

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR JOSE
MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO DE CORTADORA PLASMA
WARCOM W POWER 6025.**

Trabajo de Titulación para optar
al Título de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:

Raúl Andrés Cáceres Ibacache.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Pablo Andrés Duque Ramírez.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO DE CORTADORA PLASMA WARCOM POWER 6025.

Nombre del candidato(a): Raúl Andrés Cáceres Ibacache.

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial con licenciatura en ingeniería vespertino.

Campus: José Miguel Carrer, sede Viña del Mar.

Departamento: Mecánica.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Andrés Duque Ramírez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 14-05-26

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 14.05.2026.

Firma:

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

Dedicatorias

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, Ana y Raúl. Gracias por su dedicación y sacrificio; su apoyo fue fundamental para lograr esta meta en mi vida, que fue continuar mis estudios. Apoyo que he recibido con amor no solamente en este proceso, sino durante toda mi vida, y sin duda alguna han sido el pilar más fundamental en ella.

Además, agradezco a mi familia, en especial a mis dos hermanas, Ignacia y Nicole, quienes también han sido un apoyo fundamental en este lindo camino que seguí.

Te agradezco a ti también, Estefanía, que desde que llegaste a mi vida me has apoyado y has sido uno de los pilares más fundamentales. Si no dejé este camino y no lo abandoné, fue gracias a ti y a tu apoyo incondicional.

Quiero reconocer también a los profesores del Departamento de Mecánica, quienes me han entregado las herramientas y conocimientos, y a quienes debo mi formación profesional. En especial, al profesor Pablo Duque quien, durante la redacción de este trabajo, siempre tuvo la mejor disposición para guiarme, brindándome constantemente su apoyo y conocimientos académicos.

A RHONA S.A., por darme la oportunidad de realizar este trabajo junto a ustedes, y a mis colegas, quienes apoyaron durante todo este estudio. Mención especial a mis compañeros Jorge Masso, Juan Morales y al supervisor de mantenimiento Luis Arancibia, quienes apoyaron activamente en la recolección de datos técnicos de la empresa y del activo. También al supervisor del área de máquinas, Guillermo Cortez, quien me apoyó no solamente en este trabajo, sino durante toda mi carrera.

Resumen

El presente trabajo, desarrolla una propuesta de mejora al plan de mantenimiento de la cortadora plasma Warcom W Power 6025, equipo crítico dentro del proceso productivo de Rhona S.A., específicamente en las áreas de poder y media potencia. Debido a su rol como primer eslabón en la cadena productiva, la indisponibilidad de este activo genera impactos directos en la continuidad operacional, los plazos de entrega y los costos asociados a la producción, lo que justifica la necesidad de una gestión de mantenimiento estructurada y basada en confiabilidad.

La metodología utilizada, corresponde al mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), respaldada por las normas SAE JA1011 Y SAE JA1012, complementada con los lineamientos de la norma ISO 14224. En una primera etapa, se realizó un análisis funcional del equipo identificando sus funciones, así como sus subsistemas críticos: generador plasma, mesa de corte y extractor de humos y partículas. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de criticidad mediante el cálculo del número de prioridad de riesgo (NPR), lo que permitió jerarquizar los modos de falla según su severidad, ocurrencia y detectabilidad.

Con base en esta priorización, se aplicó la metodología FMECA, incorporando el análisis de riesgo cualitativo y cuantitativo, con el objetivo de evaluar de manera más profunda los efectos de falla y sus consecuencias en términos de seguridad, higiene y ambiente, producción y costos. Los resultados evidenciaron que los modos de falla asociados al sistema extractor de humos, presentan los mayores niveles de riesgo, principalmente por su impacto en seguridad y ambiente, seguidos por fallas relevantes en la mesa de corte que afectan la estabilidad y continuidad del proceso.

A partir de los resultados obtenidos, se utilizó el árbol de decisiones de RCM, para definir las políticas de manejo de fallas más adecuadas, para cada modo de falla identificado, este proceso permitió establecer tareas de mantenimiento a condición, reacondicionamiento y sustituciones cíclicas y justificar la ausencia de mantenimiento preventivo, asegurando la coherencia entre el análisis de riesgos y las actividades de mantenimiento propuestas.

El plan de mantenimiento desarrollado incluye la definición de frecuencias, recursos, costos asociados y herramientas de apoyo, como listas de verificación, para el seguimiento para tareas a condición. Finalmente se realizó una comparación técnico-económica entre el plan actual y el plan propuesto, evidenciando una reducción en el número de fallas esperadas, del tiempo fuera de servicio y de la indisponibilidad anual del equipo.

Índice.

INTRODUCCION.....	8
OBJETIVO GENERAL.	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	9
CAPÍTULO 1: ANÁLISIS FUNCIONAL Y CRITICIDAD DEL EQUIPO.....	10
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO.....	11
1.1 SUBSISTEMAS PRINCIPALES.	12
1.1.1 GENERADOR PLASMA.	12
1.1.2 MESA DE CORTE.	12
1.1.3 EXTRACTOR DE HUMO Y PARTÍCULAS.	13
1.2 CONTEXTO OPERACIONAL.	14
1.2.1 FRECUENCIA DE USO.	14
1.2.2 MATERIALES PROCESADOS.	14
1.2.3 CONDICIONES AMBIENTALES.	14
1.2.4 ROL EN EL PROCESO PRODUCTIVO.	15
1.2.5 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO.	15
1.3 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	19
1.3.1 ESTRUCTURA JERÁRQUICA DEL SISTEMA.....	19
1.3.2 FUNCIONES PRINCIPALES Y SECUNDARIAS.....	19
1.4 IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA.	20
1.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD.	23
1.5.1 MATRIZ CUALITATIVA DE RIESGO.	23
1.5.2 CRITERIOS Y VALORES.....	23
1.5.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LOS SUBSISTEMAS.	25
1.5.4 ESCALA DE VALORES DE CRITICIDAD.....	28
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE FMECA Y ANÁLISIS DE RIESGO CUANTITATIVO.....	29
2. DESCRIPCIÓN DE FMECA.....	30
2.1 FALLA FUNCIONAL	30
2.2 MODOS DE FALLA Y EFECTOS DE FALLA.	32
2.3 FRECUENCIA DE FALLAS.	36
2.4 COSTOS DIRECTOS POR FALLA	36
2.5 IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN.	36
2.6 IMPACTO EN LA SEGURIDAD Y AMBIENTAL.	36
2.7 RIESGO CUALITATIVO.	37
2.8 RIESGO CUANTITATIVO.	37
2.9 CRITICIDAD DE MODOS DE FALLA.	40
2.10 ANÁLISIS DE RIESGO CUANTITATIVO.....	40
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	41
3.1 ÁRBOL DE DECISIONES RCM.	42
3.2 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES.....	43
3.3 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y COSTOS ASOCIADOS.....	44
3.3.1 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE LA GENERADORA PLASMA.....	46

3.3.2	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE MESA DE CORTE.	47
3.3.3	TAREAS DE MANTENIMIENTO DEL EXTRACTOR DE HUMOS.....	48
3.5	CARTA GANTT.	49
3.4	COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA ENTRE EL PLAN ACTUAL Y PLAN PROPUESTO.	51
3.5	CHECKLIST DE VERIFICACIÓN, PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.....	51
	CONCLUSIONES.....	55
	RECOMENDACIONES.	56
	REFERENCIAS.	57

Índice Tablas.

TABLA 1-1	DATOS TÉCNICOS DE LA WARCOM W POWE 6025.	11
TABLA 1-2	PLAN ACTUAL GENERADOR PLASMA.....	15
TABLA 1-3	PLAN ACTUAL GENERADOR PLASMA.....	16
TABLA 1-4	PLAN ACTUAL SIDEROS ECOPLASMA.	17
TABLA 1-5	PLAN DE MANTENIMIENTO MESA DE CORTE.	18
TABLA 1-6	MODOS DE FALLA GENERADOR PLASMA.	20
TABLA 1-7	MODOS DE FALLA GENERADOR PLASMA.	21
TABLA 1-8	MODOS DE FALLA MESA CNC WARCOM.	22
TABLA 1-9	MODOS DE FALLA SIDEROS ECOPLASMA.	22
TABLA 1-10	CRITERIOS DE SEVERIDAD.....	24
TABLA 1-11	CRITERIOS DE OCURRENCIA.....	24
TABLA 1-12	CRITERIOS DE DETECTABILIDAD.	25
TABLA 1-13	ANÁLISIS DE CRITICIDAD GENERADORA DE PLASMA.	26
TABLA 1-14	ANÁLISIS DE CRITICIDAD MESA DE CORTE.....	27
TABLA 1-15	ANÁLISIS DE CRITICIDAD SIDEROS ECOPLASMA.	27
TABLA 1-16	ESCALA DE VALORES DE CRITICIDAD.....	28
TABLA 2-1	FALLA FUNCIONAL GENERADOR PLASMA.....	31
TABLA 2-2	FALLA FUNCIONAL MESA DE CORTE.	32
TABLA 2-3	FALLA FUNCIONAL EXTRACTOR DE HUMOS Y PARTÍCULAS.....	32
TABLA 2-4	MODOS DE FALLAS Y EFECTOS DE FALLA GENERADOR PLASMA.....	33
TABLA 2-5	MODOS DE FALLAS Y EFECTOS DE FALLA GENERADOR PLASMA.....	34
TABLA 2-6	MODOS DE FALLAS Y EFECTOS DE FALLA MESA CNC.	35
TABLA 2-7	MODOS DE FALLAS Y EXTRACTOR DE HUMOS SIDEROS.....	35
TABLA 2-8	CRITERIOS SHA.....	36
TABLA 2-9	RIESGO CUALITATIVO GENERADOR PLASMA.	38

TABLA 2-10 RIESGO CUALITATIVO MESA CNC.....	39
TABLA 2-11 RIESGO CUALITATIVO EXTRACTOR DE HUMO Y PARTÍCULAS.	39
TABLA 3-1 TABLA ELECCIÓN DE TAREAS GENERADOR PLASMA.	43
TABLA 3-2 TABLA ELECCIÓN DE TAREAS MESA DE CORTE.	44
TABLA 3-3 TABLA ELECCIÓN DE TAREAS EXTRACTOR DE HUMOS.	44
TABLA 3-4 TABLA DE ACTIVIDAD Y ACCIÓN A EJECUTAR GENERADOR PLASMA.	46
TABLA 3-5 COSTOS DE ACTIVIDADES GENERADOR DE PLASMA.	47
TABLA 3-6 TABLA DE ACTIVIDAD Y ACCIÓN A EJECUTAR MESA DE CORTE.....	48
TABLA 3-7 COSTOS DE ACTIVIDADES MESA DE CORTE.....	48
TABLA 3-8 TABLA DE ACTIVIDAD Y ACCIÓN A EJECUTAR EXTRACTOR DE HUMOS.....	49
TABLA 3-9 COSTOS DE ACTIVIDADES EXTRACTOR DE HUMOS.	49
TABLA 3-10 COMPARATIVA PLAN ACTUAL CON PLAN PROPUESTO.....	51

Índice Figuras.

FIGURA 1-1 GENERADORA PLASMA HYPERFORMANCE PLASMA HPR130XD.	12
FIGURA 1-2 MESA DE CORTE WARCOM.....	13
FIGURA 1-3 EXTRACTOR DE HUMO SIDEROS ECOPLASMA.	13
GRÁFICO 2-1 MATRIZ DE RIESGO.	40
FIGURA 3-1 ÁRBOL DE DECISIONES RCM.....	42
FIGURA 3-2 CARTA GANTT.....	50
FIGURA 3-3 CHECKLIST ACUMULACIÓN EXCESIVA DE ESCORIA.....	52
FIGURA 3-4 CHECKLIST TORCHA PLASMA.	53

INTRODUCCION.

RHONA S.A. es una empresa de origen chileno con más de seis décadas de trayectoria en el sector eléctrico, dedicada a la fabricación y comercialización de equipos y soluciones para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Su planta se ubica en Viña del Mar, en donde se realiza el diseño, fabricación y reparación de transformadores y accionamientos eléctricos, contando con un sistema integrado de gestión certificado bajo las normas ISO 9001 (Gestión de calidad), ISO 14001 (Gestión Ambiental) e ISO 45001 (Seguridad y Salud en el trabajo).

Dentro de la planta industrial, la sección máquina desarrolla procesos de corte, punzonado y plegado de planchas metálicas, que sirven de base para la fabricación de celdas, gabinetes Pad-Mounted, transformadores de distribución, transformadores de poder y equipos compactos. Para estas labores, se dispone de dos equipos principales: una cortadora láser Trumpf, modelo 1030 y la cortadora plasma Warcom W Power 6025. Esta última permite trabajar espesores de hasta 30 mm y es responsable del corte de piezas destinadas a las áreas de Media Potencia y Poder, dos líneas que son las más relevantes, en términos estratégicos y de rentabilidad de las cinco áreas comerciales de la planta industrial.

La máquina Warcom constituye el primer eslabón del flujo productivo de estas áreas, lo que la convierte en un activo de alta criticidad, participando en el procesamiento de un promedio aproximado de 12.000 kg semanales de planchas metálicas, considerando que cada kilogramo procesado genera 1 USD por cada proceso metalmecánico (corte, plegado y soldadura), el activo impacta potencialmente 36.000 dólares a la semana, considerando los 3 procesos (Total de 3 USD por kg). Durante todo el último año, el equipo registró 286 horas fuera de servicio. Adicionalmente se registraron 81 fallas, considerando fallas en los consumibles. La heterogeneidad en la planificación de mantenimiento entre el generador plasma, el extractor de humos y la mesa CNC compromete la confiabilidad del sistema, esto aumenta el riesgo de detenciones que no estén programadas, afectando directamente la continuidad operacional de las líneas estratégicas de las áreas de mayor rentabilidad de la planta.

En este contexto, se justifica la necesidad de aplicar una metodología que permita diseñar un plan de mantenimiento integral y coherente para los subsistemas que componen la cortadora. Con esto, se busca la reducción de fallas críticas y aumentar la confiabilidad operacional.

La metodología usada corresponde al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), respaldada por las normas SAE JA1011 y JA1012, en la cual se establece un proceso estructurado para identificar funciones, fallas, modos de falla y consecuencias. En primera instancia, se realizará un análisis funcional y de criticidad apoyado también por la norma ISO 14224 para la clasificación de fallas. Posteriormente, se aplica un análisis FMECA que permitirá priorizar los modos de falla en función de su severidad. Finalmente, mediante el uso del árbol de decisión RCM se define las tareas preventivas, predictivas y correctivas necesarias, junto con su frecuencia y recursos asociados, con el fin de construir un plan de mantenimiento que fortalezca la confiabilidad de la cortadora plasma Warcom W Power 6025.

OBJETIVO GENERAL.

Proponer mejoras al plan de mantenimiento de la cortadora plasma Warcom W Power 6025, utilizando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y así disminuir la ocurrencia de fallas críticas, aumentando la disponibilidad del equipo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Describir el funcionamiento de la cortadora plasma Warcom W Power 6025, sus funciones principales y modos de falla relevantes, estableciendo el nivel de criticidad de sus componentes y subsistemas, generando una base técnica para el desarrollo del FMECA.
- Desarrollar un análisis FMECA, aplicando los lineamientos establecidos por las normas SAE JA1011, SAE JA1012 e ISO 14224, priorizando los modos de falla según su criticidad y riesgo cuantitativo, apoyando la toma de decisiones de mantenimiento.
- Generar un plan de mantenimiento, utilizando el árbol de decisión del RCM, estableciendo frecuencia y recursos necesarios, determinando la viabilidad del plan propuesto.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS FUNCIONAL Y CRITICIDAD DEL EQUIPO.

1. Descripción General del Equipo.

La cortadora plasma Warcom W Power constituye un activo importante en el proceso productivo, ya que se encarga de realizar el corte inicial de las planchas metálicas destinadas principalmente a las áreas de Poder y Media Potencia, las cuales son las de mayor relevancia económica en la planta. Su diseño permite realizar cortes con precisión en aceros al carbono e inoxidables, utilizando gases de protección específicos para cada material, garantizando la calidad en la operación.

En la siguiente tabla se presenta sus principales antecedentes técnicos:

Tabla 1-1 Datos Técnicos de la Warcom W Powe 6025.

Marca	Warcom
Modelo	W POWER 6025
POTENCIA MOTOR PRINCIPAL	9,5 kW
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	380V / 50 HZ
MASA APROXIMADA	7500 KG
ÁREA DE TRABAJO	2440mm x 6000mm
ESPESOR MÁXIMO DE CORTE	32 mm
RANGO DE POTENCIA	30 A - 130 A
GASES DE CORTE Y PREFLUJO	
ACERO AL CARBONO	AIRE EXTRA-PURO / OXÍGENO
ACERO INOXIDABLE	NITRÓGENO - FORMINGAS

Fuente: Ficha técnica.

1.1 Subsistemas Principales.

El equipo está conformado por tres subsistemas principales:

1.1.1 Generador Plasma.

Generador Plasma marca Hypertherm, modelo Hyperformance Plasma HPR130XD, constituye el corazón del sistema, ya que produce el arco eléctrico que genera el plasma, transforma la energía eléctrica en un chorro de gas a muy alta temperatura, capaz de fundir y cortar el material.

Figura 1-1 generadora plasma Hyperformance plasma HPR130XD.



Fuente: Imagen propia.

1.1.2 Mesa de Corte.

Mesa CNC Warcom, modelo W POWER 6025, con un área de trabajo de 2440 mm x 6000 mm, donde se ubican las planchas metálicas para realizar el corte. Consta de guías, ejes controlados por CNC y el pórtico, donde se ubica la torcha de la plasma. Permite ejecutar cortes precisos de acuerdo con planos CAD, controlando desplazamientos en los X, Y & Z.

Figura 1-2 Mesa de corte Warcom.



Fuente: Imagen propia.

1.1.3 Extractor de Humo y Partículas.

Sistema de extracción de polvo y humos Sideros, modelo Ecoplasma. Cumple una función ambiental y de seguridad, captando partículas metálicas, humos y gases producidos por el corte. Su operación es clave para mantener un ambiente de trabajo seguro, proteger la salud de los operarios y reducir la acumulación de residuos sobre los mecanismos de la mesa. Incluye filtros y ductos.

Figura 1-3 extractor de humo Sideros Ecoplasma.



Fuente: Imagen propia.

1.2 Contexto Operacional.

La cortadora plasma opera en la planta industrial de RHONA S.A, desempeñando un rol estratégico dentro de la línea productiva de corte, plegado y soldadura de piezas metálicas. Su ubicación en el proceso la convierte en el primer eslabón de la cadena, ya que abastece de las piezas cortadas a las áreas de Poder y Media Potencia, que corresponden a las divisiones de mayor rentabilidad de la empresa. Por este motivo, cualquier falla o indisponibilidad del equipo impacta de forma directa en la continuidad de la producción y en los ingresos de la organización.

1.2.1 Frecuencia de uso.

El equipo trabaja regularmente en un turno diario de 8 horas, de lunes a viernes, sin embargo, en situaciones de alta demanda se suele adicionar un turno extra los sábados de 8 horas igualmente, o doble turno de lunes a viernes (día y noche, 16 horas diarias).

Este patrón de uso evidencia que la cortadora plasma no es solo un equipo de operación regular, sino que también actúa como un recurso crítico de capacidad adicional cuando se presentan picos de producción.

1.2.2 Materiales Procesados.

La máquina se utiliza para el corte de distintos tipos de acero en rangos de espesor que van desde 1 mm hasta 32 mm, lo que otorga gran versatilidad operativa, cada material requiere gases específicos de corte, los materiales procesados con mayor frecuencia son:

- Acero al carbono: utiliza aire comprimido extra-puro y oxígeno como gas de corte.
- Acero galvanizado: utiliza los mismos gases de corte que el acero al carbono, se varía los parámetros de corte (velocidad, amperaje).
- Acero inoxidable: utiliza nitrógeno y formingas, el cual es una mezcla que se compone de 95% de nitrógeno e hidrógeno (5%).

El gas de preflujo que utiliza es el oxígeno, ese preflujo sirve para limpiar las boquillas antes del proceso de corte.

1.2.3 Condiciones Ambientales.

El uso de la máquina se realiza en el interior de un galpón industrial ubicado en Viña del Mar, en condiciones de temperatura y humedad ambiente controlada y sin exposición directa a intemperie. No obstante, el ambiente de trabajo presenta concentraciones de polvo metálico y partículas en suspensión, propias del proceso de corte por plasma y de las planchas. Estas condiciones demandan un sistema de aspiración confiable y un mantenimiento riguroso, ya que la acumulación de residuos puede afectar tanto al activo como a la seguridad del personal.

1.2.4 Rol en el Proceso Productivo.

El rol de la Warcom W Power 6025 es crítico dentro del flujo de producción, ya que todas las piezas metálicas que se procesan en las áreas de Poder y Media Potencia deben pasar obligatoriamente por esta etapa de corte, de esta forma, el equipo funciona como un tipo de cuello de botella, esto debido a que cualquier detención imprevista genera paralización de las etapas de plegado y soldadura, pudiendo afectar directamente los plazos de entrega y la satisfacción de los clientes.

1.2.5 Estado Actual del Mantenimiento.

En cuanto a la gestión de mantenimiento, los tres subsistemas de la máquina presentan un estado de mantenimiento heterogéneo:

El generador plasma Hypertherm HPR130XD cuenta con un plan de mantenimiento formal que ha demostrado ser efectivo, el cual se presenta a continuación:

Tabla 1-2 Plan actual generador plasma.

Componente	Tipo	Frecuencia	Observaciones
Filtro de gases	Repuesto programado	1 vez al año	Mantiene la pureza del flujo de gases de corte.
Solución de enfriamiento	Repuesto programado	1 vez al año	Revisar nivel y concentración antes del reemplazo.
Contactor 90AMPs 3P 12VAC	Repuesto programado	1 vez al año	Parte del sistema de potencia, revisar estado eléctrico.
Relé 120VAC	Repuesto programado	1 vez al año	Verificar continuidad eléctrica y funcionamiento.

Fuente: Manual Fabricante.

Tabla 1-3 Plan actual generador plasma.

Componente	Tipo	Frecuencia	Observaciones
Filtro de bomba	Repuesto programado	1 vez al año	Evita obstrucciones en el circuito de refrigeración.
Bomba refrigerante	Repuesto programado	1 vez al año	Revisión funcional previa al cambio (fugas, ruido, vibración).

Fuente: Manual Fabricante.

Las actividades de mantenimiento preventivo programadas en la tabla anterior corresponden a un reemplazo anual de componentes del generador plasma. Dichas actividades se ejecutan durante una parada programada de 8 horas-hombre (1 turno). Esta detención garantiza la continuidad operacional del generador plasma.

El extractor de humos y partículas Sideros Ecoplasma cuenta de un plan de mantenimiento establecido por su manual de operación, el cual incluye principalmente tareas de limpieza, inspección y verificación periódica de sus componentes. Sin embargo, en la práctica este plan no ha sido resultado del todo eficiente, ya que se han presentado diversas fallas asociadas principalmente a la falta del control en los tiempos de reemplazo de los filtros. En varias ocasiones, los filtros han resultado dañados por chispas provenientes del proceso de corte, generando incluso quemaduras en su superficie, por otro lado, al no existir una frecuencia definida de sustitución, se han ocasionado fallas críticas como la emisión de humo y partículas metálicas por la parte superior del extractor, así como la pérdida total de la capacidad de aspiración, lo que ocasiona la acumulación de polvo y residuos en la máquina de corte. Estas ocurrencias no solo comprometen la confiabilidad operativa del subsistema, sino que además representan un riesgo directo para la seguridad, higiene y salud de los operadores (SHA).

A continuación, se presenta el plan actual del Sideros Ecoplasma:

Tabla 1-4 Plan actual Sideros Ecoplasma.

Componente / Parte	Actividad	Tipo	Periodicidad
Cesto de desechos	Extraer y vaciar el cesto; revisar empaquetadura inferior	Ordinario / Limpieza	Según se requiera
Recipiente de trampa antichispas	Extraer, vaciar y reinstalar recipiente	Ordinario / Limpieza	Según se requiera
Prefiltros metálico	Extraer y limpiar con aire comprimido	Ordinario / Limpieza	1 vez al mes
Cartuchos filtrantes	Verificar fijación y presión ΔP ; sustituir si es necesario	Periódico	Inspección diaria
Cámara limpia	Verificar ausencia de paso de polvos desde cámara sucia	Periódico	1 vez al mes
Red de trampa antichispas	Limpiar partículas que impidan correcto flujo de aire	Periódico	1 vez al mes
Portillos de acceso	Verificar apriete de perillas y hermeticidad de empaquetaduras	Periódico	1 vez al mes
Línea de alimentación neumática	Verificar presión de aire (6–7 bar)	Periódico	1 vez al mes

Fuente: Manual Fabricante.

En el caso de la mesa CNC WARCOM, no existe como tal un plan de mantenimiento, si hay unas recomendaciones del fabricante que se centran únicamente en actividades rutinarias de limpieza y verificación visual, estas intervenciones si bien contribuyen a mantener el funcionamiento del equipo, no constituyen un plan integral de mantenimiento, ya que no contemplan inspecciones sistemáticas de las guías lineales, sistema de transmisión de servomotores, etc.

Tabla 1-5 Plan de mantenimiento mesa de corte.

DESCRIPCIÓN DE LA INTERVENCIÓN	INTERVALO DE MANTENIMIENTO	MODALIDAD DE INTERVENCIÓN
LIMPIEZA DE LOS RESIDUOS DE CORTE DE LA REJILLA	SEMANAL	Poner la máquina en condiciones seguras. Usar un cincel neumático para eliminar los depósitos.
VACIADO DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS	SEMANAL (o cuando sea necesario)	Poner la máquina en condiciones seguras. Retirar los contenedores y vaciarlos con el equipo apropiado.
ANTORCHA	DIARIO	Poner la máquina en condiciones seguras. Antes de iniciar el corte, comprobar que la antorcha y los denominados componentes consumibles están en buen estado. Si se observan quemaduras o alteraciones de color en los repuestos de la antorcha, deben ser reemplazados. Consultar el manual de la fuente de plasma para las modalidades de sustitución.

Fuente: Manual fabricante.

La ausencia de un plan estructurado para la mesa incrementa la probabilidad de fallas no detectadas a tiempo y detenciones imprevistas, lo que podría generar un gran problema considerando que este subsistema constituye la base mecánica la cual opera el generador plasma.

1.3 Análisis Funcional.

1.3.1 Estructura jerárquica del sistema.

El análisis funcional de la cortadora plasma es un desglose jerárquico fundamental para facilitar la identificación de fallas funcionales y modos de falla para etapas posteriores del estudio.

En el nivel 0 se ubica un sistema completo, cuya función es realizar cortes precisos de planchas metálicas de distintos espesores, de acuerdo con las ordenes de trabajo debido a que cada estanque de Poder y Media Potencia son distintos según requerimientos del cliente.

En el nivel 1 se distinguen los tres subsistemas principales:

- Generador Plasma Hypertherm HPR130XD, cuya función es producir y mantener el arco del plasma necesario para el corte.
- Mesa CNC Warcom, donde se posiciona la plancha metálica y donde se desplaza la torcha según trayectorias definidas en el programa.
- Extractor de humos y partículas Sideros Ecoplasma. Encargado de aspirar y filtrar residuos de polvo y gases generados durante el corte, garantizando condiciones seguras de trabajo.

1.3.2 Funciones Principales y Secundarias.

El análisis funcional de la cortadora plasma permite identificar la función global del sistema y sus funciones secundarias que aseguran su correcto desempeño. Diferenciarlas es fundamental para establecer que actividad constituye el objetivo central del equipo y cuales son funciones de apoyo que deben cumplirse para garantizar la continuidad y la confiabilidad del equipo.

- Función principal de la Warcom W Power 6025 es “Realizar cortes precisos en planchas metálicas de hasta 32 mm de espesor, de acuerdo con lo requerido por las órdenes de trabajo (OT), cumpliendo con los estándares de calidad dimensional, seguridad y continuidad operacional requeridos por el proceso productivo”. Esta función constituye el propósito central del sistema.
- Las Funciones secundarias deben cumplirse para que la función principal pueda cumplirse de manera adecuada, las 2 principales funciones secundarias son “Aspirar y filtrar humos y partículas a través del extractor, manteniendo condiciones de seguridad, higiene y salud en el área de trabajo” y “Evacuar los residuos metálicos sólidos hacia los contenedores mediante las rejillas de la mesa, evitando acumulaciones que afectan la operación de la mesa”.

Los estándares de desempeño esperados son los siguientes:

- Precisión de corte de $\pm 0,2$ mm en espesores de hasta 32 mm.
- Calidad de borde, corte sin rebaba excesiva ni deformaciones visibles.
- Seguridad operacional, ausencia de emisión visible de humos y partículas hacia el ambiente de trabajo.

1.4 Identificación de modos de falla.

De acuerdo con la norma ISO 14224, las fallas funcionales corresponden a la incapacidad de un sistema o subsistema de cumplir con la función para la cual fue diseñado, estas fallas se manifiestan a través de modos de fallas específicos, los cuales describen la forma particular en que un componente deja de operar.

En el caso de la cortadora plasma, los modos de falla más frecuentes observados en la operación de la máquina. La siguiente tabla resume la información recopilada.

Tabla 1-6 Modos de falla generador plasma.

Subsistema	Modo de falla	Consecuencia	Frecuencia
Generador Plasma Hypertherm HPR130XD	Contactos Desgastados No produce arco piloto	No produce arco piloto, Imposibilidad de iniciar el corte.	1 vez/año
	Conductos contaminados por refrigerante (mal armado de la torcha)	Peligro para consola de gases.	cada 3 años aproximadamente
	Fusible quemado, no activa el sistema de enfriamiento	No activa el sistema de enfriamiento. Sobrecalentamiento, detención inmediata	3 veces/año
	Refrigerante con nivel bajo, alarma	Parada automática de seguridad, interrupción del corte	6 veces/año

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-7 Modos de falla generador plasma.

Subsistema	Modo de falla	Consecuencia	Frecuencia
Generador Plasma Hypertherm HPR130XD	Filtro Obstruido por Suciedad	Falta de enfriamiento de la antorcha, riesgo de daño térmico	1 vez/Año
	Receptáculo Roto por Colisión	Corte interrumpido, riesgo de daños mayores	Ocurre Menos de 1 Vez Cada 5 Años
	Capuchón Aislador Desgastado	Corte interrumpido.	12 veces/Año Aproximadamente
	Boquilla de Gas de Protección Desgastada	Corte interrumpido.	12 veces/Año Aproximadamente
	Capuchón de Retención de la Boquilla Desgastada	Corte interrumpido.	12 veces/Año Aproximadamente
	Boquilla Desgastada	Corte interrumpido.	12 veces/Año Aproximadamente
	Difusor Desgastado	Corte interrumpido.	12 veces/Año Aproximadamente
	Electrodo Desgastado	Corte interrumpido.	12 veces/Año Aproximadamente
	Tubo de Agua Desgastado	Corte interrumpido.	1 vez/Año

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-8 Modos de falla mesa CNC Warcom.

Subsistema	Modo de falla	Consecuencia	Frecuencia
Mesa CNC Warcom	Rodamiento trancado del eje Y	Corte interrumpido o fuera de tolerancia	Cada 2 Años Aproximadamente
	Prisionero de Acople del servomotor Eje U Suelto.	Desalineación, piezas fuera de tolerancia, pérdida de transmisión	1 vez/año
	Mesa con acumulación excesiva de escoria	Corte inestable, necesidad de detención para limpieza	8 veces/año

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-9 Modos de falla Sideros Ecoplasma.

Subsistema	Modo de falla	Consecuencia	Frecuencia
Extractor Sideros Ecoplasma	Manguera de Esclusa Quemada por Chispas	Fugas de polvo metálico, acumulación en la mesa, riesgo SHA	Cada 2 Años Aproximadamente
	Filtro Quemado por Chispas Incandescentes	Pérdida de capacidad de filtración, emisión de humo, riesgo de incendio	Cada 2 Años Aproximadamente
	Filtros Sucios	Pérdida de capacidad de filtración	1 vez/año

Fuente: Elaboración propia.

1.5 Análisis de criticidad.

El análisis de criticidad es una herramienta fundamental para realizar la metodología RCM, permite priorizar los modos de falla según su impacto en la seguridad, el ambiente, la producción y los costos asociados. A partir de la identificación de fallas funcionales y modos de falla en los subsistemas de la cortadora plasma Warcom W Power 6025, se evalúan la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias en los distintos ámbitos, generando un índice de criticidad que facilitan la toma de decisiones.

1.5.1 Matriz Cualitativa de Riesgo.

El análisis FMECA es una metodología estructurada que permite identificar los modos de falla potenciales de un sistema, según la normativa SAE J1739, esta técnica extiende el FMEA tradicional incorporando un análisis más profundo del nivel de riesgo asociado a cada modo de falla. El NPR (Número de prioridad de riesgo) corresponde a una matriz de riesgo tridimensional empleada en la metodología, basada en la evaluación conjunta de Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad.

N * P * R

N

Severidad: Incluye impacto en seguridad, medio ambiente, producción y costos

P

Ocurrencia: Que tan probable es que la falla ocurra, evalúa la frecuencia histórica o esperada del modo de falla.

R

Detectabilidad: Mide qué tan probable es que una falla sea detectada antes de causar consecuencias.

1.5.2 Criterios y Valores

A continuación, se presentan los criterios de evaluación utilizados para determinar la severidad, ocurrencia y detectabilidad de cada modo de falla, los cuales permiten calcular el Número de Prioridad de Riesgo (RPN).

La Tabla 1-10 presenta los criterios de evaluación de la Severidad (S), definidos en una escala de 1 a 5 y adaptados al contexto operacional de la máquina de corte plasma, mesa CNC y sistema de extracción. Esta clasificación considera el impacto en seguridad, continuidad operacional, calidad del producto y daño potencial al equipo.

Tabla 1-10 Criterios de Severidad.

Valor N (1-5)	Criterio
1	Sin impacto en seguridad, producción o calidad. Ajuste menor sin paro.
2	Impacto bajo: afecta desempeño/calidad levemente, paro <30 min.
3	Impacto medio: paro 30 min–2 h o pérdida de tolerancia con retrabajo
4	Impacto alto: paro >2 h, daño relevante a componente, pérdida importante de producción/calidad.
5	Impacto crítico: riesgo SHA/incendio/ambiente o daño mayor del equipo y/o paro crítico prolongado.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1-11 establece los criterios de Ocurrencia (O), determinados en función de la frecuencia real de las fallas registradas en operación. La escala de 1 a 5 permite representar objetivamente la probabilidad de ocurrencia anual de cada modo de falla.

Tabla 1-11 Criterios de Ocurrencia.

Valor P (1-5)	Criterio
1	Menos de 1 vez cada 5 años.
2	1 vez cada 2–5 años.
3	Aproximadamente 1 vez por año.
4	Entre 2 y 11 veces por año.
5	12 veces por año o más (mensual o superior).

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1-12 define los criterios de Detectabilidad (D), evaluando la capacidad del sistema para identificar una falla antes de que genere consecuencias significativas. La escala considera la existencia de alarmas, inspecciones rutinarias y la posibilidad de detección anticipada.

Tabla 1-12 Criterios de Detectabilidad.

Valor R (1-5)	Criterio
1	Detección automática o casi segura.
2	Muy probable detección mediante inspección rutinaria o checklist
3	Detectable mediante inspección planificada o medición técnica específica.
4	Señales débiles o se identifica cerca del fallo.
5	No detectable o falla súbita sin aviso previo.

Fuente: Elaboración propia.

1.5.3 Análisis de Criticidad para los Subsistemas.

A continuación, se presenta la tabla de análisis de criticidad de los modos de fallas identificados en los principales subsistemas de la cortadora plasma, determinando un índice de criticidad que permite clasificar cada falla como baja, media o crítica, según su impacto en la continuidad operacional de la planta.

La Tabla 1-13 presenta el análisis de criticidad del generador de plasma Hypertherm HPR130XD, considerando los principales modos de falla asociados al sistema de potencia y consumibles. El NPR se calculó mediante la multiplicación de Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad, permitiendo clasificar cada evento en niveles de criticidad baja, media o alta.

Tabla 1-13 Análisis de criticidad generadora de plasma.

Modo de falla	S	O	D	NPR	Criticidad
Contactos desgastados (no produce arco piloto)	4	3	4	48	MEDIA
Conductos contaminados por refrigerante (mal armado)	5	2	4	40	MEDIA
Fusible quemado (no activa enfriamiento)	4	4	3	48	MEDIA
Refrigerante con nivel bajo (alarma)	4	4	1	16	BAJA
Filtro obstruido por suciedad	3	3	2	18	BAJA
Receptáculo roto por colisión	5	1	5	25	MEDIA
Capuchón aislador desgastado	3	5	2	30	MEDIA
Boquilla gas protección desgastada	3	5	2	30	MEDIA
Capuchón retención boquilla desgastado	3	5	2	30	MEDIA
Boquilla desgastada	3	5	2	30	MEDIA
Difusor desgastado	3	5	2	30	MEDIA
Electrodo desgastado	3	5	2	30	MEDIA
Tubo de agua desgastado	3	3	2	18	BAJA

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1-14 muestra el análisis de criticidad correspondiente a la mesa CNC Warcom, evaluando fallas mecánicas y operacionales que afectan la precisión y continuidad del corte. Los resultados permiten identificar los modos de falla con mayor impacto en la disponibilidad del equipo.

Tabla 1-14 Análisis de criticidad mesa de corte.

Modo de falla	S	O	D	NPR	Criticidad
Rodamiento trancado eje Y	5	3	4	60	ALTA
Prisionero acople servomotor eje U suelto	4	3	5	60	ALTA
Mesa con acumulación excesiva de escoria	3	4	3	36	MEDIA

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1-15 expone el análisis de criticidad del sistema de extracción Sideros Ecoplasma, considerando fallas asociadas a filtración y riesgo de incendio o exposición a material particulado. La evaluación permite priorizar acciones preventivas en función del riesgo operacional y de seguridad.

Tabla 1-15 Análisis de criticidad Sideros Ecoplasma.

Modo de falla	S	O	D	NPR	Criticidad
Manguera esclusa quemada por chispas	5	2	4	40	MEDIA
Filtro quemado por chispas incandescentes	5	2	5	50	MEDIA
Filtros sucios	3	3	2	18	BAJA

Fuente: Elaboración propia

1.5.4 Escala de Valores de Criticidad

La siguiente tabla presenta los valores de referencia que permiten clasificar el nivel de criticidad de cada modo de falla según su NPR, estableciendo rangos que determinan cuándo un riesgo es considerado bajo, medio crítico o muy crítico.

Tabla 1-16 Escala de valores de criticidad.

NPR	Criticidad	Interpretación
1 – 24	Baja	Riesgo aceptable
25 – 59	Media	Requiere mejora
60 – 125	Crítica	Riesgo significativo

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE FMECA Y ANÁLISIS DE RIESGO CUANTITATIVO.

2. Descripción de FMECA.

El FMECA es una metodología que identifica y prioriza los modos de falla evaluando sus efectos de falla y su criticidad. Según las normas SAE JA1011, JA1012 Y SAE J1739, el análisis va avanzando desde el sistema hacia los subsistemas y sus componentes, para determinar qué fallas son probables, qué impacto generan en seguridad, ambiente, producción u operación, y si provocan una falla total de la función o solo una degradación del desempeño.

Sus elementos esenciales son:

- Modo de falla: lo que puede fallar.
- Efecto de falla: qué ocurre si la falla se presenta.
- Criticidad: qué tan grave.

2.1 Falla funcional

Una falla funcional es una incapacidad de un activo para cumplir la función que se espera del dentro de su estándar de desempeño. Esto incluye tanto la pérdida total de la función como la pérdida parcial, donde el activo aún opera, pero no cumple los límites, parámetros o estándares definidos.

Las normas SAE JA1011 Y SAE JA1012 explican que primero se deben definir las funciones y sus estándares de desempeño, y una falla funcional ocurre cuando el activo no puede cumplir la función definida en su contexto operacional. La ISO 14224 respalda esto al relacionar la falla con el impacto que genera en seguridad, ambiente, producción u operación.

A partir de esta definición y del enfoque estructurado del análisis FMECA, es necesario desglosar el activo en sus niveles de subsistemas para identificar con claridad que funciones cumple y que modos de falla pueden impedirlo. Por ello, a continuación, se presenta una tabla donde se organizan los subsistemas, sus funciones asociadas y los modos de falla probables.

Tabla 2-1 Falla Funcional generador plasma.

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	Falla Funcional
Generador Plasma	1	Función Principal	
			A.1) Incapacidad de generar o mantener el arco de plasma requerido para iniciar o ejecutar el proceso de corte.
		A) Generar un arco de plasma estable con una potencia nominal de hasta 130 A, capaz de cortar planchas metálicas de 1 a 25 mm con una tolerancia dimensional de $\pm 0,2$ mm	A.2) Generar un arco de plasma fuera de los parámetros requeridos, afectando la estabilidad o calidad del corte.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-2 Falla funcional mesa de corte.

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	Falla Funcional
Mesa de Corte	2	B) Mover el sistema de corte (torcha) a lo largo de los ejes X y Y con una precisión de $\pm 0,2\text{mm}$ y soportar planchas metálicas de hasta $2440\text{mm} \times 6000\text{mm}$, permitiendo ejecutar cortes según el programa CNC.	B.1) Incapacidad de mover el sistema de corte en los ejes X-Y de acuerdo con el programa CNC.
			B.2) Impedir el contacto correcto entre la mesa y la torcha generando dificultad para la generación del arco

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-3 Falla Funcional extractor de humos y partículas.

Sistema/Subistema	#	Descripción de la Función	Falla Funcional
Extractor de Humos y partículas.	3	C)Extraer humos, vapores y partículas generadas durante el corte manteniendo un caudal de $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$, permitiendo operar dentro de los límites ambientales.	C.1) Incapacidad de extraer humos y partículas desde la zona de corte.
			C.2Extraer humos y partículas por debajo del caudal de $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Modos de falla y Efectos de falla.

Un modo de falla es la forma específica en la que un componente, subsistema o sistema puede fallar, es decir, cómo se produce la pérdida de la función, en cambio el efecto de falla corresponde a lo que ocurre cuando el modo de falla se presenta, considerando impactos en seguridad, ambiente, operación, producción o daño físico.

A partir de estas definiciones y siguiendo la estructura para un FMECA se identificaron los modos de falla y sus efectos asociados para cada subsistema.

Tabla 2-4 Modos de fallas y Efectos de falla generador plasma.

#	Modo de Falla	Efecto Falla
1.1	Contactor Desgastado No produce arco piloto	Evidente: Sí, En casos severos la máquina emite ruido y proyecta chispa hacia arriba. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Temperatura, ruido, proyección de partículas y baja de rendimiento. Acción correctiva: Cambio de contactos.
1.2	Conductos contaminados por refrigerante (mal armado de la torcha)	Evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): No Penetra la plancha de acero, alarma de error. Acción correctiva: descontaminación de conductos, cambios de consumible y revisión de consola de gases .
1.3	Fusible quemado, no activa el sistema de enfriamiento	Evidente: Si, Alarma no deja operar máquina. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Temperatura, Alarma. Acción correctiva: Cambio de fusible.
1.4	Refrigerante con nivel bajo, alarma	Evidente: Si, Refrigerante bajo nivel indicado en el depósito. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Temperatura. Acción correctiva: Cambio de Refrigerante.
1.5	Filtro Obstruido por suciedad	Evidente: Si, Máquina al tomar temperatura, entre en estado de alarma. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Disminución del rendimiento, Temperatura. Acción correctiva: Limpieza de Filtro.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-5 Modos de fallas y Efectos de falla generador plasma.

#	Modo de Falla	Efecto Falla
1.6	Receptáculo Roto por colisión	Evidente: Si, pérdida total de uso de la maquina Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Para total del equipo Acción correctiva: Cambio de Torcha completa.
1.7	Capuchón Aislador Desgastado	Evidente: Si, Plancha no es penetrada por el arco. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Disminución del rendimiento, Ruido Acción correctiva: Cambio de consumibles.
1.8	Boquilla de Gas de Protección Desgastada	
1.9	Capuchón de Retención de la Boquilla Desgastada	
1.10	Boquilla Desgastada	
1.11	Difusor Desgastado	
1.12	Electrodo Desgastado	
1.13	Tubo de Agua Desgastado	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-6 Modos de fallas y Efectos de falla mesa CNC.

#	Modo de Falla	Efecto Falla
2.1	Rodamiento trancado del eje Y	Evidente: Si, Cabezal pierde movimiento Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Baja de rendimiento del equipo, posibilidad de para total Acción correctiva: Cambio de Rodamiento.
2.2	Prisionero de Acople del servomotor Eje U Suelto.	Evidente: SI, Cabezal pierde movimiento. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Para total del equipo Acción correctiva: Reemplazo de prisioneros.
2.3	Mesa con acumulación excesiva de escoria	Evidente: Si, con inspección visual Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Disminución del rendimiento, Dificultad para generar arco Acción correctiva: Cambio de platinas de mesa.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-7 Modos de fallas y Extractor de humos Sideros.

#	Modo de Falla	Efecto Falla
3.1	Manguera de Esclusa Quemada por Chispas	Evidente: No Afecta SHA: Si. Exposición de partículas al ambiente. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de Función de aspirado. Acción correctiva: Cambio de Manguera.
3.2	Filtro Quemado por Chispas Incandescentes	Evidente: No Afecta SHA: Si, Exposición de partículas al ambiente y riesgo de incendio. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de Función de aspirado. Acción correctiva: Cambio de Filtro
3.3	Filtros Sucios	Evidente: No Afecta SHA: Si, al limpiar genera polvillo metálico en el aire el cual puede llegar a ser aspirado por el operador. Efecto operacional (síntomas): Disminución del rendimiento. Acción correctiva: Limpieza de filtro

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Frecuencia de fallas.

Corresponde a qué tan a menudo ocurre un modo de falla en el contexto operacional del activo. Las normas SAE JA1011 Y SAE JA1012 indican que deben basarse en fallas históricas, fallas probables y condiciones de operación.

2.4 Costos directos por falla

Son los costos inmediatos a la corrección a la falla tales como repuestos, mano de obra, tiempo de intervención y cualquier material requerido.

2.5 Impacto en la producción.

En el efecto que la falla genera la capacidad operativa del equipo, pudiendo causar detención total, reducción de velocidad, disminución de calidad o incremento de desechos. Este impacto corresponde a las consecuencias operacionales.

2.6 Impacto en la seguridad y ambiental.

Es un indicador el cual entrega una clasificación (A,B Y C) donde A representa al mayor impacto mientras C el impacto menor. Los niveles se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2-8 Criterios SHA.

SHA			
	C	B	A
A	2	3	3
B	1	2	3
C	1	1	2

Fuente: Elaboración propia.

2.7 Riesgo Cualitativo.

Es una evaluación global del nivel de riesgo que combina la severidad de las consecuencias, la frecuencia de falla y el impacto operacional. Se utiliza para categorizar los modos de falla en bajo, medio o alto.

Con estas definiciones, es posible evaluar cada modo de falla de forma consistente. En la siguiente tabla se presentan la evaluación de sus impactos considerando frecuencia, costos, producción, seguridad/ambiente y riesgo cualitativo.

2.8 Riesgo Cuantitativo.

El riesgo cuantitativo anual asociado a cada modo de falla fue estimado considerando la frecuencia de ocurrencia de la falla, el impacto económico asociado a la pérdida de producción durante el tiempo de reparación y los costos directos de intervención.

Para ello, se utilizó la siguiente expresión:

$$RQ=F \times ((MTTR \times CP)+CD)$$

Donde:

RQ: Riesgo cuantitativo anual [CLP/año]

F: Frecuencia anual de ocurrencia de la falla

MTTR: Tiempo medio de reparación [h]

CP: Costo por pérdida de producción [CLP/h]

CD: Costos directos asociados a la reparación de la falla [CLP/falla]

Tabla 2-9 Riesgo Cualitativo Generador plasma.

#	FREC FALLAS /AÑOS	MTTR (LOG-EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO	GRÁFICO
1.1	0,5	64	\$ 654.580	\$ 795.000	c	c	\$ 21.344.057	cc	1,00
1.2	0,3	16	\$ 654.580	\$ 195.000	c	c	\$ 3.200.484	cc	1,00
1.3	3	2	\$ 654.580	\$ 42.000	c	c	\$ 4.053.479	cc	1,00
1.4	6	2	\$ 654.580	\$ 64.000	c	c	\$ 8.238.959	cc	1,00
1.5	0,5	8	\$ 654.580	\$ 483.000	c	c	\$ 2.859.820	cc	1,00
1.6	0,2	64	\$ 654.580	\$ 478.000	c	c	\$ 8.474.223	cc	1,00
1.7	12	1	\$ 654.580	\$ 94.000	c	c	\$ 8.982.959	cc	1
1.8	12	1	\$ 654.580	\$ 104.000	c	c	\$ 9.102.959	cc	1
1.9	12	1	\$ 654.580	\$ 114.000	c	c	\$ 9.222.959	cc	1
1.10	12	1	\$ 654.580	\$ 101.000	c	c	\$ 9.066.959	cc	1
1.11	1	1	\$ 654.580	\$ 114.000	c	c	\$ 768.580	cc	1
1.12	12	1	\$ 654.580	\$ 114.000	c	c	\$ 9.222.959	cc	1
1.13	1	1	\$ 654.580	\$ 124.000	c	c	\$ 778.580	cc	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-10 Riesgo cualitativo mesa CNC.

#	FREC FALLAS /AÑOS	MTTR (LOG-EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO
2.1	0,3	16	\$ 654.580	\$ 564.000	c	c	\$ 3.311.184	cc
2.2	2	10	\$ 654.580	\$ 144.000	c	c	\$ 13.379.598	cc
2.3	5	12	\$ 654.580	264000	c	c	\$ 40.594.794	cc

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-11 Riesgo cualitativo extractor de humo y partículas.

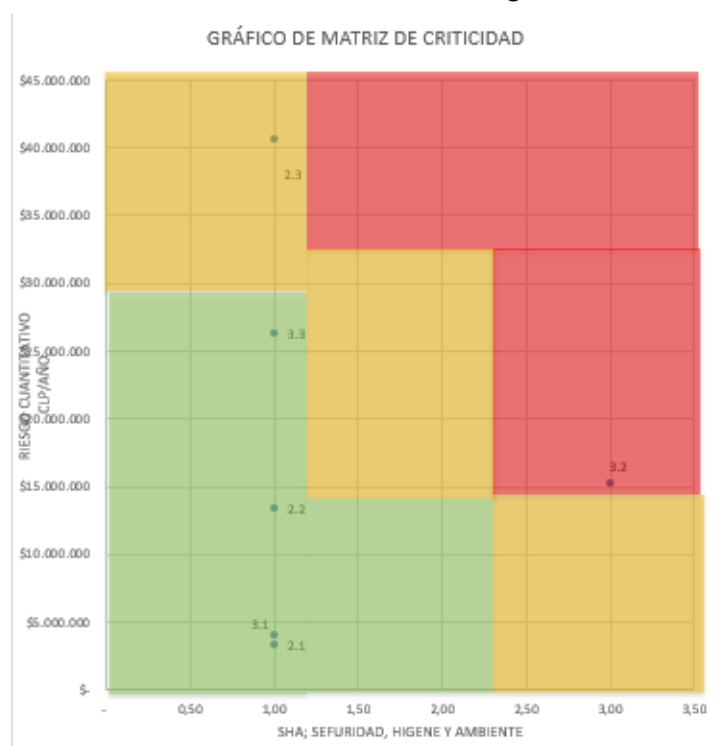
#	FREC FALLAS /AÑOS	MTTR (LOG-EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO
3.1	0,5	12	\$ 654.580	\$ 144.000	c	c	\$ 3.999.479	cc
3.2	0,5	44	\$ 654.580	\$ 1.620.000	a	a	\$ 15.210.758	aa
3.3	1	40	\$ 654.580	\$ 64.000	c	b	\$ 26.247.196	cb

Fuente: Elaboración propia.

2.9 Criticidad de modos de falla.

A partir de la información obtenida en el FMECA fue posible establecer una priorización de los modos de falla, ordenándolos desde aquellos que representan un mayor nivel de criticidad hasta los que presentan un menor impacto. Esto permite identificar tanto las consecuencias económicas asociadas a cada falla como el nivel de riesgo que representan actualmente o podrían presentar en un futuro.

Gráfico 2-1 Matriz de riesgo.



Fuente: Elaboración propia.

2.10 Análisis de riesgo cuantitativo.

Del análisis de la matriz de riesgo se observa que la falla 3.2 se posiciona dentro la zona crítica (zona roja), esto es debido a su impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA) y su elevado nivel de riesgo cuantitativo, lo cual la convierte en la condición más prioritaria dentro del conjunto evaluado.

A continuación, con una criticidad también significativa, se encuentran la falla 2.3, la cual presenta combinaciones importantes de impacto operacional, económico y/o de seguridad. encontrándose en una zona de riesgo medio-alto (zona amarilla) dentro de la matriz. Estas fallas, si bien no alcanzan el nivel extremo de la falla 3.2, requieren también atención prioritaria dentro de la planificación de mantenimiento.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

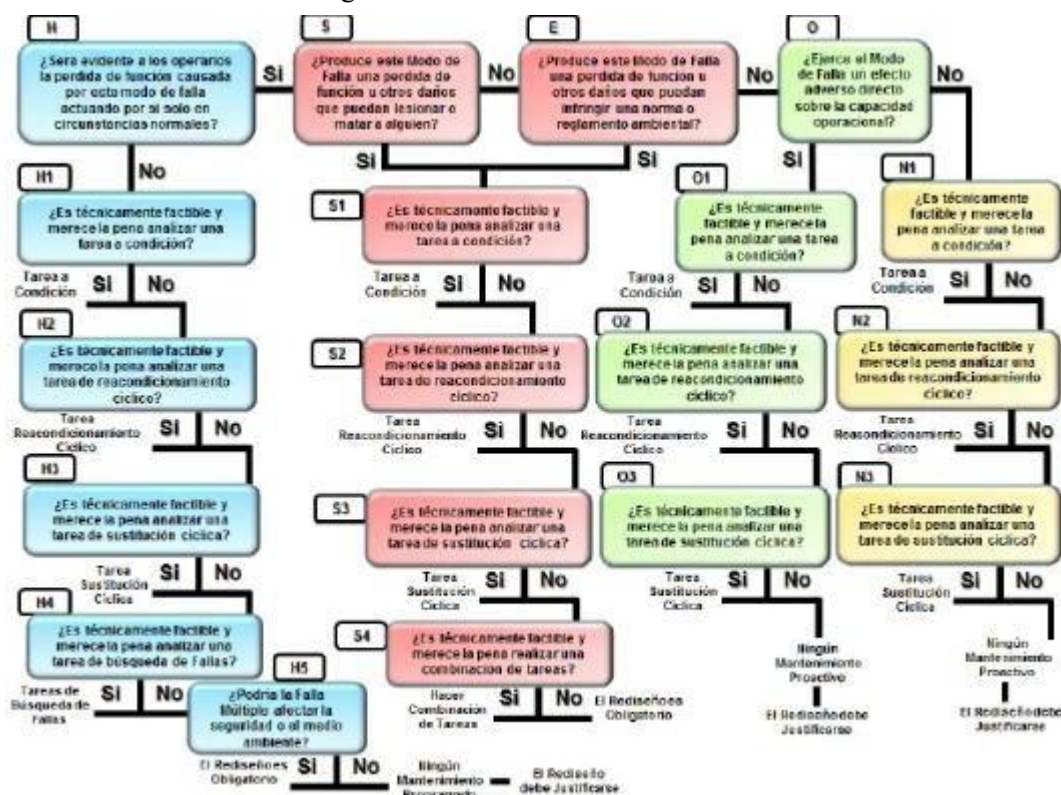
3.1 Árbol de decisiones RCM.

De acuerdo con la norma SAE JA1012, el árbol de decisiones del mantenimiento centrado en la confiabilidad es una herramienta lógica que permite escoger la política de manejo de las fallas más apropiada para los modos de falla, considerando sus consecuencias y la factibilidad de las distintas alternativas de mantenimiento. Esto asegura que las decisiones tomadas sean coherentes con los principios del RCM y con el contexto operacional del activo.

Este proceso se aplica luego de haber definido claramente las funciones del activo, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de falla, la norma establece que estas consecuencias se clasifican en categorías que incluyen consecuencias en la seguridad y ambiente, consecuencias operacionales y no operacionales diferenciando además entre fallas evidentes u ocultas.

Como resultado del árbol de decisiones del RCM, se determinan las políticas de manejo de fallas más apropiadas para cada modo de falla, a partir de las cuales se definen las actividades de mantenimiento correspondientes. Estas pueden incluir tareas basadas en condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica o tareas correctivas.

Figura 3-1 Árbol de decisiones RCM.



Fuente: RCM II, John Moubray.

3.2 Definición de actividades.

A partir del árbol de decisión RCM, se procedió a aplicar su lógica de manera sistemática a cada uno de los modos de falla. Para ello, cada modo de falla fue evaluado siguiendo de forma secuencial las preguntas establecidas en el árbol, considerando el tipo de consecuencia asociada y su factibilidad técnica. Este procedimiento permite traducir el esquema lógico del árbol en decisiones concretas de mantenimiento, asegurando coherencia y trazabilidad entre el análisis de consecuencias y la definición de las actividades asociadas a cada modo de falla, por esto se establece un vínculo directo entre la herramienta conceptual del RCM y su aplicación práctica, en la etapa de definición de las actividades.

Tabla 3-1 Tabla elección de tareas generador plasma.

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO:							SISTEMA N°			
			SUB-SISTEMA/COMPONENTE:							SUB-SISTEMA N°			
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas
							S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	
A	A.1	1.1	S	N	N	S	N	N	S				TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA
A	A.1	1.2	N				N	N	N	N	N		NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO
A	A.1	1.3	N				N	N	N	N	N		NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO
A	A.1	1.4	N				N	N	N	N	N		NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO
A	A.1	1.5	S	N	N	S	N	N	S				TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA
A	A.2	1.6	S	N	N	S	N	N	N				NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO
A	A.2	1.7	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN
A	A.2	1.8	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN
A	A.2	1.9	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN
A	A.2	1.10	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN
A	A.2	1.11	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN
A	A.2	1.12	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN
A	A.2	1.13	S	N	N	S	S						TAREA A CONDICIÓN

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-2 Tabla elección de tareas mesa de corte.

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO:							SISTEMA N°	
			SUB-SISTEMA/COMPONENTE:							SUB-SISTEMA N°	
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas Propuestas	
							S1	S2	S3		
							O1	O2	O3		
							F	FF	MF		H
B	B.1	2.1	S	N	N	S	N	S		REACONDICIONAMIENTO CICLICO	
B	B.1	2.2	S	N	N	S	N	N	N	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
B	B.2	2.3	S	N	N	S	S			TAREA A CONDICIÓN	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-3 Tabla elección de tareas extractor de humos.

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA/ACTIVO:							SISTEMA N°	
			SUB-SISTEMA/COMPONENTE:							SUB-SISTEMA N°	
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas Propuestas	
							S1	S2	S3		
							O1	O2	O3		
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3		
C	C.1	3.1	S	N	N	S	N	N	N	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
C	C.1	3.2	S	S			N	N	S	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	
C	C.2	3.3	S	N	N	S	N	N	N	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la aplicación del árbol de decisión RCM, cada modo de falla fue evaluado de forma sistemática siguiendo la secuencia lógica establecida, registrándose las respuestas correspondientes a cada pregunta del proceso. Como resultado de este análisis, se definieron las actividades de mantenimiento asociadas a cada modo de falla.

3.3 Actividades de mantenimiento y costos asociados

Luego de definidas las actividades de mantenimiento correspondientes a cada modo de falla identificado las cuales incluyen tareas a condición, reacondicionamientos cíclicos, sustituciones cíclicas y en aquellos casos justificados la ausencia de mantenimiento preventivo. Para cada actividad definida se estimaron los costos asociados, considerando mano de obra, repuestos y tiempo de ejecución, permitiendo cuantificar el impacto económico de las decisiones de mantenimiento adoptadas y apoyar la evaluación técnica y económica del plan propuesto. Las actividades se presentan de manera separada para la generadora plasma, la mesa de corte y el sistema extractor de humos.

La dotación de personal asignada a cada actividad de mantenimiento fue determinada considerando criterios técnicos y operacionales, tales como complejidad de la intervención, requerimientos de seguridad, necesidad de manipulación de componentes, tiempos estimados de ejecución y experiencia práctica del área de mantenimiento de RHONA S.A. En actividades menores de inspección y verificación se consideró un solo técnico, mientras que para intervenciones que requieren manipulación de componentes, desmontaje o apoyo operativo, se asignaron dos personas para asegurar una ejecución segura y eficiente

3.3.1 Actividades de mantenimiento de la generadora plasma.

En la tabla 3-4 se detallan las actividades y acciones a ejecutar correspondientes a las tareas de mantenimiento definidas para la generadora plasma, las cuales fueron establecidas a partir del análisis de modos de falla críticos del equipo. Estas tareas consideran los distintos tipos de intervención, tales como tarea a condición, reacondicionamientos cíclicos, sustituciones cíclicas o ningún mantenimiento preventivo.

Tabla 3-4 Tabla de actividad y acción a ejecutar generador plasma.

#	Actividad Mtto	Acción a ejecutar
1.1	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambio de Contactor
1.2	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Retirar refrigerante de los conductos, limpiar y secar conductos
1.3	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Cambio de fusible
1.4	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Rellenar Refrigerante
1.5	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambio de filtro
1.6	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Cambio de receptáculo
1.7	TAREA A CONDICIÓN	Verificar estado del capuchón
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar consumibles
1.8	TAREA A CONDICIÓN	verificar estado de la boquilla de gas de protección
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar consumibles
1.9	TAREA A CONDICIÓN	Verificar estado del capuchón de retención de la boquilla
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar consumibles
1.10	TAREA A CONDICIÓN	Verificar estado de la boquilla de corte
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar consumibles
1.11	TAREA A CONDICIÓN	Verificar estado del difusor
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar consumibles
1.12	TAREA A CONDICIÓN	Verificar estado del electrodo
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar consumibles
1.13	TAREA A CONDICIÓN	Verificar estado del tubo de agua
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar consumibles

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte en la tabla 3-5, se presenta la frecuencia de aplicación y sus costos asociadas para cada tarea de mantenimiento de la generadora plasma. Los costos estimados incluyen mano de obra, repuestos necesarios y el tiempo de ejecución de cada actividad.

Tabla 3-5 Costos de actividades generador de plasma.

#	Frecuencia de aplicación	Nºde personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales	PTTO ANUAL
1.1	1	1	2	\$28.500	\$567.000	\$624.000
1.2	0,3	2	8	\$4.000	\$32.000	\$51.200
1.3	3	1	1	\$4.000	\$10.000	\$22.000
1.4	6	1	1	\$4.000	\$32.000	\$56.000
1.5	1	1	1	\$28.500	\$27.000	\$55.500
1.6	0,2	1	8	\$28.500	\$250.000	\$295.600
1.7	24	1	0,5	\$4.000	\$0	\$48.000
	17	1	0,5	\$4.000	\$30.000	\$64.000
1.8	24	1	0,5	\$4.000	\$0	\$48.000
	17	1	0,5	\$4.000	\$40.000	\$74.000
1.9	24	1	0,5	\$4.000	\$0	\$48.000
	17	1	0,5	\$4.000	\$50.000	\$84.000
1.10	24	1	0,5	\$4.000	\$0	\$48.000
	17	1	0,5	\$4.000	\$37.000	\$71.000
1.11	24	1	0,5	\$4.000	\$0	\$48.000
	2	1	0,5	\$4.000	\$50.000	\$54.000
1.12	24	1	0,5	\$4.000	\$0	\$48.000
	17	1	0,5	\$4.000	\$50.000	\$84.000
1.13	24	1	0,5	\$4.000	\$0	\$48.000
	2	1	0,5	\$4.000	\$60.000	\$64.000

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Actividades de mantenimiento de mesa de corte.

La tabla 3-6 Muestra las actividades y acciones a ejecutar para las tareas de mantenimiento asociadas a la mesa de corte, definidas en función de los modos de falla identificados durante el análisis RCM.

Tabla 3-6 Tabla de actividad y acción a ejecutar mesa de corte.

#	Actividad Mtto	Acción a ejecutar
2.1	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	Engrasar Rodamiento Lineales
2.2	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Cambiar Prisioneros sueltos y/o cortados
2.3	TAREA A CONDICIÓN	Medir altura de escoria en mesa
	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar Platinas de mesa

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3-7 se indican las frecuencias de intervención y los costos asociados a cada tarea de mantenimiento de la mesa de corte, La estimación de costos consideran recursos humanos, de materiales y tiempos de ejecución involucrados.

Tabla 3-7 Costos de actividades mesa de corte.

#	Frecuencia de aplicación	Nºde personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales	PTTO ANUAL
2.1	2	2	2	\$4.000	\$30.000	\$62.000
2.2	2	2	10	\$4.000	\$80.000	\$240.000
2.3	12	1	0,5	\$4.000	\$0	\$24.000
	6	4	4	\$4.000	\$200.000	\$584.000

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Tareas de mantenimiento del extractor de humos.

En la tabla 3-8 se presentan las actividades y acciones a ejecutar correspondientes a las tareas de mantenimiento definidas para el sistema de extractor de humos. Tareas que fueron establecidas considerando los modos de falla que afectan la eficiencia de la extracción de humos.

Tabla 3-8 Tabla de actividad y acción a ejecutar extractor de humos.

#	Actividad Mtto	Acción a ejecutar
3.1	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Cambiar Manguera
3.2	TAREA DE SUSTITUCIÓN CICLICA	Cambiar Filtro
3.3	NINGÚN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Cambiar Filtro

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la tabla 3-9 se indica la frecuencia y los costos asociados a las tareas de mantenimiento del extractor de humos, incluyendo costos de mano de obra, repuestos y tiempo de ejecución requeridos.

Tabla 3-9 Costos de actividades Extractor de humos.

#	Frecuencia de aplicación	Nº de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales	PTTO ANUAL
3.1	0,5	2	8	\$4.000	\$80.000	\$112.000
3.2	1	2	12	\$4.000	\$1.120.000	\$1.216.000
3.3	1	2	16	\$4.000	\$0	\$128.000

Fuente: Elaboración propia

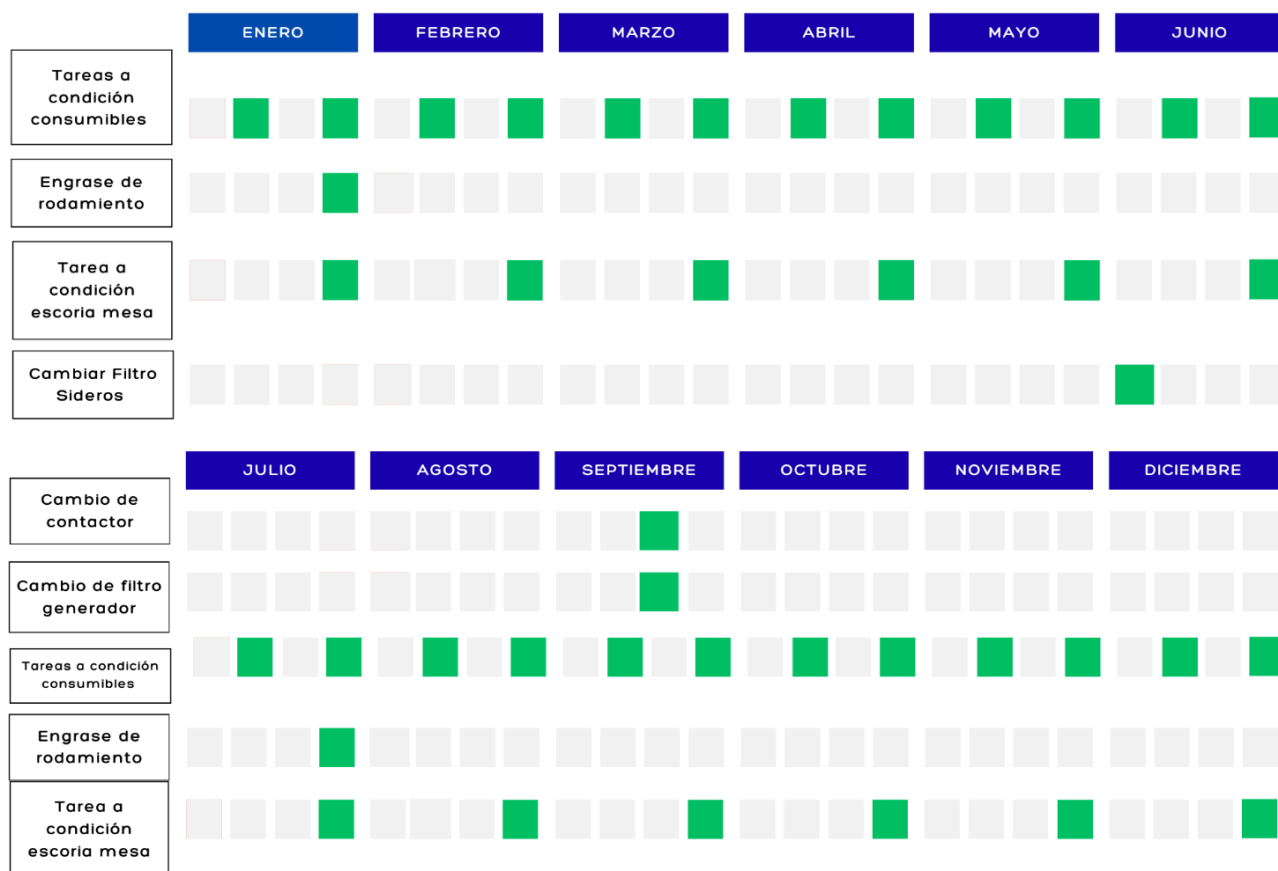
3.5 Carta Gantt.

Con el objetivo de asegurar una correcta implementación del plan de mantenimiento propuesto, se desarrolló una planificación anual, representada mediante una Carta Gantt. Esta herramienta permite visualizar de manera estructurada la distribución temporal de las actividades preventivas y a condición definidas previamente, facilitando la planificación operativa y el control de la carga de trabajo.

La planificación fue elaborada en base a la frecuencia anual establecida por cada actividad, distribuyendo las intervenciones de manera homogénea durante el año.

En la figura 3.2 se presenta la carta Gantt correspondiente a la programación anual del plan de mantenimiento del equipo.

Figura 3-2 Carta Gantt.



Fuente: Elaboración propia

Cada mes fue subdividido en cuatro intervalos equivalentes, correspondientes a las semanas operacionales del mes. Los cuadros en verde representan la semana programada para la ejecución de la actividad de mantenimiento correspondiente. La programación de las actividades deberá coordinarse semanalmente entre mantenimiento y producción, considerando disponibilidad operacional del equipo, duración estimada de las intervenciones, recursos humanos requeridos y ventanas de detención programada

La programación anual fue desarrollada considerando criterios operacionales y de disponibilidad del equipo. Las actividades de mayor duración o que requieran detención programada fueron agrupadas en una misma ventana de intervención, por otra parte, las tareas a condición fueron distribuidas homogéneamente durante el año para asegurar un monitoreo continuo del estado del equipo.

3.4 Comparación técnico-económica entre el plan actual y plan propuesto.

La tabla 3-10 presenta una comparación técnico-económica entre el plan actual, sin la aplicación de metodología RCM, y el plan de mantenimiento propuesto, estructurado a través del análisis de confiabilidad y criticidad de los subsistemas. La comparación considera indicadores operacionales y económicos relevantes, tales como el número de fallas esperadas anuales, el tiempo fuera de servicio, la indisponibilidad anual y sus costos asociados a la ineficiencia operativa y a la ejecución del mantenimiento.

Tabla 3-10 Comparativa plan actual con plan propuesto.

	Plan actual Sin RCM	Plan Propuesto
N° de fallas esperadas anuales	81,8	13,5
Tiempo Fuera de servicio (hrs)	286,4	105,6
Horas de ejecución de plan de mantenimiento	12	84,5
Tiempo total fuera de servicio	298,4	190,1
Indisponibilidad anual (%)	5%	2%
Costo ineficiencia CLP/anual	\$198.059.983	\$70.574.737
Costo de mano de obra (CLP/Año)	0	\$2.355.000
Costo de materiales (CLP/Año)	0	\$2.234.000
Costo de servicios (CLP/Año)	3.858.200	0
Costo de MO + Mat + Serv (CLP/Año)	\$3.858.200	\$4.589.000
Costo global	\$201.918.183	\$75.163.737
Ahorro		\$126.754.446

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la comparativa, el plan propuesto muestra una disminución estimada en el número de fallas esperadas anuales, así como una reducción del tiempo fuera de servicio asociadas a las fallas, sin embargo, el plan propuesto cuenta con mayor cantidad de horas de plan de mantenimiento planificado, sin embargo, el tiempo total fuera de servicio es menor en el plan propuesto.

En términos de disponibilidad, se observa una reducción en la indisponibilidad anual estimada, de un 4% del plan actual hasta un 2% en el plan propuesto, desde el punto económico los costos son incrementados, no obstante, estos costos se ven compensados por una disminución estimada en los costos de riesgo cuantitativo (costos de ineficiencia) derivados de fallas no planificadas.

3.5 Checklist de verificación, para la ejecución de actividades de mantenimiento.

De manera complementaria, se elaboraron dos listas de verificación la cuales están orientada al seguimiento y registro de la condición de los componentes, asociados a las tareas de mantenimiento a condición definidas en el plan propuesto. Estas checklist tienen como objetivo documentar la evolución del estado del equipo a lo largo del tiempo y servir como respaldo técnico para la toma de decisiones futuras.

A continuación, se presentan las listas de verificación desarrolladas para los subsistemas analizados, las cuales establecen los criterios de evaluación de condición y permiten sistematizar el registro de información relevante para el control y seguimiento de mantenimiento a condición.

Figura 3-3 Checklist acumulación excesiva de escoria.

MESA DE CORTE – ACUMULACIÓN EXCESIVA DE ESCORIA
IDENTIFICACIÓN
Equipo: Cortadora Plasma WARCOM W Power 6025
Modo de fallo: Acumulación excesiva de escoria
Fecha:
responsable:
Supervisor:
1. CONDICIONES DE SEGURIDAD
Marcar antes de iniciar la actividad:
☐ Equipo detenido
☐ Torcha en posición segura
☐ Mesa sin planchas en proceso de corte
☐ Uso de EPP obligatorio: guantes, lentes de seguridad.
2. INSPECCIÓN VISUAL DE LA MESA DE CORTE
2.1 Nivel de acumulación de escoria
☐ Escoria dentro de nivel operativo aceptable
☐ Escoria supera el nivel recomendado
**Altura aproximada de escoria:
Límite máximo permitido: 15 mm
2.2 Condición estructural de la mesa
☐ Pletinas sin deformaciones
☐ Pletinas correctamente alineadas
☐ Sin obstrucción de canales de caída de escoria
3. CRITERIO DE INTERVENCIÓN (TAREA A CONDICIÓN)
Marcar si se cumple alguno de los siguientes criterios:
☐ Altura de escoria ≥ 15 mm
☐ Escoria impide el correcto apoyo de la plancha
☐ Existe riesgo de colisión entre torcha y escoria
☐ Se detecta deterioro en la calidad del corte atribuible a escoria
Si uno o más criterios se cumplen, ejecutar cambio de pletinas
4. RESULTADO DE LA INSPECCIÓN
☐ Mesa apta para continuar operación
☐ Se realizó limpieza correctiva
☐ Se realizó cambio de pletinas
7. OBSERVACIONES
8. CIERRE DE ACTIVIDAD
Técnico responsable (firma):
Supervisor (firma):
Fecha de cierre:

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4 Checklist torcha plasma.

Ítem		Descripción		
Equipo		WARCOM W Power 6025		
Sistema		Torcha Plasma		
Actividad		Inspección a condición de		
Tipo de mantenimiento		Preventivo – CBM		
Fecha				
Técnico responsable				
Supervisor				
Condiciones de seguridad		Cumple (✓ / ✗)		
Equipo detenido				
Torcha fría				
Gases apagados				
Uso de EPP básico				
Inspección a condición de consumibles				
Nº	Componente	Condición a verificar (SÍ / NO)	Resultado	Acción
1	Capuchón aislador	¿Presenta fisuras visibles?	☐ NO ☐ SÍ	Mantener / Cambiar
2	Boquilla gas protección	¿Orificios ovalados o con escoria visible?	☐ NO ☐ SÍ	Mantener / Cambiar
3	Capuchón de retención	¿Rosca dañada o sujeción deficiente?	☐ NO ☐ SÍ	Mantener / Cambiar
4	Boquilla de corte	¿Orificio deformado o fuera de diámetro nominal?	☐ NO ☐ SÍ	Mantener / Cambiar
5	Difusor	¿Canales obstruidos o fisuras visibles?	☐ NO ☐ SÍ	Mantener / Cambiar
6	Electrodo	¿Cráter supera profundidad máxima permitida?	☐ NO ☐ SÍ	Mantener / Cambiar
7	Tubo de agua	¿Fugas o daño visible?	☐ NO ☐ SÍ	Mantener / Cambiar
Resultado		Marcar		
Consumibles aptos para continuar operación		☐		
Se realizó cambio de uno o más consumibles		☐		
Se recomienda monitoreo cercano		☐		
Observaciones				
Cierre actividad		Firma / Fecha		
Técnico responsable				
Supervisor				
Fecha de cierre				

Fuente: Elaboración propia.

Estas listas de verificación constituyen herramientas de apoyo para la aplicación de las tareas de mantenimiento a condición definidas en el plan propuesto, permitiendo estructurar la evaluación y registro del estado de los componentes. Su utilización contribuye al respaldo de las decisiones de mantenimiento, dentro del marco metodológico definido en el presente estudio.

Conclusiones.

El presente trabajo permitió analizar la cortadora CNC plasma Warcom W Power 6025 desde un enfoque de confiabilidad, considerando su contexto operacional y su rol estratégico dentro del proceso productivo de Rhona S.A. El estudio confirmó que este equipo constituye un activo crítico para las áreas productivas de poder y media potencia, debido a que cualquier detención imprevista impacta directamente en la continuidad del proceso, los tiempos de entrega y los costos asociados.

Mediante un análisis funcional y de criticidad, apoyado en la norma SAE J1739, fue posible identificar funciones principales y secundarias del equipo, así como los modos de falla más relevantes de sus subsistemas. Este análisis dejó en evidencia una gestión de mantenimiento desigual, donde el generador plasma presenta un plan relativamente efectivo, mientras que la mesa de corte carece de un plan estructurado y el sistema extractor de humos muestra deficiencias importantes que pueden afectar la confiabilidad operativa y la seguridad, higiene y ambiente.

La aplicación de un FMECA, conforme a las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, permitió evaluar de maneras más detalla los efectos de falla, incorporando el análisis de riesgo cualitativo y cuantitativo. Esta etapa permitió cuantificar el impacto de cada modo de falla en términos de seguridad, producción, costos e indisponibilidad, confirmando que ciertos modos de fallas requieren una atención prioritaria en la planificación del mantenimiento.

Con base en estos resultados, se utilizó el árbol de decisiones del mantenimiento centrado en la confiabilidad para definir de manera coherente las actividades más apropiadas. Este proceso permitió establecer tareas de mantenimiento a condición, reacondicionamiento y sustitución cíclicas, así como justificar técnicamente aquellos casos en los que no resulta conveniente aplicar mantenimiento preventivo, asegurando la alineación del plan propuesto con los principios del RCM y con los riesgos efectivamente identificados en el análisis FMECA.

El plan de mantenimiento desarrollado permitió estructurar actividades con frecuencias, recursos y sus costos, incorporando herramientas de apoyo para el seguimiento de la condición de los componentes. La comparación técnico-económica evidenció una reducción significativa del número de fallas, del tiempo fuera de servicio y de la indisponibilidad anual del equipo. Si bien el plan propuesto requiere mayor número de horas de mantenimiento planificado, el tiempo total fuera de servicio se disminuye, demostrando que una estrategia basada en confiabilidad resulta más eficiente que una gestión reactiva. Finalmente se concluye que el aumento en los costos directos de mantenimiento del plan propuesto se ve ampliamente compensados por la reducción de costos asociados a fallas no planificadas, generando un ahorro anual relevante. Conforme la aplicación de la metodología RCM en la cortadora plasma Warcom W Power 6025 se presenta como una solución técnica y económicamente viable para mejorar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad del proceso productivo.

Recomendaciones.

Se recomienda priorizar las acciones de mantenimiento asociadas a los modos de falla que presentan niveles de criticidad altos, particularmente aquellos correspondientes al sistema de extractor de humos y a la mesa de corte. Estos modos de falla tienen un alto impacto en la seguridad, higiene y ambiente, así como en la continuidad operacional del proceso productivo, por lo que requieren una atención preferente dentro de la planificación del mantenimiento.

Asimismo, resulta fundamental implementar de manera sistemática las listas de verificación desarrolladas en el presente estudio, utilizándolas como herramientas de apoyo para el seguimiento de la condición de los componentes apuntados. Su aplicación permitirá mejorar la detectabilidad de los modos de falla detallados, aprovechar la vida útil del componente y generar un respaldo técnico para la toma de decisiones.

Finalmente, se sugiere utilizar la metodología aplicada en este trabajo como un modelo replicable para otros activos críticos de la planta, permitiendo estandarizar el análisis de criticidad, la aplicación del FMECA y la definición de planes de mantenimiento basado en confiabilidad, contribuyendo a una gestión de activo más robusta.

Referencias.

International Organization for Standardization. (n.d.). *ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO.

SAE International. (n.d.). *SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes*. SAE International.

SAE International. (n.d.). *SAE JA1012: A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard*. SAE International.

SAE International. (n.d.). *SAE J1739: Potential failure mode and effects analysis (FMEA)*. SAE International.

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

RHONA S.A.. (n.d.). *Empresa (sitio web oficial)*. RHONA. <https://rhona.cl/seccion/2/empresa.html>

Warcom S.p.A.. (2010). *W Power 6025: Manual de mantenimiento de máquina de corte por plasma CNC*. Warcom.

Carlson, C. S. (2012). *Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis*. John Wiley & Sons.