridad de la tarea que minimiza la falla, pero siempre resulta de suma importancia mantener la motivación de los trabajadores, quienes son el activo precisa para que la gestión se lleve a cabo y se mantenga en función de la confiabilidad. El desarrollo de la política de mantenimiento juega un papel relevante para RCM que puede ser sostenible a lo largo del tiempo debido a los activos y procesos que forman parte de la evolución permanente, estas políticas deben ajustarse por tiempo.

Debería leer el texto RCM II, John D del ejercicio original. Mouble, 2004, así como las regulaciones de SAE que se denominan durante el trabajo actual para familiarizarse con la implementación del proceso de implementación de RCM.

BIBLIOGRAFÍA.

Autor Personal.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (Reliability – centred Maintenance) Edición en español, 2004. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados.

