



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Departamento de Posgrados

Maestría en Gestión del Mantenimiento V2

Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de activos de la sección de enlozado en la planta de producción de línea blanca Indurama Ecuador.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

Magíster en Gestión del Mantenimiento

Autor:

Ing. Xavier Felipe Ochoa Parra

Director:

Ing. Robert Rockwood Iglesias Mgst.

CUENCA-ECUADOR

2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, cuyo apoyo incondicional, ejemplo de esfuerzo y constante motivación han sido fundamentales para alcanzar cada uno de mis objetivos. Gracias por enseñarme a perseverar y confiar en mis capacidades.

Agradecimiento

Agradezco sinceramente a la Universidad del Azuay por su compromiso con la formación académica y a sus docentes por su dedicación y acompañamiento, compartiendo sus conocimientos de manera generosa y constante, lo cual ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo y para mi crecimiento profesional.

Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de activos de la sección de enlozado en la planta de producción de línea blanca Indurama Ecuador.

Ochoa Xavier, Rockwood Robert.

¹ Universidad del Azuay – Maestría en gestión del mantenimiento 2024, aseet4.it@es.uazuay.edu.ec

² Universidad del Azuay – Maestría en gestión del mantenimiento 2025, rrockwood@uazuay.edu.ec

Correspondencia: aseet4.it@es.uazuay.edu.ec, Tel: +593995224725

Resumen:

Este trabajo propone la implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para la maquinaria crítica de la sección de enlozado en la planta de producción de línea blanca Indurama, buscando mejorar la confiabilidad, disponibilidad y reducción de costos operativos. Para ello, se identificarán los activos críticos, sus modos y efectos de fallo (AMEF) y se diseñarán estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y basado en condición, estableciendo intervalos óptimos y cronogramas eficientes orientados hacia un mantenimiento proactivo. El proyecto busca mejorar indicadores clave como el Tiempo Medio Hasta la Falla (MTTF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), integrando herramientas de análisis de datos para una gestión eficiente de activos. Además, promueve la optimización de recursos, la seguridad operativa y ofrece una metodología replicable para otras máquinas críticas, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible.

Palabras clave: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM, Activos Críticos, Gestión de Activos.

Abstract:

This study proposes the implementation of a Reliability-Centered Maintenance (RCM) plan for critical machinery in the enameling section of Indurama's white goods production plant, aiming to improve reliability, availability, and reduce operational costs. To achieve this, critical assets will be identified, along with their failure modes and effects (FMEA), and specific preventive, predictive, and condition-based maintenance strategies will be developed, establishing optimal intervals and efficient schedules focused on proactive maintenance. The project seeks to enhance key performance indicators such as Mean Time To Failure (MTTF) and Mean Time To Repair (MTTR), integrating data analysis tools for effective asset management. Furthermore, it promotes resource optimization, operational safety, and provides a replicable methodology for other critical machines, contributing to more efficient and sustainable production.

Keywords: Reliability-Centered Maintenance, RCM, Critical Assets, Asset Management.



Contenido

1. Introducción	1
2. Metodología	5
2.1 Jerarquización de los activos en base a su criticidad	5
2.2 Implementación del modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	7
2.3 Proceso de mejora continua - validación y actualización del RCM	8
2.4 Indicador de efectividad del RCM	8
3. Resultados	9
3.1 Identificación de equipos críticos	9
3.2 Descripción de equipos críticos	9
3.2.1 Horno de enlozado 302-007	9
3.2.2 Cabinas de aplicación	10
3.3 Recolección de información de activos críticos	10
3.4 Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC)	10
3.5 Propuesta de actualización de plan de mantenimiento	12
4. Conclusiones	14
Referencias	14

1. Introducción

Indurama desde su fundación en 1972, se ha consolidado como una empresa líder en la fabricación de electrodomésticos de línea blanca en Ecuador, destacándose por su crecimiento en infraestructura, procesos y activos a lo largo de sus 52 años de trayectoria. Actualmente, la compañía opera con 1.152 activos, entre los que se encuentran maquinaria de producción y equipos de pruebas operacionales de los productos fabricados. Su planta productiva divide sus procesos en prefabricados y ensamblaje.

Dentro de la zona de prefabricados se realizan los procesos de corte, troquelado, embutido, doblado, mecanizado, soldado, limpieza, y finalmente enlozado de láminas metálicas que posteriormente pasarán a ser parte de la estructura y bastidor de los diferentes productos de línea blanca fabricados (Mora Hurtado, 2002), dentro del área de enlozado el personal operativo alimenta las cabinas de aplicación con los componentes metálicos conformados. Estos componentes son transportados hacia el interior de las cabinas, donde se aplica esmalte en polvo de manera uniforme. Una vez finalizada esta etapa otro grupo de operarios se encarga de trasladar el material hacia la cadena del horno. Esta cadena guía las piezas esmaltadas hacia la zona de cocción, donde el material es sometido a altas temperaturas para lograr el curado del esmalte, asegurando así su adherencia, durabilidad y acabado final. El proceso de enlozado se considera de alta importancia ya que en él convergen varios componentes que alimentan las diferentes líneas de ensamblado, por ello la indisponibilidad de cualquier equipo de esta área afecta la capacidad productiva neta de la empresa; adicionalmente algunos fallos en esta línea ocasionan deficiencias en la calidad del componente, y ya que los productos inconformes no pueden volver a ser procesados, se los considera como desperdicio (scrap) de alto costo para la empresa.



Figura 1: Proceso de aplicación y curado de piezas.

En el área de enlozado se dispone de cabinas electrostáticas, hornos de curado, secaderos y equipos auxiliares como gatas, tecles y pirómetros, que permiten aplicar y curar el esmalte de forma controlada, garantizando calidad en el acabado, y el cumplimiento de estándares. En la tabla 1 se describe la función principal y sus características técnicas más importantes.

Tabla 1. Descripción de características técnicas de maquinaria de la sección de enlozado.

Equipo	Código Interno	Función Principal	Características Técnicas
Cabina Enlozado GEMA	328-005 H4645	Aplicación de esmalte electrostático	Sistema automático, pistolas con super corona, filtro autolimpiante.
Horno a Gas VET	302-007 H445	Curado de esmalte	Temperatura máx: 850°C, control por termocuplas tipo J, gas GLP, quemadores modulantes
Cabina Esmalte Pol WAGNER	328-001 T1321	Aplicación de esmalte	Sistema de aplicación automático, flujo de aire controlado, filtros de cartucho
UPS Planta Kehuatech	999-003 S0000	Respaldo de energía eléctrica	Capacidad: 10 kVA, autonomía: 15 min, tecnología online doble conversión
Equipo Electrostático	307-011 T1289	Carga electrostática de polvo	Voltaje de salida: 100 kV, corriente: 100 μ A, con sistema de tierra y regulación
Secadero	311-004 T1305	Secado de piezas antes del curado	Aire caliente forzado, temperatura máx: 150°C, control de humedad y temporizador
Tecle MIT Cranes	301-041 T1274	Elevación de cargas	Capacidad: 3 ton, eléctrico, altura de izaje: 4 m
Gata Hidráulica Jungheinrich	701-076 T1535	Elevación puntual de cargas	Capacidad: 5 ton, sistema hidráulico, base reforzada
Pirómetro Viajero	324-001	Medición puntual de temperatura	Rango: 0-1200°C, precisión \pm 1%
Tanques Desengrase Hierro	715-034, 715-033	Limpieza inicial de piezas	Capacidad: 1.500 L, material: acero inoxidable, temperatura: hasta 75°C
Tanque Ácido	715-031	Ataque químico superficial	Ácido fosfórico, acero inoxidable, control de pH
Tanque Desengrase Aluminio	715-035	Limpieza de piezas de aluminio	Solución alcalina, agitación por aire, volumen: 1.500 L

A pesar de disponer de planes de mantenimiento basados en recomendaciones de fabricantes y en el historial de averías, los cuales son gestionados a través del programa de Planificación de Recursos Empresariales (ERP). La línea de enlozado enfrenta paradas recurrentes en sus procesos productivos, la figura 1 muestra el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y Tiempo Medio hasta la Falla (MTTF) de equipos críticos de esta línea de producción en el período **enero – diciembre de 2024**.

Tiempo Medio Hasta la Falla (MTTF)



Tiempo Medio de Reparación (MTTR)

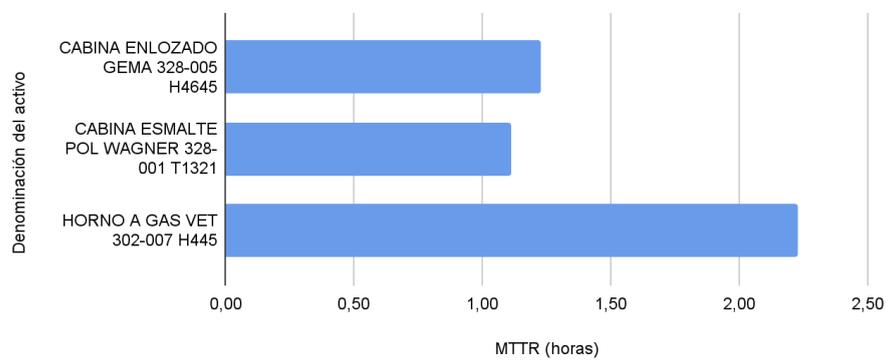


Figura 2. Tiempo Medio Hasta la Falla (MTTF) y Tiempo Medio de Reparación (MTTR) de equipos críticos, sección de enlozado. Periodo enero - diciembre 2024.

Al calcular la disponibilidad generalizada (tabla 2) de los activos seleccionados durante el mismo período (enero - diciembre 2024), y considerando la importancia del proceso de esmalto en la producción de la empresa, se justifica emprender cambios en el modelo de gestión de su mantenimiento.

Tabla 2. Disponibilidad generalizada de activos críticos, sección de enlozado. Período enero - diciembre 2024.

Denominación	Disponibilidad
CABINA ENLOZADO GEMA 328-005 H4645	87,48%
CABINA ESMALTE POL WAGNER 328-001 T1321	87,55%
HORNO A GAS VET 302-007 H445	91,70%

Para ello se plantea la elaboración de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los activos críticos de la sección de enlozado en la planta de producción de Indurama Ecuador.

El presente proyecto busca desarrollar una estrategia de mantenimiento que aumente la disponibilidad de los equipos críticos, minimizando los tiempos de inactividad, asegurando una operación continua, y productos de alta calidad. Para lograrlo, en primer lugar se jerarquizarán los activos en base a una matriz de criticidad, identificando aquellos cuya falla tendría el mayor impacto en la producción, posteriormente se empleará el modelo RCM en los equipos críticos seleccionados, analizando sus modos de falla y estableciendo tareas de mantenimiento efectivas.

Esta propuesta busca no solo abordar las deficiencias actuales en la gestión de mantenimiento de esta línea de producción, sino también establecer un marco de trabajo sostenible y adaptable que garantice la continuidad operativa y refuerce la posición de Indurama en el competitivo mercado de línea blanca.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) fue desarrollado en los años 60 y 70, por Nowlan y Heap en la industria de la aviación. En función del incremento de vuelos se incrementaron los accidentes producidos por la falla de los equipos, para ese entonces la estrategia de mantenimiento utilizada era preventiva, es decir cambio de componentes en base a una frecuencia periódica sin considerar su estado funcional (Araujo Parra, 2020; Moubray, 2004).

La estrategia del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se enfoca en las actividades necesarias para garantizar que un activo cumpla sus funciones, a través de la comprensión de las consecuencias y el costo de cada una de sus fallas (Poveda Guevara & Lozano, 2012), permitiendo dirigir los recursos hacia la prevención de los fallos más críticos, incrementando efectivamente la confiabilidad de sistemas y equipos.

La metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se encuentra estandarizada por las normativas SAE JA 1011 "Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)" y SAE JA 1012 "Una Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad", la misma que se presenta en la figura 3.

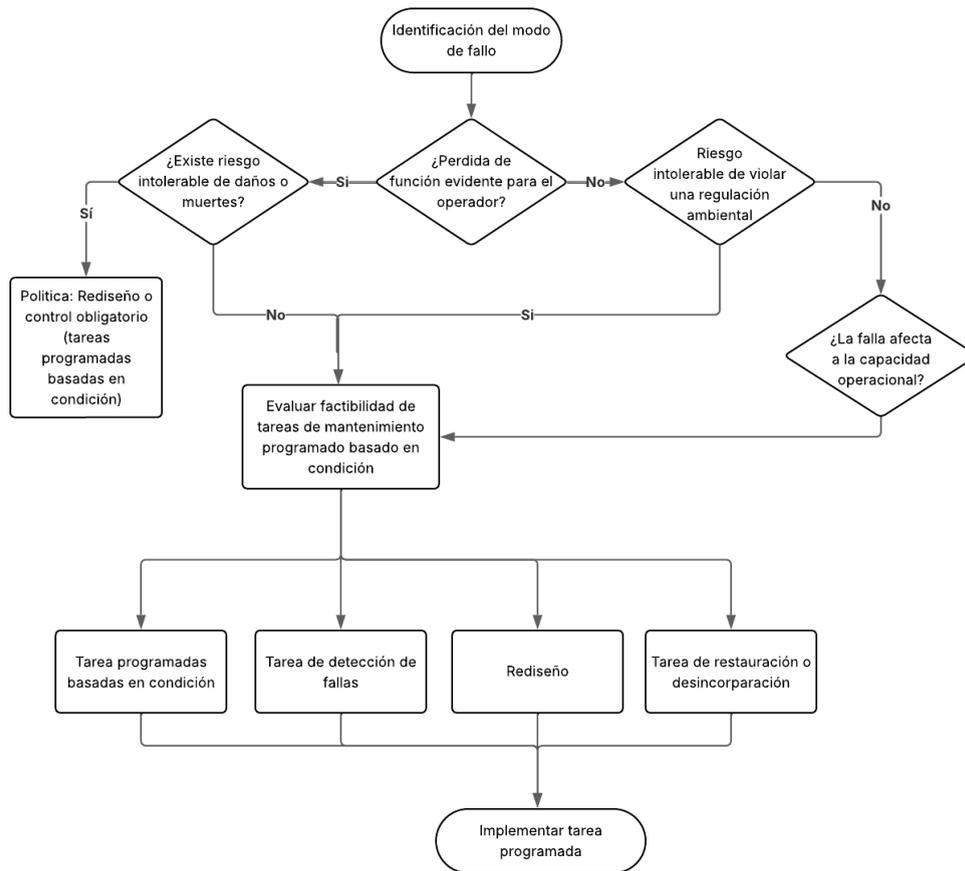


Figura 3. Diagrama de decisión RCM en base a SAE JA1012.

2. Metodología

Para cumplir con los objetivos establecidos en el estudio, se implementó la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), siguiendo los lineamientos de la norma SAE JA1011. Esta metodología permite definir una estrategia integral, considerando el mantenimiento como el medio para mantener las funciones requeridas de la maquinaria.

2.1 Jerarquización de los activos en base a su criticidad

La jerarquización de los activos se realiza determinando su criticidad, la cual es un indicador directamente proporcional al nivel de riesgo que representan. Para ello, se evalúa la frecuencia de fallos y sus consecuencias potenciales en ámbitos como la seguridad, la calidad, la operación y el medio ambiente. Este enfoque permite ordenar los activos según el impacto que tendría su falla, de manera que los procesos, sistemas o equipos más críticos reciban prioridad en la asignación de recursos y en las estrategias de mantenimiento, optimizando la eficiencia operativa y facilitando la toma de decisiones (Araujo Parra, 2020; Sainz et al., 2024).

Los criterios de evaluación se implementaron mediante una clasificación ABC como se muestra en la tabla 3, en la cual se asigna niveles de severidad a los factores de seguridad, calidad, tiempo de utilización, aficción a la línea de ensamble, confiabilidad y mantenibilidad, de acuerdo con su impacto potencial en la operación y la probabilidad de ocurrencia. Los niveles A, B y C establecen

umbrales que van desde consecuencias graves como accidentes o reclamos de clientes hasta paradas de bajo riesgo sin impactos significativos. Para cuantificar la confiabilidad y mantenibilidad, se adoptaron umbrales de MTTF y MTTR, conforme a las buenas prácticas del sector industrial.

Tabla 3. Factores de evaluación de criticidad.

Factores de evaluación	Criterios de evaluación		
	A	B	C
Seguridad y medio ambiente	En caso de sufrir una avería provoca accidente grave o contaminación al medio ambiente	En caso de sufrir una avería puede provocar algún tipo de accidente pero solo pérdidas materiales. No está en peligro el medio ambiente	En caso de que sufra una avería no hay probabilidad de provocar cualquier tipo de accidente. No hay riesgo para el medio ambiente
Calidad del producto	Máquinas o equipos cuyo mal funcionamiento afecta directamente la seguridad del cliente. En caso de parada o avería, generan defectos que comprometen la funcionalidad esencial ("muerte del producto") o su seguridad de uso. Alta probabilidad de generar desperdicios significativos o incumplimientos normativos.	Máquinas o equipos que impactan la funcionalidad primaria del producto, la calidad estética de zonas visibles (frontal) o el empaque. En caso de falla, pueden ocasionar defectos visuales relevantes o dificultades en la percepción de calidad del cliente. Generan desperdicios moderados, pero con posibilidad de retrabajo en algunos casos.	Máquina o equipo relacionado a aspectos que afecten funciones secundarias del artefacto, en caso de que sufra una parada o avería no habrá pérdida de calidad. Pocos desperdicios
Tiempo de utilización del activo	Tiempo de utilización de la máquina o del equipo por encima del 90% al mes	Tiempo de utilización de la máquina o del equipo entre un 50 y un 90% al mes	Tiempo de utilización del activo por debajo del 50% al mes
Afección a la línea de ensamble	En caso de sufrir una parada esta afectaría una línea de producción sin ningún alternativa de solución a corto plazo	En caso de que sufra una parada puede parar una línea de producción pero con alternativas de solución a corto plazo	En caso de parada no interfiere en la línea de producción y existen otras soluciones alternativas inmediatas
Confiabilidad (MTTF)	Intervalo menor a 168 Horas (14 días laborables). En base a datos históricos de los últimos 3 meses.	Intervalo ≥ 168 y < 504 Horas. En base a datos históricos de los últimos 3 meses.	Intervalo > 504 Horas. En base a datos históricos de los últimos 3 meses.
Mantenibilidad (MTTR)	MTTR mayor a 2 horas por intervención de mantenimiento correctivo.	MTTR de 1 a 2 horas por intervención de mantenimiento correctivo.	MTTR por debajo de 1 hora por intervención de mantenimiento correctivo.

En base a estos factores y su ponderación resulta el nivel de criticidad del activo como se muestra en la figura 4.

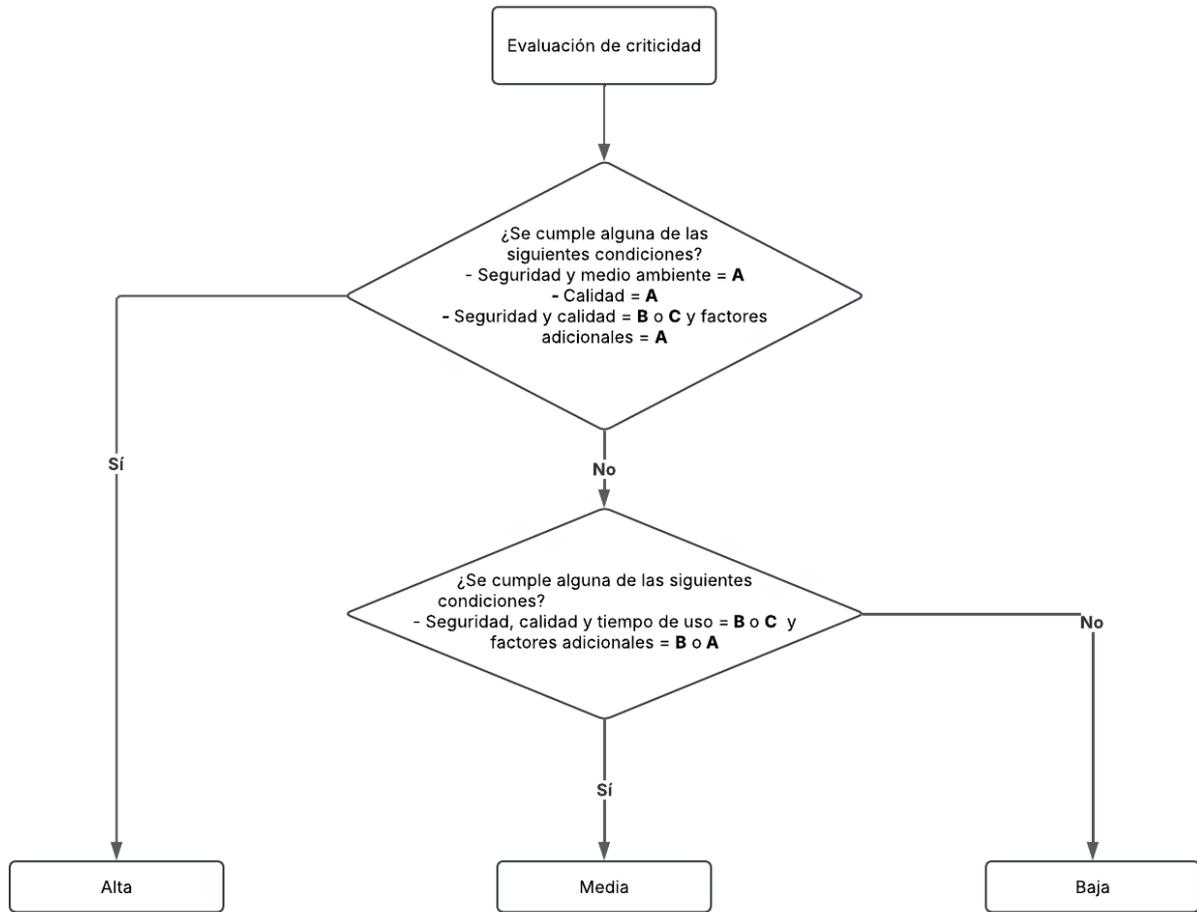


Figura 4. Diagrama de flujo para determinación de criticidad del activo.

2.2 Implementación del modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

La implementación del modelo RCM contempla:

1. Definición de funciones y estándares de desempeño de cada activo.
2. Identificación de modos de falla potenciales y sus causas.
3. Evaluación de los efectos y consecuencias de cada falla.
4. Realización de un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) para priorizar las fallas según su riesgo.
5. Selección de estrategias de mantenimiento adecuadas para cada modo de falla.
6. Diseño de procedimientos específicos y definición de intervalos de mantenimiento óptimos.
7. Mejora continua, revisión y actualización del RCM en base a los datos recolectados.

Este enfoque sistemático permite determinar las tareas de mantenimiento más eficaces para cada activo, considerando su criticidad y contexto operativo.

2.3 Proceso de mejora continua - validación y actualización del RCM

Se propone la implementación del RCM con un enfoque de mejora continua como se muestra en la Figura 5, dando comienzo el proceso con la elaboración del análisis inicial RCM, en el cual se determinan las funciones del equipo, sus posibles fallas, los modos de ocurrencia y sus consecuencias. Luego, en la fase de registro en el programa de Planificación de Recursos Empresariales (ERP), se documentan las actividades de mantenimiento, su periodicidad y los repuestos requeridos. A continuación, se lleva a cabo la ejecución de las tareas definidas, seguida por la generación de reportes, donde se detallan las labores realizadas y se identifican hallazgos y sugerencias. En la etapa de seguimiento y control, se verifica el cumplimiento de las actividades y se analizan los datos recolectados. Posteriormente, se realiza la evaluación de resultados, comparando el desempeño con los indicadores clave establecidos (KPI). Finalmente, se procede con la revisión y ajuste del RCM, incorporando mejoras en frecuencias, tareas y recursos, lo que permite retroalimentar el proceso y fortalecer la confiabilidad operativa de forma continua.

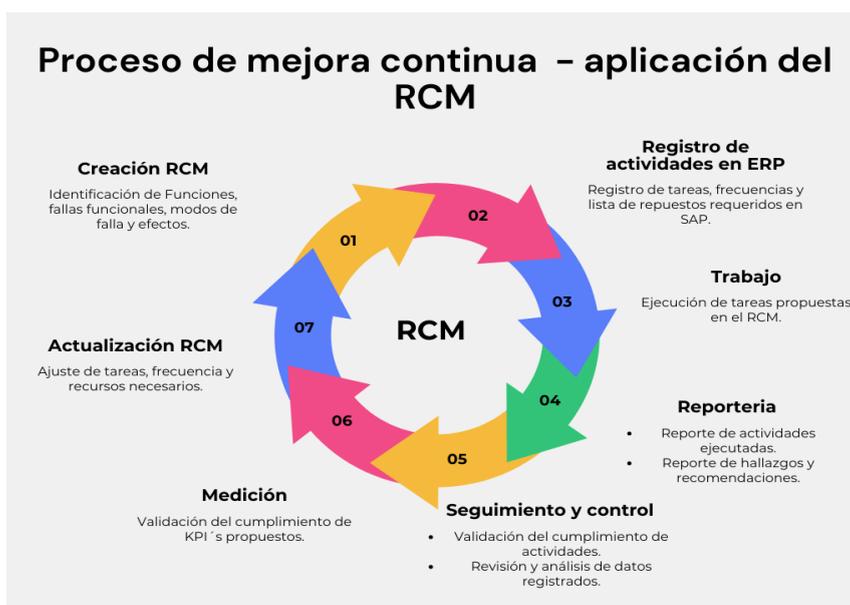


Figura 5. Proceso de actualización y mejora continua de RCM.

2.4 Indicador de efectividad del RCM

Se propone la implementación de un indicador de Efectividad del RCM (ERCM) que permite evaluar el impacto de la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad, considerando tanto la disponibilidad operativa de los equipos como los costos asociados al mantenimiento. Se calculará dividiendo el porcentaje de disponibilidad por el costo total de mantenimiento, y multiplicando el resultado por un factor de escala (1000) para facilitar su interpretación como se muestra en la

ecuación (1). Este indicador busca reflejar cuánta disponibilidad se está logrando por cada unidad monetaria invertida en mantenimiento, lo que permite identificar si las estrategias aplicadas están siendo realmente eficientes. Valores más altos del ERCM indican una mejor relación entre desempeño operativo y gasto, lo que se traduce en una mayor efectividad del modelo RCM en términos de confiabilidad, optimización de recursos y control de costos.

$$ERCM = \frac{\text{Disponibilidad Operativa [\%]}}{\text{Costo Total de Mantenimiento [USD]}} \times 1000 \quad (1)$$

3. Resultados

3.1 Identificación de equipos críticos

Una vez que se han establecido los criterios para evaluar la criticidad de los equipos, se procede a examinar la maquinaria específica del área en estudio. Este análisis permite identificar de forma precisa los activos que requieren atención prioritaria, facilitando una asignación eficiente de recursos y optimizando las estrategias de mantenimiento para minimizar riesgos y garantizar la continuidad operativa.

Tabla 4. Matriz de criticidad de equipos de la sección de tratamiento de superficies.

Activo	Seguridad medio ambiente	Calidad del producto	Tiempo de uso del activo	Afección a la línea de ensamble	Confiabilidad (MTTF)	Mantenibilidad (MTTR)	Criticidad
CABINA ENLOZADO GEMA 328-005 H4645	C	A	B	A	A	B	Alta
HORNO A GAS VET 302-007 H445	B	A	A	A	B	A	Alta
CABINA ESMALTE POL WAGNER 328-001 T1321	C	A	B	A	B	C	Alta
UPS PLANTA KEHUATECH 999-003 S0000	C	C	C	C	C	C	Baja
EQUIPO ELECTROSTATICO 307-011 T1289	C	B	C	C	B	B	Baja
SECADERO 311-004 T1305	B	C	B	C	B	B	Baja
CAMARA APLICACIÓN OFISNA 309-002 T1296	C	B	C	C	A	B	Baja

3.2 Descripción de equipos críticos

3.2.1 Horno de enlozado 302-007

El horno continuo de enlozado de la marca VET – Vitreous Enamel Technique es un equipo industrial diseñado para procesos de esmaltado a alta temperatura. Opera a una temperatura de cocción de 840 °C y está equipado con nueve quemadores que utilizan Gas Licuado de Petróleo (GLP) como

combustible. Su sistema de control de temperatura incorpora un controlador PID y termopares tipo K, asegurando una regulación precisa y segura del calor. Además, cuenta con un sistema de transporte mediante cadena y rodamientos a través de una riel, un panel de control con interfaz HMI para monitoreo y ajuste de parámetros, como temperatura de los grupos de cocción y velocidad del transportador.

3.2.2 Cabinas de aplicación

Una cabina de aplicación de esmalte en polvo está diseñada para recubrimientos mediante la generación de una carga electrostática en el polvo lo que permite que las partículas se adhieran firmemente a las superficies metálicas que ingresan a la cabina. Su carcasa se construye con materiales plásticos no conductores, y sus módulos de control mantienen un flujo de aire suave en la aplicación automática, optimizando la calidad del recubrimiento y reduciendo la contaminación del entorno. Además, incorpora sistemas de gestión de polvo que garantizan una salida estable y reproducible.

3.3 Recolección de información de activos críticos

La recolección ordenada de datos es fundamental para mejorar la gestión de mantenimiento. Al registrar información como la cantidad de avisos de avería, las horas hombre destinadas a los avisos correctivos, la cantidad de avisos preventivos y las horas hombre asociadas, se obtienen indicadores clave como el MTTR y el MTTF. Estas mediciones, junto con el análisis de la mantenibilidad y confiabilidad de los equipos, permiten identificar patrones de falla y oportunidades de mejora, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas y la implementación de acciones que optimizan el desempeño operativo y garantizan la seguridad en los procesos.

Tabla 5. Registros de eventos e indicadores de equipos críticos (enero - diciembre 2024).

Activo	Avisos de avería	Horas correctivos	Avisos preventivo	Horas preventivo	MTTR PB	MTTF PB	Mantenibilidad	Confiabilidad
CABINA ENLOZADO GEMA 328-005 H4645	70	85,90	51	511,90	1,23	133,25	B	A
CABINA ESMALTE POL WAGNER 328-001 T1321	53	58,90	60	410,10	1,11	176,26	C	B
HORNO A GAS VET 302-007 H445	46	102,60	22	460,30	2,23	202,44	A	B

3.4 Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC)

El desarrollo del análisis AMFEC aplicado a los equipos críticos de la sección de enlozado permite identificar y priorizar los modos de falla que podrían afectar la continuidad operativa, la calidad del recubrimiento o la seguridad del personal operativo. En el horno, se consideran fallos como desviaciones de temperatura, fallas en los sistemas de control o en los ventiladores de recirculación, los cuales pueden comprometer el curado adecuado del recubrimiento. En las cabinas de aplicación de polvo, se analizan riesgos como acumulación de polvo, fallos en los sistemas de extracción, y falla

de generación de carga electrostática sobre las partículas de polvo . La metodología AMFEC desarrollada en el Anexo A, permite calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para cada modo de falla, facilitando la implementación de acciones preventivas como mantenimiento predictivo, mejoras en los sistemas de detección y control.

El Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC) permitió identificar sistemas de criticidad alta, media y baja de cada activo como se muestra en la tabla 6. En base a estos resultados, se proponen acciones de mantenimiento preventivo y predictivo para reducir la probabilidad de fallo y mitigar sus consecuencias, priorizando intervenciones en los sistemas de control, en el monitoreo térmico y en el reemplazo preventivo de componentes antes de que se produzca la falla.

Tabla 6. Evaluación de criticidad de sistemas de equipos críticos

Activo	Sistema	Numero de Prioridad de Riesgo (NPR)	Criticidad
Horno de enlozado VET 302-007	Sistema de calefacción	144	Alta
	Sistema de control térmico	120	Alta
	Sistema de ventilación	120	Alta
	Sistema eléctrico	96	Media
	Sistema estructural	108	Media
	Sistema de operación	16	Baja
	Sistema de seguridad	96	Media
	Sistema de transporte de material	112	Media
Cabina de aplicación Gema 328-005	Sistema de aplicación de esmalte (pistolas electrostáticas)	180	Alta
	Sistema de recuperación y reciclaje de polvo	56	Baja
	Sistema de control de aplicación	14	Baja
	Sistema eléctrico y de control	28	Baja
	Sistema operación	16	Baja
	Sistema de transporte de material	112	Media
Cabina de aplicación Gema 328-001	Sistema de aplicación de esmalte (pistolas electrostáticas)	160	Alta
	Sistema de recuperación y reciclaje de polvo	48	Baja
	Sistema de control de aplicación	72	Media
	Sistema eléctrico y de control	42	Baja
	Sistema operación	16	Baja
	Sistema de transporte de material	112	Media

3.5 Propuesta de actualización de plan de mantenimiento

Posterior a la ejecución de RCM de los activos críticos desarrollada en el Anexo A, se propone la actualización de los planes de mantenimiento preventivo actuales, incorporando nuevas actividades e inspecciones basadas en condición y ajustando frecuencias según la probabilidad de fallo Anexo B.

Tabla 7. Comparación de plan de mantenimiento actual y propuesto de Horno de enlozado VET.

Tipo de mantenimiento	Suma de trabajo (mín) - Actual	Suma de trabajo (mín) - Propuesta RCM
Mantenimiento Diario	-	55
Mantenimiento Semanal	-	67
Mantenimiento Quincenal	-	120
Mantenimiento Mensual	240	480
Mantenimiento Trimestral	480	105
Mantenimiento Semestral	480	940
Mantenimiento Anual	2400	640
Total	3600	2407

Tabla 8. Actividades, frecuencia y trabajo propuesto para horno de enlozado VET - análisis RCM.

Actividad general	Frecuencia	Total de subactividades	Trabajo total de actividad (min)	Función RCM
Procedimiento LOTO	Semanal	4	7	—
Interior del horno	Diario / Mensual	8	160	5
Transportador del horno	Mensual / Semestral / Quincenal	12	905	8
Equipos de calefacción	Anual / Diario / Mensual	9	490	1
Ventiladores	Semestral / Anual / Trimestral	8	355	3
Accesorios eléctricos	Semestral / Mensual / Diario	22	490	2, 4, 6, 7

Tabla 9. Comparación de plan de mantenimiento actual y propuesto de Cabina de aplicación Gema.

Tipo de mantenimiento	Suma de trabajo (mín) - Actual	Suma de trabajo (mín) - Propuesta RCM
Mantenimiento Diario	-	47
Mantenimiento Semanal	360	599
Mantenimiento Mensual	-	220
Mantenimiento Trimestral	-	15
Mantenimiento Semestral	480	1815
Mantenimiento Anual	1440	285
Total	2280	2981

Tabla 10. Actividades, frecuencia y trabajo propuesto para cabina de aplicación Gema - análisis RCM.

Actividad general	Frecuencia	Total de subactividades	Trabajo total de actividad (min)	Función RCM
Procedimiento LOTO	Semanal	4	7	—
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes de tablero de control	Semestral	26	769	3, 4, 5
Revisión, ajuste y limpieza de eje vertical ZA07	Semestral	8	205	6
Revisión, ajuste y limpieza de eje horizontal XT10	Semestral	7	175	6
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes de pistola OptiGun GA03-E	Semanal	18	400	1
Revisión, ajuste, limpieza o cambio de inyectores EI06-V	Semanal	8	220	1
Revisión y limpieza de cabina de recubrimiento MagicCompact BA04	Semanal	3	30	—
Revisión, limpieza y cambio de componentes Tamizadora E 650	Semestral	9	110	2
Revisión, ajuste, limpieza o cambio de bomba Optifeed PP06	Semanal / Mensual	8	145	2
Depósito de polvo HF02-200	Semestral	2	20	2
Identificación y reparación de fugas de aire comprimido	Semestral	2	40	—
Revisión, limpieza filtro final	Semanal / Mensual / Anual	3	270	2
Revisión, ajuste y limpieza y lubricación de sistema de tracción	Semestral	6	1170	6

Tabla 11. Comparación de plan de mantenimiento actual y propuesto de Cabina de aplicación Wagner.

Tipo de mantenimiento	Suma de trabajo (mín) - Actual	Suma de trabajo (mín) - Propuesta RCM
Mantenimiento Diario	-	0
Mantenimiento Semanal	360	132
Mantenimiento Mensual	-	710
Mantenimiento Semestral	480	855
Mantenimiento Anual	1440	1215
Total	2280	2912

Tabla 12. Actividades, frecuencia y trabajo propuesto para Cabina de aplicación Wagner - análisis RCM.

Actividad general	Frecuencia	Total de subactividades	Trabajo total de actividad (min)	Función RCM
Procedimiento LOTO	Semanal	4	7	—
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes de tablero de control	Semanal / Mensual / Semestral / Anual / Condición	17	315	3 – 4
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes unidades de control	Mensual / Semestral / Condición	6	360	1
Revisión de tolva	Semanal / Mensual / Semestral	5	585	2
Revisión de pistolas	Semestral / Anual / Condición	5	590	1

Revisión y mantenimiento de alimentador de bombas	Semestral / Anual / Mensual / Condición	9	1330	2
Revisión y limpieza de cadena de movimiento	Mensual	2	90	6
Revisión y ajuste de reciprocador	Semestral / Semanal / Anual	7	150	6

4. Conclusiones

La implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la sección de enlozado de Indurama se presenta como una solución integral y efectiva para mitigar las fallas en equipos críticos. La metodología propuesta, basada en el análisis de criticidad y en la aplicación de técnicas como el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), ha demostrado ser eficaz para diseñar estrategias de mantenimiento más eficientes y alineadas con las necesidades reales de la planta. Este enfoque ha probado ser replicable y escalable a otros procesos productivos.

El análisis realizado permitió identificar que los sistemas de control, los componentes de calefacción (quemadores) y los sistemas de monitoreo de temperatura son los elementos más vulnerables, debido a su impacto directo en la calidad del producto final y en la continuidad operativa. Como resultado, se definieron acciones de mantenimiento específicas y orientadas a la prevención de fallas críticas, lo que contribuye a una mejor asignación de recursos y al fortalecimiento de la gestión de activos.

Asimismo, se establecerá un mecanismo de seguimiento continuo mediante la aplicación del indicador de Efectividad del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (ERCM). Este indicador permitirá evaluar de manera periódica la eficacia del plan, facilitando la detección de desviaciones y la definición de acciones correctivas u oportunidades de optimización. De este modo, no sólo se medirá su impacto en la reducción de averías y la mejora de la disponibilidad, sino que también generará un ciclo de retroalimentación que garantizará la mejora continua a través del ajuste dinámico de las estrategias preventivas y predictivas, con base en datos operativos reales.

Finalmente, el análisis AMFEC ha proporcionado un entendimiento detallado de los modos de fallo y sus efectos en los equipos críticos, lo que constituye una base sólida para el desarrollo de acciones preventivas orientadas a incrementar la confiabilidad operativa. Entre estas acciones destacan la implementación de mantenimiento predictivo, la mejora de los sistemas de detección temprana y control de fallos, y el fortalecimiento de la gestión proactiva de riesgos, asegurando la continuidad y estabilidad del proceso productivo.

Referencias

- [1] Agreda Espinoza, H. (2021). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para la mejor disponibilidad de los equipos en el sector industrial de manufactura entre los años 2011-2019: Una revisión sistemática de la literatura científica.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25701>

[2] Araujo Parra, I. P. (2020). Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM de los activos críticos del área de mezclado de la empresa Continental Tire Andina SA [Master's Thesis, Universidad del Azuay].

<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9728>

[3] Campos Macedo, E. L. (2020). Análisis de experiencias de implementación de planes de mantenimiento basados en la metodología RCM en la industria en los últimos 14 años. Revisión sistemática.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23352>

[4] Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59.

[5] H., A. J. (2009). Mantenimiento centrado centrado en confiabilidad confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC. *Ingeniería Energética*, XXX, 13-19.

[6] Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Asheville, NC, USA: Aladon LLC.

<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164173>

[7] Poveda Guevara, A. J., & Lozano, M. (2012). Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/20586>

[8] Rosenthal Delgado, R. E. (2020). Análisis de planes de mantenimiento preventivo y su impacto en la confiabilidad de los equipos electrónicos en el periodo 2008-2019: Una revisión de la literatura científica.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25714>

[9] Sainz, R. T., Vallejo, L. M. P., Varela, C. A. T., Rodríguez, R. P., & de la Rosa, J. E. (2024). Criterios de criticidad y complejidad para la toma de decisiones de mantenimiento: Una revisión de la literatura. *Ingeniería Mecánica. Revista electrónica*. ISSN 1815-5944, 27(2), e693-e693.

[10] Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. Quality Press.

[11] Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance [Book]. Butterworth-Heinemann.

[12] Mora Hurtado, F. N. (2002). Preparación de las superficies metálicas previo al proceso de recubrimiento de pintura electrostática o loza y su aplicación en la empresa FIBRO ACERO SA.

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/d97e87b3-375d-4f3a-8ede-95a3cdd94ccb>

ANEXO A



Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)



Unidad de Producción:	Línea de Color - Tratamiento de superficies	Clase de activo:	Horno	NO Docum.:	1
Sección:	Enlozado	Equipo:	Horno de enlozado VET 302-007	Revisión:	1
Sistema:	Curado de loza	Modo Operación:	Continuo	Fecha:	3/1/2025
Recopilado por:	Xavier Felipe Ochoa Parra	Revisado por:	Robert Rodwood		

Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF (5 Primeras Preguntas del RCM) Tareas de Mantenimiento (2 Últimas Preguntas del RCM)

Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto Inicial de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Efecto Final de la Falla o Consecuencia (Que ocurre cuando Falla)	Frecuen.	Patrón Detección	Severidad	NPR	Tipo de consecuencia										Descripción de las Tareas Propuestas	Frecuencia	Ejecutor	Cantidad de Ejecutantes	Horas Hombre	Equipo Operando				
									Tipo de consecuencia			Tipo de Tareas																
									Oculto	Seguridad	Ambiente	Operacional	No Operacional	Basado en Cond.	Círculo Defectivo	Sustitución Cíclica	Operar Hasta Falla	Buqueada de Falla							Rediseño			
1 Sistema de calefacción: Curar piezas metálicas con esmalte en polvo. Asegurar el curado adecuado de piezas en un rango de temperatura específico para lograr la adherencia y acabado del esmalte.	No suministra la temperatura suficiente para el curado.	1 Falla en el quemador. (Obstrucción por residuos, mala regulación o desgaste.)	1 Activación de alarma en quemador en falla	1 Incapacidad de generar calor suficiente. Material crudo	3	8	6	144													Limpieza regular, inspección de boquillas y ajuste del quemador.	Mensual	Técnico de mantenimiento	1	8	No		
		2 Pérdida de llama. (Falla en el encendido automático o en el sensor de llama.)	2 Activación de alarma en quemador defectuoso	2 Incapacidad de generar calor suficiente.	5	4	4	80														Mantenimiento del sensor de llama y verificación de sistemas de encendido.	Trimestral	Técnico Mantenimiento	2	5	SI	
		3 Combustión incompleta. (Regulación inadecuada de aire-gas o acumulación de suciedad.)	3 Quemadores no regulan correctamente su operación de encendido y apagado	3 Emisión de gases tóxicos (CO) y pérdida de eficiencia.	4	5	5	100															Ajuste periódico de la mezcla aire-combustible, limpieza del quemador y medición de gases de escape.	Semestral	Técnico Mantenimiento	2	9	SI
		4 Fallo en las válvulas de control (Desgaste mecánico o fallo eléctrico.)	4 Activación de alarma en quemador en falla	4 Incapacidad de generar calor suficiente.	2	7	5	70															reemplazó periódico y mantenimiento preventivo de válvulas.	Cada 2 años	Técnico Mantenimiento	2	9	No
2 Sistema de control térmico: Proveer una atmósfera de curado adecuada	A Curado de piezas defectuosas (crudo o quemado)	1 Fallo en los sensores de temperatura (Desgaste, desconexión, daño mecánico o calibración incorrecta.)	1 Lecturas inexactas de temperatura	1 Curado fuera de especificaciones.	3	8	5	120														Calibración regular y reemplazó de sensores dañados.	Annual	Técnico eléctrico	2	4	SI	
		2 Fallo en el controlador de temperatura (PLC) (Mal funcionamiento del software o daño en los componentes eléctricos.)	2 Pérdida de valores de temperatura Lecturas inexactas de temperatura	2 Imposibilidad de mantener ciclos térmicos precisos.	2	1	1	2															Actualización del software y mantenimiento preventivo del PLC.	Annual	Técnico eléctrico	1	2	No
3 Sistema de ventilación: Proporcionar una distribución homogénea del calor en toda la cámara del horno, independientemente del tamaño o ubicación de las piezas.	A Sin homogeneidad en curado en piezas	1 Fallo en el ventilador de circulación interna (Daño en el motor, acumulación de polvo o mal funcionamiento de los rodamientos.)	1 Activación de guardamotor por sobrecorriente.	1 Curado irregular.	2	1	8	16														Limpieza de ventiladores y mantenimiento periódico.	Trimestral	Técnico mecánico - Técnico eléctrico	2	6	No	
		2 Obstrucción en los ductos de ventilación (Acumulación de polvo, esmalte o residuos en los conductos.)	2 Curado irregular.	2 Reproceso de material. Generación de desperdicio	3	8	5	120															Limpieza programada de los ductos.	Annual	Técnico mecánico	2	6	No
4 Sistema eléctrico: Proveer energía para el control, encendido, monitoreo, y operación de componentes como quemadores, sensores, ventiladores, y sistemas de seguridad del horno.	A Incapacidad de encendido del horno, controlar periféricos, de entrada y salida	1 Fallo en el suministro eléctrico (Sobrecargas, interrupciones en la red o cortocircuitos.)	1 Paro completo del horno y pérdida de producción.	1 Proceso detenido	7	1	4	28														reemplazó de baterías de respaldo (fuente de energía ininterrumpida para sistema de control)	Annual	Técnico eléctrico	1	1	No	
		2 Cortocircuito en el sistema eléctrico (Desgaste de cables o conexiones flojas.)	2 Paro total del horno.	2 Proceso detenido	2	2	2	8															Inspección de cableado y protección eléctrica adecuada.	Semestral	Técnico eléctrico	2	4	No
		3 Falta en el sistema de ignición eléctrico (Desgaste o mal funcionamiento del electrodo.)	3 Imposibilidad de encender quemadores.	3 Quemador apagado	6	2	8	96															Sustitución periódica de ignitores.	Semestral	Técnico mecánico	2	5	No
5 Sistema estructural: Brindar soporte, aislamiento térmico, y contención segura para el proceso de combustión y curado, manteniendo la eficiencia energética y protegiendo al personal operativo.	A Pérdida de aislamiento o integridad estructural afecta eficiencia térmica y seguridad operativa.	1 Deformación de la cámara del horno (Sobrecarga térmica o desgaste mecánico por uso prolongado.)	1 Pérdida de aislamiento térmico.	1 Disminución de eficiencia energética.	2	9	6	108														Inspección estructural periódica y reparación de paneles.	Trimestral	Técnico mecánico	2	4	No	
		2 Daño en el aislamiento térmico (Desgaste por uso continuo o impacto mecánico.)	2 Pérdida de calor.	2 Incremento del consumo de GLP	3	9	4	108															Sustitución de materiales aislantes deteriorados.	Annual	Técnico mecánico	2	6	No
		3 Ruptura de puertas o mecanismos de cierre (Desgaste por uso continuo o manipulación incorrecta.)	3 Pérdida de calor.	3 Fallos en el curado.	1	4	3	12															Inspección de puertas y reparación o ajuste de mecanismos.	Annual	Técnico mecánico	2	2	No
		4 Fallo en las juntas de sellado (Desgaste por abrasión o exposición al calor.)	4 Fugas de calor.	4 Disminución de eficiencia energética.	1	2	3	6															reemplazó de juntas según condiciones.	Annual	Técnico mecánico	1	1	No
6 Sistema de operación: Mostrar en tiempo real las variables del proceso. Notificar al operador si las variables están fuera de los límites especificados.	A Incapacidad para configurar, cargar o supervisar el proceso.	1 Error humano en la configuración. (Configuración incorrecta de los parámetros del ciclo.)	1 Error humano en la configuración.	1 Pérdida de calidad en las piezas curadas.	4	2	2	16														Procedimientos estándar de operación (SOP).	Annual	Ing. de procesos	1	2	SI	
		2 Exceso de carga en el horno. (Exceso de piezas para curado.)	2 Variación de temperatura real en comparación con valor configurado	2 Calentamiento desigual y aumento en los defectos de curado.	2	2	2	8															Capacitación del operador y monitoreo de carga.	Semestral	Ing. de procesos	1	2	SI
7 Sistema de seguridad: Mantener un entorno seguro, evitando fugas de calor, gases tóxicos o riesgos eléctricos	A Fallo en detectar o mitigar riesgos para la operación segura.	1 Fallo del sensor de gases tóxicos (Daño en el sensor o descalibración.)	1 Fallo del sensor de gases tóxicos	1 Riesgo de acumulación de gases peligrosos.	1	8	6	48														Calibración regular y reemplazó según especificaciones.	Cada 3 años	Técnico eléctrico	1	4	No	
		2 Fallo en los sistemas de parada de emergencia (Conexiones defectuosas o falta de mantenimiento.)	2 Imposibilidad de detener el horno en caso de falla.	2 Imposibilidad de detener el horno en caso de falla.	1	2	8	16															Pruebas funcionales periódicas del sistema.	Annual	Técnico eléctrico	1	1	No
		3 Fuga de GLP. (Válvulas defectuosas, mangueras deterioradas o conexiones flojas.)	3 Presencia de olor a GLP en el área	3 Riesgo de explosión o incendio.	2	6	8	96															Inspección visual y pruebas de estanqueidad regularmente.	Trimestral	Técnico mecánico	2	3	SI
8 Sistema de transporte de material: Transportar material hacia	A Incapacidad de transporte de material hacia el horno	1 Desgaste o daño en los rodamientos (Lubricación inadecuada, contaminación, fatiga del material)	1 Incremento de fricción, posible fallo de la cadena	1 Trabamiento de cadena, proceso detenido	2	7	8	112														Lubricación y limpieza de rodamientos y guías de transporte	Semestral	Técnico mecánico	2	6	No	

interior del horno para su curado		2	Desgaste de engranajes (Lubricación insuficiente, contaminación)	2	Reducción de eficiencia, posible fallo mecánico	2	Trabamiento de cadena, proceso detenido	1	2	8	16				<input checked="" type="checkbox"/>						Lubricación y limpieza de engranajes y caja reductora	Semestral	Técnico mecánico	2	1	No
		3	Operación ineficiente del motor (Sobrecarga, ventilación inadecuada, acumulación de polvo)	3	Daño en el bobinado, reducción de vida útil	3	Proceso detenido	1	7	8	56				<input checked="" type="checkbox"/>							Reemplazo de rodamientos de motor, limpieza de ventilador	Anual	Técnico mecánico	2	3

ANEXO A



Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)



Unidad de Producción:	línea de Calor - Tratamiento de superficies	Clase de activo:	Cabina de aplicación automática	Nº Docum.:	1
Sección:	Fabrizado	Equipo:	Cabina de aplicación Gema 328-005	Revisión:	1
Sistema:	Aplicación de loza	Modo Operación:	Continuo	Fecha:	3/1/2025
Recopilado por:	Xavier Felipe Ochoa Parra	Revisado por:	Robert Rodwood		

Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF (5 Primeras Preguntas del RCM)										Tareas de Mantenimiento (2 Últimas Preguntas del RCM)																		
Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto Inicial de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Efecto Final de la Falla o Consecuencia (Que ocurre cuando Falla)	Frecuenc.	Partición Detección	Severidad	NFR	Tipo de consecuencia					Tipo de Tareas					Descripción de las Tareas Propuestas	Frecuencia	Ejecutor	Cantidad de Ejecuciones	Horas Hombre	Equipo Operando				
									Oculto	Seguridad	Ambiente	Operacional	No Operacional	Basada en Condiç. (PdM)	Código Detectiva (PM)	Sustitución: Códigos (PM)	Operar Hasta Falla (RFP)	Reparación de Falla							Rediseño			
1 Sistema de aplicación de esmalte (pistolas electrostáticas). Aplicar esmalte en polvo de manera uniforme. Depositar una capa uniforme de esmalte en polvo sobre las piezas metálicas según las especificaciones requeridas.	A Reducción o interrupción del flujo de esmalte en polvo durante la aplicación.	1	Fuga de polvo (desgaste o rotura de manguera de transporte de polvo)	1	Fuga de polvo	1	Aplicación desigual del esmalte	9	4	5	180	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Reemplazo de mangueras cada 1500 horas de uso	Semestral	Técnico de mantenimiento	2	4	No	
		2	Fallo en la boquilla de la pistola (Obstrucción por acumulación de esmalte o desgaste por uso continuo.)	2	Aplicación desigual del esmalte	2	Defectos en la calidad superficial.	7	5	4	140		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Limpieza regular y reemplazo de boquillas según horas de uso.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	1	4	No
		3	Fallo en la generación de carga electrostática (Falla del generador de alta tensión o desgaste de los electrodos.)	3	Pérdida de adherencia del esmalte en polvo (Piezas rechazadas).	3	Pérdida de adherencia del esmalte en polvo (Piezas rechazadas).	3	8	4	96		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Inspección periódica del generador de carga.	Semestral	Técnico de mantenimiento	1	3	SI
		4	Fallo en la presión de aire comprimido (Caída en la presión de suministro o fallas en las válvulas reguladoras.)	4	Activación de alarma de baja presión	4	Pérdida de aplicación del esmalte en polvo (Piezas rechazadas).	3	1	5	15		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									Mantenimiento preventivo del sistema de aire comprimido y monitoreo de presión.	Diario	Operador	2	0,1	SI
2 Sistema de recuperación y reciclaje de polvo: Capturar y reciclar el polvo no adherido. Recoger el esmalte en polvo sobrante y reutilizarlo, minimizando los residuos.	A Ineficiencia en el sistema de recuperación y reciclaje de esmalte en polvo, causando acumulación de residuos, contaminación ambiental y afectando la calidad y continuidad del proceso de aplicación	1	Fallo en el ventilador de extracción (Daño en el motor del ventilador, acumulación de polvo en los álabes o desgaste mecánico.)	1	Acumulación de polvo dentro de la cabina y contaminación ambiental.	1	Acumulación de polvo dentro de la cabina y contaminación ambiental.	2	3	3	18		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>					Limpieza regular y mantenimiento preventivo del ventilador.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	2	6	No	
		2	Obstrucción en los ductos de reciclaje (Acumulación excesiva de polvo en los conductos o filtros.)	2	Disminución en la eficiencia de reciclaje y mayor desperdicio de polvo.	2	Acumulación de polvo reutilizado Pérdida de calidad del producto	2	4	4	32		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Limpieza periódica de ductos y reemplazo de filtros.	Semanal	Técnico de mantenimiento	2	1	No
		3	Acumulación de polvo en tolva de recuperación (Obstrucción de bombas, o avería de componentes internos de la bomba)	3	Bajo nivel de polvo en depósito de aplicación	3	Bajo nivel de depósito de aplicación. (Para de proceso por alarma de nivel bajo)	7	2	3	42		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Inspección regular y mantenimiento preventivo (reemplazó de kit).	Semestral	Técnico de mantenimiento	1	2	No
		4	Desgaste o fallo de filtros (Saturación de partículas de polvo o daño mecánico en los filtros.)	4	Contaminación dentro de la cabina o liberación de polvo al ambiente externo.	4	Para de proceso por contaminación al ambiente	8	7	1	56		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Sustitución de filtros según un programa de mantenimiento basado en horas de uso.	3 años	Técnico de mantenimiento	2	4	No
3 Sistema de control de aplicación: Controlar el flujo de esmalte en polvo Regular la cantidad de polvo dispensado por las pistolas de aplicación para evitar desperdicio o acumulación desigual.	A Fallo en el sistema de control y suministro eléctrico que afecta la dosificación, aplicación y adherencia del esmalte en polvo, impactando la calidad del recubrimiento y la continuidad del proceso.	1	Fallo en el sistema de control de aplicación (Fallo en los sensores o actuadores que regulan el flujo de aire).	1	Flujo de aire o polvo insuficiente (Mala calidad de aplicación).	1	Disminución de capa de aplicación	6	1	2	12		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>					Mantenimiento preventivo de inyectores.	Semanal	Técnico de mantenimiento	1	1	SI	
		2	Corto circuito en los sistemas de aplicación (Desgaste o daño en el aislamiento de cables.)	2	Activación de térmicos o guardamotores.	2	Falla completa del sistema de aplicación electrostática.	1	2	7	14		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Inspección de cables y conexiones eléctricas periódicamente.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	1	4	SI
4 Sistema eléctrico y de control: Garantizar el suministro eléctrico y control del proceso.	A Fallo en el sistema eléctrico y de control, ocasionando interrupciones en el proceso de la aplicación de esmalte en polvo.	1	Fallo en el PLC (controlador lógico programable) (Sobrecalentamiento, fallas eléctricas o software desactualizado.)	1	Alarmas registradas en Panel. Para de proceso	1	Interrupción del proceso de aplicación.	1	3	4	12		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>					Inspección de sistemas eléctricos, actualizaciones regulares y redundancia.	Semestral	Técnico de mantenimiento	1	0,5	SI	
		2	Sobrecarga en el suministro eléctrico (Uso de componentes defectuosos o sobrecarga en el sistema eléctrico.)	2	Activación de guardamotores	2	Falla total o parcial del equipo.	1	7	4	28		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Instalación de protecciones eléctricas y monitoreo de la carga.	Semestral	Técnico de mantenimiento	1	1	SI
		3	Fallo en los sistemas de iluminación interna (Daño o fallo de lámparas LED)	3	N/A	3	Mala visibilidad dentro de la cabina para los operadores.	1	1	1	1		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Revisión periódica y reemplazo al fallo.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	1	0,5	No
5 Sistema operación: Mostrar en tiempo real las variables del proceso. Notificar al operador si las variables están fuera de los límites especificados.	A Incapacidad para configurar, cargar o supervisar el proceso.	1	Error humano en la configuración. (Configuración incorrecta de los parámetros del ciclo.)	1	Aplicación desigual del esmalte	1	Defectos en la calidad superficial.	4	2	2	16		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>					Procedimientos estándar de operación (SOP).	Anual	Ing. de procesos	1	2	SI	
		2	Exceso de carga en la cabina. (Exceso de piezas para aplicación.)	2	Disminución de capa de aplicación	2	Disminución de capa de aplicación, defectos en la calidad superficial (producto quemado)	2	2	2	8		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Capacitación del operador y monitoreo de carga.	Semestral	Ing. de procesos	1	2	SI
6 Sistema de transporte de material: Transportar material hacia interior de la cabina para aplicación de loza	A Incapacidad de transporte de material hacia interior de la cabina	1	Desgaste o daño en los rodamientos (Lubricación inadecuada, contaminación, fatiga del material)	1	Incremento de fricción, posible fallo de la cadena	1	Trabamiento de cadena, proceso detenido	2	7	8	112		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>					Lubricación y limpieza de rodamientos y guías de transporte	Semestral	Técnico mecánico	2	6	No	
		2	Desgaste de engranajes (Lubricación insuficiente, contaminación)	2	Reducción de eficiencia, posible fallo mecánico	2	Trabamiento de cadena, proceso detenido	1	2	8	16		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Lubricación y limpieza de engranajes y caja reductora	Semestral	Técnico mecánico	2	1	No
		3	Operación ineficiente del motor (Sobrecarga, ventilación inadecuada, acumulación de polvo)	3	Daño en el bobinado, reducción de vida útil	3	Proceso detenido	1	7	8	56		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					Reemplazo de rodamientos de motor, limpieza de ventilador	Anual	Técnico mecánico	2	3	No

ANEXO A



Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)



Unidad de Producción:	línea de Calor - Tratamiento de superficies	Clase de activo:	Cabina de aplicación automática	Nº Docum.:	1
Sección:	Filozado	Equipo:	Cabina de aplicación Gema 328-001	Revisión:	1
Sistema:	Aplicación de loza	Modo Operación:	Continuo	Fecha:	3/1/2025
Recopilado por:	Xavier Felipe Ochoa Parra	Revisado por:	Robert Rodwood		

Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF (5 Primeras Preguntas del RCM)										Tareas de Mantenimiento (2 Últimas Preguntas del RCM)																		
Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto Inicial de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Efecto Final de la Falla o Consecuencia (Que ocurre cuando Falla)	Frecuenc.	Patron Detección	Severidad	NFR	Tipo de consecuencia					Tipo de Tareas									Frecuencia	Ejecutor	Cantidad de Ejecutores	Horas Hombre	Equipo Operando	
									Oculto	Seguridad	Ambiente	Direccional	No Operacional	Basada en Condiç. (PrIM)	Código Detectiva (PM)	Substitución Cíclica (PM)	Operar Hasta Falla (RTF)	Busqueda de Falla	Rediseño	Descripción de las Tareas Propuestas								
1 Depositar una capa uniforme de esmalte en polvo sobre las piezas metálicas según las especificaciones requeridas.	A Reducción o interrupción del flujo de esmalte en polvo durante la aplicación.	1	Fuga de polvo (desgaste o rotura de manguera de transporte de polvo)	1	Fuga de polvo	1	Aplicación desigual del esmalte	5	6	5	150	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Reemplazo de mangueras cada 2500 horas de uso	Semestral	Técnico de mantenimiento	2	6	No
		2	Fallo en la boquilla de la pistola (Obstrucción por acumulación de esmalte o desgaste por uso continuo.)	2	Aplicación desigual del esmalte	2	Defectos en la calidad superficial.	5	6	4	120	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Limpeza regular y reemplazo de boquillas según horas de uso.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	1	4	No
		3	Fallo en la generación de carga electrostática (Falla del generador de alta tensión o desgaste de los electrodos.)	3	Pérdida de adherencia del esmalte en polvo (Piezas rechazadas.)	3	Pérdida de adherencia del esmalte en polvo (Piezas rechazadas.)	5	8	4	160	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inspección periódica del generador de carga.	Semestral	Técnico de mantenimiento	1	2	SI
		4	Fallo en la presión de aire comprimido (Caída en la presión de suministro o fallas en las válvulas reguladoras.)	4	Activación de alarma de baja presión	4	Pérdida de APLICACIÓN del esmalte en polvo (Piezas rechazadas.)	3	1	1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mantenimiento preventivo del sistema de aire comprimido y monitoreo de presión.	Diario	Operador	2	0,1	SI
2 Capturar y reutilizar el esmalte en polvo sobrante.	A Ineficiencia en la recuperación, causando residuos y contaminación.	1	Falla en ventilador de extracción por acumulación de polvo o desgaste.	1	Acumulación de polvo en la cabina.	1	Desperdicio de materia prima	3	4	4	48	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Limpeza y mantenimiento del ventilador.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	2	6	No	
		2	Obstrucción en ductos de reciclaje por acumulación excesiva de polvo.	2	Disminución en la eficiencia de reciclaje.	2	Mayor desperdicio de esmalte en polvo.	2	6	4	48	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Limpeza periódica de ductos y reemplazo de filtros.	Semanal	Técnico de mantenimiento	2	3	No	
		3	Acumulación de polvo en tolva de recuperación (Obstrucción de bombas, o avería de componentes internos de la bomba)	3	Bajo nivel de esmalte en el depósito de aplicación.	3	Interrupción del proceso por alarma de nivel bajo.	5	3	3	45	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Revisión y mantenimiento de la tolva.	Semestral	Técnico de mantenimiento	1	2	No	
3 Regular la cantidad de polvo dispensado por las pistolas de aplicación para evitar desperdicio o acumulación desigual.	A Fallo en el sistema de control y suministro eléctrico que afecta la dosificación, aplicación y adherencia del esmalte en polvo, impactando la calidad del recubrimiento y la continuidad del proceso.	1	Fallo en el sistema de control y suministro eléctrico que afecta la dosificación, aplicación y adherencia del esmalte en polvo, impactando la calidad del recubrimiento y la continuidad del proceso.	1	Flujo de aire o polvo insuficiente (Mala calidad de aplicación).	1	Disminución en la calidad del recubrimiento.	4	6	3	72	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Revisión y limpieza de Módulos de control de pistolas.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	1	4	SI	
		2	Cortocircuito en el sistema de aplicación por daño en aislamiento de cables.	2	Activación de alarma de cortocircuito en módulos.	2	Falla total del sistema de aplicación.	1	2	8	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Revisión de cables y conexiones.	Trimestral	Técnico de mantenimiento	1	4	SI	
4 Garantizar el suministro eléctrico y control del proceso.	A Falla en los módulos de control de la cabina por sobrecalentamiento o fallos electrónicos.	1	Alarmas en display de control.	1	Interrupción del proceso.	1	Pérdida de funcionalidad en la aplicación.	1	3	6	18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mantenimiento preventivo de módulos y conexiones.	Semestral	Técnico de mantenimiento	1	5	SI	
		2	Sobrecarga en el suministro eléctrico (trabamiento de cadena de transporte.)	2	Activación de guardamotores	2	Falla total del equipo.	1	6	7	42	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Limpeza de guías y reemplazo de rodamientos	Semestral	Técnico de mantenimiento	2	3	No	
5 Mostrar en tiempo real las variables del proceso. Notificar al operador si las variables están fuera de los límites especificados.	A Incapacidad para configurar, cargar o supervisar el proceso.	1	Error humano en la configuración. (Configuración incorrecta de los parámetros del ciclo.)	1	Aplicación desigual del esmalte	1	Defectos en la calidad superficial.	4	2	2	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Procedimientos estándar de operación (SOP).	Anual	Ing. de procesos	1	2	SI	
		2	Exceso de carga en la cabina. (Exceso de piezas para aplicación.)	2	Disminución de capa de aplicación	2	Disminución de capa de aplicación, defectos en la calidad superficial (producto quemado)	2	2	2	8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Capacitación del operador y monitoreo de carga.	Semestral	Ing. de procesos	1	2	SI	
6 Transportar material hacia interior de la cabina para aplicación de loza	A Incapacidad de transporte de material hacia interior de la cabina	1	Desgaste o daño en los rodamientos (Lubricación inadecuada, contaminación, fatiga del material)	1	Incremento de fricción, posible fallo de la cadena	1	Trabamiento de cadena, proceso detenido	2	7	8	112	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lubricación y limpieza de rodamientos y guías de transporte	Semestral	Técnico mecánico	2	6	No	
		2	Desgaste de engranajes (Lubricación insuficiente, contaminación)	2	Reducción de eficiencia, posible fallo mecánico	2	Trabamiento de cadena, proceso detenido	1	2	8	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lubricación y limpieza de engranajes y caja reductora	Semestral	Técnico mecánico	2	1	No	
		3	Operación ineficiente del motor (Sobrecarga, ventilación inadecuada, acumulación de polvo)	3	Daño en el bobinado, reducción de vida útil	3	Proceso detenido	1	7	8	56	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Reemplazo de rodamientos de motor, limpieza de ventilador	Anual	Técnico mecánico	2	3	No	

ANEXO B

		<p>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO HORNO DE ENLOZADO VET 302-007</p>						
Actividad	Puesto de trabajo	Descripción de la actividad	Trabajo	Unidad	Técnicos requeridos	Frecuencia	CBM: Horas de uso	# de función del RCM
Procedimiento LOTO	PM_TELN1	Detener el funcionamiento de la máquina	2	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Bloqueo de energías y etiquetado	3	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Liberar energías remanentes (aire comprimido)	1	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Suspender el suministro de energía eléctrico	1	Min	1	Semanal		
Interior del horno	PM_TMEN1	Retire cualquier pieza que pueda haber caído dentro del horno.	10	Min	1	Diario		
	PM_TMEN1	Limpieza de piso	30	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Limpieza de los conductos de aire del ventilador de recirculación.	30	Min	2	Mensual		
	PM_TMEN1	Limpieza del revestimiento aislante de paredes y techo, prestando especial atención a las ranuras del techo	30	Min	2	Mensual		
	PM_TMEN1	Revisar los tubos radiantes en busca de deformaciones o grietas.	15	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Verificar que las varillas de suspensión en la ranura del techo estén libres de obstrucciones	10	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Comprobar el aislamiento y el revestimiento del suelo en busca de daños.	20	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Revisar los sellos de las puertas	15	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Revisar placas (Tejas del transportador)	40	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Limpieza del canal guía de la varilla de suspensión.	30	Min	2	Mensual		
Transportador del horno	PM_TMEN1	Verifique que las varillas de suspensión no estén dobladas, desalineadas o desgastadas.	30	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Lubricación de cadena	120	Min	2	Quincenal	250	
	PM_TMEN1	Lubricación de rodamientos (15 gramos de grasa por cada rodamiento)	360	Min	2	Semestral	4000	
	PM_TMEN1	Lubricación de rodamientos de curvas (15 gramos de grasa por cada rodamiento)	60	Min	2	Trimestral	2500	
	PM_TMEN1	Lubricación de rodillos de la rampa guía (unidad de tracción)	30	Min	2	Mensual	600	
	PM_TMEN1	Lubricación de rodamientos de bolas del piñón (unidad de tracción)	30	Min	2	Mensual	600	
	PM_TMEN1	Lubricación de rodillos lisos (unidad de tracción)	20	Min	2	Mensual	600	
	PM_TMEN1	Engrasar cadena	120	Min	2	Mensual	600	
	PM_TMEN1	Tensado de cadena de unidad de tracción	45	Min	2	Semestral		
	PM_TMEN1	Lubricación de rueda de giro de cadena	20	Min	2	Semestral	4000	
	PM_TMEN1	Retire completamente todos los quemadores y verifique el desgaste o ruptura de elementos	270	Min	2	Anual		
	PM_TMEN1	Revisar y reemplace los electrodos de encendido si es necesario	5	Min	2	Mensual		
	PM_TMEN1	Tomar la lectura de la corriente de ionización de los quemadores (cuadro de distribución) en ingreso en check list	20	Min	1	Semanal		
Equipos de calefacción	PM_TMEN1	Verifique la presión de las líneas de gas y aire red principal	30	Min	1	Diario		
	PM_TMEN1	Verifique las líneas de aire y gas para detectar fugas	20	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Verificar presión de operación en tuberías de gas después de válvulas de regulación	45	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Verifique el medidor de flujo de gas (tome la lectura del flujo de gas e ingrese en la lista de verificación) HORNO ENCENDIDO	10	Min	1	Diario		
	PM_TMEN1	Verificar Ventilador de aire de combustión VBL	30	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Inspeccionar y limpiar el conducto de escape y la chimenea	60	Min	2	Anual		
	PM_TMEN1	Limpieza de los filtros del ventilador de aire de combustión VBL; reemplazar si es necesario	10	Min	2	Semanal		
	PM_TMEN1	Comprobar el accionamiento del motor principal	5	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Compruebe si no existe desbalance en la turbina	10	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Revisar impulsor (Revisar grietas, alteraciones, verificar desbalance y desgaste)	180	Min	2	Anual	5000	
Ventiladores	PM_TMEN1	Ajuste de pernos de fijación de motor	15	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Revisión de rodamientos de motor	60	Min	2	Semestral		
	PM_TMEN1	Limpieza interna de alojamiento y turbina	60	Min	2	Anual		
	PM_TMEN1	Revisión de ruido durante operación	15	Min	1	Trimestral		
	PM_TMEN1	Limpieza de tablero eléctrico	25	Min	1	Anual		
	PM_TMEN1	Limpieza filtro de ingreso de aire al tablero de control	10	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Asegurarse de que los ventiladores de enfriamiento estén libres de obstrucciones y funcionen adecuadamente.	10	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Verifique reguladores y registradores (en visualización), tome lecturas e ingrese en la lista de verificación	5	Min	1	Diario		
	PM_TMEN1	Verifique los elementos del termopar y el cable de compensación.	45	Min	1	Anual		
	PM_TMEN1	Verifique todos los sistemas principales de protección de energía.	30	Min	1	Semestral		
Accesorios eléctricos	PM_TMEN1	Verifique que todos los conectores de cables y alambres encajen firmemente	60	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Comprobar el funcionamiento de todos los dispositivos de seguridad.	30	Min	1	Trimestral		
	PM_TMEN1	Revisar el tablero en busca de signos evidentes de daño, como corrosión, humedad, o acumulación de polvo y suciedad.	15	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Verificar la integridad de todas las cubiertas y puertas de acceso para asegurar que están correctamente cerradas y aseguradas.	10	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Limpieza suavemente el polvo acumulado en los componentes internos utilizando herramientas adecuadas como aspiradoras de baja potencia o aire comprimido no conductivo.	20	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Inspeccionar conexiones eléctricas para asegurar que estén apretadas y no presenten signos de calentamiento o corrosión.	30	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Verificar el estado de componentes eléctricos críticos como PLCs, relés, disyuntores y fusibles. Reemplazar cualquier componente que muestre signos de desgaste o daño.	25	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Realizar una inspección profunda de todo el sistema eléctrico, incluyendo una prueba de resistencia de aislamiento para detectar fallos ocultos	60	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Realizar pruebas termográficas para identificar áreas con exceso de calor que podrían indicar problemas eléctricos, como conexiones flojas, sobrecarga o fallos en componentes. Esta medida es crítica para prevenir fallas eléctricas y reducir el riesgo de incendios	20	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Mantener un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento, incluyendo cambios de piezas, ajustes realizados, y resultados de las inspecciones y pruebas, a través de la orden de trabajo (OT).	20	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Realizar inspección visual del cableado del panel de control.	15	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Verificar la operación de interbloqueos de seguridad y alarmas	10	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Probar el sistema de apagado de emergencia del horno	15	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Realizar una inspección visual detallada para asegurarse de que todos los componentes estén correctamente instalados y que no haya conexiones sueltas o expuestas. Retirar todas las herramientas y materiales de la zona de trabajo y asegurarse de que el área esté limpia y organizada	20	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Retirar todos los dispositivos de bloqueo y etiquetado sólo después de verificar que el tablero está seguro y listo para ser reactivado	10	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Asegurarse de que todos los miembros del equipo estén informados de que el sistema está a punto de reactivarse	5	Min	1	Semestral		

ANEXO B

	<p style="text-align: center;">PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CABINA GEMA 328-005</p>							
Actividad	Puesto de trabajo	Descripción de la actividad	Trabajo	Unidad	Técnicos requeridos	Frecuencia	CBM: Horas de uso	# de función del RCM
Procedimiento LOTO	PM_TELN1	Detener el funcionamiento de la máquina	2	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Bloqueo de energías y etiquetado	3	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Liberar energías remanentes (aire comprimido)	1	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Suspender el suministro de energía eléctrica	1	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Trasladar herramientas	2	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Inspección de cableado de comunicación y alimentación HMI de control CM40	5	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Limpieza de tablero de control, mediante absorción (uso de aspiradora)	10	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Ajustar terminales y conectores	20	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Extraer y limpiar filtros de aspiración	30	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Limpieza de HMI con un paño de microfibras	2	Min	1	Diaria		
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes de tablero de control	PM_TELN1	Reemplazar batería de controlador	30	Min	1	Annual diferenciado	Cada 10 años	
	PM_TELN1	Reemplazar contactores	45	Min	1	Annual diferenciado	Cada 2 años	
	PM_TELN1	Reemplazar filtros de aspiración	25	Min	1	Annual		
	PM_TELN1	Revisar estado de contactos de contactores y relés	45	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Ajuste y limpieza de pulsante de arranque, paro y emergencia	10	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales y limpieza de controladores de temperatura	10	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Reemplazo de regulador de velocidad	30	Min	1	Annual diferenciado	Cada 2 años	3 - 4 - 5
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de interruptor tripolar	5	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Limpieza de filtro de aire acondicionado	30	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de interruptores termomagnéticos	5	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de fuente DC y verificación de voltaje	5	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Reemplazo de relés 8 pines	5	Min	1	Annual		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de transformadores	10	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de guardamotores y umbral de activación	10	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Verificar configuración de PLC y HMI	15	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Comprobar estado de cables de conexión entre el controlador y las pistolas	30	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Comprobar estado de mangueras entre el controlador y las pistolas	30	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Reemplazo de mangueras	240	Min	2	Condición	Desgaste	
	PM_TELN1	Reemplazo de cables	60	Min	2	Condición	Desgaste	
	Revisión, ajuste y limpieza de eje vertical ZA07	PM_TELN1	Ajuste de conectores de cables y mangueras de aire	60	Min	1	Semestral	
PM_TMEN1		Limpieza exterior del eje con aire comprimido de arriba abajo	30	Min	1	Semanal		
PM_TMEN1		Revisión y limpieza de guías de eje vertical	30	Min	1	Semanal		
PM_TMEN1		Comprobar si el bloque motor pierde aceite	10	Min	1	Mensual		
PM_TMEN1		Limpiar polvo acumulado en el espacio de los motores situado en la base del eje	30	Min	1	Mensual		
PM_TMEN1		Comprobar la tensión y desgaste de la correa dentada	30	Min	1	Semestral		
PM_TMEN1		Comprobar la suavidad de marcha y el desgaste de los rodillos del carro Z	30	Min	1	Semestral		
PM_TMEN1		Comprobar el desgaste y limpiar los depósitos acumuladores en la columna	30	Min	1	Semestral		
PM_TMEN1		Comprobar las conexiones a tierra	15	Min	1	Semestral		
PM_TMEN1		Limpiar el exterior del eje con aire comprimido	30	Min	1	Semanal		
Revisión, ajuste y limpieza de eje horizontal XT10	PM_TMEN1	Revisión y limpieza de guías de eje horizontal	30	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Comprobar si el bloque motor pierde aceite	10	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Limpiar polvo acumulado en el interior del eje	30	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Comprobar la tensión y desgaste de la correa dentada	30	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Comprobar la suavidad de marcha y el desgaste de los rodillos del carro	30	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Comprobar el desgaste y limpiar los depósitos acumuladores en la superficie de deslizamiento	15	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Limpiar el exterior de la pistola con aire comprimido	10	Min	1	Diaria		
	PM_TELN1	Compruebe los puntos de conexión con las mangueras de polvo	20	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Desacople de la manguera de polvo	15	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Desmante el pulverizador de la pistola y límpiela con aire comprimido	25	Min	1	Semanal		
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes de pistola OptiGun GA03-E	PM_TELN1	Injecte aire comprimido en la pistola desde la conexión en dirección del flujo	15	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Injecte aire comprimido en la manguera de polvo desde los inyectores hacia la cabina	20	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Limpieza o cambio de ser necesario de anillo de contacto	15	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Ensamble la pistola y realice las conexiones necesarias	20	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Retire el pulverizador y limpie la parte interior con aire comprimido	15	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Limpieza del exterior e interior de los pulverizadores con aire comprimido	10	Min	1	Diaria		
	PM_TELN1	Compruebe la posición correcta de los pulverizadores	10	Min	1	Diaria		
	PM_TELN1	Ajuste correctamente el mango roscado	10	Min	1	Diaria		
	PM_TELN1	Compruebe estado de pulverizadores, de presentar desgaste realice el cambio	15	Min	1	Mensual		
	PM_TELN1	Reemplazo de electrodo	15	Min	1	Trimestral	800	
Revisión, ajuste, limpieza o cambio de inyectores E106-V	PM_TELN1	Reemplazo de boca de pistola	15	Min	1	2 meses	600	
	PM_TELN1	Reemplazo de manguera de polvo	30	Min	1	5 meses	1500	
	PM_TMEN1	Cambio de inyector	100	Min	1	2 meses	500	
	PM_TELN1	Medición de electrostática de cada pistola	40	Min	1	Annual		
	PM_TMEN1	Extraer el inyector del recipiente de polvo	10	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Desensamble integral del inyector	60	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Limpieza de empalmes y la conexión de la manguera con aire comprimido	20	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Extraer manguito interior, limpiarlo y comprobar el desgaste	30	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Limpiar el cuerpo del inyector con aire comprimido	20	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Limpieza de válvulas de retención (filtros) Utilice aire comprimido de adentro hacia fuera	30	Min	1	Semanal		
Revisión y limpieza de cabina de recubrimiento MagicCompact BA04	PM_TMEN1	Reemplazo de válvulas de retención (filtros)	20	Min	1	Annual		
	PM_TMEN1	Ensamble del inyector y encajarlo sobre la tapa del recipiente	30	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Comprobar la cámara de aire en la carcasa dentro del filtro final	10	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Comprobar separadores de aceite si presenta aceite vaciarlos	5	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Desconectar cables de medición de los manostatos y soplos desde el mado del manómetro	15	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Compruebe el tamiz vibratorio del ciclón separador y elimine los residuos	10	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Revisar si rotor, husillo, apoyo, tambor perforado presentan daños o deformación	10	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Abrir tapa de control y comprobar que el tejido filtrante no este roto u obstruido	5	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	Comprobar el equilibrio de las piezas giratorias	10	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Vaciar recipiente de material grueso	5	Min	1	Diaria		
Revisión, limpieza y cambio de componentes Tamizadora E 650	PM_TMEN1	En el rotor comprobar si se han formado rebabas en el escoriadero y eliminarlas	5	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Lubricar manguitos y retenes del eje de los alojamientos	10	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Aspirar la rejilla de ventilación y aletas del ventilador de motor	10	Min	1	Mensual		
	PM_TMEN1	Cambio de rodamientos de motor y eje rotor	45	Min	1	Annual		

Revisión, ajuste, limpieza o cambio de bomba Optifeed PP06	PM_TMEN1	Limpieza de mangueras, usar aire comprimido desde bomba hacia cabina	10	Min	1	Semanal	2
	PM_TMEN1	Revisión de manguitos	25	Min	1	Mensual	
	PM_TMEN1	Limpieza externa e interna de bomba	15	Min	1	Mensual	
	PM_TMEN1	Revisión de mangueras de aire internas	5	Min	1	Mensual	
	PM_TMEN1	Ajuste de presiones de trabajo (vacío, conv air, check)	5	Min	1	Semanal	
	PM_TMEN1	Medición de capacidad de bombeo (superior a 5Kg/min)	10	Min	1	Semanal	
	PM_TMEN1	Cambio de kit de reparación	45	Min	1	Semestral	
	PM_TMEN1	Cambio de manguera 32mm	30	Min	1	Semestral	
Deposito de polvo HF02-200	PM_TMEN1	Revisión de sensor de nivel: ajuste de posición y revisión de cable	10	Min	1	Semestral	2
	PM_TMEN1	Revisión y comprobación de sistema de calentamiento	10	Min	1	Semestral	
Identificación y reparación de fugas de aire comprimido	PM_TMEN1	Identificación de fugas de aire comprimido	10	Min	1	Semestral	
	PM_TMEN1	Reparación de fugas de aire comprimido	30	Min	1	Semestral	
Revisión, limpieza filtro final	PM_TMEN1	Extacción de filtros	60	Min	1	Mensual	2
	PM_TMEN1	Limpieza de cartuchos del filtro final	30	Min	1	Semanal	
	PM_TMEN1	Cambio de cartuchos filtro final	180	Min	1	anual	
Revisión, ajuste y limpieza y lubricación de sistema de tracción	PM_TMEN1	Limpieza de platinas	180	Min	3	Semestral	6
	PM_TMEN1	Limpieza de ganchos	180	Min	3	Semestral	
	PM_TMEN1	Limpieza de riel	360	Min	3	Semestral	
	PM_TMEN1	Limpieza de rodamientos	240	Min	3	Semestral	
	PM_TMEN1	Lubricación de rodamientos	180	Min	3	Semestral	
	PM_TMEN1	Medición de continuidad riel - pieza	30	Min	1	Semestral	
	PM_TMEN1						

ANEXO B

		PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CABINA WAGNER 328-001						
Actividad	Puesto de trabajo	Descripción de la actividad	Trabajo	Unidad	Técnicos requeridos	Frecuencia	CBM: Horas de uso	# de función del RCM
Procedimiento LOTO	PM_TELN1	Detener el funcionamiento de la máquina	2	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Bloqueo de energías y etiquetado	3	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Liberar energías remanentes (aire comprimido)	1	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Suspender el suministro de energía eléctrico	1	Min	1	Semanal		
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes de tablero de control	PM_TELN1	Trasladar herramientas	5	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Limpieza de tablero de control, mediante absorción (uso de aspiradora)	15	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Ajustar terminales y conectores	20	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Extraer y limpiar filtros de aspiración	30	Min	2	Semanal		
	PM_TELN1	Reemplazar contactores	45	Min	1	Anual		
	PM_TELN1	Reemplazar filtros de aspiración	10	Min	1	Anual		
	PM_TELN1	Revisar estado de contactos de contactores y reles	30	Min	1	Mensual		
	PM_TELN1	Ajuste y limpieza de pulsante de arranque, paro y emergencia	20	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales y limpieza de controladores de temperatura	30	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Reemplazo de regulador de velocidad	30	Min	1	Condición		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de interruptor tripolar	5	Min	1	Mensual		
	PM_TELN1	Limpieza de filtro de aire acondicionado	30	Min	1	Semanal		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de interruptores termomagnéticos	5	Min	1	Mensual		
	PM_TELN1	Ajuste de terminales de fuente DC y verificación de voltaje	10	Min	1	Semestral		
PM_TELN1	Reemplazo de reles 8 pines	10	Min	1	Anual			
PM_TELN1	Ajuste de terminales de transformadores	10	Min	1	Semestral			
PM_TELN1	Ajuste de terminales de guardamotors y umbral de activación	10	Min	1	Mensual			
Revisión, ajuste, limpieza y cambio de componentes unidades de control	PM_TELN1	Comprobar estado de cables de conexión entre el controlador y las pistolas	15	Min	1	Mensual		
	PM_TELN1	Comprobar estado de mangueras entre el controlador y las pistolas	15	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Reemplazo de mangueras	240	Min	2	Semestral		1
	PM_TELN1	Reemplazo de cables	30	Min	2	Condición		
Revisión de tolva	PM_TELN1	Ajuste de conectores de cables y mangueras de aire	30	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	Cambio de cables de alimentación de controladores	30	Min	1	Condición		
	PM_TMEN1	Verificación de absorción en cabina	15	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	revisión de fugas de polvo	15	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	cambio de filtros absolutos	45	Min	2	Mensual		2
	PM_TMEN1	sustitución de tubo de recuperación	480	Min	2	Mensual		
revisión de pistolas	PM_TMEN1	comprobar el sistema impulsivo	30	Min	2	Semestral		
	PM_TMEN1	limpieza de pistolas	540	Min	1	Anual		
	PM_TELN1	reemplazo cambio de cono	5	Min	1	Semestral		
	PM_TELN1	reemplazo boquilla de inserción	10	Min	1	Semestral		
revisión, mantenimiento de alimentador de bombas	PM_TELN1	reemplazo de pistola	20	Min	1	Condición		1
	PM_TELN1	revisar electrostática de la pistola	15	Min	1	Condición		
	PM_TMEN1	sustitución de tabique poroso	300	Min	2	Anual		
	PM_TMEN1	sustitución de antivibrantes	280	Min	2	Condición		
	PM_TMEN1	sustitución de red microporosa	280	Min	2	Anual		
	PM_TMEN1	verifique el estado de los tubos de aspiración de polvo	30	Min	2	Mensual		
Revisión y limpieza de cadena de movimietno	PM_TMEN1	revisar el estado del tabique poroso	10	Min	2	Semestral		2
	PM_TMEN1	revisión de bombas	300	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	revisión de motor vibrador	20	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	reemplazo de motor vibrador	90	Min	1	Condición		
	PM_TMEN1	reemplazo de tubos	20	Min	1	Condición		
	PM_TMEN1	revisión de lubricación	30	Min	1	Mensual		
revisión y ajuste de reciprocador	PM_TMEN1	revisión de rodamientos	60	Min	1	Mensual		6
	PM_TMEN1	revisión de motor reciprocador	15	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	Revisión y limpieza de guías de eje.	15	Min	1	Semanal		
	PM_TMEN1	revisión de aceite de motor reductor	15	Min	1	Semestral		
	PM_TMEN1	calibración de reciprocador	45	Min	1	Semestral		6
	PM_TMEN1	Comprobar la tensión y desgaste de la correa dentada	15	Min	1	Semestral		
PM_TMEN1	Comprobar la suavidad de marcha y el desgaste de los rodillos del carro	30	Min	1	Anual			
PM_TMEN1	comprobar funcionamiento de fines de carrera	15	Min	1	Semestral			