**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA.**

**SEDE VIÑA DEL MAR JOSÉ MIGUEL CARRERA.**

# Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a un activo crítico en Resortes Deval Spa.

Trabajo de titulación para optar al Título de

Ingeniero/a en MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Sr. José Miguel Farías Martínez.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Félix Pizarro Martínez.

.

**2025**

# CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

**1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO**

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

**Título del trabajo:** Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a un activo crítico en Resortes Deval Spa.

**Nombre del candidato(a):** José Miguel Farías Martínez.

**Carrera / Grado:** Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

**Campus:** Sede José Miguel Carrera **Departamento:** Departamento de Mecánica.

**2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS**

Yo, **Félix Pizarro**, 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:** 12 de noviembre del 2026. **Firma:** 

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 12 de noviembre del 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.*

## AGRADECIMIENTOS

*A todas las personas que me apoyaron en esta etapa tan relevante de mi vida.*

*A mi profesor guía Sr. Félix Pizarro, muchas gracias por el tiempo, apoyo y dedicación en el proceso de mi trabajo de título.*

*También a todos los docentes que me compartieron su experiencia y conocimiento durante la carrera.*

## DEDICATORIA

*A mis padres que siempre estuvieron presentes escuchándome y apoyándome en el camino.*

*A mis hermanos que los quiero mucho y mis tíos que siempre me apoyaron en todo.*

*A mi pareja que me acompaño y apoyo durante el proceso.*

*También a mis abuelos que sea donde estén también aportaron su grano de arena en los días difíciles.*

# ÍNDICE

RESUMEN ..... 7
INTRODUCCIÓN ..... 8
OBJETIVOS ..... 9
OBJETIVO GENERAL ..... 9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 9
HIPÓTESIS ..... 9
CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD ..... 10
1.1. ANTECENDENTES DE LA EMPRESA ..... 11
1.2. CERTIFICACIONES ..... 12
1.3. CONTEXTO OPERACIONAL ..... 14
1.3.1. ORGANIGRAMA ..... 15
1.3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO ..... 16
1.3.3. EQUIPOS DE LA EMPRESA ..... 19
1.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD ..... 26
1.4.2. DEFINICIÓN DE CRITERIOS Y ESCALAS ..... 27
1.4.2 JUSTIFICACIÓN PUNTAJE DE (C) DE EQUIPO CRÍTICO ..... 27
1.5. PROBLEMÁTICA ..... 28
CAPITULO II: DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CON RCM ..... 30
2.1. MARCO TEÓRICO DEL RCM (FUENTES APA) ..... 31
2.1.1. DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) ..... 31
2.1.2. LAS 7 PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM ..... 31
2.1.3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES ..... 31
2.1.4. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM ..... 32
2.2. APLICACIÓN PRÁCTICA: MODOS DE FALLA (FMECA) ..... 33
2.2.1. DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO ..... 33
2.2.2. MATRIZ DE RCM ..... 34
2.2.3. HOJA DE DECISIÓN RCM ..... 37

2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS ..... 38
2.3.1. DATOS DE REFERENCIA ..... 38
2.4. VARIABLES: MODOS DE FALLA (INDEPENDIENTES). ESTRATEGIAS RCM (DEPENDIENTES) ..... 40
CAPITULO III: VALIDACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ..... 42
3.1. SIMULACIÓN DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABLIDAD ANTES/DESPUÉS ..... 43
3.1.1. SUPUESTOS Y DATOS DE BASE ..... 43
3.1.2. FÓRMULAS UTILIZADAS ..... 43
3.1.3. RESULTADOS ..... 43
3.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS EVITADOS ..... 45
3.3. PROPUESTA DE INDICADORES DE GESTIÓN ..... 46
3.3.1. INDICADORES TÉCNICOS ..... 46
3.3.2. INDICADORES ECONÓMICOS ..... 47
3.4. HIPÓTESIS ..... 48
3.4.1. FUNDAMENTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ..... 48
CONCLUSIONES ..... 49
RECOMENDACIONES ..... 50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Empresa Resortes Deval Taller Viña del Mar. 11

Figura 1-2: Certificación de norma ISO 14001. 12

Figura 1-3: Certificación de norma QS-9000. 13

Figura 1-4: Lay out Resortes Deval Spa. 14

Figura 1-5: Organigrama Resortes Deval Spa. 15

Figura 1-6: Proceso productivo Resortes Deval Spa. 16

Figura 1-7: Prensa hidráulica horizontal. 19

Figura 1-8: Prensa hidráulica vertical. 20

Figura 1-9: Máquina curvadora hidráulica. 20

Figura 1-10: Compresor de aire. 21

Figura 1-11: Pistola neumática. 21

Figura 1-12: Torno mecánico. 22

Figura 1-13: Horno Industrial. 22

Figura 1-14: Taladro de pedestal. 23

Figura 1-15: Esmeril de banco. 23

Figura 1-16: Esmeril angular. 24

Figura 1-17: Máquina de soldar. 24

Figura 1-18: Equipo de oxicorte. 25

Figura 2-1: Árbol de decisión RCM. 37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Matriz de criticidad. 26

Tabla 1-2: Análisis de criticidad. 26

Tabla 1-3: Análisis de criticidad. 26

Tabla 1-4: Definición de criterios del análisis de criticidad. 27

Tabla 1-5: Justificación de la consecuencia (C) del análisis de criticidad. 27

Tabla 2-1: Matriz RCM. 34

Tabla 2-2: Matriz RCM. 35

Tabla 2-3: Matriz RCM. 36

Tabla 2-4: Tabla seguridad, higiene y ambiente. 36

Tabla 2-5: Hoja de decisión RCM. 37

Tabla 3-1: Resultados simulación antes/después. 43

Tabla 3-2: Estimación de costos evitados. 45

## RESUMEN

Este trabajo de titulación propone un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a la prensa hidráulica horizontal, activo crítico del proceso productivo de Resortes Deval Spa. A través de un análisis de criticidad basado en la norma SAE J1739, se identificó que este equipo presenta la mayor vulnerabilidad operativa, con una alta frecuencia de fallas y consecuencias significativas en seguridad, costos y continuidad del servicio.

Se aplicó la metodología RCM para identificar modos de falla, consecuencias y estrategias de mantenimiento adecuadas, desarrollando un análisis FMECA detallado. Posteriormente, se diseñaron tareas proactivas (preventivas, predictivas y correctivas programadas) para cada modo de falla, estimando sus costos y beneficios.

La validación técnica y económica demostró que el plan RCM permite reducir la frecuencia de fallas en un 53% y las horas de detención en un 54%, aumentando la disponibilidad operacional de 0,861 a 0,937. Además, se logró un ahorro neto anual de $3.224.000 CLP, con un retorno sobre la inversión (ROI) de 1,46. Estos resultados confirman la hipótesis planteada y evidencian la conveniencia de implementar el RCM como estrategia de mejora continua en la gestión de mantenimiento industrial.

# INTRODUCCIÓN

En el contexto industrial actual, la eficiencia y la confiabilidad de los equipos son factores determinantes para la competitividad y sostenibilidad de las empresas. La gestión del mantenimiento ha evolucionado significativamente, pasando de enfoques correctivos a estrategias preventivas y predictivas, orientadas a la mejora continua y a la reducción de costos operativos. En este escenario, la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad se presenta como una herramienta fundamental para optimizar la disponibilidad de los activos y garantizar la continuidad operativa de los procesos productivos.

Resortes Deval Spa es una empresa con una amplia trayectoria en la reparación y fabricación de componentes del sistema de suspensión de vehículos, especialmente resortes de ballesta. Su proceso productivo depende directamente del funcionamiento eficiente de equipos críticos, cuya disponibilidad incide de manera directa en la productividad y calidad del servicio entregado a sus clientes. Sin embargo, la ausencia de un plan de mantenimiento estructurado y basado en criterios de confiabilidad puede generar fallas no planificadas, tiempos de detención elevados y costos adicionales asociados a reparaciones imprevistas.

En este contexto, el presente trabajo de titulación tiene como propósito diseñar una propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a un activo crítico en Resortes Deval Spa, con el fin de optimizar su desempeño operativo y contribuir al mejoramiento continuo de la gestión del mantenimiento dentro de la empresa. Para ello, se realizará un análisis de criticidad que permitirá identificar el equipo más relevante del proceso, al cual se le aplicará la metodología RCM para determinar sus modos de falla, consecuencias y estrategias de mantenimiento más adecuadas. Finalmente, se evaluará la propuesta desde el punto de vista técnico y económico, considerando la disponibilidad operacional y los costos asociados.

De esta manera, este estudio busca aportar una herramienta práctica que fortalezca la gestión del mantenimiento en Resortes Deval Spa, promoviendo una cultura de mejora continua y asegurando la confiabilidad de los activos que sustentan la operación productiva.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a un activo crítico en Resortes Deval Spa, con el fin de optimizar su disponibilidad, reducir fallas no planificadas y mejorar la eficiencia operacional del proceso productivo.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de criticidad para identificar y justificar el activo más relevante en el proceso productivo de la empresa.

- Aplicar la metodología RCM al activo crítico seleccionado e identificar modos de falla, consecuencias y estrategias de mantenimiento adecuadas.

- Evaluar técnica y económicamente el plan de mantenimiento propuesto, mediante el indicador de gestión disponibilidad operacional y costos asociados.

## HIPÓTESIS

*"La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al activo crítico seleccionado permitirá aumentar la disponibilidad operacional en al menos un **7%** respecto al estado actual."*

# CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD

## 1.1. ANTECENDENTES DE LA EMPRESA

La empresa Resortes Deval consta con una ardua trayectoria en el área de reparación y mantención del tren delantero y fabricación de hojas para resortes de ballesta de vehículos pesados, medianos y livianos, fue fundada en el año 1972, la empresa es reconocida por su gran capacidad y experiencia en vehículos que funcionan con sistema de resortes de ballesta, a lo largo del tiempo se ha implementado la fabricación de abrazaderas centrales, compra/venta de pernos de alta resistencia y repuestos.

La organización cuenta con un socio/proveedor reconocido mundialmente, IMAL es una empresa Colombiana que cuenta con certificaciones ISO 14001 relacionado con los sistemas de gestión ambiental y QS 9000 que fue una norma de sistemas de calidad para la industria automotriz con el objetivo de estandarizar los requisitos de calidad para los proveedores en la cadena de suministros del área automotriz; actualmente se está trabajando para conseguir la certificación de la norma IATF 16949 que es el estándar actual y mundial de la industria automotriz.

Actualmente la empresa consta con una base central de operaciones ubicada Carlos Ibáñez del Campo 2596, ciudad de Viña del Mar, región de Valparaíso, Chile.

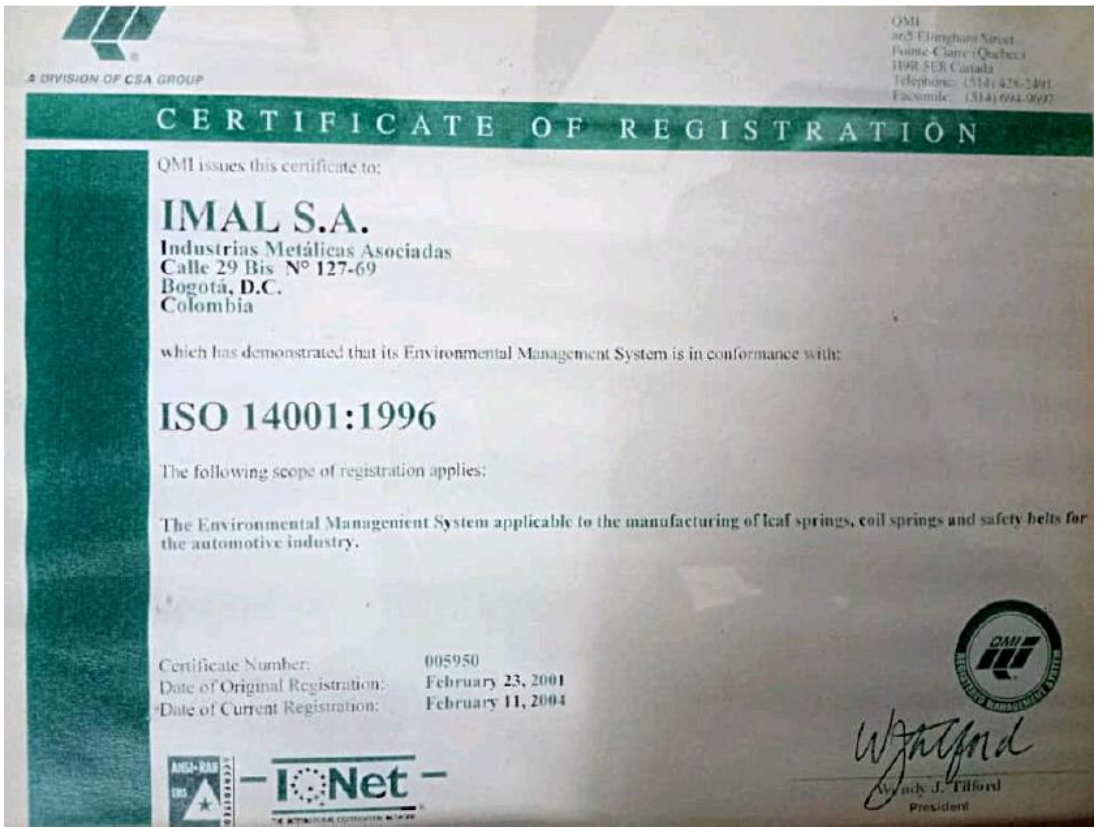



Fuente: Google maps

Figura 1-1: Empresa Resortes Deval Taller Viña del Mar.

## 1.2. CERTIFICACIONES

Documento que corresponde a un certificado de registro de la norma ISO 14001 del proveedor de Resortes Deval Spa. Esta norma internacional especifica los requisitos de gestión ambiental, su objetivo es proporcionar a las organizaciones una estructura para identificar, controlar y mejorar continuamente su desempeño ambiental, ayudándolas a limitar su huella ecológica, cumplir la legislación y alcanzar objetivos medioambientales.



A DIVISION OF CSA GROUP

CERTIFICATE OF REGISTRATION

QMI issues this certificate to:

IMAL S.A.
Industrias Metálicas Asociadas
Calle 29 Bis N° 127-69
Bogotá, D.C.
Colombia

which has demonstrated that its Environmental Management System is in conformance with:

ISO 14001:1996

The following scope of registration applies:

The Environmental Management System applicable to the manufacturing of leaf springs, coil springs and safety belts for the automotive industry.

Certificate Number: 005950
Date of Original Registration: February 23, 2001
Date of Current Registration: February 11, 2004

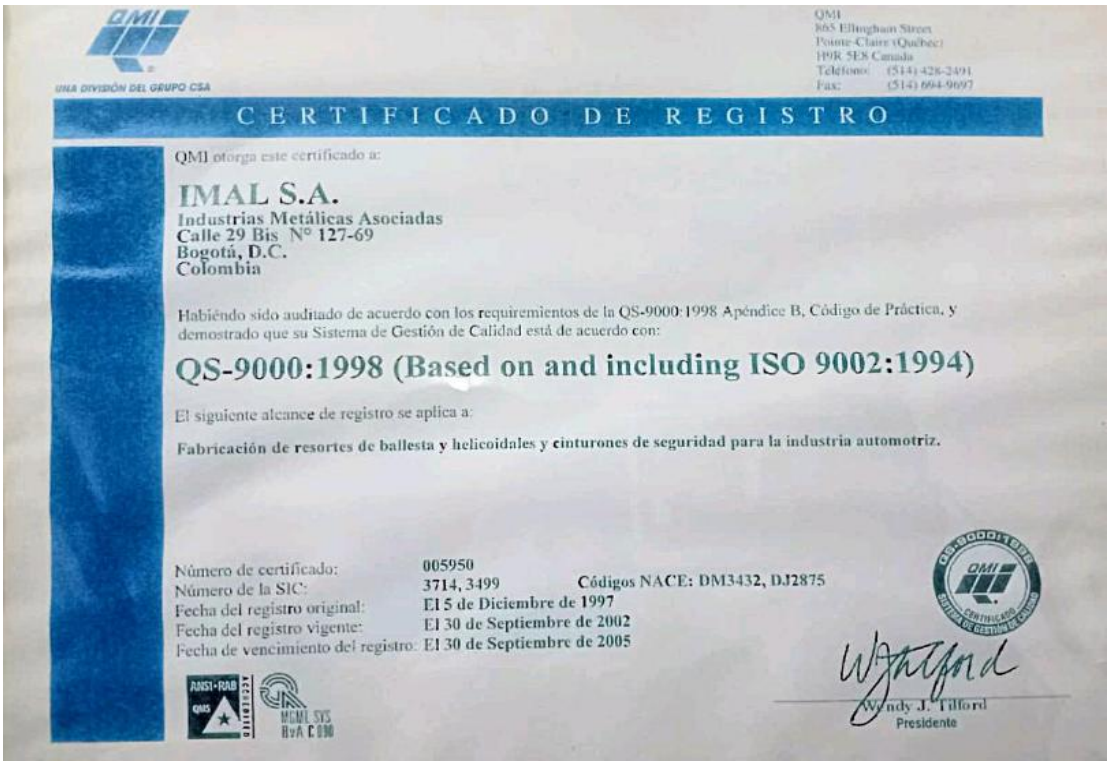
IQNet

Wendy J. Tilford
President

Fuente: Resortes Deval Spa.

Figura 1-2: Certificación de norma ISO 14001.

El documento que se presenta es un certificado de registro otorgado a IMAL S.A. Industrias Metálicas Asociadas, una empresa con sede en Bogotá, Colombia, proveedor principal de Resortes Deval Spa. El certificado fue emitido por el organismo QMI y acredita que el sistema de gestión de calidad de la empresa cumple con los requisitos de la norma QS-9000:1998, que a su vez se basa en la norma ISO 9002:1994.



QMI
UNA DIVISIÓN DEL GRUPO CSA

CERTIFICADO DE REGISTRO

QMI otorga este certificado a:

IMAL S.A.
Industrias Metálicas Asociadas
Calle 29 Bis N° 127-69
Bogotá, D.C.
Colombia

Habiéndo sido auditado de acuerdo con los requirimientos de la QS-9000:1998 Apéndice B, Código de Práctica, y demostrado que su Sistema de Gestión de Calidad está de acuerdo con:

QS-9000:1998 (Based on and including ISO 9002:1994)

El siguiente alcance de registro se aplica a:

Fabricación de resortes de ballesta y helicoidales y cinturones de seguridad para la industria automotriz.

| | | |
|---|---|---|
| Número de certificado: | 005950 | |
| Número de la SIC: | 3714, 3499 | Códigos NACE: DM3432, DJ2875 |
| Fecha del registro original: | El 5 de Diciembre de 1997 | |
| Fecha del registro vigente: | El 30 de Septiembre de 2002 | |
| Fecha de vencimiento del registro: | El 30 de Septiembre de 2005 | |

Wendy J. Tilford
Presidente

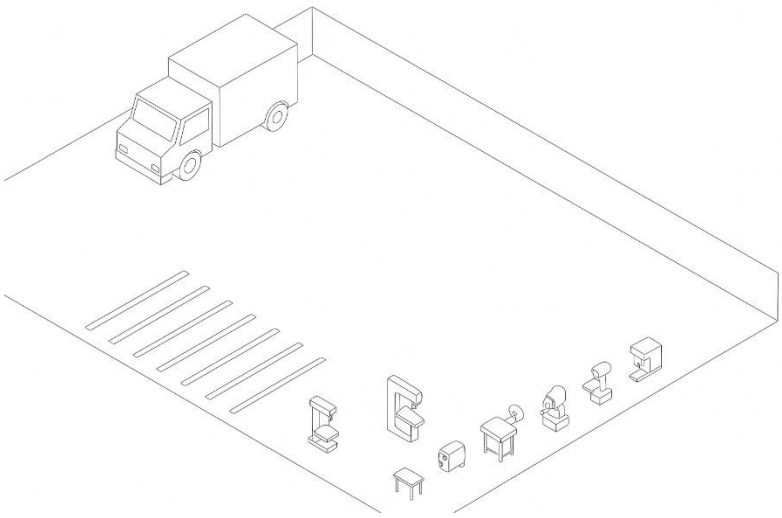
Fuente: Resortes Deval Spa.

Figura 1-3: Certificación de norma QS-9000.

Los documentos presentados anteriormente se encuentran vencido lo cual representa que la empresa en algún momento contaba con estándares internacionales de ingeniería automotriz y gestión ambiental. Lo esencial sería que se pueda optar a una renovación actualizadas de estos documentos para fortalecer una mejora continua dentro de la empresa.

## 1.3. CONTEXTO OPERACIONAL

La empresa se desempeña principalmente en el desmontaje, reparación y montaje de resortes de ballesta para las flotas de camiones de clientes potenciales como Cosemar y Polpaico, además de vehículos particulares de la Región de Valparaíso. Su operación está orientada a la reparación de paquetes de resortes y tren delantero, servicios que requieren equipos críticos como prensas hidráulicas, herramientas neumáticas y equipos de mecanizado. La eficiencia del proceso depende directamente de la disponibilidad de estos activos.



Fuente: Elaboración propia.

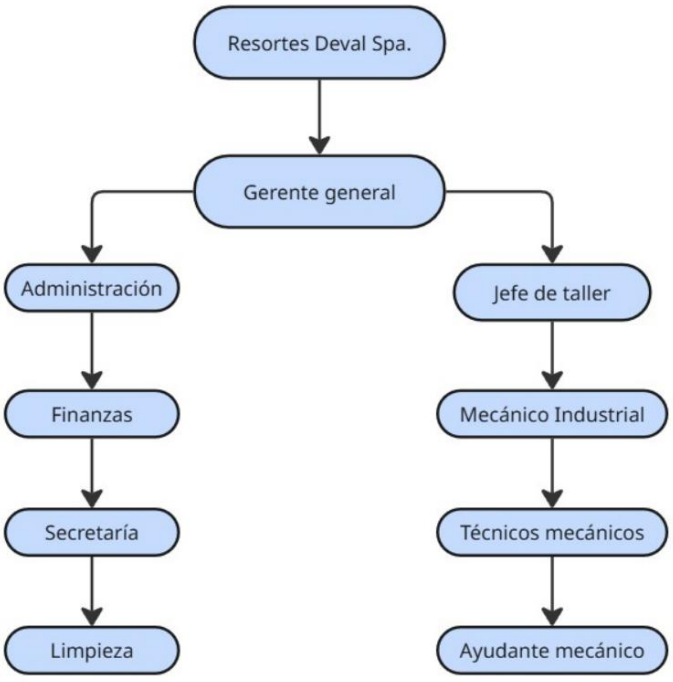
Figura 1-4: Lay out Resortes Deval Spa.

### 1.3.1. ORGANIGRAMA

El organigrama de la empresa Resortes Deval Spa. muestra una estructura jerárquica clara y se divide en dos áreas principales que dependen del Gerente general, lo que se podría mejorar en la organización de esta empresa sería agregar un área encargada del mantenimiento de los activos utilizados en el proceso.

Área Administrativa: Esta rama se encarga de la gestión y las operaciones internas de la empresa. Refleja una organización bien definida, con una clara distinción entre las funciones administrativas y las operativas, lo que permite una gestión eficiente y comunicación estructurada dentro de la empresa, desde la gestión de finanzas que supervisa los aspectos económicos, hasta la secretaría que apoya las funciones administrativas y el personal de limpieza que mantiene las instalaciones.

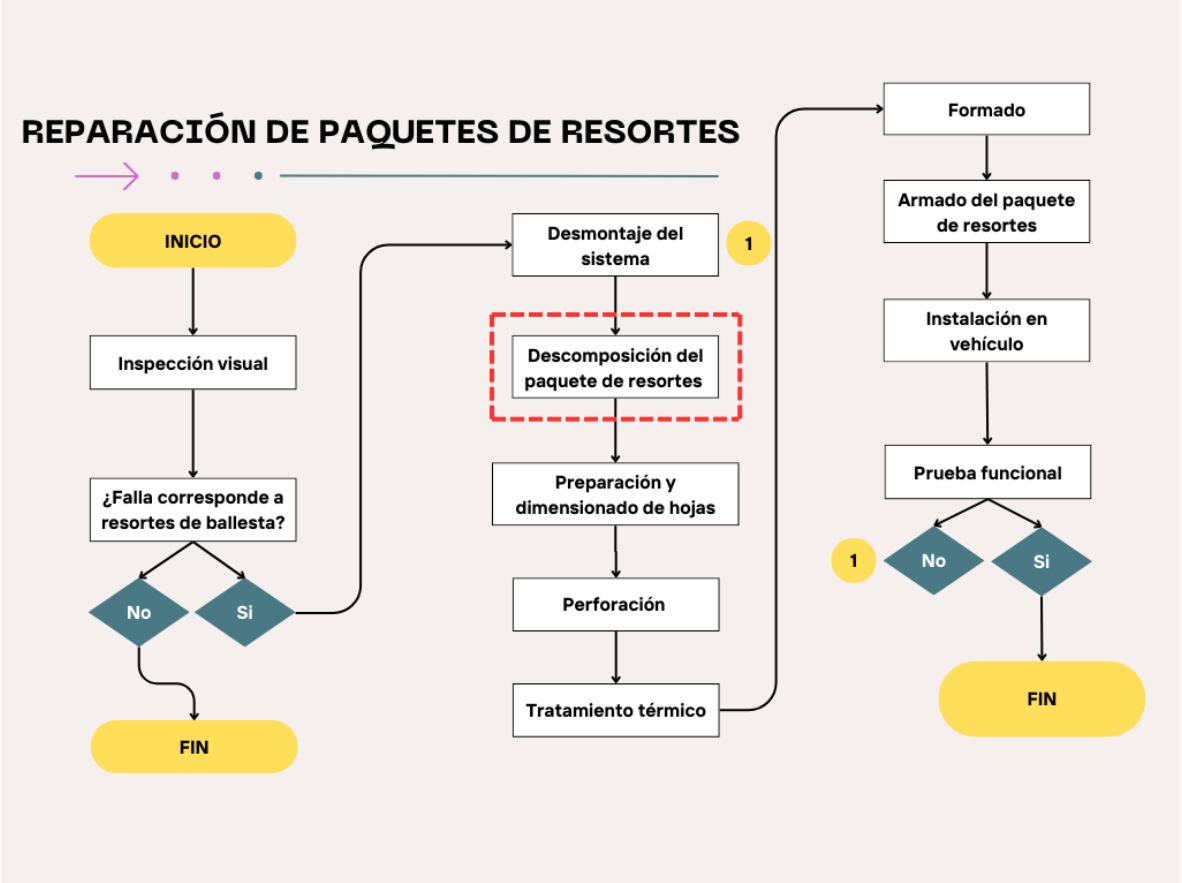
Área de Taller: Esta rama se enfoca en las operaciones técnicas y de producción. el jefe de taller supervisa directamente al mecánico industrial, que a su vez dirige a los técnicos mecánicos y a los ayudantes mecánicos. Esta estructura asegura una cadena de mando definida para la fabricación, reparación y mantenimiento de los resortes.




Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-5: Organigrama Resortes Deval Spa.

### 1.3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO




Fuente: Elaboración Propia.

Figura 1-6: Proceso productivo Resortes Deval Spa.

El diagrama de flujo representa el proceso para la reparación y mantenimiento de resortes de ballesta en Resortes Deval Spa. El cuál se explicará en las siguientes etapas:

1) Inicio: Recepción del vehículo.

- Acción: registro de orden de trabajo, identificación de sistema de suspensión.

2) Inspección visual.

- Acción: evaluación del paquete de resortes.
- Decisión: ¿corresponde intervenir resortes de ballesta?
    - Sí: continuar.
    - No: entrega del vehículo.

3) Desmontaje del sistema de resortes.

- Maquinaria: pistolas neumáticas y compresor.
- Acción: retiro de abrazaderas y pasadores.
- Apoyo: equipo de oxicorte y esmeril angular si hay pernos agarrotados.

4) Descomposición del paquete.

- Maquinaria: prensa hidráulica horizontal.
- Acción: sujeción y liberación controlada del paquete; separación de hojas.

5) Preparación y dimensionado de hojas.

- Maquinaria: esmeril angular y esmeril de banco.
- Acción: corte a medida, desbaste y acabado.

6) Perforación.

- Maquinaria: taladro de pedestal.
- Acción: perforaciones para perno centro y abrazaderas.

7) Tratamiento térmico.

- Maquinaria: horno industrial.
- Acción: calentamiento a temperatura objetivo y templado/normalizado según requerimiento.

8) Formado.

- Decisión: ¿curvar o fabricar ojos?
    - Curvado de hojas:
        - Maquinaria: prensa hidráulica vertical.
        - Acción: curvado al radio especificado.
    - Fabricación de ojos:
        - Maquinaria: máquina curvadora hidráulica.
        - Acción: conformado de ojos según diámetro requerido.

9) Armado del paquete.

- Maquinaria: prensa hidráulica horizontal.
- Acción: apilado, alineación y prensado; instalación de perno centro.

10) Instalación en el vehículo.

- Maquinaria: pistolas neumáticas y compresor; máquina de soldar para guías/tacos si corresponde.
- Acción: montaje, apriete con par especificado, colocación de abrazaderas.

11) Prueba funcional.

- Acción: verificación de altura, nivel, ruidos, alineación y fijación.
- Decisión: ¿prueba superada?
    - No: volver a desmontaje/ajuste según hallazgos (lazo de retrabajo).
    - Sí: continuar.

12) Entrega del vehículo.

### 1.3.3. EQUIPOS DE LA EMPRESA

**Prensa hidráulica horizontal**

Equipo especializado, operado para realizar labores de desarme de resortes de ballesta, funciona principalmente con una válvula direccional que mediante un pedal activa el sentido del fluido, por efecto se abren o cierran los perros de fijación del sistema, este equipo aporta bastante seguridad para el operario encargado de intervenir los paquetes de resortes, ya que gracias a sus perros de fijación, fija el paquete para poder ser desarmado evitando algún accidente que podría ocurrir por la presión que contienen.



Fuente: Rastro máquinas.

Figura 1-7: Prensa hidráulica horizontal.

**Prensa hidráulica vertical.**

Activo utilizado para curvar paquetes de resortes de ballesta, funciona mediante un sistema hidráulico por medio de un pedal de activación que manda la señal para abrir o cerrar la prensa.

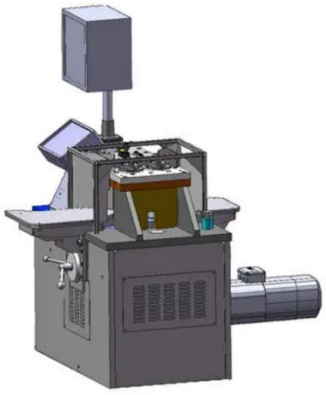


Fuente: Axa top.

Figura 1-8: Prensa hidráulica vertical.

**Máquina curvadora hidráulica.**

Equipo utilizado para la fabricación de ojos para hojas madres de resortes de ballesta, es versátil ya que permite realizar variedad de diámetros de ojos según el modelo del vehículo.



Fuente: Direct industry.

Figura 1-9: Máquina curvadora hidráulica.

**Compresor de aire.**

Un compresor de aire es una máquina que toma aire del ambiente y utiliza un motor eléctrico en este caso, para comprimirlo y almacenarlo a alta presión en un depósito. Al reducir su volumen, el aire gana energía cinética y potencial que puede ser liberada de manera controlada para accionar herramientas neumáticas o realizar trabajos mecánicos.




Fuente: Patio Ferretero.

Figura 1-10: Compresor de aire.

**Pistolas neumáticas.**

Herramienta o dispositivo que utiliza aire comprimido como fuente de energía para realizar funciones mecánicas. El aire a presión generado por un compresor se transmite a través de una manguera hasta el mecanismo de la pistola, donde acciona sus componentes internos para generar movimiento s rotativos en este caso.



Fuente: Importadora JAK.

Figura 1-11: Pistola neumática.

**Torno mecánico.**

Máquina herramienta utilizada para dar forma a piezas de metal y technil utilizado para fabricar bujes en este caso, haciéndolas girar sobre un eje mientras una herramienta de corte las mecaniza. Se puede usar para crear piezas cilíndricas, cónicas y roscas dependiendo si es que se están fabricando abrazaderas centrales o pernos.



Fuente: Blog maquinaria heller.

Figura 1-12: Torno mecánico.

**Horno Industrial.**

Equipo de gran potencia y capacidad, diseñado para un uso intensivo y continuo en la industria, se utiliza para calentar las hojas de los resortes de ballesta a aproximadamente los 1000°C para curvar o fabricar ojos dependiendo lo solicitado. Se diferencia de un horno doméstico en su tamaño, rango de temperatura y consumo de gas, ya que está optimizado para procesos de gran volumen y alta eficiencia.



Fuente: Resortes Deval Spa.

Figura 1-13: Horno Industrial.

**Taladro de pedestal.**

Es una herramienta eléctrica fija que permite realizar perforaciones verticales y precisas en las hojas de los resortes de ballesta, especialmente es utilizada para la perforación correspondiente al perno centro y también para la instalación de abrazaderas de seguridad del paquete. Su principal ventaja es la precisión que ofrece, superando a la de los taladros manuales, lo que resulta en uniones más exactas en el armado del sistema.



Fuente: Ferroelectronic.

Figura 1-14: Taladro de pedestal.

**Esmeril de banco.**

Es una herramienta eléctrica estacionaria que consta de un motor con un eje que sostiene dos ruedas abrasivas en los extremos. Se fija a un banco de trabajo para mayor estabilidad y seguridad, y se utiliza para dar forma, afilar, desbastar y pulir diversos materiales.




Fuente: O'Higgins herramientas.

Figura 1-15: Esmeril de banco.

**Esmeril angular.**

Es una herramienta eléctrica portátil y versátil utilizada para cortar, desbastar y pulir una variedad de materiales. A diferencia del esmeril de banco, su diseño permite trabajar en lugares de difícil acceso y con piezas de trabajo de gran tamaño. En este caso se utiliza para cortar hojas a medida de los resortes de ballesta, cortar pernos agripados en el desmontaje de estos sistemas, cortar materiales para abrazaderas centrales y de paquetes, etc.




Fuente: Imperial.

Figura 1-16: Esmeril angular.

**Máquina de soldar.**

Una máquina de soldar de arco manual utiliza un electrodo revestido para generar un arco eléctrico entre este y la pieza de trabajo. El electrodo se derrite para aportar el material de relleno, mientras que el revestimiento de fundente se quema, creando un gas protector y una escoria que protegen la soldadura de la contaminación atmosférica, en este caso es utilizada para fabricar guías para los tacos de resortes de ballesta que se sitúan en cada eje que contenga este sistema, también se utiliza para realizar reparaciones de componentes y reforzar los ojos de las hojas de los paquetes de resorte.




Fuente: Sodimac.

Figura 1-17: Máquina de soldar.

**Equipo de oxicorte.**

Un equipo de oxicorte es un conjunto de herramientas para cortar y soldar metales utilizando una llama de alta temperatura generada por una mezcla de oxígeno y gas propano. En este caso el equipo es utilizado para cortar materiales con el objetivo de reparar o fabricar repuestos y soltar tuercas agripadas.



Fuente: Codinsa.

Figura 1-18: Equipo de oxicorte.

## 1.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Matriz de criticidad SAE J1739

| Activos del proceso | Frecuencia fallas (FF) | NIVEL DE F.F. | Calidad del proceso | Costos de mantenimiento | Eficiencia del proceso | SHA | (C) | NIVEL DE C. | Criticidad Total por Riesgo (CTR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Compresor de aire | 1 | Baja | 2 | 3 | 5 | 8 | 18 | Baja | 18 |
| Prensa hidraúlica vertical | 4 | Media | 5 | 4 | 5 | 6 | 20 | Baja | 80 |
| Prensa hidraúlica horizantal | 7 | Alta | 9 | 8 | 5 | 7 | 29 | Alta | 203 |
| Torno mecánico | 1 | Baja | 5 | 7 | 4 | 3 | 19 | Baja | 19 |
| Máquina curvadora hidraúlica | 3 | Baja | 7 | 5 | 4 | 3 | 19 | Baja | 57 |
| Pistolas neumáticas | 4 | Media | 6 | 4 | 7 | 6 | 23 | Media | 92 |
| Esmeril de banco | 1 | Baja | 1 | 4 | 1 | 3 | 9 | Baja | 9 |
| Horno industrial | 1 | Baja | 7 | 3 | 7 | 5 | 22 | Baja | 22 |
| Esmeril angular | 1 | Baja | 3 | 1 | 4 | 6 | 14 | Baja | 14 |
| Taladro de pedestal | 2 | Baja | 5 | 3 | 7 | 5 | 20 | Baja | 40 |
| Equipo de oxicorte | 1 | Baja | 3 | 2 | 7 | 5 | 17 | Baja | 17 |
| Máquina de soldar | 2 | Baja | 6 | 2 | 6 | 2 | 16 | Baja | 32 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-1: Matriz de criticidad.

| Análisis de Criticidad | | Consecuencia | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Baja | Media | Alta |
| Frecuencia | | **10** | **20** | **30** |
| Alta | 10 | 100 | 200 | 300 |
| Media | 6 | 60 | 120 | 180 |
| Baja | 3 | 30 | 60 | 90 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-2: Análisis de criticidad.

| | Baja | Media | Alta |
|---|---|---|---|
| Frecuencia | 0-3 | 4-6 | 7-10 |
| Consecuencia | 0-10 | 11-20 | 21-30 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-3: Análisis de criticidad.

Como resultado del análisis de criticidad realizado, que pondera la frecuencia de fallas (FF) y la consecuencia (C) según la metodología SAE J1739, se obtiene el valor de criticidad Total por riesgo (CTR) para cada activo clave del proceso productivo.

La Prensa hidráulica horizontal, utilizada para las labores de desarme de los resortes de ballesta, arrojó el puntaje de CTR más alto, alcanzando un valor de 203 (FF=7, C=29). De acuerdo con la matriz de riesgo, este puntaje la ubica en el nivel de criticidad “Alto”, siendo el único equipo en esta categoría dentro del inventario de Resortes Deval Spa.

Por lo tanto, y en cumplimiento con el Objetivo específico 1 de este trabajo, la Prensa hidráulica horizontal se declara el activo crítico al cual se le aplicará la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en el Capítulo 2, buscando optimizar su disponibilidad y reducir el impacto de sus fallas.

### 1.4.2. DEFINICIÓN DE CRITERIOS Y ESCALAS

| Criterio (Peso) | Puntaje | Descripción |
|---|---|---|
| Frecuencia de Fallas (FF) | 1-3 (Baja) | Ocurrencia: Muy rara (1-2 veces al año). |
| | 4-6 (Media) | Ocurrencia: Recurrente (3-6 veces al año). |
| | 7-10 (Alta) | Ocurrencia: Muy frecuente (más de 6 veces al año). |
| Calidad del proceso | 1-3 (Baja) | La falla no afecta la calidad o el tiempo de ciclo. |
| | 4-7 (Media) | Afecta ligeramente la calidad o reduce la velocidad de producción. |
| | 8-10 (Alta) | La falla produce piezas fuera de especificación, rechazo del producto o incumplimiento de plazos clave (alto impacto en la calidad del servicio). |
| Costos de Mantenimiento (CM) | 1-3 (Baja) | Costo de reparación y repuestos bajo. |
| | 4-7 (Media) | Costo medio, involucra técnicos externos o repuestos de precio moderado. |
| | 8-10 (Alta) | Reparaciones muy costosas, repuestos complejos o importados, alto stock necesario. |
| Eficiencia del proceso (EP) | 1-3 (Baja) | El equipo no detiene el proceso principal; existe backup o bypass. |
| | 4-7 (Media) | Detiene el proceso, pero se puede reanudar en < 4 horas o realizar la tarea manualmente. |
| | 8-10 (Alta) | Detiene el proceso clave por periodos extensos (> 4 horas) sin alternativa. |
| Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) | 1-3 (Baja) | Solo requiere reordenamiento o limpieza menor. |
| | 4-7 (Media) | Riesgo de lesión leve o incumplimiento ambiental menor. |
| | 8-10 (Alta) | Riesgo de lesión grave/fatal o incumplimiento ambiental que genera multas o paralización legal. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-4: Definición de criterios del análisis de criticidad.

### 1.4.2 JUSTIFICACIÓN PUNTAJE DE (C) DE EQUIPO CRÍTICO

| Criterio | Puntuación | Justificación Específica para la Prensa Hidráulica Horizontal |
|---|---|---|
| Frecuencia de Fallas (FF) | 7 (Alta) | Se evidencia un historial de 7 fallas anuales, principalmente asociadas a su sistema hidráulico (bombas, válvulas direccionales y sellos) debido a la operación intensiva que demanda el desarme de paquetes de resortes pesados. |
| Calidad del proceso (CP) | 9 (Alta) | La función de este equipo es fijar el paquete para su desarme. Un fallo en los perros de fijación (por baja presión o válvula defectuosa) impide la correcta y segura manipulación de la hoja madre, pudiendo generar daño en el componente o un retraso crítico en la producción, lo que afecta directamente la calidad del servicio (plazos de entrega). |
| Costos de Mantenimiento (CM) | 8 (Alta) | Los repuestos del sistema hidráulico (bomba y válvula direccional) son especializados y costosos, y a menudo no están disponibles localmente, incrementando el tiempo de reparación (MTTR) y el costo total. |
| Eficiencia del proceso (EP) | 5 (Media) | Aunque una falla detiene el proceso de desarme de paquetes, la reparación de resortes puede ser gestionada temporalmente de forma manual, aunque con gran riesgo y menor eficiencia (riesgo alto) o por métodos alternativos más lentos, permitiendo cierta continuidad. |
| Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) | 7 (Alta) | El equipo aporta alta seguridad al operario gracias a sus perros de fijación. Su falla (pérdida de presión en los perros) genera un riesgo de seguridad significativo para el técnico, debido a la alta presión retenida en los resortes de ballesta. |
| Consecuencia Total (C) | 29 | 9 (CP) + 8 (CM) + 5 (EP) + 7 (SHA) = 29. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-5: Justificación de la consecuencia (C) del análisis de criticidad.

## 1.5. PROBLEMÁTICA

Resortes Deval Spa ha consolidado una trayectoria significativa en la reparación y fabricación de sistemas de suspensión, atendiendo a clientes estratégicos de flotas pesadas como Cosemar y Polpaico. El proceso productivo de la empresa se caracteriza por ser lineal y secuencial, iniciando con la recepción e inspección y pasando por etapas críticas de desmontaje, intervención y montaje.

Sin embargo, la gestión actual de los activos físicos que sustentan este proceso presenta debilidades estructurales. A pesar de la importancia crítica de la maquinaria para cumplir con los plazos de entrega, la organización carece de un plan de mantenimiento formalmente estructurado y basado en criterios de confiabilidad. La estrategia predominante es de carácter reactivo o correctivo, donde las intervenciones se realizan principalmente una vez que la falla ya se ha manifestado, generando incertidumbre en la disponibilidad operacional.

Esta carencia de planificación estratégica se hace evidente al analizar el desempeño de los activos críticos. Mediante el análisis de criticidad realizado bajo la norma SAE J1739, se detectó que la Prensa Hidráulica Horizontal representa el punto de mayor vulnerabilidad para el proceso productivo, obteniendo un Índice de criticidad total por riesgo (CTR) de 203, clasificándose como de riesgo "Alto".

La problemática específica de este activo se desglosa en tres dimensiones que afectan la competitividad de Resortes Deval Spa:

- **Alta frecuencia de fallas e interrupción del flujo:** La prensa presenta una tasa de **7** fallas anuales, la más alta de todo el taller. Dado que este equipo es esencial para la etapa de "desarme de paquetes" (liberación de la tensión de los paquetes de resortes), cada parada no programada genera un cuello de botella inmediato que detiene el flujo aguas abajo (reparación, montaje y pruebas), impactando directamente en los tiempos de respuesta al cliente
- **Costos elevados y mantenibilidad:** El equipo ha sido evaluado con un impacto alto en "Costos de Mantenimiento" (Puntaje 8). La gestión correctiva actual implica gastos imprevistos en repuestos hidráulicos y horas hombre, elevando el costo operativo por encima del estándar deseado.
- **Riesgo a la seguridad (SHA):** La función principal de la prensa es fijar y contener la energía potencial elástica de los resortes mediante "perros de fijación" hidráulicos. La falta de un mantenimiento preventivo/predictivo sobre el sistema hidráulico (válvulas, sellos) incrementa el riesgo de una liberación accidental de energía, exponiendo a los técnicos a accidentes graves, lo cual se refleja en su puntuación de impacto SHA de 7.

En resumen, la problemática se define por la inexistencia de una estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad para el activo más crítico de la planta, la prensa hidráulica horizontal.

Mantener el esquema actual de "operar hasta la falla" es insostenible ya que, compromete la seguridad del personal y la calidad del servicio ofrecido a flotas industriales exigentes. Por tanto, se hace imperativo diseñar un plan de mantenimiento RCM que mitigue estos modos de falla antes de que ocurran.

# CAPITULO II: DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CON RCM

## 2.1. MARCO TEÓRICO DEL RCM (FUENTES APA)

### 2.1.1. DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se define como "un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual" (SAE JA1011, 1999).

A diferencia de los enfoques tradicionales que buscan preservar el funcionamiento del equipo a toda costa, el RCM se enfoca en preservar la función del sistema. Según Moubray (2004), el mantenimiento no trata de reparar equipos rotos, sino de gestionar las consecuencias de las fallas para que estas sean tolerables al contexto operacional del equipo y proceso productivo.

### 2.1.2. LAS 7 PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM

Para que un proceso de análisis sea considerado RCM, se debe responder a las siguientes preguntas estipuladas en la norma SAE JA1011 (1999):

1. **Funciones:** ¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. **Fallas Funcionales:** ¿De qué manera puede fallar el activo en cumplir sus funciones?
3. **Modos de Falla:** ¿Qué causa cada falla funcional?
4. **Efectos de Falla:** ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. **Consecuencias de Falla:** ¿En qué sentido importa cada falla?
6. **Tareas Proactivas:** ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. **Acciones a falta de:** ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

### 2.1.3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

**A. Contexto operacional:** El comportamiento de un activo depende de dónde y cómo se utiliza. Un mismo motor puede tener requerimientos de mantenimiento diferentes si opera en una mina a 4000 metros de altura o en una planta climatizada al nivel del mar. Definir el contexto operacional es el paso previo indispensable para el análisis (Moubray, 2004).

**B. Funciones y estándares de desempeño**: El análisis RCM comienza definiendo las funciones del activo, las cuales se dividen en:

- **Funciones primarias:** La razón principal por la que existe el activo (ej. "Bombear agua a 500 litros por minuto").
- **Funciones secundarias:** Expectativas adicionales como seguridad, integridad ambiental, apariencia, contención, etc.

**C. Fallas funcionales:** Una falla funcional se define como la incapacidad de un activo para cumplir con una función según el estándar de desempeño aceptable por el usuario (SAE JA1011, 1999). Esto incluye no solo la parada total (no funciona), sino también el funcionamiento fuera de parámetros como una falla parcial (funciona demasiado lento, vibra, calienta, etc.).

**D. Modos de falla**: Es el evento físico que causa la falla funcional. Es el nivel donde se gestiona el mantenimiento. Ejemplos incluyen "rodamiento desgastado", "filtro obstruido", "correa desgastada". El RCM requiere identificar los modos de falla a un nivel de detalle tal que permita seleccionar una política de manejo de fallas adecuada.

**E. Efectos y consecuencias de la falla**

- **Efecto:** Describe lo que ocurre y se observa cuando sucede el modo de falla (evidencia física, alarmas, paradas).
- **Consecuencia:** Clasifica la gravedad del efecto. El RCM prioriza las consecuencias en el siguiente orden:
    1. **Seguridad y medio ambiente:** Si la falla puede herir a alguien o violar normativas ambientales.
    2. **Operacionales:** Si la falla afecta la producción (cantidad, calidad o costo).
    3. **No operacionales:** Si solo implica el costo directo de la reparación.
    4. **Fallas ocultas:** Fallas en dispositivos de protección que no son evidentes hasta que ocurre una falla múltiple.

### 2.1.4. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM

El proceso de selección de estrategias de mantenimiento se realiza mediante un árbol lógico o diagrama de decisión. Este diagrama evalúa cada modo de falla para determinar si es técnicamente factible y económicamente rentable aplicar una tarea proactiva.

Las estrategias resultantes pueden ser:

- **Mantenimiento predictivo (basado en condición):** Monitorear el activo para detectar fallas incipientes (Gráfico P-F).
- **Mantenimiento preventivo (sustitución cíclica):** Reemplazo o reacondicionamiento a intervalos de uso.

- **Búsqueda de Falla (detective):** Chequeos periódicos para verificar si un dispositivo de protección oculto funciona.
- **Mantenimiento correctivo (a la falla):** Decisión deliberada de operar hasta que falle, aplicable solo si la falla no afecta la seguridad ni la producción crítica.
- **Rediseño:** Modificación del activo si ninguna tarea de mantenimiento es capaz de reducir el riesgo a un nivel tolerable.

## 2.2. APLICACIÓN PRÁCTICA: MODOS DE FALLA (FMECA)

Para el desarrollo del análisis FMECA (Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad), se seleccionó la prensa hidráulica horizontal, activo crítico utilizado en la etapa de desmontaje del proceso productivo. Este análisis busca identificar las causas raíz de las 7 fallas anuales registradas y sus riesgos asociados.

### 2.2.1. DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO

El primer paso del RCM es definir qué hace el equipo y en qué condiciones. Basado en las especificaciones técnicas y el contexto operacional de Resortes Deval Spa, se establecen las siguientes funciones:

**Función primaria:** Proveer la fuerza de sujeción hidráulica necesaria mediante los "perros de fijación" para inmovilizar completamente el paquete de resortes de ballesta, manteniendo la presión de fijación constante sin deslizamientos durante todo el ciclo de desarme (aprox. 15-20 minutos por paquete).

**Funciones secundarias:**

- **Control:** Permitir la apertura y cierre controlado de los perros de fijación mediante el accionamiento de la válvula direccional por pedal.
- **Seguridad:** Evitar la liberación repentina de energía elástica del resorte hacia el operario.

## 2.2.2. MATRIZ DE RCM

A continuación, se presenta la matriz FMECA. En esta tabla se desglosan las fallas funcionales y se identifican los modos de falla (causas físicas) específicos para los componentes críticos del sistema: la válvula direccional, el pedal de activación y los perros de fijación.

| Sistemas del Activo | # | Modo de Falla | Efecto Falla | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Si | No | Observaciones |
| Sistema Mecánico | 1.1 | Resorte de retorno del pedal presenta rotura | FO | X | | Para el operario este modo de falla no es evidente |
| | | | AMS | X | | Afecta en la seguridad ya que la máquina no cumplira su función |
| | | | EP | X | | Afecta en la producción en ambitos de calidad y eficiencia |
| | | | DS | | X | Este modo de falla no afecta en un daño secundario a otro componente |
| | | | ACR | X | | Inspección visual del componente y verificar si se puede reparar temporalmente |
| | 1.2 | Mordazas desgastadas | FO | | X | El operario puede darse cuenta de cualquier anomalía en las mordazas de sujeción |
| | | | AMS | X | | Afecta directamente en la seguridad para el operario |
| | | | EP | X | | Agecta en la producción en ambitos de calidad y eficiencia |
| | | | DS | | X | Este modo de falla no afecta en un daño secundario a otro componente |
| | | | ACR | X | | Reemplazar mordazas de sujeción |

| Frecuencia de Falla | MTTR | Impacto en la Producción | Costos por Falla | Impacto en Seguridad | Impacto Ambiental | Riesgo Cuantitativo | Riesgo Cualitativo | Gráfico | Actividad de Mtto. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fallas/Año | Hora | $/Hora | $Hora/Falla | | | $/año | | | |
| 8 | 4 | $ 56.000 | $ 250.000 | C | B | $ 9.792.000 | CB | 1 | Tarea a condición |
| 6 | 3 | $ 56.000 | $ 150.000 | A | B | $ 3.708.000 | AB | 3 | Tarea a condición |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-1: Matriz RCM.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sistema Hidraulico | 1.3 | Sellos internos de valvula direccional presentan desgaste | FO | X | | Para el operario este modo de falla no es evidente |
| | | | AMS | X | | Afecta en la seguridad ya que la máquina no cumplira su función |
| | | | EP | X | | Afecta en la producción en ambitos de calidad y eficiencia |
| | | | DS | X | | Este modo de falla si puede causar un daño secundario en otros componentes ya que el sistema no estará funcionando correctamente |
| | | | ACR | | X | El modo de falla requiere inspección especializada |
| | 1.4 | Mangueras hidráulicas presentan rotura | FO | X | | Para el operario este modo de falla no es evidente |
| | | | AMS | X | | Afecta en la seguridad ya que la máquina no cumplira su función |
| | | | EP | X | | Afecta en la producción en ambitos de calidad y eficiencia |
| | | | DS | X | | Este modo de falla si puede causar un daño secundario en otros componentes ya que el sistema no estará funcionando correctamente |
| | | | ACR | X | | Realizar inspección visual y verificar si se pueden reemplazar el componente dañado |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 5 | $ 56.000 | $ 400.000 | B | B | $ 13.680.000 | BB | 2 | Tarea a condición |
| 13 | 4 | $ 56.000 | $ 300.000 | B | A | $ 18.512.000 | BA | 3 | Tarea a condición |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-2: Matriz RCM.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sistema Eléctrico | 1.5 | Motor sobrecalentado | FO | | X | El operario puede darse cuenta de este modo de falla ya que el equipo no funcionara |
| | | | AMS | X | | Afecta en la seguridad ya que la máquina no cumplira su función |
| | | | EP | X | | Afecta en la producción en ambitos de calidad y eficiencia |
| | | | DS | X | | Este modo de falla podría dañar gran parte de los componentes eléctricos del equipo |
| | | | ACR | | X | El modo de falla requiere inspección especializada |
| | 1.6 | Estator presenta cortocircuito | FO | | X | El operario puede darse cuenta de este modo de falla ya que el equipo no funcionara |
| | | | AMS | X | | Afecta en la seguridad ya que la máquina no cumplira su función |
| | | | EP | X | | Afecta en la producción en ambitos de calidad y eficiencia |
| | | | DS | X | | Este modo de falla podría dañar gran parte de los componentes eléctricos del equipo |
| | | | ACR | | X | El modo de falla requiere inspección especializada |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | $ 56.000 | $ 350.000 | A | A | $ 17.052.000 | AA | 3 | Tarea reacondicionamiento ciclico |
| 4 | 8 | $ 56.000 | $ 350.000 | B | B | $ 12.992.000 | BB | 2 | Tarea a condición |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-3: Matriz RCM.

| SHA | | | |
|---|---|---|---|
| | C | B | A |
| A | 2 | 3 | 3 |
| B | 1 | 2 | 3 |
| C | 1 | 1 | 2 |

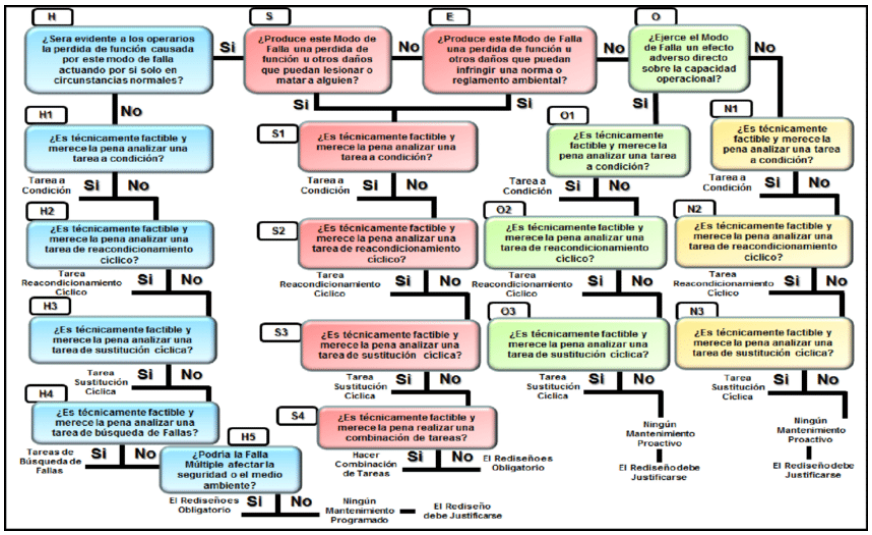
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-4: Tabla seguridad, higiene y ambiente.

**Cálculo impacto en la producción:**

El ingreso anual del 2025 de esta empresa se estimó mediante datos históricos aproximadamente en $488.000.000, si este valor lo dividimos por las 8760 horas de un año se tiene que por hora ingresan aproximadamente $56.000. Por lo tanto, el impacto en la producción cuando la Prensa hidráulica horizontal se encuentra detenida es de $56.000 por hora, ya que este equipo paraliza todo el proceso.

## 2.2.3. HOJA DE DECISIÓN RCM




Fuente:

- SAE International. (1999). SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Warrendale, PA: SAE International.
- SAE International. (2011). SAE JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. Warrendale, PA: SAE International.

Figura 2-1: Árbol de decisión RCM.

| HOJA DE DECISIÓN RCM | SISTEMA/ACTIVO: PRENSA HIDRÁULICA HORIZONTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SUB-SISTEMA/COMPONENTE: SISTEMA DE SUJECIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Evaluación de las consecuencias | | | | | H1 S1 O1 | H2 S2 O2 | H3 S3 O3 | Tareas "a falta de" | | | | Tareas propuestas | Frecuencia inicial | A realizar por |
| F | FF | MF | H | S | E | 0 | N | N1 | N2 | N3 | H4 | H5 | S4 | | | | | | |
| Proveer fuerza de sujeción hidráulica para inmovilizar paquetes de resortes y permitir su desarme seguro. | 1 | Resorte de retorno del pedal presenta rotura | N | | | | | S | | | | | | | Tarea a condición | 3 | Téc. Mecánico |
| | | Mordazas desgastadas | S | S | | | | S | | | | | | | Tarea a condición | 1 | Téc. Mecánico |
| | | Sellos internos de valvula direccional presentan desgaste | N | | | | | S | | | | | | | Tarea a condición | 3 | Téc. Mecánico |
| | | Mangueras hidráulicas presentan rotura | N | | | | | S | | | | | | | Tarea a condición | 5 | Téc. Mecánico |
| | | Motor sobrecalentado | S | S | | | | N | S | | | | | | Tarea reacondicionamiento ciclico | 1 | Téc. Electricista |
| | | Estator presenta cortocircuito | S | S | | | | S | | | | | | | Tarea a condición | 1 | Téc. Electricista |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-5: Hoja de decisión RCM.

## 2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS

### 2.3.1. DATOS DE REFERENCIA

• Tarifas referencia:

- Técnico mecánico: 18.000 CLP/hh
- Técnico hidráulico/mecánico (especializado): 22.000 CLP/hh
- Técnico electricista: 22.000 CLP/hh

• Jornada y tiempos:

- HH ejecución = MTTR del modo de falla cuando se trata de intervención correctiva. Para inspecciones a condición, se considera 0,5–1,0 hh según complejidad.

• Insumos:

- Se incluyen costos típicos de repuestos por intervención.

• MTTO ANUAL = Frecuencia/año × ((HH × N° personas) × Tarifa + Insumos).

**Resorte de retorno del pedal presenta rotura (1.1)**

- **Acción a ejecutar:** Inspección visual del mecanismo de pedal y resorte; reemplazo de resorte si hay desgaste/rotura; ajuste y lubricación del eje de pedal.
- **Frecuencia de aplicación / año:** 3
- **Número de personas:** 1
- **HH - ejecución:** 1,0 hh por inspección; 2,0 hh si hay reemplazo correctivo.
- **Tarifa especialidad:** Técnico mecánico (18.000 CLP/hh)
- **Insumos, materiales o servicios requeridos:** Resorte retorno pedal (20.000 CLP), lubricante (2.000 CLP)
- **MTTO ANUAL:** $ 228.000

**Mordazas desgastadas (1.2)**

- **Acción a ejecutar:** Inspección a condición de mordazas; reemplazo de mordazas; ajuste de alineación y par de apriete.
- **Frecuencia de aplicación / año:** 1
- **Número de personas:** 2
- **HH - ejecución:** 1,5 hh (reemplazo y ajuste)
- **Tarifa especialidad:** Técnico mecánico (18.000 CLP/hh)

- **Insumos, materiales o servicios requeridos:** Juego de mordazas de sujeción (180.000 CLP)
- **MTTO ANUAL:** $ 234.000

**Sellos internos de válvula direccional presentan desgaste (1.3)**

- **Acción a ejecutar:** Inspección a condición de fugas y respuesta de válvula; reemplazo de kit de sellos; prueba funcional posterior.
- **Frecuencia de aplicación / año:** 3
- **Número de personas:** 1
- **HH - ejecución:** 2,0 hh inspección; 4,0 hh si hay recambio
- **Tarifa especialidad:** Técnico hidráulico/mecánico (22.000 CLP/hh)
- **Insumos, materiales o servicios requeridos:** Kit de sellos válvula (90.000 CLP)
- **MTTO ANUAL:** $ 666.000

**Mangueras hidráulicas presentan rotura (1.4)**

- **Acción a ejecutar:** Inspección visual y por tacto de mangueras; reemplazo de manguera y racores; prueba de presión y estanqueidad.
- **Frecuencia de aplicación / año:** 5
- **Número de personas:** 2
- **HH - ejecución:** 1,0 hh inspección; 2,0 hh reemplazo
- **Tarifa especialidad:** Técnico hidráulico/mecánico (22.000 CLP/hh)
- **Insumos, materiales o servicios requeridos:** Manguera hidráulica (por unidad 60.000 CLP), 2 racores (20.000 CLP)
- **MTTO ANUAL:** $ 1.060.000

**Motor sobrecalentado (1.5)**

- **Acción a ejecutar:** Limpieza y verificación de ventilación; medición de corriente y temperatura; ajuste de protecciones térmicas; mantenimiento preventivo del motor (reacondicionamiento anual: rodamientos y limpieza profunda).
- **Frecuencia de aplicación / año:** 1
- **Número de personas:** 2
- **HH - ejecución:** 3,0 hh (reacondicionamiento preventivo)
- **Tarifa especialidad:** Técnico electricista (22.000 CLP/hh)
- **Insumos, materiales o servicios requeridos:** Kit rodamientos (50.000 CLP), grasa dieléctrica (5.000 CLP), limpieza (5.000 CLP)
- **MTTO ANUAL:** $ 192.000

**Estator presenta cortocircuito (1.6)**

- **Acción a ejecutar:** Pruebas dieléctricas (megger), inspección de bobinado; envío a rebobinado si aplica; verificación de aislamiento y puesta en servicio.
- **Frecuencia de aplicación / año:** 1
- **Número de personas:** 2
- **HH - ejecución:** 2,0 hh diagnóstico; 8,0 hh gestión y reinstalación si rebobinado externo
- **Tarifa especialidad:** Técnico electricista (22.000 CLP/hh)
- **Insumos, materiales o servicios requeridos:** Servicio de rebobinado externo (350.000 CLP), consumibles eléctricos (10.000 CLP)
- **MTTO ANUAL:** $800.000

## 2.4. VARIABLES: MODOS DE FALLA (INDEPENDIENTES). ESTRATEGIAS RCM (DEPENDIENTES)

Este punto vincula, de manera explícita y trazable, los modos de falla identificados (FMECA) con las estrategias de mantenimiento seleccionadas (hoja de decisión RCM). La lógica es: cada modo de falla es una variable independiente que "activa" una respuesta de mantenimiento (variable dependiente) con una frecuencia y un recurso definidos, buscando reducir el riesgo técnico y económico.

### VARIABLE INDEPENDIENTE: Resorte de retorno del pedal roto (1.1)

- Riesgo dominante: FO (Falla oculta), EP, AMS.
- Variable Dependiente: Tarea a condición
- Acción: Inspección visual, lubricación, reemplazo de resorte si hay daño.
- Frecuencia: 3/año.
- Recursos: 1 técnico mecánico; 1,0 hh inspección; 2,0 hh reemplazo.
- Métrica de resultado: Reducción de FO y de FF del modo 1.1 en 40–60%.

### VARIABLE INDEPENDIENTE: Mordazas desgastadas (1.2)

- Riesgo dominante: Seguridad operario (AMS) y EP.
- Variable dependiente: Correctiva programada + a condición
- Acción: Inspección del desgaste; reemplazo anual de mordazas; ajuste de alineación/par.
- Frecuencia: 1/año.
- Recursos: 2 técnicos mecánicos; 1,5 hh.
- Métrica de resultado: Disminución de deslizamientos y eventos de pérdida de sujeción; impacto directo en SHA/EP.

### VARIABLE INDEPENDIENTE: Desgaste de sellos en válvula direccional (1.3)

- Riesgo dominante: FO, EP y posible DS (daño secundario).
- Variable Dependiente: Tarea a condición + correctiva programada
- Acción: Prueba funcional y fuga; recambio de kit de sellos al detectar síntoma.
- Frecuencia: 3/año inspección; 1 recambio/año esperado.
- Recursos: 1 técnico hidráulico; 2,0 hh inspección; 4,0 hh recambio.
- Métrica de resultado: Reducción de fallas funcionales del sistema de sujeción; menor MTTR por detección temprana.

**VARIABLE INDEPENDIENTE: Rotura de mangueras hidráulicas (1.4)**

- Riesgo dominante: AMS (seguridad), EP, DS.
- Variable Dependiente: Tarea a condición + correctiva programada
- Acción: Inspección visual y por tacto; reemplazo inmediato ante micro fisuras; prueba de presión.
- Frecuencia: 5/año inspección; 2 reemplazos/años esperados.
- Recursos: 2 técnicos hidráulicos; 1,0 hh inspección; 2,0 hh reemplazo.
- Métrica de resultado: Disminución de escapes súbitos y detenciones no programadas; mejora en disponibilidad.

**VARIABLE INDEPENDIENTE: Motor sobrecalentado (1.5)**

- Riesgo dominante: EP y DS (cadena eléctrica).
- Variable Dependiente: Preventiva cíclica (reacondicionamiento anual)
- Acción: Limpieza, ventilación, medición corriente/temperatura, rodamientos y ajuste de protecciones.
- Frecuencia: 1/año.
- Recursos: 2 técnicos electricistas; 3,0 hh.
- Métrica de resultado: Incremento de MTBF del motor; reducción de sobrecalentamientos y paradas.

**VARIABLE INDEPENDIENTE: Cortocircuito del estator (1.6)**

- Riesgo dominante: EP, DS y posible AMS.
- Variable Dependiente: Tarea a condición + outsourcing correctivo
- Acción: Pruebas dieléctricas (megger), diagnóstico; rebobinado externo si aplica; reinstalación y pruebas.
- Frecuencia: 1/año (diagnóstico proactivo).
- Recursos: 2 técnicos electricistas; 2,0 hh diagnóstico; 8,0 hh reinstalación si rebobinado.
- Métrica de resultado: Prevención de fallas catastróficas; acortamiento de MTTR por planificación.

# CAPITULO III: VALIDACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

## 3.1. SIMULACIÓN DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABLIDAD ANTES/DESPUÉS

### 3.1.1. SUPUESTOS Y DATOS DE BASE

- Horizonte anual de operación: 2.090 h.
- Fallos por modo (antes): 1.1=8; 1.2=6; 1.3=6; 1.4=13; 1.5=7; 1.6=4 Total: 44 fallas/año.
- MTTR por modo (h): 1.1=4; 1.2=3; 1.3=5; 1.4=4; 1.5=6; 1.6=8.
- Reducción de fallas con RCM (supuestos): 1.1=50%; 1.2=60%; 1.3=50%; 1.4=50%; 1.5=60%; 1.6=50%.
- Fallos por modo "después" (esperados): 1.1=4; 1.2=2,4; 1.3=3; 1.4=6,5; 1.5=2,8; 1.6=2 Total: 20,7 fallas/año.

### 3.1.2. FÓRMULAS UTILIZADAS

$$MTBF = \frac{2.090}{fallas/año}$$

$$Horas\ de\ deetención\ anuales = \sum_i FF_i * MTTR_i$$

$$Disponibilidad = 1 - \frac{Horas\ de\ detención\ anuales}{2.090}$$

$$Confiabilidad\ para\ un\ turno\ de\ 8\ horas\ = e^{-\frac{8}{MTBF}}$$

### 3.1.3. RESULTADOS

| Dato | Antes RCM | Después RCM |
|---|---|---|
| **Fallos/año** | 44 | 20,7 |
| **Horas de detención/año** | 290 h | 132,6 h |
| **MTBF** | 47,5 h | 101 h |
| **Disponibilidad anual A (directo)** | 0,8613 | 0,9366 |
| **Confiabilidad en 8 h, R(8)** | 0,845 | 0,925 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-1: Resultados simulación antes/después.

**Antes del RCM**

**Horas de detención por modo de falla:**

- **1.1:** 8 × 4 = 32 h
- **1.2:** 6 × 3 = 18 h
- **1.3:** 6 × 5 = 30 h
- **1.4:** 13 × 4 = 52 h
- **1.5:** 7 × 6 = 42 h
- **1.6:** 4 × 8 = 32 h
- **Total:** 290 h

**Después del RCM**

**Horas de detención por modo de falla:**

- **1.1:** 4,0 × 4 = 16,0 h
- **1.2:** 2,4 × 3 = 7,2 h
- **1.3:** 3,0 × 5 = 15,0 h
- **1.4:** 6,5 × 4 = 26,0 h
- **1.5:** 2,8 × 6 = 16,8 h
- **1.6:** 2,0 × 8 = 16,0 h
- **Total:** 132,6 h

**Reducción de fallas: 53%**

- Antes del RCM: 44 fallas/año
- Después del RCM**:** 20,7 fallas/año

**Cálculo:**

$$Reducción\ de\ fallas = \frac{44 - 20{,}7}{44} = 0{,}5295 \approx 53\%$$

**Reducción de horas de detención: 54%**

- **Antes del RCM:** 290 h/año
- **Después del RCM:** 132,6 h/año

**Cálculo:**

$$Reducción\ horas\ de\ detención = \frac{290 - 132{,}6}{290} = 0{,}5427 \approx 54\%$$

## 3.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS EVITADOS

| Modo | FF (año) | MTTR (h) | Reducción RCM | Costo paro actual (CLP) | Costo paro con RCM (CLP) | Costos evitados (CLP) | Costo RCM anual (CLP) | Ahorro neto (CLP) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.1 Resorte pedal | 8 | 4 | 50% | 1.792.000 | 896.000 | 896.000 | 116.000 | 780.000 |
| 1.2 Mordazas | 6 | 3 | 60% | 1.008.000 | 604.800 | 403.200 | 234.000 | 169.200 |
| 1.3 Sellos válvula | 6 | 5 | 50% | 1.680.000 | 840.000 | 840.000 | 310.000 | 530.000 |
| 1.4 Mangueras | 13 | 4 | 50% | 2.912.000 | 1.456.000 | 1.456.000 | 556.000 | 900.000 |
| 1.5 Motor | 7 | 6 | 60% | 2.352.000 | 1.411.200 | 940.800 | 192.000 | 748.800 |
| 1.6 Estator | 4 | 8 | 50% | 1.792.000 | 896.000 | 896.000 | 800.000 | 96.000 |
| Totales | 44 | | | 11.536.000 | 6.104.000 | 5.432.000 | 2.208.000 | 3.224.000 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-2: Estimación de costos evitados.

La siguiente tabla presenta el análisis económico comparativo entre el estado actual de mantenimiento de la prensa hidráulica horizontal y el escenario proyectado tras la implementación del plan RCM. Para cada modo de falla identificado, se estimó el costo anual asociado a las detenciones no planificadas (basado en la frecuencia de fallas, el tiempo medio de reparación y un impacto económico de $56.000 por hora de detención). Luego, se aplicaron las estrategias RCM propuestas, considerando una reducción esperada en la frecuencia de fallas por modo, lo que permitió calcular el costo de detención con RCM.

La diferencia entre ambos escenarios se refleja en la columna “Costos evitados”, que representa el ahorro bruto por menor tiempo de inactividad. A este valor se le descuenta el “Costo RCM anual”, correspondiente a la inversión en tareas de inspección, correctivas programadas y materiales. El resultado final se muestra en la columna “Ahorro neto”, que indica el beneficio económico real por modo de falla. En conjunto, el plan RCM permite evitar aproximadamente 5,4 millones de pesos en costos de detención, con una inversión anual de 2,2 millones de pesos, generando un ahorro neto total de 3,2 millones de pesos aproximadamente. Este resultado valida la conveniencia técnica y económica del plan propuesto.

## 3.3. PROPUESTA DE INDICADORES DE GESTIÓN

Con el objetivo de monitorear el desempeño técnico y económico del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a la prensa hidráulica horizontal, se proponen los siguientes indicadores de gestión. Estos permiten evaluar la efectividad de las estrategias implementadas, facilitar la toma de decisiones y asegurar la mejora continua del sistema de mantenimiento.

### 3.3.1. INDICADORES TÉCNICOS

**DISPONIBILIDAD OPERACIONAL**

$$A = 1 - \frac{Horas\ de\ detención}{Horas\ de\ operación}$$

Unidad = %

Mantener sobre 95%

**TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS**

$$MTBF = \frac{Horas\ de\ operación}{Número\ de\ fallas}$$

Unidad = horas

Aumentar progresivamente.

**TIEMPO MEDIO PARA REPARAR**

$$MTTR = \frac{Horas\ de\ detención}{Número\ de\ fallas}$$

Unidad = horas

Reducir o estabilizar.

**CONFIABILIDAD POR TURNO (R (8))**

$$R\ (8) = e^{-\frac{8}{MTBF}}$$

Unidad = Probabilidad

Alcanzar > 0,92

### 3.3.2. INDICADORES ECONÓMICOS

**COSTO DE DETENCIÓN ANUAL**

$$C_{paro} = FF * MTTR * Costo/hora$$

Unidad = CLP

Disminuir año a año

**COSTO ANUAL DEL PLAN RCM**

$$\sum costos\ por\ modo\ de\ falla$$

Unidad = CLP

Mantener dentro del presupuesto.

**AHORRO NETO ANUAL**

$$AC = C_{paro\ actual} - C_{paro\ RCM} - C_{RCM}$$

Unidad = CLP

Maximizar

**RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN DEL PLAN RCM**

$$ROI = \frac{Ahorro\ neto}{Costo\ RCM}$$

ROI > 1

**Interpretación**

- **ROI > 1:** el plan es rentable, porque el ahorro supera la inversión.
- **ROI = 1:** el plan apenas cubre sus costos, sin generar beneficio adicional.
- **ROI < 1:** el plan no es económicamente conveniente, ya que cuesta más de lo que ahorra.

Ahorro neto total: $3.224.000

Costo RCM total**:** $2.208.000

$$ROI = \frac{3.224.000}{2.208.000} \approx 1{,}46$$

Esto significa que por cada peso invertido en RCM, se recuperan 1,46 pesos en beneficios, validando que el plan es económicamente atractivo.

## 3.4. HIPÓTESIS

*"La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al activo crítico seleccionado permitirá aumentar la disponibilidad operacional en al menos un **7%** respecto al estado actual."*

### 3.4.1. FUNDAMENTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- Disponibilidad operacional antes del RCM: 0,8613 (86,1%).
- Disponibilidad operacional después del RCM: 0,9366 (93,7%).
- Incremento observado: 7,6 puntos porcentuales.

Este resultado se obtuvo a partir de la reducción de fallas anuales de 44 a 20,7, y de las horas de detención de 290 h a 132,6 h. La confiabilidad en un turno de 8 horas también mostró un aumento significativo, pasando de 0,845 a 0,925.

Los resultados obtenidos permiten validar la hipótesis planteada en este capítulo. La aplicación del RCM al activo crítico seleccionado incrementa la disponibilidad operacional en un 7,6%. Este aumento se acompaña de una reducción del 53% en la frecuencia de fallas y del 54% en las horas de detención, lo que se traduce en un ahorro neto anual de 3,2 millones de pesos y un ROI de 1,46. En consecuencia, la hipótesis se confirma, demostrando que la implementación del RCM es técnica y económicamente conveniente para la organización.

## CONCLUSIONES

El análisis de criticidad, desarrollado conforme a la metodología SAE J1739, permitió determinar que la prensa hidráulica horizontal presenta el mayor índice de criticidad total por riesgo (CTR = 203), clasificándose en nivel “Alto”. Este resultado valida, desde un enfoque metodológico y cuantitativo, la selección del activo crítico para la aplicación del RCM, asegurando que la propuesta se orienta al punto de mayor vulnerabilidad del proceso productivo.

La aplicación de la metodología RCM, mediante el análisis FMECA y la hoja de decisión, posibilitó la identificación sistemática de funciones, fallas funcionales, modos de falla y consecuencias operacionales. A partir de ello se definieron estrategias de mantenimiento diferenciadas (predictivas, preventivas y correctivas programadas), logrando una reducción proyectada del 53% en la frecuencia de fallas y del 54% en las horas de detención. Estos resultados evidencian la capacidad del RCM para transformar un esquema reactivo en un modelo proactivo, con impacto directo en la confiabilidad del activo.

La validación técnica y económica demostró un incremento de la disponibilidad operacional de 0,861 a 0,937, equivalente a una mejora de 7,6 puntos porcentuales. Este aumento se tradujo en un ahorro neto anual de $3,2 millones y un retorno sobre la inversión (ROI) de 1,46. Dichos indicadores confirman la hipótesis planteada y validan la conveniencia del RCM como estrategia integral, tanto en términos de confiabilidad como de rentabilidad, consolidando su pertinencia para la gestión de mantenimiento industrial en Resortes Deval Spa.

La investigación realizada confirma que la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) constituye una herramienta eficaz para mejorar la disponibilidad operacional y optimizar los costos asociados a la gestión de activos críticos. Los resultados obtenidos no solo validan la hipótesis planteada, sino que también demuestran la relevancia de integrar metodologías de confiabilidad en la planificación estratégica del mantenimiento. En este sentido, la experiencia desarrollada con la prensa hidráulica horizontal puede ser extrapolada a otros equipos de la planta, contribuyendo a una cultura organizacional orientada a la mejora continua, la eficiencia económica y la sostenibilidad operativa. Así, el presente trabajo aporta evidencia técnica y práctica que refuerza la importancia de la confiabilidad como eje fundamental en la competitividad industrial.

## RECOMENDACIONES

**Implementación progresiva:** Iniciar la aplicación del RCM en los modos de falla con mayor impacto económico (motor, mangueras y sellos válvula), para asegurar resultados rápidos.

**Monitoreo de indicadores:** Incorporar los indicadores de gestión propuestos (disponibilidad, MTBF, MTTR, confiabilidad por turno, costos evitados y ROI) en un tablero de control mensual, con revisión trimestral para ajustar estrategias.

**Optimización de costos RCM:** Revisar periódicamente la frecuencia de inspecciones y negociar insumos críticos para reducir el costo anual del plan, especialmente en los modos de falla con bajo ahorro neto (ej. estator).

**Capacitación del personal:** Entrenar a los técnicos en metodologías de inspección a condición y en el uso de herramientas de diagnóstico, para asegurar la correcta ejecución de las tareas RCM y evitar costos de HH.

**Escalabilidad del modelo:** Extender la metodología RCM a otros activos críticos de la planta, utilizando la experiencia obtenida en este piloto como referencia para mejorar la confiabilidad global del sistema productivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Moubray, J. (2004). RCM II: Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press Inc.

SAE International. (1999). SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Warrendale, PA: SAE International.

SAE International. (2011). SAE JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. Warrendale, PA: SAE International.

SAE International. (2009). SAE J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) including Design, Process, and Machinery FMEA. Warrendale, PA: SAE International.

Smith, R., & Hinchcliffe, R. (2004). RCM: Gateway to World Class Maintenance. Elsevier.

ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. International Organization for Standardization.