

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA CENTRAL TÉRMICA DE CALEFACCIÓN

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

Alumno:

Sr. Jorge Andrés Nuñez Suárez

Profesor Guía:

Mg. Ing. Cristian Cuadra Urbina

RESUMEN

En industrias como la gran minería, muchas veces existe una gran cantidad de recursos económicos por el alto valor del mineral extraído y procesado. Los proyectos o procesos que no están asociados de manera directa a la extracción de mineral o al tratamiento de este, no son abordados de la misma manera (distribución de recursos) que los equipos principales del proceso minero y son entregados a empresas contratistas para su administración.

El caso de estudio aborda la condición de una central térmica de calefacción ubicada en las dependencias de la División El Teniente, sexta región. La empresa encargada de asegurar la continuidad operacional del sistema de generación de agua caliente y agua caliente sanitaria posee un plan matriz con actividades que no abordan todas las necesidades según las fallas presentadas desde la adjudicación del contrato y a la vez genera un incumplimiento en alguna de las recomendaciones que se detallan en el decreto 10 (Reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua). Otra condición que se evidencia dentro del sistema, específicamente en los equipos que tienen contacto con el fluido desplazado, es la concentración de sales y minerales en estado sólido, el cual aportan gradualmente a la pérdida de función de algunos de los activos del proceso.

Por la situación detallada anteriormente, se presentó una propuesta de un nuevo plan de mantenimiento bajo la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, el desarrollo y aplicación de esta herramienta permitirá conocer en detalle la clasificación de los distintos equipos que son parte del sistema principal y de los subsistemas asociados al equipo crítico determinado y además trabajar en análisis cualitativos como cuantitativos que serán de gran aporte para determinar las actividades de mantenimiento que aportarán a la mitigación y/o eliminación del riesgo calculado.

Con los resultados obtenidos, se puede concluir que con la metodología utilizada y las propuestas de actividades generadas se puede alcanzar un ahorro potencial económico considerable al realizar un plan de mantenimiento ajustado a la medida.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

 OBJETIVO GENERAL 2

 OBJETIVO ESPECÍFICO..... 2

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 3

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL SERVICIO 4

 1.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES 4

 1.1.1. Objetivos del servicio de operación y mantenimiento..... 5

 1.1.2. Control del contrato y requerimientos para el servicio..... 6

 1.1.3. Inspección y No conformidades 7

 1.1.4. Diseños de planes de operación y mantenimiento 7

 1.1.5. Alcances del servicio de operación y mantenimiento..... 8

 1.2 DESARROLLO Y EJECUCIÓN DEL SERVICIO 8

 1.2.1. Proveedor del servicio en apoyo a la minería (Instalaciones Proyecto NNM)..... 8

 1.2.2. Valores Corporativos 9

 1.2.3. Clientes de la gran minería nacional e internacional 9

 1.2.4. Mantenimiento (Área de apoyo, casa central). 9

 1.2.5. Alcances y recursos específicos del servicio 10

 1.3. PROCESO DE JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS DEL CONTRATO E IDENTIFICACIÓN DEL O LOS EQUIPOS CRÍTICOS. 14

 1.3.1. Modelo de Criticidad 15

 1.3.2. Modelo de Criticidad MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo 15

 1.3.3. Factores a medida de la EECC “Almar Water Servicios Latam” para el análisis de criticidad..... 16

 1.3.4. Aplicación del modelo MCCR en Proyecto de la empresa A.W.S. 18

 1.4. PROBLEMÁTICA DETECTADA EN EL CASO DE ESTUDIO 27

 1.4.1. Marco regulatorio legal, Decreto 10 30

 1.4.2. Multas y sanciones por incumplimiento 32

CAPÍTULO 2: CONTEXTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE, FUNCIÓN Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DE LA CENTRAL TÉRMICA DE CALEFACCIÓN..... 34

2..... CONTEXTO OPERATIVO DEL PROCESO, FUNCIONES Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS DEL EQUIPO CRÍTICO 35

2.1.....CONTEXTO DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE Y SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN 35

2.1.1. Equipos del circuito primario 36

2.1.2. Equipos del circuito secundario.....38

2.1.3. Equipos y componentes del circuito de salida de ACS 40

2.1.4. Equipos y componentes en sistema de calefacción 41

2.2.....METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....43

2.2.1. Confiabilidad Operacional.....43

2.2.2. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad 45

2.2.3. Modelo de implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad 46

CAPÍTULO 3: PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA DEL CASO EN ESTUDIO, CON APOYO DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS COSTO RIESGO BENEFICIO.....64

3. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA PROPUESTA.....65

3.1.SELECCIÓN Y VALORIZACIÓN DE ESTRATÉGIAS DE MANTENIMIENTO 65

3.1.1. Actividades de mantenimiento y su clasificación.....66

3.1.2. Terminología adoptada 67

3.2.....ANÁLISIS COSTO – RIESGO – BENEFICIO Y SU AHORRO POTENCIAL 71

3.2.1. Costos asociados al Mantenimiento.....71

3.2.2. Costos asociados al Riesgo.....72

3.2.3. Beneficios del Mantenimiento 72

3.2.4. Análisis Costo – Riesgo – Beneficio del caso de estudio 73

3.2.5. Costos directos del servicio 73

3.2.6. Costos indirectos del servicio 74

3.2.7. Beneficios de la propuesta 75

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....79

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN 80

ANEXOS 81

ANEXO A: INCLUIR TITULO 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Logo empresa contratista encargada del servicio del caso de estudio 9

Figura 1-2 Fotografía satelital del sector La Junta, División El Teniente. 11

Figura 1-3 Extracto de Plan de actividades de mantenimiento actual. 28

Figura 1-4 Válvula termostática de tres vías.....29

Figura 1-5 Central térmica de calefacción. 30

Figura 2-1 Plano del sistema de generación de agua caliente y agua caliente sanitaria ..36

Figura 3-1 Árbol lógico de decisión (MCC), según Norma SAE JA 1012. 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Alcances del contrato según sectores en División el Teniente 5

Tabla 1-2 Matriz de riesgo (Frecuencia v/s Consecuencia) 4x5, tres regiones..... 18

Tabla 1-3 Listado de equipos del contrato para la evaluación de criticidad cualitativa de riesgo 20

Tabla 1-4 Resumen resultados obtenidos en la matriz cualitativa de riesgo. 25

Tabla 1-5 Ejemplo de procedimiento de aplicación en matriz cualitativa de riesgo 26

Tabla 1-6 Ejemplo de procedimiento de aplicación en matriz cualitativa de riesgo 27

Tabla 2-1 Formato plantilla Análisis de Modos y Efectos de Fallas. 57

Tabla 3-1 Actividades de mantenimiento preventivo (proactivo).....66

Tabla 3-2 Actividades de mantenimiento correctivo (reactivo).....67

Tabla 3-3 Formato plantilla propuesta de mantenimiento AMEF del MCC 68

Tabla 3-4 Costos directos del servicio 74

Tabla 3-5 Costos indirectos del servicio 74

Tabla 3-6 Formato plantilla Costo Beneficio del MCC 76

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1 Gestión de mantenimiento corporativo en A.W.S.L..... 10

Diagrama 1-2 Organigrama del contrato..... 12

Diagrama 1-3 Flujograma de comunicación y gestión de gastos reembolsables..... 13

Diagrama 1-4 activos físicos (contexto de funciones primarias y secundarias del sistema crítico). 14

Diagrama 1-5 Taxonomía de jerarquización, ISO 14224. 18

Diagrama 1-6 Fotografía de quemador Riello RS70 (parte del equipo crítico).....27

Diagrama 2-1 Circuito primario del sistema de calefacción. 38

Diagrama 2-2 Circuito secundario del sistema de agua caliente sanitaria. 40

Diagrama 2-3 Circuito de almacenamiento salida del agua caliente sanitaria.....41

Diagrama 2-4 Circuito de transferencia de calor mediante serpentín calefactor 43

Diagrama 2-5 Confiabilidad Operacional, basado en modelo de John Woodhouse.....44

Diagrama 2-6 Fases de implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
..... 46

Diagrama 2-7 Equipo natural de trabajo para la implementación de un MCC.....47

Diagrama 2-8 Diagrama Entrada-Proceso-Salida de la central térmica de calefacción...51

Diagrama 2-9 Contexto Operacional enfoque norma ISO 14224. 51

Diagrama 2-10 Proceso de elaboración del análisis de modos y efectos de falla 53

Diagrama 2-11 Decisión AMEF. 56

Diagrama 3-1 Costos directos 71

Diagrama 3-2 Costos indirectos 72

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

A.W.S.L.	:	Almar Water Servicios Latam
ACS	:	Agua Caliente Sanitaria
AMEF	:	Análisis de Modos y Efectos de Fallas
APP	:	Aplicación móvil
C	:	Factor de consecuencia de fallas
CLP	:	Pesos chilenos
CM	:	Factor costo de mantenimiento
CMMS	:	Software de gestión de mantenimiento
EECC	:	Empresa Contratista
FF	:	Factor de frecuencia de fallas
FO	:	Factor flexibilidad operacional
GLP	:	Gas licuado del petróleo
IO	:	Factor de impacto operacional
MCC	:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad “MCC”.
MTTR	:	Tiempo Medio para Reparar
PNNM	:	Proyecto Nuevo Nivel Mina
PVC	:	Policloruro de vinilo
RCM	:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
RNC	:	Reporte de No conformidad
SHA	:	Factor Seguridad, Higiene y Ambiente
USD	:	Dólar estadounidense
UTM	:	Unidad tributaria mensual
VP	:	Vicepresidencia de Proyecto

SIMBOLOGÍA

%	:	Porcentaje
”	:	Pulgadas
°C	:	Grados Celsius
Bar	:	Unidad de presión
c/u	:	Cada uno
hrs	:	Horas
Kcal/hr	:	Kilocalorías por hora
kg/cm ²	:	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/m ³	:	Kilogramos por metro cubico
lt	:	Litros
m	:	Metro
m ³ /hr	:	Metro cubico por hora
mca	:	Metro por columna de agua
mm	:	Milímetros
msnm	:	Metros sobre el nivel del mar
PSI	:	Libra sobre pulgadas cuadradas
Rpm	:	Revoluciones por minuto
T°	:	Temperatura
V	:	Volts
W	:	Wats

INTRODUCCIÓN

En el presente caso de estudios, se analiza un Servicios de apoyo a operaciones mineras, ubicado geográficamente en el sector de La Junta, División El teniente, Rancagua. El mandante o cliente directo que presenta el rol de dueño de área y de los activos físicos, es Codelco VP (Vicepresidencia de Proyecto), encargado actual de dirigir las instalaciones administrativas y de servicios básicos para todo el personal asociado al Proyecto Nuevo Nivel Mina.

La empresa Almar Water Servicios Latam, especialista en operación y mantenimiento de infraestructuras hídricas en apoyo a la gran minería y tratamiento de aguas, cumple en la actualidad la función de proveedor de servicios como empresa colaboradora. El contrato cuenta con un total de 150 activos físicos entre todos sus sistemas asociados (Plantas de tratamientos de agua industrial, agua potable, aguas servidas y sistemas HVAC), el cual el enfoque principal del análisis es el sistema de generación de agua caliente, agua caliente sanitaria y sistema de climatización para las salas de cambio de la faena.

Uno de los objetivos es poder identificar los equipos críticos del volumen de control analizado y con ayuda de las herramientas de gestión de mantenimiento optimizar las estrategias actuales de mantenimiento. Con la metodología RCM se podrá identificar las funciones primarias y secundarias, modos de fallas, efectos y consecuencias hacia los activos seleccionados, identificando las acciones idóneas y necesarias para asegurar un mayor grado de confiabilidad a los equipos del sistema.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de optimización para la estrategia de mantenimiento actual a una central térmica de calefacción, con la finalidad de prolongar de manera eficiente la vida útil del activo físico y cumplir con lo establecido en el marco regulatorio legal, por intermedio de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad “MCC”.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Describir el contexto operacional del servicio en estudio, para conocer el alcance del contrato, los recursos asociados e identificar los equipos críticos mediante una técnica de jerarquización basada en riesgo, con el fin de verificar los malos actores que impactan en la actualidad al proyecto.
- Elaborar un modelo de control para los distintos modos y efectos de fallas identificados, con el propósito de administrar de manera eficiente los riesgos y las estrategias de mitigación seleccionadas.
- Evaluar técnica y económicamente la situación actual del caso en estudio y la situación futura propuesta, mediante un análisis de costo-riesgo-beneficio, con el objetivo de identificar el ahorro potencial del plan de optimización.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL SERVICIO

En esta etapa inicial, se detalla el contexto general donde se desenvuelve el caso de estudio, ya que, se hace necesario conocer todas las variables que interactúan con los sistemas y subsistemas bajo análisis. Al tener presente el modelo operacional actual, se podrán realizar las mediciones necesarias para establecer los criterios de trabajos de mejora.

1.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

El Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM) se desarrolla en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, en el distrito minero de la División Codelco El Teniente. El NNM es un proyecto estructural de la estatal, y como tal forma parte de la cartera de proyectos de la vicepresidencia corporativa. Una vez se logre comenzar con la explotación de estas reservas, permitirá mantener la vida productiva de El Teniente por 47 años más, incrementando la eficiencia y la competitividad del proceso minero subterráneo en Chile y, en consecuencia, se maximizarán los excedentes que Codelco entrega al país.

El proyecto NNM inició sus actividades constructivas en el año 2012 aproximadamente y contempló una inversión inicial de US\$ 1.615 millones, junto a la creación de 2.400 puestos de trabajo durante los años que dure su etapa de construcción. El resto de la inversión, que suma US\$3.278 millones, se concretará desde el año que inicie su fase de explotación. El proyecto se desarrolla principalmente en el interior de la Cordillera de Los Andes, con un bajo impacto ambiental, ya que, fueron utilizadas las actuales instalaciones de El Teniente, por lo que no generará nuevos efectos relevantes en el entorno.

Las principales obras del proyecto NNM son:

- Nuevo nivel de explotación de la mina (niveles de hundimiento, producción, ventilación, acarreo, drenaje e instalación de tres chancadores giratorios).
- Camino de acceso entre Maitenes y Confluencia, de aproximadamente 17 kilómetros de longitud.
- Dos túneles de 9 kilómetros para transporte de mineral y acceso de personal, entre la plataforma Confluencia y la pipa de la mina.

- Instalaciones para el transporte y acopio de mineral desde el NNM a la planta concentradora de Colón.
- Sistema de manejo de aguas.
- Instalaciones e infraestructura auxiliar.

División El Teniente posee servicios propios de operación y mantenimiento que dan atención a los requerimientos de sus instalaciones. Sin embargo, el Proyecto Nuevo Nivel Mina dispone de infraestructura propia que requiere ser operada y mantenida por un servicio especializado en administración de recursos hídricos, generación de agua caliente, agua caliente sanitaria y sistemas de climatización.

La Tabla 1-1 ilustra los sistemas que posee el PNNM y en donde se describen los alcances definidos para los servicios de operación y mantenimiento de las instalaciones del proyecto: esta infraestructura que actualmente se encuentra en operación, se describe brevemente en la Tabla 1-1, para lo cual Codelco VP concordará con el Contratista los recursos y la metodología de operación y/o mantenimiento a utilizar.

Tabla 1-1 Alcances del contrato según sectores en División el Teniente

ÁREA	SISTEMA	FUNCIÓN
CALETONES	Almacenamiento de agua potable	a. Suministro de agua potable a oficinas, talleres y casa de cambio del PNNM sector PCPC.
	Tuberías de distribución de agua potable	
	Planta de Tratamiento de aguas servidas	b. Tratamiento de las aguas servidas generadas en oficinas y casa de cambio del PNNM sector PCPC.
	Planta de Tratamiento de RILES	
	Sistema de control y monitoreo	c. Tratamiento de aguas de lavado de equipos en taller del PNNM sector. PCPC
LA JUNTA 1	Almacenamiento de agua potable	a. Suministro de agua potable a oficinas, planta de tratamiento y casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
	Infraestructura de distribución de agua potable	
	Infraestructura de distribución de agua industrial	b. Tratamiento de las aguas servidas generadas en oficinas y casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
	Sistema hidroneumático de agua potable	
	Planta de Tratamiento de aguas servidas	c. Suministro de agua caliente para sistema de climatización de la casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
	Planta elevadora de aguas servidas	
	Sistema de generación de agua caliente	d. Suministro de agua caliente sanitaria para la casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
LA JUNTA 2	Sistema de climatización	
	Almacenamiento de agua potable	a. Suministro de agua potable a oficinas, planta de tratamiento y casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
	Infraestructura de distribución de agua potable	
	Infraestructura de distribución de agua industrial	b. Tratamiento de las aguas servidas generadas en oficinas y casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
	Sistema hidroneumático de agua potable	
	Planta de Tratamiento de aguas servidas	c. Suministro de agua caliente para sistema de climatización de la casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
	Planta elevadora de aguas servidas	
	Sistema de generación de agua caliente	d. Suministro de agua caliente sanitaria para la casa de cambio del PNNM sector La Junta 1.
	Sistema de climatización	

Fuente: Elaboración propia en base a la información que se detalla en bases técnicas del contrato.

1.1.1.1. Objetivos del servicio de operación y mantenimiento

El objetivo del Servicio es la ejecución, en forma integral, de todas las obras y actividades, directas e indirectas, que se requieren para la operación y mantención de las

instalaciones de suministro de agua potable, generación y suministro de agua caliente sanitaria y sistemas de climatización que el alcance del servicio considera.

Los objetivos particulares del servicio son los siguientes:

- Prestar todos los servicios para operar y mantener con un alto estándar de calidad, seguridad y disponibilidad las instalaciones de suministro de agua potable, generación de agua caliente, suministro de agua caliente sanitaria y de los sistemas de climatización.
- Prestar todos los servicios que permitan asegurar que la cantidad y calidad de agua potable, agua caliente sanitaria y sistemas de extracción e inyección de aire de los sistemas a su cargo, sea la adecuada conforme los criterios con que fueron diseñadas dichas instalaciones.
- Desarrollar, implementar, ejecutar y controlar un plan de mantención preventiva que permita asegurar la disponibilidad de los sistemas y subsistemas a su cargo.
- Asegurar una alta disponibilidad de los servicios para no entorpecer ni retrasar a los turnos de producción mina (desarrollo minero).

1.1.2. Control del contrato y requerimientos para el servicio

Codelco establece claramente dentro de sus bases técnicas, que las actividades que realice el Contratista estarán supeditadas a inspecciones y auditorías permanentes de parte de Codelco con el objetivo de velar por el fiel e íntegro cumplimiento del contrato en todos sus aspectos a través de lo siguiente:

- Control de gestión y/o el cumplimiento en terreno en materias de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente.
- Gestión de Hallazgos, oportunidades de mejora y planes de acción ante modos de falla repetitivos.
- Control Operacional (variables físicas del servicio) y de disponibilidad del sistema de agua caliente y clima.
- Marco Legal aplicable al contrato.

Si en el resultado de estas actividades de inspección y control se detectan desviaciones, reclamos, incumplimientos y fallas dentro de los sistemas críticos, será responsabilidad del Contratista el dar la más pronta solución y priorizar la disponibilidad del servicio para no afectar los turnos de desarrollo minero.

Codelco tiene plenas atribuciones para detener los trabajos en donde se realicen actividades que no cumplan con estándares de seguridad para el personal y los bienes,

y/o que no se respeten, entre otros, los Procedimientos de Trabajo del Contratista y/o de Codelco, así como las normas y leyes vigentes.

La indisponibilidad de los servicios críticos (agua potable, agua caliente y clima), que superen las cinco horas continuas de detención y puedan afectar directamente al turno de producción mina y/o usuarios del sector, el contratista deberá asumir una multa establecida por Codelco al no cumplimiento de la disponibilidad del servicio.

Al presentarse reclamos consecutivos respecto a los servicios críticos (agua potable, agua caliente y clima) por los usuarios de las instalaciones, el contratista se expondrá a una multa establecida por Codelco al no cumplimiento de la disponibilidad y calidad del servicio.

Las multas por no cumplimiento y/o reclamos respecto a los servicios críticos (agua potable, agua caliente y clima), asumirán un valor de \$1050 USD, sin considerar los costos extras que surjan por incumplimientos legales, estos deberán ser cargado en el estado de pago del mes siguiente, con una única opción de apelación con el administrador de contrato Codelco.

1.1.3. Inspección y No conformidades

Las inspecciones de terreno serán de rutina diaria y las desviaciones detectadas, en cualquier aspecto del contrato, serán comunicadas al Contratista a través del documento denominado RNC (Reporte de No conformidad) el cual se enviará por canales formales.

Los “Reportes de No Conformidad” son documentos de carácter contractual ya que ellos representan una desviación o deficiencia en los diferentes campos de acción de los ítems contractuales. Esto quiere decir que es un no cumplimiento del contrato, por lo tanto, la no solución en las fechas indicadas para la acción correctiva podría ameritar la toma de acciones mayores por Codelco, ejemplo multas.

Si el Contratista toma la decisión de no realizar las reparaciones, reemplazos o mejoramientos de las desviaciones que los “Reportes de No Conformidad” indican, Codelco actuará según el Contrato, para aplicar las multas, realizar los trabajos con terceros y/o realizar los cobros revertidos correspondientes.

1.1.4. Diseños de planes de operación y mantenimiento

El Contratista deberá diseñar los planes de operación y mantenimiento para los sistemas y subsistemas a su cargo. Estos planes tendrán como información base los

manuales de operación y mantenimiento, diagramas e información del área de proyectos y además de la experiencia del Contratista en este tipo de proceso.

1.1.5. Alcances del servicio de operación y mantenimiento

El Contratista deberá realizar la mantención preventiva y correctiva de la infraestructura asociada a los sistemas de Agua Potable, Agua Caliente y Clima de la casa de cambio La Junta (calderas a gas, acumuladores de agua caliente sanitaria, sistemas de calefacción y ventilación) de modo que estas instalaciones presten servicio las 24 horas del día, durante todo el año.

Los trabajos de mantenimiento requeridos deberán garantizar la disponibilidad de estas instalaciones los 365 días del año. Estos trabajos deberán realizarse en horarios que no afecten la capacidad y operatividad de los sistemas.

El Contratista deberá mantener un registro histórico de la información de fallas y mantenimiento de cada sistema, en formato digital y papel.

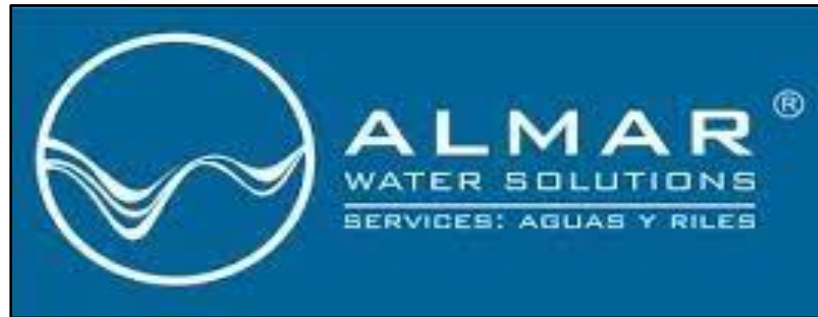
Excepcionalmente se podrán realizar trabajos los fines de semana y/o en turnos especiales en algunas de las instalaciones, si la naturaleza del trabajo así lo requiere (Ejemplos: trabajos correctivos o de emergencia que requieran una rápida solución, trabajos preventivos que impliquen detener las instalaciones, etc.).

Los repuestos e insumos que se requieran serán adquiridos por el Contratista mediante gastos a costo efectivo. Es responsabilidad del Contratista la cubicación y especificación de los repuestos requeridos, la gestión de compra conforme a los procedimientos establecidos para los gastos reembolsables y el traslado al punto en donde se requieran.

1.2. DESARROLLO Y EJECUCIÓN DEL SERVICIO

1.2.1. Proveedor del servicio en apoyo a la minería (Instalaciones Proyecto NNM)

Almar Water Servicios Latam es una empresa con presencia nacional e internacional. La compañía enfoca sus actividades en el servicio de tratamiento de aguas, tanto en el sector municipal como para el industrial, desarrollando soluciones integrales para la gestión sustentable del recurso hídrico, mediante la operación y mantenimiento de plantas de tratamiento, diseño, construcción, arriendo de plantas móviles de filtración y osmosis y manejo integral de residuos y transporte de agua para reúso.



Fuente:

Figura 1-1 Logo empresa contratista encargada del servicio del caso de estudio

1.2.2. Valores Corporativos

Se asume la Seguridad, Responsabilidad, Innovación y Calidad como los valores fundamentales, los que permiten lograr la relación de confianza y de largo plazo con todo el grupo de interés de la empresa. Estos valores son las bases que guían todas las actividades y decisiones que se toman diariamente, cualquiera sea su ámbito.

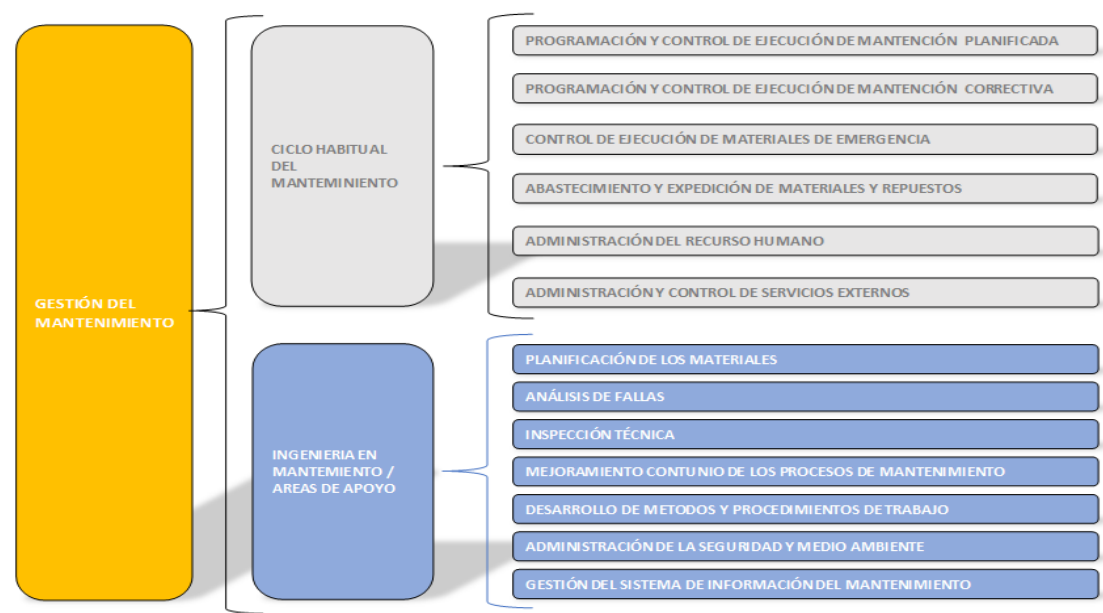
1.2.3. Clientes de la gran minería nacional e internacional

Para el sector minero, el agua es un recurso estratégico y esencial para el procesamiento de los minerales, así como también permite cubrir las distintas necesidades de todos los colaboradores en su día a día, como en barrios cívicos, casas de cambio, oficinas, casinos de alimentación, entre otros. A raíz de esta necesidad, Almar Water Servicios Latam brinda soluciones tácticas para que los clientes puedan tener dotación en faena por medio del suministro de agua potable y agua caliente sanitaria, aportando al cumplimiento del marco legal para las personas, con sus servicios estratégicos en operación y mantenimiento en instalaciones de apoyo a la gran minería.

1.2.4. Mantenimiento (Área de apoyo, casa central).

El equipo de especialistas en mantenimiento de Almar Water Servicios Latam, asisten de manera transversal a todos los servicios que se encuentran vigentes a lo largo del país. Estableciendo un apoyo estratégico a la planificación y programación de las diferentes necesidades de cada cliente en particular. El generar relaciones con diferentes industrias, tanto sectores privados como estatales, ha llevado a fortalecer el nivel de respuesta, cumplimiento y asertividad en todos los desafíos presentados, aportando al cumplimiento de los objetivos principales del negocio de cada proyecto.

El modelo de gestión considera para cada servicio, tecnologías que den soporte y apoyen el manejo de información y comunicación entre las distintas áreas a la hora de abordar la planificación y programación de actividades de mantenimiento. Almar Water Servicios Latam, cuenta con una innovadora solución que integra los beneficios de un software de gestión de mantenimiento (CMMS) y la gestión de activos empresariales, con la movilidad y accesibilidad de una APP. Esta herramienta es Fractal One.



Fuente: Elaboración propia en base al modelo de gestión de mantenimiento organizacional.

Diagrama 1-1 Gestión de mantenimiento corporativo en A.W.S.L.

1.2.5. Alcances y recursos específicos del servicio

El caso de estudio se localiza en la sexta región del Libertador General Bernardo O’Higgins, en la División El Teniente de la ciudad de Rancagua.

El servicio que presta la empresa Almar Water Servicios Latam a la cartera de proyectos Codelco VP es el de “Operación y Mantenimiento a sistemas y distribución de agua potable, agua caliente sanitaria y sistema de climatización”, a continuación, se presentan algunos datos específicos del proyecto:

- Duración del proyecto: 36 meses
- Proveedor del servicio (EECC): Almar Water Servicios Latam
- Cliente: Codelco VP, división El Teniente, Proyecto NNM.
- Coordenadas: -34.08994372604304, -70.39287025476544
- Altura geográfica La Junta: 2200 msnm



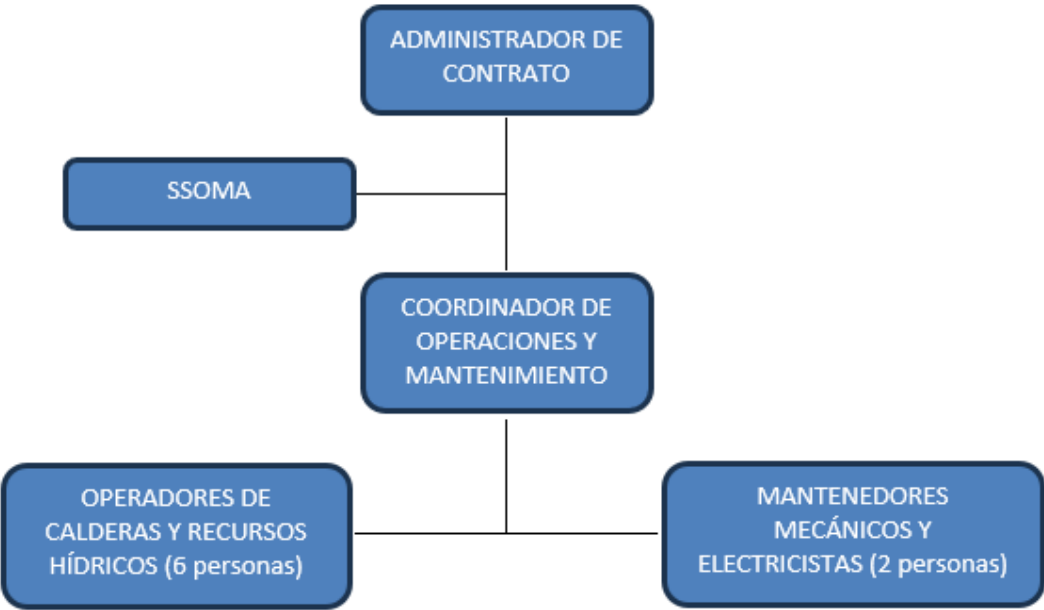
Fuente: Google Map

Figura 1-2 Fotografía satelital del sector La Junta, División El Teniente.

Gran parte del alcance del proyecto adjudicado por Almar Water Servicios Latam, es operar, mantener, abastecer y asegurar el recurso e infraestructura hídrica del sector La Junta (barrio cívico en superficie de las EECC del proyecto NNM). En La Junta, se encuentran las oficinas, salas de cambio, casinos de alimentación, andenes para buses de traslado de personal, plantas de tratamiento de aguas, estanques de almacenamiento del suministro hídrico, subestaciones eléctricas, entre otras instalaciones. A grandes rasgos, la empresa contratista se encarga de la operación y mantenimiento de los siguientes sistemas:

- Generación de agua caliente y almacenamiento de agua caliente sanitaria.
- Sistema de climatización y extracción para salas de cambio.
- Almacenamiento y distribución de agua potable.

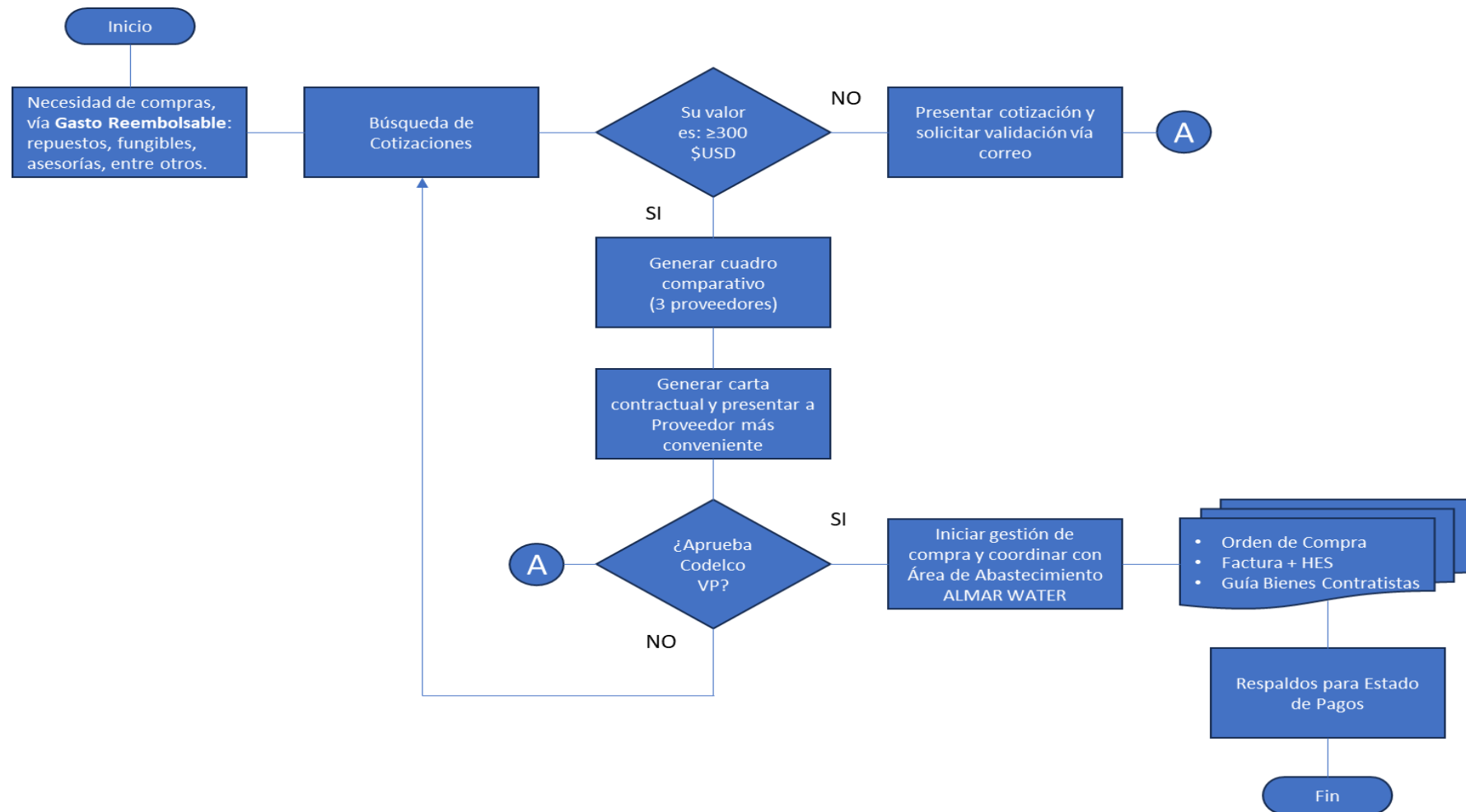
El volumen operacional detallado anteriormente, es realizado con un staff de colaboradores de diferentes especialidades, entre estos; “Personal Mecánico, Electricista, y de Operación”. El sistema de turnos para los Operadores es bajo turnos 7x7, cuatro en turnos rotativos y dos solo en turno día (seis operadores en total). Para el personal de mantención, el turno es 5x2 (lunes a viernes), se cuenta con un electricista y un mecánico para el contrato. La línea de mando se compone de un Administrador de contrato, un Coordinador de Operaciones y un Asesor de prevención de riesgos, encontrándose estos tres últimos bajo modalidad de turno 5x2 (lunes a viernes).



Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la empresa.

Diagrama 1-2 Organigrama del contrato.

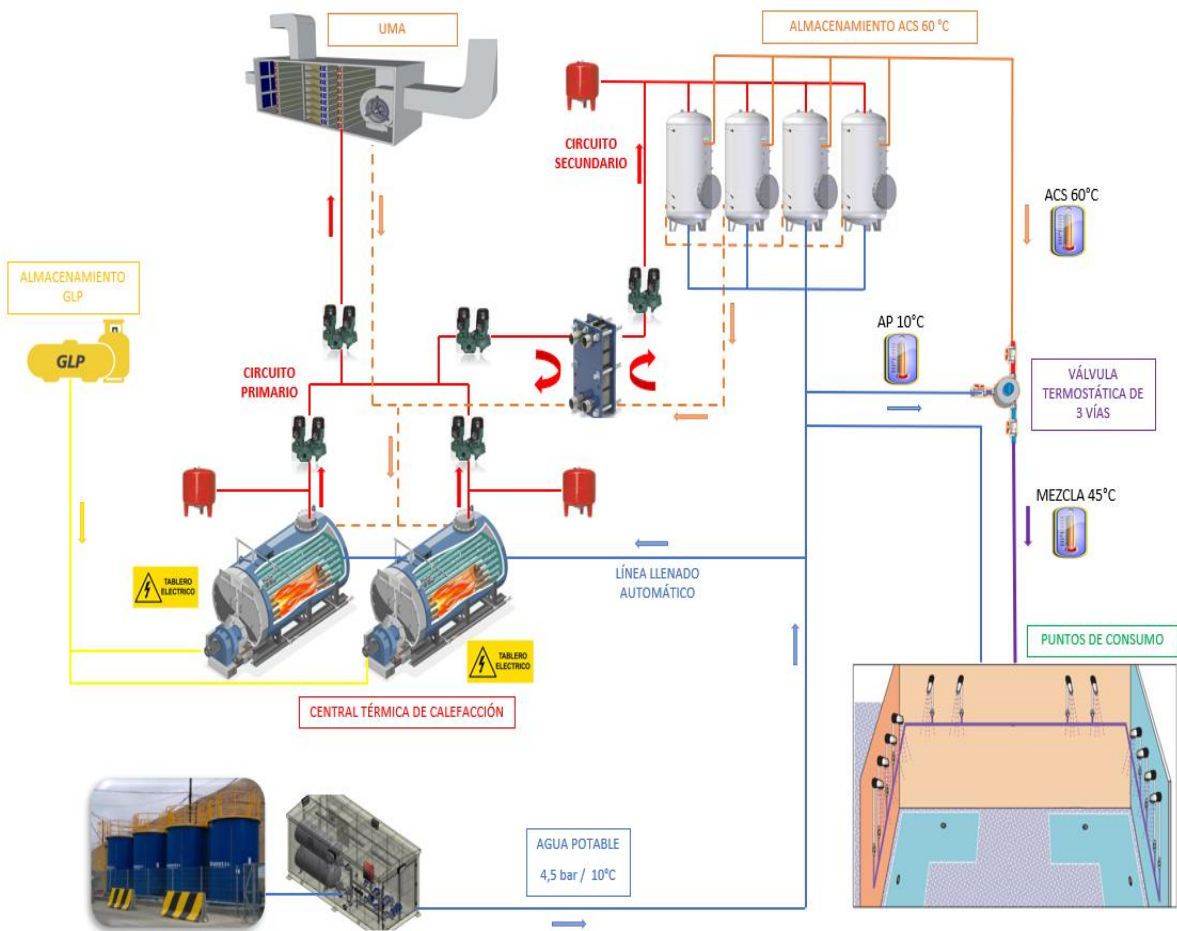
La política utilizada por Codelco VP para los contratos asociados a servicios de “apoyo a la minería”, es subcontratar las funciones de operación y mantenimiento de las instalaciones, quedando todo en manos de la empresa contratista, desde la gestión de compras de insumos y repuestos, hasta la ejecución de actividades básicas de operación. Para el control y cumplimiento del servicio en terreno, la estatal cuenta con una empresa que presta servicios de ingeniería (Empresa Contratista) para cumplir el rol de Inspectores Técnicos de Obra.



Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la empresa.

Diagrama 1-3 Flujograma de comunicación y gestión de gastos reembolsables.

La estrategia de mantenimiento solicitada por bases técnicas y a la vez propuesta por Almar Water Servicios Latam, es un plan matriz de mantenimiento preventivo basado en tiempo para toda la batería de activos físicos de los distintos procesos, incluyendo las calderas de calefacción que poseen requisitos legales en operación y mantenimiento bajo el marco legal chileno.



Fuente: Elaboración propia en base al levantamiento de los sistemas en terreno.

Diagrama 1-4 activos físicos (contexto de funciones primarias y secundarias del sistema crítico).

1.3. PROCESO DE JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS DEL CONTRATO E IDENTIFICACIÓN DEL O LOS EQUIPOS CRÍTICOS.

El análisis de criticidad es una técnica en el cual se establecen variables para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de fallos y sus impactos o consecuencias del evento.

1.3.1. Modelo de Criticidad

Estas técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten priorizar los activos de un proceso, planta o instalación, sobre los cuales vale la pena invertir y direccionar el recursos humano, económico, tecnológico y otros por el nivel de riesgo que presentan para el negocio. El análisis tiene como objetivo establecer un método el cual pueda servir como un instrumento de ayuda para determinar una jerarquía entro los activos físicos del proceso.

1.3.2. Modelo de Criticidad MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo

El modelo de criticidad utilizado para el caso de estudio de A.W.S.L. es el de Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgos: MCCR. Este modelo es basado en la estimación del factor Riesgo; factor que está compuesto por dos variables de gran importancia para la rentabilidad del negocio, la seguridad de las personas y/o el medio ambiente, uno es “La Frecuencia” y el otro “La Consecuencia”. El factor Riesgo que será presentado, se ajusta a las necesidades del contrato y empresa a cargo del servicio de operación y mantenimiento. A continuación, se presenta el modelo de criticidad, basado en el factor Riesgo:

$$Riesgo = FF * C$$

Dónde:

- FF: Factor de frecuencia de fallas (nº de fallos dentro de un tiempo determinado).
- C: Factor de consecuencia de fallas, este factor se divide en diferentes categorías (Criterio organizacional).
- $C = (IO \times FO) + CM + SHA$
- IO: Factor de impacto operacional
- FO: Factor flexibilidad operacional
- CM: Factor costo de mantenimiento
- SHA: Factor Seguridad, Higiene y Ambiente

Dentro del proceso de análisis de criticidad basada en Riesgo, se deben considerar y seleccionar detalladamente los factores propuestos y las escalas de evaluación que se aplicarán, ambas relacionadas directamente con las consecuencias y la frecuencia de fallos que se alojan dentro del proceso analizado. A continuación, se presentan los factores de consecuencia y frecuencias seleccionadas para el análisis de criticidad.

1.3.3. Factores a medida de la EECC “Almar Water Servicios Latam” para el análisis de criticidad

Los factores que serán presentados a continuación son establecidos según la necesidad del negocio o en este caso, según la necesidad del cliente Codelco.

1.3.3.1. Frecuencia de Fallas (FF)

- **Excelente:** Una ocurrencia posterior a los 12 meses (Valor: 1).
- **Bueno:** Al menos una ocurrencia entre 6 y 12 meses (Valor: 2).
- **Promedio:** Al menos una ocurrencia entre 3 y 6 meses (Valor: 3).
- **Pobre:** Al menos una ocurrencia entre 1 y 3 meses (Valor: 4).

1.3.3.2. Consecuencia de las fallas (C)

I. Impacto en Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (SHA)

- Impacto catastrófico: Puede provocar muerte de personal y/o un alto impacto al Medio Ambiente (Escala: 8).
- Impacto alto: Puede provocar lesión incapacitante al personal y/o daños al Medio Ambiente (Escala: 6).
- Impacto promedio: Daños menores a la integridad física de las personas y/o daños al Medio Ambiente que se pueden controlar (Escala: 4).
- Impacto bajo: Alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente (Escala: 2).
- No genera ningún impacto sobre la Seguridad de las personas ni el Medio Ambiente (Escala: 1).

II. Impacto Operacional (IO)

- Impacto muy alto: Detención de producción y desarrollo del proyecto, por incapacidad de recepción de stakeholders en las salas de cambio, turno mina genera “brazos caídos” por no cumplirse las condiciones básicas sanitarias para los trabajadores en el DS594 (Escala: 10).
- Impacto alto: Reclamos consecutivos y denuncias por servicio ineficiente, se cargan multas al contrato por incumplimiento del servicio (Escala: 8).
- Impacto promedio: Detención temporal de uno de los procesos como la generación de agua caliente, el sistema de climatización, la distribución de agua potable, entre otros (Escala: 5).

- Impacto bajo: Alerta potencial por variables físicas fuera del rango operacional en los puntos de consumo, por ejemplo; altas o bajas temperaturas en fluidos, altas o bajas temperaturas en sistema de climatización, alta o baja presión en los fluidos, entre otros (Escala: 3).
- No genera ningún impacto en la operación (Escala: 1).

III. Flexibilidad Operacional (FO)

- Alta: Sin respaldo ni procedimiento operacional alternativo disponible (Escala: 4).
- Promedio: Activo y/o repuesto de respaldo compartido (Escala: 2).
- Baja: Activo y/o repuesto de respaldo disponible (Escala: 1).

IV. Costo del Mantenimiento Correctivo (CM)

- Alto: Costo de mantenimiento correctivo ≥ 6000 UD\$ (Escala: 2).
- Bajo: Costo de mantenimiento correctivo < 6000 UD\$ (Escala: 1).

Los resultados de la evaluación de los factores presentados anteriormente se modelan en una matriz de criticidad de 4x5, donde el eje vertical está compuesto por cuatro niveles de frecuencia de fallas (FF), mientras que el eje horizontal, está formado por cinco niveles de consecuencias de fallas (C).

- Eje Vertical (FF): 4 filas, valor máximo: 4 puntos (escala: 1 al 4)
- Eje Horizontal (C): 5 columnas, valor máximo: 50 puntos (escala: 1 al 50)

Primero se obtiene el valor asignado a la frecuencia de fallos (FF) y se define la ubicación vertical en la matriz del equipo evaluado, luego se asignan los valores a los 4 factores que conforman las consecuencias de fallos ($C = (IO \times FO) + CM + SHA$)), el resultado de la ecuación representa el valor que definirá la posición horizontal del equipo evaluado en la matriz de criticidad

Luego del análisis y evaluación realizada se toman ambos valores (Frecuencia y Consecuencias) y estos se interceptan en la matriz, obteniendo así el nivel de criticidad del activo evaluado en la MCCR.

La matriz está dividida en tres regiones que representan los distintos niveles de criticidad. La frontera de cada región queda a criterio de la empresa encargada del servicio, para este caso Almar Water Servicios Latam.

- **B**= Baja criticidad
- **M**= Media criticidad
- **A**= Alta criticidad

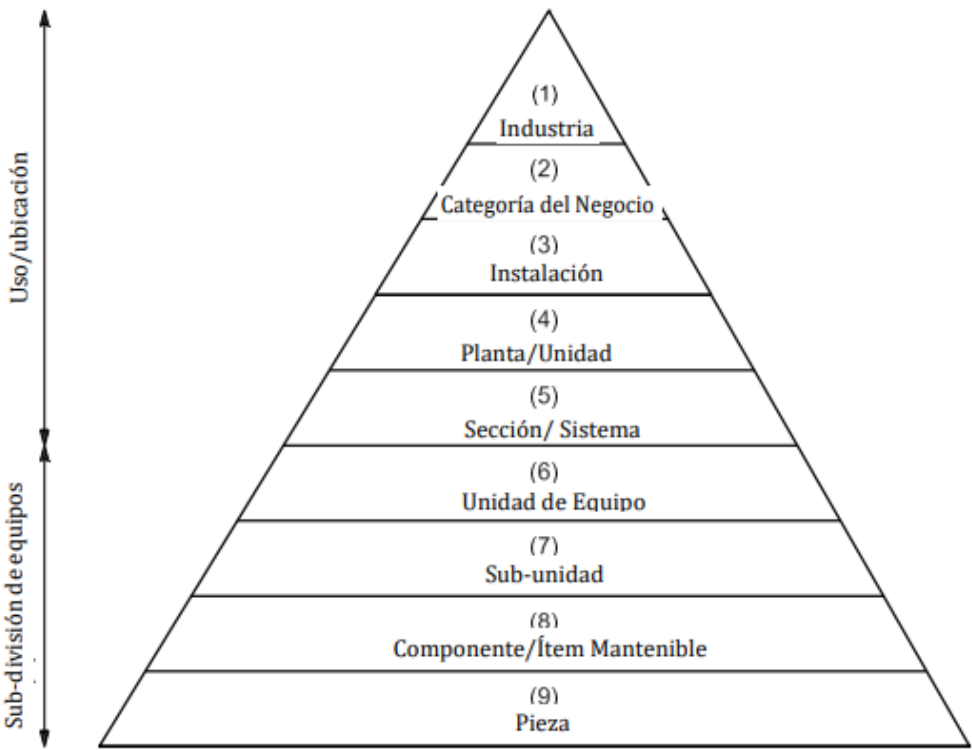
Tabla 1-2 Matriz de riesgo (Frecuencia v/s Consecuencia) 4x5, tres regiones

FRECUENCIA	4				
	B	M	A	A	A
	3	B	M	A	A
	2	B	B	M	A
	1	B	B	M	M
	10	20	30	40	50
	CONSECUENCIAS				

Fuente: Elaboración propia en base a la matriz de riesgo del caso de estudio.

1.3.4. Aplicación del modelo MCCR en Proyecto de la empresa A.W.S.

A continuación, se presenta el modelo de criticidad aplicado en el proyecto de Almar Water Servicios Latam, perteneciente a la cartera de proyectos Codelco VP, división “El Teniente” de la ciudad de Rancagua, Chile. Los activos físicos de los procesos y subprocesos asociados a la generación agua caliente y clima (considerando sus suministros) son analizados y discriminados por factores de frecuencia y consecuencias para lograr la jerarquización requerida. El análisis de criticidad se desarrolló a nivel de sección y sistemas (nivel 5, según norma ISO 14224).



Fuente: Captura obtenida en documento ISO 14224:2016

Diagrama 1-5 Taxonomía de jerarquización, ISO 14224.

La población de activos físicos dentro del proceso de generación de agua caliente y clima son de 125 equipos, el cual se presentan a continuación:

1.3.4.1. Análisis de Criticidad

- **Organización:** Codelco VP (Mandante) / Almar Water Servicios Latam.
- **Planta/Sector:** Sector La Junta y Caletones.
- **Ubicación geográfica:** Codelco, División El Teniente, Rancagua, Chile.
- **Proyecto:** Proyecto Nuevo Nivel Mina.
- **Contrato:** Operación y Mantenimiento a sistemas y distribución de agua potable, agua caliente sanitaria y sistema de climatización.
- **Proceso/Sistema:** Generación de agua caliente y clima (Considerando suministros).

1.3.4.2. Jerarquización por sistemas y subsistemas

A continuación, la tabla representativa de la Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo aplicada en el caso de estudio. En este se especifican todos los activos que son parte de los sistemas y subsistemas que son parte de la central térmica de calefacción.

Tabla 1-3 Listado de equipos del contrato para la evaluación de criticidad cualitativa de riesgo

	Código/Tag	Equipos Planta	Marca	Modelo	Ubicación/sector	FF	IO	FO	CM	SHA	C	Total	Jerarquización
1	PEAP_LJ1-1	BOMBA CENTRÍFUGA 01	LOWARA	NSCE 50-200/110/P25VCS4	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	1	1	18	18	Baja Criticidad
2	PEAP_LJ1-2	BOMBA CENTRÍFUGA 02	LOWARA	NSCE 50-200/110/P25VCS4	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	1	1	18	18	Baja Criticidad
3	PEAP_LJ1-3	BOMBA CENTRÍFUGA 03	LOWARA	NSCE 50-200/110/P25VCS4	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	1	1	18	18	Baja Criticidad
4	PEAP_LJ1-4	MOTOR BOMBA CENTRIFUGA 01	LOWARA	PLM132B14S3/3110 E3	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	1	1	18	18	Baja Criticidad
5	PEAP_LJ1-5	MOTOR BOMBA CENTRIFUGA 02	LOWARA	PLM132B14S3/3110 E3	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	1	1	18	18	Baja Criticidad
6	PEAP_LJ1-6	MOTOR BOMBA CENTRIFUGA 03	LOWARA	PLM132B14S3/3110 E3	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	1	1	18	18	Baja Criticidad
7	PEAP_LJ1-7	PRESÓSTATO 01 RANGO 2-8 BAR	DANFOSS	KPI35	PEAP LA JUNTA 1	2	5	2	1	1	12	24	Baja Criticidad
8	PEAP_LJ1-8	PRESÓSTATO 02 RANGO 2-8 BAR	DANFOSS	KPI35	PEAP LA JUNTA 1	2	5	2	1	1	12	24	Baja Criticidad
9	PEAP_LJ1-9	PRESÓSTATO 03 RANGO 2-8 BAR	DANFOSS	KPI35	PEAP LA JUNTA 1	2	5	2	1	1	12	24	Baja Criticidad
10	PEAP_LJ1-10	TK HIDRONEUMÁTICO 01 HORIZONTAL	HIDROPACK	ASME VIII Div.1	PEAP LA JUNTA 1	2	5	4	2	1	23	46	Media Criticidad
11	PEAP_LJ1-11	TK HIDRONEUMÁTICO 02 HORIZONTAL	HIDROPACK	ASME VIII Div.1	PEAP LA JUNTA 1	2	5	4	2	1	23	46	Media Criticidad
12	PEAP_LJ1-12	TABLERO GENERAL FUERZA Y CONTROL	TEKPAN	-	PEAP LA JUNTA 1	1	5	2	1	4	15	15	Baja Criticidad
13	PEAP_LJ1-13	TABLERO ALUMBRADO	TEKPAN	-	PEAP LA JUNTA 1	1	1	2	1	4	7	7	Baja Criticidad
14	PEAP_LJ1-14	TABLERO FUERZA Y CONTROL SCI	HONEYWELL	-	PEAP LA JUNTA 1	1	1	1	1	4	6	6	Baja Criticidad
15	PEAP_LJ1-15	MEDIDOR DE CAUDAL	ITRON	WOLTMAG M	PEAP LA JUNTA 1	1	1	4	1	1	6	6	Baja Criticidad
16	PEAP_LJ1-16	SET VÁLVULAS MARIPOSA C/FLANGE	-	-	PEAP LA JUNTA 1	2	5	2	1	1	12	24	Baja Criticidad
17	PEAP_LJ1-17	TK ALMACENAMIENTO AGUA POTABLE 01	HIDROPACK	AP/650 7023001	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	2	1	19	19	Baja Criticidad
18	PEAP_LJ1-18	TK ALMACENAMIENTO AGUA POTABLE 02	HIDROPACK	AP/650 7023001	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	2	1	19	19	Baja Criticidad
19	PEAP_LJ1-19	TK ALMACENAMIENTO AGUA POTABLE 03	HIDROPACK	AP/650 7023001	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	2	1	19	19	Baja Criticidad
20	PEAP_LJ1-20	TK ALMACENAMIENTO AGUA POTABLE 04	HIDROPACK	AP/650 7023001	PEAP LA JUNTA 1	1	8	2	2	1	19	19	Baja Criticidad
21	CALD-ACS_LJ1-1	QUEMADOR CALDERA 01	RIELLO	RS-70	CALDERAS LA JUNTA 1	3	10	4	2	8	50	150	Alta Criticidad
22	CALD-ACS_LJ1-2	CABEZAL DE COMBUSTIÓN QUEMADOR 01	RIELLO	RS-70	CALDERAS LA JUNTA 1	1	10	2	1	4	25	25	Baja Criticidad
23	CALD-ACS_LJ1-3	SERVOMOTOR QUEMADOR 01	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	10	2	1	4	25	50	Media Criticidad
24	CALD-ACS_LJ1-4	CABEZAL REGULACIÓN COMBUSTIÓN 01	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	10	2	1	6	27	54	Media Criticidad
25	CALD-ACS_LJ1-5	CONDUCTO LLEGADA DE GAS 01	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	1	10	2	1	6	27	27	Baja Criticidad
26	CALD-ACS_LJ1-6	ELECTROVÁLVULA REGULACIÓN CLP 01	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	8	2	1	6	23	46	Media Criticidad
27	CALD-ACS_LJ1-7	ELECTROVÁLVULA SEGURIDAD GLP 01	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	8	2	1	6	23	46	Media Criticidad

28	CALD-ACS_LJ1-8	PRESÓSTATO CONDUCTO GLP 01	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	1	8	2	1	4	21	21	Baja Criticidad
29	CALD-ACS_LJ1-9	QUEMADOR CALDERA 02	RIELLO	RS-70	CALDERAS LA JUNTA 1	3	10	4	2	8	50	150	Alta Criticidad
30	CALD-ACS_LJ1-10	CABEZAL DE COMBUSTIÓN QUEMADOR 02	RIELLO	RS-70	CALDERAS LA JUNTA 1	1	10	2	1	4	25	25	Baja Criticidad
31	CALD-ACS_LJ1-11	SERVOMOTOR QUEMADOR 02	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	10	2	1	4	25	50	Media Criticidad
32	CALD-ACS_LJ1-12	CABEZAL REGULACIÓN COMBUSTIÓN 02	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	10	2	1	6	27	54	Media Criticidad
33	CALD-ACS_LJ1-13	CONDUCTO LLEGADA DE GAS 02	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	1	10	2	1	6	27	27	Baja Criticidad
34	CALD-ACS_LJ1-14	ELECTROVÁLVULA REGULACIÓN CLP 02	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	8	2	1	6	23	46	Media Criticidad
35	CALD-ACS_LJ1-15	ELECTROVÁLVULA SEGURIDAD GLP 02	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	8	2	1	6	23	46	Media Criticidad
36	CALD-ACS_LJ1-16	PRESÓSTATO CONDUCTO GLP 02	RIELLO	-	CALDERAS LA JUNTA 1	1	8	2	1	4	21	21	Baja Criticidad
37	CALD-ACS_LJ1-17	CALDERA MONOBLOCK 01	IVAR	SUPERAC 695	CALDERAS LA JUNTA 1	3	10	4	2	6	48	144	Alta Criticidad
38	CALD-ACS_LJ1-18	CALDERA MONOBLOCK 02	IVAR	SUPERAC 695	CALDERAS LA JUNTA 1	3	10	4	2	6	48	144	Alta Criticidad
39	CALD-ACS_LJ1-19	BOMBA CONDENSACIÓN CALDERA 01	DAB	VS 35/150	CALDERAS LA JUNTA 1	2	5	2	1	4	15	30	Baja Criticidad
40	CALD-ACS_LJ1-20	BOMBA CONDENSACIÓN CALDERA 02	DAB	VS 35/150	CALDERAS LA JUNTA 1	2	5	2	1	4	15	30	Baja Criticidad
41	CALD-ACS_LJ1-21	TERMOSTATO DE INMERSIÓN CALDERA 01	HIDROTÉCNICA	TRE100	CALDERAS LA JUNTA 1	2	5	2	1	4	15	30	Baja Criticidad
42	CALD-ACS_LJ1-22	TERMOSTATO DE INMERSIÓN CALDERA 02	HIDROTÉCNICA	TRE101	CALDERAS LA JUNTA 1	2	5	2	1	4	15	30	Baja Criticidad
43	CALD-ACS_LJ1-23	VÁLVULA DE LLENADO AUTOMÁTICO 01	WATTS	ALIMAT 1/2"	CALDERAS LA JUNTA 1	2	5	2	1	2	13	26	Baja Criticidad
44	CALD-ACS_LJ1-24	VÁLVULA DE LLENADO AUTOMÁTICO 02	WATTS	ALIMAT 1/2"	CALDERAS LA JUNTA 1	2	5	2	1	2	13	26	Baja Criticidad
45	CALD-ACS_LJ1-25	TK HIDRONEUMÁTICO 01 V80	IMERA	-	CALDERAS LA JUNTA 1	3	5	2	1	4	15	45	Media Criticidad
46	CALD-ACS_LJ1-26	TK HIDRONEUMÁTICO 02 V80	IMERA	-	CALDERAS LA JUNTA 1	3	5	2	1	4	15	45	Media Criticidad
47	CALD-ACS_LJ1-27	VÁLVULA DE SEGURIDAD 01 CALDERA 01	FERROLI	3/4"	CALDERAS LA JUNTA 1	2	1	2	1	8	11	22	Baja Criticidad
48	CALD-ACS_LJ1-28	VÁLVULA DE SEGURIDAD 02 CALDERA 01	FERROLI	3/4"	CALDERAS LA JUNTA 1	2	1	2	1	8	11	22	Baja Criticidad
49	CALD-ACS_LJ1-29	VÁLVULA DE SEGURIDAD 01 CALDERA 02	FERROLI	3/4"	CALDERAS LA JUNTA 1	2	1	2	1	8	11	22	Baja Criticidad
50	CALD-ACS_LJ1-30	VÁLVULA DE SEGURIDAD 02 CALDERA 02	FERROLI	3/4"	CALDERAS LA JUNTA 1	2	1	2	1	8	11	22	Baja Criticidad
51	CALD-ACS_LJ1-31	PIPING CIRCUITO PRIMARIO (ACERO)	-	-	CALDERAS LA JUNTA 1	2	10	4	2	6	48	96	Alta Criticidad
52	CALD-ACS_LJ1-32	TABLERO GENERAL FYC CALDERA 01	TEKPAN	-	CALDERAS LA JUNTA 1	1	10	4	2	6	48	48	Media Criticidad
53	CALD-ACS_LJ1-33	TABLERO GENERAL FYC CALDERA 02	TEKPAN	-	CALDERAS LA JUNTA 1	1	10	4	2	6	48	48	Media Criticidad
54	CALD-ACS_LJ1-34	TABLERO ALUMBRADO	TEKPAN	-	CALDERAS LA JUNTA 1	1	1	4	1	1	6	6	Baja Criticidad
55	CALD-ACS_LJ1-35	INTERCAMBIADOR DE CALOR 01	CIPRIANNI	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	8	4	2	4	38	114	Alta Criticidad
56	CALD-ACS_LJ1-36	INTERCAMBIADOR DE CALOR 02	CIPRIANNI	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	8	4	2	4	38	114	Alta Criticidad
57	CALD-ACS_LJ1-37	BOMBA CIRCULACIÓN ACUM. ACS 01	DAB	DKLP 40/900 T	ACUM. ACS LA JUNTA 1	4	8	2	2	4	22	88	Media Criticidad
58	CALD-ACS_LJ1-38	BOMBA CIRCULACIÓN ACUM. ACS 02	DAB	DKLP 40/900 T	ACUM. ACS LA JUNTA 1	4	8	2	2	4	22	88	Media Criticidad

59	CALD-ACS_LJ1-39	BOMBA CIRCULACIÓN INTER. CALOR 01	DAB	DKLP 40/900 T	ACUM. ACS LA JUNTA 1	4	8	2	2	4	22	88	Media Criticidad
60	CALD-ACS_LJ1-40	BOMBA CIRCULACIÓN INTER. CALOR 02	DAB	DKLP 40/900 T	ACUM. ACS LA JUNTA 1	4	8	2	2	4	22	88	Media Criticidad
61	CALD-ACS_LJ1-41	BOMBA CIRCULACIÓN CALEFACCIÓN 01	DAB	DKLP 40/600 T	ACUM. ACS LA JUNTA 1	4	8	2	1	4	21	84	Media Criticidad
62	CALD-ACS_LJ1-42	BOMBA CIRCULACIÓN CALEFACCIÓN 02	DAB	DKLP 40/600 T	ACUM. ACS LA JUNTA 1	4	8	2	1	4	21	84	Media Criticidad
63	CALD-ACS_LJ1-43	TK ACUMULADOR ACS 01	WINTER	VERT 6000 LT	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	5	4	2	4	26	52	Media Criticidad
64	CALD-ACS_LJ1-44	VÁLVULA DE SEGURIDAD TK ACS 01	FERROLI	1 1/4"	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	1	2	1	8	11	11	Baja Criticidad
65	CALD-ACS_LJ1-45	TERMOSTATO DE INMERSIÓN TK ACS 01	HIDROTÉCNICA	TRE100	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	5	2	1	2	13	13	Baja Criticidad
66	CALD-ACS_LJ1-46	ÁNODO DE SACRIFICIO TK ACS 01	-	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	1	2	1	1	4	8	Baja Criticidad
67	CALD-ACS_LJ1-47	TK ACUMULADOR ACS 02	WINTER	VERT 6000 LT	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	5	4	2	4	26	52	Media Criticidad
68	CALD-ACS_LJ1-48	VÁLVULA DE SEGURIDAD TK ACS 02	FERROLI	1 1/4"	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	1	2	1	8	11	11	Baja Criticidad
69	CALD-ACS_LJ1-49	TERMOSTATO DE INMERSIÓN TK ACS 02	HIDROTÉCNICA	TRE100	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	5	2	1	2	13	13	Baja Criticidad
70	CALD-ACS_LJ1-50	ÁNODO DE SACRIFICIO TK ACS 02	-	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	1	2	1	1	4	8	Baja Criticidad
71	CALD-ACS_LJ1-51	TK ACUMULADOR ACS 03	WINTER	VERT 6000 LT	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	5	4	2	4	26	52	Media Criticidad
72	CALD-ACS_LJ1-52	VÁLVULA DE SEGURIDAD TK ACS 03	FERROLI	1 1/4"	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	1	2	1	8	11	11	Baja Criticidad
73	CALD-ACS_LJ1-53	TERMOSTATO DE INMERSIÓN TK ACS 03	HIDROTÉCNICA	TRE100	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	5	2	1	2	13	13	Baja Criticidad
74	CALD-ACS_LJ1-54	ÁNODO DE SACRIFICIO TK ACS 03	-	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	1	2	1	1	4	8	Baja Criticidad
75	CALD-ACS_LJ1-55	TK ACUMULADOR ACS 04	WINTER	VERT 6000 LT	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	5	4	2	4	26	52	Media Criticidad
76	CALD-ACS_LJ1-56	VÁLVULA DE SEGURIDAD TK ACS 04	FERROLI	1 1/4"	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	1	2	1	8	11	11	Baja Criticidad
77	CALD-ACS_LJ1-57	TERMOSTATO DE INMERSIÓN TK ACS 04	HIDROTÉCNICA	TRE100	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	5	2	1	2	13	13	Baja Criticidad
78	CALD-ACS_LJ1-58	ÁNODO DE SACRIFICIO TK ACS 04	-	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	2	1	2	1	1	4	8	Baja Criticidad
79	CALD-ACS_LJ1-59	TK HIDRONEUMÁTICO 01 V200	IMERA	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	5	2	1	4	15	45	Media Criticidad
80	CALD-ACS_LJ1-60	TK HIDRONEUMÁTICO 02 V200	IMERA	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	5	2	1	4	15	45	Media Criticidad
81	CALD-ACS_LJ1-61	TK HIDRONEUMÁTICO 03 V200	IMERA	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	5	2	1	4	15	45	Media Criticidad
82	CALD-ACS_LJ1-62	VÁLVULA TERMOSTÁTICA 3 VÍAS 01	WATTS	ULTRAMIX	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	8	2	1	4	21	63	Media Criticidad
83	CALD-ACS_LJ1-63	VÁLVULA TERMOSTÁTICA 3 VÍAS 02	WATTS	ULTRAMIX	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	8	2	1	4	21	63	Media Criticidad
84	CALD-ACS_LJ1-64	PIPING CIRCUITO SECUNDARIO (BR - CU)	-	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	3	5	4	2	4	26	78	Media Criticidad
85	CALD-ACS_LJ1-65	TABLERO GENERAL FYC C.SEC 01	TEKPAN	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	10	4	2	6	48	48	Media Criticidad
86	CALD-ACS_LJ1-66	TABLERO GENERAL FYC C.SEC 02	TEKPAN	-	ACUM. ACS LA JUNTA 1	1	10	4	2	6	48	48	Media Criticidad
87	CALD-ACS_LJ1-67	CONTROLADOR TÉRMICO SIST. HVAC	-	-	HVAC LA JUNTA 1	1	8	2	1	1	18	18	Baja Criticidad
88	CALD-ACS_LJ1-68	UNIDAD MANEJADORA DE AIRE 01	INTERCAL	MF30-100-0-88-0-H	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad

89	CALD-ACS_LJ1-69	VÁLVULA DE TRES VÍAS UMA 01	DANFOSS	-	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad
90	CALD-ACS_LJ1-70	SERPENTÍN TÉRMICO CU UMA 01	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
91	CALD-ACS_LJ1-71	VENTILADOR CENTRÍFUGO UMA 01	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
92	CALD-ACS_LJ1-72	CONJUNTO FILTROS MULTIPLISADOS UMA 01	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
93	CALD-ACS_LJ1-73	CONJUNTO FILTROS METÁLICOS UMA 01	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
94	CALD-ACS_LJ1-74	PURGA AUTOMÁTICA UMA 01	FERROLI	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
95	CALD-ACS_LJ1-75	UNIDAD MANEJADORA DE AIRE 02	INTERCAL	MF30-100-0-88-0-H	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad
96	CALD-ACS_LJ1-76	VÁLVULA DE TRES VÍAS UMA 02	DANFOSS	-	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad
97	CALD-ACS_LJ1-77	SERPENTÍN TÉRMICO CU UMA 02	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
98	CALD-ACS_LJ1-78	VENTILADOR CENTRÍFUGO UMA 01	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
99	CALD-ACS_LJ1-79	CONJUNTO FILTROS MULTIPLISADOS UMA 02	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
100	CALD-ACS_LJ1-80	CONJUNTO FILTROS METÁLICOS UMA 02	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
101	CALD-ACS_LJ1-81	PURGA AUTOMÁTICA UMA 02	FERROLI	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
102	CALD-ACS_LJ1-82	UNIDAD MANEJADORA DE AIRE 03	INTERCAL	MF30-100-0-88-0-H	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad
103	CALD-ACS_LJ1-83	VÁLVULA DE TRES VÍAS UMA 03	DANFOSS	-	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad
104	CALD-ACS_LJ1-84	SERPENTÍN TÉRMICO CU UMA 03	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
105	CALD-ACS_LJ1-85	VENTILADOR CENTRÍFUGO UMA 01	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
106	CALD-ACS_LJ1-86	CONJUNTO FILTROS MULTIPLISADOS UMA 03	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
107	CALD-ACS_LJ1-87	CONJUNTO FILTROS METÁLICOS UMA 03	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
108	CALD-ACS_LJ1-88	PURGA AUTOMÁTICA UMA 03	FERROLI	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
109	CALD-ACS_LJ1-89	UNIDAD MANEJADORA DE AIRE 04	INTERCAL	MF30-100-0-88-0-H	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad
110	CALD-ACS_LJ1-90	VÁLVULA DE TRES VÍAS UMA 04	DANFOSS	-	HVAC LA JUNTA 1	2	3	2	1	2	9	18	Baja Criticidad
111	CALD-ACS_LJ1-91	SERPENTÍN TÉRMICO CU UMA 04	-	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
112	CALD-ACS_LJ1-92	VENTILADOR CENTRÍFUGO UMA 01	M. TÉRMICA	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	2	1	2	9	9	Baja Criticidad
113	CALD-ACS_LJ1-93	CONJUNTO FILTROS MULTIPLISADOS UMA 04	-	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
114	CALD-ACS_LJ1-94	CONJUNTO FILTROS METÁLICOS UMA 04	-	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
115	CALD-ACS_LJ1-95	PURGA AUTOMÁTICA UMA 04	FERROLI	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	2	1	2	5	5	Baja Criticidad
116	CALD-ACS_LJ1-96	EXTRACTOR DE AIRE 01	SOLER Y PALAU	CVTT 18/18	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad
117	CALD-ACS_LJ1-97	CONJUNTO MOTOR - VENTILADOR 01	-	3KW 900 RPM	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad
118	CALD-ACS_LJ1-98	EXTRACTOR DE AIRE 02	SOLER Y PALAU	CVTT 18/18	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad
119	CALD-ACS_LJ1-99	CONJUNTO MOTOR - VENTILADOR 02	-	3KW 900 RPM	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad

120	CALD-ACS_LJ1-100	EXTRACTOR DE AIRE 03	SOLER Y PALAU	CVTT 18/18	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad
121	CALD-ACS_LJ1-101	CONJUNTO MOTOR - VENTILADOR 03	-	3KW 900 RPM	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad
122	CALD-ACS_LJ1-102	EXTRACTOR DE AIRE 04	SOLER Y PALAU	CVTT 18/18	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad
123	CALD-ACS_LJ1-103	CONJUNTO MOTOR - VENTILADOR 04	-	3KW 900 RPM	HVAC LA JUNTA 1	2	1	2	1	2	5	10	Baja Criticidad
124	CALD-ACS_LJ1-104	TABLERO GENERAL FUERZA Y CONTROL HVAC	TEKPAN	-	HVAC LA JUNTA 1	1	3	4	2	6	20	20	Baja Criticidad
125	CALD-ACS_LJ1-105	TABLERO ALUMBRADO HVAC	TEKPAN	-	HVAC LA JUNTA 1	1	1	4	1	1	6	6	Baja Criticidad

Fuente: Elaboración propia en base a levantamiento de datos y especificaciones en terreno.

Luego de la clasificación de la frecuencia y la consecuencia, el paso siguiente fue determinar la criticidad de cada equipo analizado de la planta, por el método propuesto de MCCR.

A continuación, se resumen los resultados prácticos de la aplicación de la herramienta de criticidad:

Tabla 1-4 Resumen resultados obtenidos en la matriz cualitativa de riesgo.

Cantidad de equipos evaluados: 125 uni.		
Regiones de Criticidad	Cantidad	%
Zona ALTA CRITICIDAD	7	5,60%
Zona MEDIA CRITICIDAD	32	25,60%
Zona BAJA CRITICIDAD	86	68,80%
		100%

Fuente: Elaboración propia en base a la matriz de riesgo del caso de estudio.

Mediante el análisis de criticidad empleado para los activos físicos asociados a proceso de generación de agua caliente y clima, se logra determinar que el equipo con mayor valor de criticidad por su alto riesgo es el quemador a gas, arrojando una puntuación de 150, siendo integrada a la región de “Alta Criticidad”.

Tabla 1-5 Ejemplo de procedimiento de aplicación en matriz cualitativa de riesgo

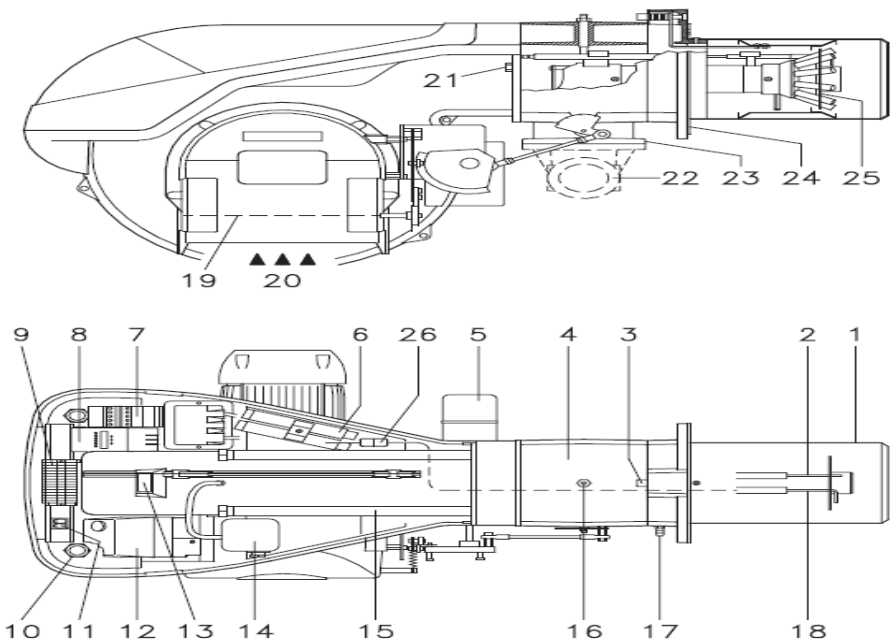
Activo en evaluación	Tag	CALD-ACS_LJ1-1
	Activo	QUEMADOR CALDERA 01
	Marca	RIELLO
	Modelo	RS-70
FACTOR ESCALA CONSECUENCIAS		
Frecuencia de fallas	"Promedio" valor: 3	Al menos una ocurrencia entre 3 y 6 meses
Impacto Operacional	"Impacto muy alto" valor: 10	Detención de producción y desarrollo del proyecto, por incapacidad de recepción de stakeholders en las salas de cambio, turno mina genera “brazos caídos” por no cumplirse las condiciones básicas sanitarias para los trabajadores en el DS594
Flexibilidad Operacional	"Alto" valor: 4	Sin respaldo ni procedimiento operacional alternativo disponible
Costo Mantenimiento Correctivo	"Alto" valor: 2	Costo de mantenimiento correctivo ≥6000 UD\$
Seguridad, Higiene y Medio Ambiente	"Catastrófico" valor: 8	Puede provocar muerte de personal y/o un alto impacto al Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia en base al paso a paso realizado en la matriz.

Tabla 1-6 Ejemplo de procedimiento de aplicación en matriz cualitativa de riesgo

RIESGO = FRECUENCIA DE FALLAS X CONSECUENCIAS							
R = FF X C							
C = (IO x FO) + CM + SHA							
FF	IO	FO	CM	SHA	C	R	Jerarquización
3	10	4	2	8	50	150	Alta Criticidad

Fuente: Elaboración propia en base al paso a paso realizado en la matriz.



Fuente:

Diagrama 1-6 Fotografía de quemador Riello RS70 (parte del equipo crítico)

1.4. **PROBLEMÁTICA DETECTADA EN EL CASO DE ESTUDIO**

Para el caso de estudio actual, la descripción de las problemáticas va enfocada para los equipos de mayor puntuación obtenida en la matriz de jerarquización (equipos en zona crítica), que son los quemadores a gas de las calderas de calefacción y su entorno operativo (conjunto central térmica).

Dentro del contexto actual del proyecto, existe una debilidad detectada que a mediano o largo plazo podría afectar de manera negativa a los equipos del proceso en estudio, el problema radica en el básico y genérico plan de actividades preventivas que posee la central térmica de calefacción y sus subsistemas, estas mantenciones se realizan con una frecuencia mensual y generan poco valor al objetivo principal que es extender la

vida útil de los equipos del proceso y a la vez, asegurar un entorno de bajo riesgo para el personal de operación. Algunos de los equipos que son parte de los subprocesos del sistema general, no están siendo considerados en el plan matriz, siendo que estos son vitales para el resguardo y cumplimiento de las funciones del conjunto de generación térmica, dejando vulnerable al sistema completo por posibles fallas que puedan presentarse durante su funcionamiento. Como causa probable de la vulnerabilidad detectada, puede ser la falta de conocimiento del activo físico y sus funciones o la mala práctica del replicar actividades y tareas en equipos similares sin considerar los diferentes contextos operativos.

Proceso	Equipo	Cantidad de equipos	Frecuencia (Días)	Frecuencia (Hrs)	Tareas	Duración Estimada	HH Estimada	Cantidad por año	HH Total
CAMARÍN	ESTANQUE DE ACUMULACIÓN	4	30	-	Verificar fugas	0.03	0.12	12	1.44
			30	-	Revisar carga de aire hidropack	0.03	0.12	12	1.44
			30	-	Registrar presiones de partida y detención de bomba	0.03	0.12	12	1.44
	CALDERA	4	30	-	Revisar posibles filtraciones	0.03	0.12	12	1.44
			30	-	Limpieza exterior	0.05	0.2	12	2.4
			30	-	Revisión de chimenea	0.05	0.2	12	2.4
	QUEMADOR CALDERA	2	30	-	Limpieza	0.03	0.06	12	0.72
			30	-	Mantenimiento	0.25	0.5	12	6
			30	-	Revisar posibles filtraciones de agua en conexiones	0.03	0.12	12	1.44
	ACUMULADOR	4	30	-	Revisar estado de aislación	0.05	0.2	12	2.4
			30	-	Revisar estado de ánodo de sacrificio	0.05	0.2	12	2.4
			30	-	Limpieza exterior			12	0
	ESTANQUE DE EXPANSIÓN	3	30	-	Revisar estado de la presión del lado de aire	0.05	0.15	12	1.8
			30	-	Limpieza	0.05	0.15	12	1.8
			30	-	Revisar posibles filtraciones			12	0
	FILTROS TODAS LAS BOMBAS	-	30	-	Limpieza			12	0
			30	-	Limpieza			12	0
			30	-	Limpieza			12	0
	BOMBA CIRCULACIÓN ACUMULADOR	2	30	-	Limpieza externamente	0.05	0.1	12	1.2
	BOMBA CIRCULACIÓN INTERCAMBIADOR	2	30	-	Verificar alimentación eléctrica y control	0.03	0.06	12	0.72
	BOMBA CIRCULACIÓN CALEFACCIÓN	2	30	-	Verificar estado de rodamientos	0.03	0.06	12	0.72
	EXTRACTOR	8	30	-	Limpieza externamente	0.05	0.4	12	4.8
			30	-	Verificar alimentación eléctrica y control	0.03	0.24	12	2.88
			30	-	Verificar estado de rodamientos ventilador	0.05	0.4	12	4.8
	AISLACIÓN CENTRAL TÉRMICA	3	30	-	Cambio de correas (si están desgastadas)	0.5	4	12	48
			30	-	Revisar aislación para tramo verificando fugas y desprendimiento	0.05	0.15	12	1.8
			30	-	Limpieza externa aislación	0.05	0.15	12	1.8
	INTERCAMBIADOR DE CALOR ACUMULADOR	2	30	-	Limpieza externa	0.05	0.1	12	1.2
			30	-	Verificar fugas			12	0
			30	-	Lubricar válvula			12	0
	VÁLVULAS DE BOLA	-	90	-	Realizar limpieza			4	0
			90	-	Verificar funcionalidad de apertura y cierre			4	0
			90	-	Verificar funcionalidad de apertura y cierre			4	0
	VÁLVULA DE SEGURIDAD ACUMULADORES	1	30	-	Limpieza interna	0.05	0.1	12	1.2
	VÁLVULA DE SEGURIDAD CALDERA	1	30	-	Verificar presión de regulación	0.03	0.06	12	0.72
	PURGA AUTOMÁTICA CENTRAL TÉRMICA	1	30	-	Limpieza interna	0.05	0.05	12	0.6
	MANIFOLD RETORNO	-	30	-	Limpieza exterior			12	0
	MANIFOLD SUMINISTRO	-	30	-	Verificación de fugas			12	0
	UNIDAD MANEJADORA DE AIRE	-	30	-	Limpieza externamente	1	2	12	24
			30	-	Verificar alimentación eléctrica, control y válvula tres vías	1	2	12	24
			30	-	Verificar estado de rodamientos ventilador	1	2	12	24
			30	-	Verificar estado de serpentín de agua	1	2	12	24
			30	-	Verificar estado de filtros	1	2	12	24

Fuente: Captura obtenida del programa de mantenimiento de la empresa Almar Water Servicios Latam.

Figura 1-3 Extracto de Plan de actividades de mantenimiento actual.

Otro de los puntos débiles del sistema bajo análisis, es que depende en su mayoría del traslado de fluidos líquidos o gaseosos en diferentes contextos de condición y necesidad, uno de los problemas presentados con una alta frecuencia, es la presencia de las incrustaciones calcáreas dentro de los circuitos de distribución (piping), siendo su punto con mayor concentración en las singularidades del sistema y sus accesorios de regulación, afectando de manera parcial y en ocasiones de manera total la función principal, siendo esta la contención de fluidos.

Esta parte del sistema que conecta a los equipos principales del proceso que son las tuberías o piping, deben ser considerados como equipo estático y añadidos al plan matriz, por lo que, actualmente no poseen actividades o tareas que aporten a la

disminución de la incertidumbre ante posibles pérdidas de contención, presentando una ineficiencia clara del plan de mantenimiento de la empresa contratista, ya que, las tareas que están consideradas para los circuitos de la central térmica, no presentan una relación directa de mitigación o de control para el mecanismo de daño que ataca al sistema de calefacción completo.



Fuente: Fotografía tomada en las dependencias de la empresa (sala de acumuladores de agua caliente sanitaria).

Figura 1-4 Válvula termostática de tres vías.

Otra debilidad detectada, es que no se realizan las verificaciones y controles sugeridas en el “Artículo 68 del Reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua” (Decreto 10) para los circuitos de calefacción, sus componentes y accesorios.



Fuente: Fotografía tomada en las dependencias de la empresa (sala de calderas).

Figura 1-5 Central térmica de calefacción.

1.4.1. Marco regulatorio legal, Decreto 10

El Decreto Supremo n°10, es el que regular la operación, el uso y funcionamiento de equipos que utilizan vapor de agua, autoclaves y calderas. El decreto se focaliza en medidas de control de seguridad para proteger la vida y la integridad de las personas que operan estos equipos, ya que, por el alto nivel de riesgo que establece estos activos físicos, por una falla o un evento no deseado pueden generar consecuencias catastróficas para la instalación e incluso la muerte para las personas.

El Decreto10, establece la regulación legal bajo los siguientes equipos y/o condiciones:

- Calderas de vapor de agua, Calderas de calefacción y Calderas de fluidos térmicos (Estas pueden ser móviles o fijas).
- Autoclaves y equipos que trabajan con vapor de agua, a presión manométrica igual o superior a 0.5 kg/cm².
- Componentes y accesorios de la red de distribución de vapor, desde la fuente de generación, hasta los puntos de consumo.

A continuación, se indican algunos aspectos relevantes en tema de seguridad que se establece en el decreto.

1.4.1.1. Registro de calderas

Las calderas y autoclaves deben contar con un libro de vida o bitácora durante toda su vida útil, el propietario del equipo está obligado a mantenerlo disponible y en buen estado.

Esta debe contar con la información exclusiva de la caldera como especificaciones técnicas, cálculos de diseño de la caldera o autoclave e información de las normas nacionales.

Por otra parte, las calderas exclusivamente deben contar con un libro foliado de operación diaria (distinto al libro de vida) en el cual el operador registrará su nombre, análisis de agua, limpieza del estanque de retención o de purgas, purgas manuales realizadas y otras acciones relevantes. Los registros deben realizarse cada 4 horas.

1.4.1.2. Sala de calderas

Estas son algunas de las características que deben cumplir:

- La distancia mínima entre la caldera y las paredes del recinto no puede ser menor a un metro. Además, debe haber un espacio libre no inferior a 1,5 metros entre el punto más elevado del elemento de la caldera y el techo.
- Señalización de las aislaciones térmicas que sean de asbesto.
- Limpieza y buena conservación totalmente libre de gases o vapores inflamables y buena ventilación.
- Instalación de letreros en un lugar visible que indique las maniobras de puesta en marcha, detención y que hacer en caso de emergencia.

1.4.1.3. Dispositivos

El Decreto 10 establece nuevas obligaciones específicas para los accesorios de control y seguridad tales como:

- Válvulas de seguridad.
- Sistema de alarmas.
- Detector de llamas.
- Termostatos.
- Presostato.

1.4.1.4. Operadores

La normativa detalla las funciones que los operadores deben cumplir y las facultades que poseen. Lo primero es que todos tienen que contar con enseñanza media completa, sin embargo, aquellos que operen calderas de vapor de gran presión (igual o superior a 42 kg/cm²) deben contar además con título de nivel técnico o profesional en el área industrial. Las calderas de calefacción y calderas de fluidos térmicos podrán eximirse de la presencia permanente del operador calificado, no obstante, éste estará a cargo de supervisar su funcionamiento.

1.4.1.5. Revisiones y pruebas realizadas por un profesional facultado

El decreto estipula que las revisiones y pruebas a las calderas, autoclaves y red de distribución de vapor, deben ser realizadas por un profesional facultado autorizado ante el SEREMI de Salud. Estos profesionales tendrán un plazo de 3 años para cumplir con las nuevas exigencias de estudios y experiencia que deberán demostrar para obtener el nuevo registro ante el SEREMI de Salud.

1.4.2. Multas y sanciones por incumplimiento

TÍTULO IX, Fiscalización y sanciones (DECRETO 10)

Artículo 85: Corresponderá a la autoridad sanitaria, fiscalizar y controlar el cumplimiento de las disposiciones del presente reglamento y sancionar las infracciones de conformidad con lo establecido en el Libro Décimo del Código Sanitario.

Título III, DE LAS SANCIONES Y MEDIDAS SANITARIAS (CODIGO SANITARIO D.F.L. N° 725/67)

Artículo 174 (165): La infracción de cualquiera de las disposiciones de este Código o de sus reglamentos y de las resoluciones que dicten los directores de los Servicios de Salud o el Director del Instituto de Salud Pública de Chile, según sea el caso, salvo las disposiciones que tengan una sanción especial, será castigada con multa de un décimo de unidad tributaria mensual hasta mil unidades tributarias mensuales. Las reincidencias podrán ser sancionadas hasta con el doble de la multa original.

Las infracciones antes señaladas podrán ser sancionadas, además, con la clausura de establecimientos, edificios, casas, locales, lugares de trabajo donde se cometiere la infracción; con la cancelación de la autorización de funcionamiento o de los

permisos concedidos; con la paralización de obras, con el comiso, destrucción y desnaturalización de productos, cuando proceda.

Artículo 175 (166): En los casos en que la sanción consista en la Cancelación de la autorización de funcionamiento o de los permisos concedidos, el Servicio Nacional de Salud comunicará este hecho a la Municipalidad respectiva para que proceda a cancelar la correspondiente patente.

Artículo 177 (168): El Director General de Salud podrá cuando se trate de una primera infracción y aparecieren antecedentes que lo justifiquen, apercibir y amonestar al infractor, sin aplicar la multa y demás sanciones, exigiendo que se subsanen los defectos que dieron origen a la infracción, dentro del plazo que se señale.

Artículo 178 (169): La autoridad podrá también, como medida sanitaria, ordenar en casos justificados la clausura, prohibición de funcionamiento de casas, locales o establecimientos, paralización de faenas, decomiso, destrucción y desnaturalización de productos.

Estas medidas podrán ser impuestas por el ministro de fe, con el solo mérito del acta levantada cuando exista un riesgo inminente para la salud, de lo que deberá dar cuenta inmediata a su jefe directo. Copia del acta deberá ser entregada al interesado.

CAPÍTULO 2: CONTEXTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE AGUA
CALIENTE, FUNCIÓN Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA
DE LA CENTRAL TÉRMICA DE CALEFACCIÓN

2. CONTEXTO OPERATIVO DEL PROCESO, FUNCIONES Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS DEL EQUIPO CRÍTICO

En esta etapa media, se detallan los activos físicos y procesos que son parte del equipo crítico, estos segregados según su funcionalidad dentro del proceso principal de la central térmica de calefacción.

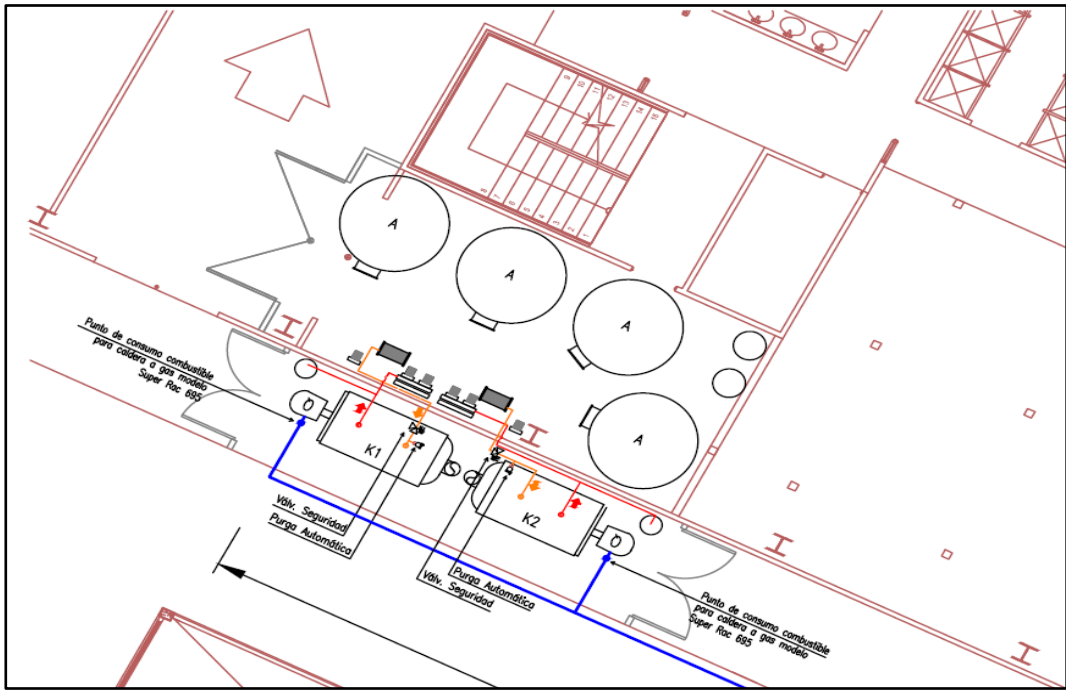
2.1. CONTEXTO DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE Y SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Para el proceso de generación de agua caliente sanitaria y agua de calefacción, se tiene el conjunto de caldera y quemador, los cuales suministran y distribuyen por medio de bombas y matrices de fierro el agua caliente para las unidades manejadoras de aire (sistema de calefacción) y para el intercambiador de calor del proceso (generación de agua caliente sanitaria). La unidad manejadora de aire es un equipo compacto que toma el aire desde el exterior, lo filtra y calienta para distribuirlo por medio de ductos hacia los lugares a calefaccionar.

En el sistema de calefacción, el serpentín que se encuentra en el interior de la unidad manejadora de aire, el agua caliente del circuito primario pasa por su interior, produciéndose el intercambio de energía por medio del aire frío externo enviado por un ventilador, para luego inyectar una masa de aire caliente al ambiente (salas de cambio).

Para el agua caliente sanitaria, el fluido de la caldera viaja al intercambiador de calor por medio de una bomba circuladora en el circuito primario (ciclo cerrado) y con otra bomba de características similares ubicada en el circuito secundario, se traslada el agua almacenada fría desde el acumulador hacia el mismo intercambiador de calor, con el objetivo de transmitir energía al agua fría y aumentar la temperatura del agua almacenada en el acumulador (agua de consumo sanitario). La temperatura en el estanque acumulador es controlada por un termostato de inmersión regulado a 60°C.

Una válvula termostática de tres vías ubicada a la salida del proceso genera una relación de mezcla con el agua caliente de los acumuladores a 60°C y con el agua fría a 5°C aproximadamente (línea independiente), para la entrega de un producto en los puntos de consumo a 40°C.



Fuente: Captura obtenida de extracto de emplazamiento de sala de calderas y acumuladores.

Figura 2-1 Plano del sistema de generación de agua caliente y agua caliente sanitaria

2.1.1. Equipos del circuito primario

Los equipos correspondientes al circuito primario son los activos asociados a los procesos que son parte de la generación de agua caliente, tales como caldera, quemador, estanques hidroneumáticos, chimeneas entre otros. Estos equipos cumplen con funciones asociadas al objetivo principal del proceso.

2.1.1.1. Calderas

La central cuenta con dos calderas para la generación de agua caliente de calefacción y agua caliente sanitaria, con quemador del tipo presurizado. La caldera es marca IVAR modelo Super Rac 695, confeccionadas en chapa de acero, aislada, con forro metálico pintado al horno, aptas para operar con quemador a gas licuado.

2.1.1.2. Chimeneas

Las chimeneas para humos están confeccionadas en planchas de acero inoxidable AISI 304 de 0.8 mm de espesor, con unión embutida, aisladas con colchonetas de lana mineral de 50 mm de espesor 90 kg/m3, para todo el recorrido se

considera forro metálico de protección en plancha de acero galvanizado de 0,4 mm de espesor.

2.1.1.3. Estanques de expansión

Los estanques de expansión son de 80 litros c/u, para cada una de las calderas en su circuito primario, provistos cada uno con balón interior de caucho y flange de conexión para recambio.

2.1.1.4. Quemadores

Cada caldera cuenta con un quemador del tipo presurizado de dos etapas marca Riello modelo RS 70, diseñado para trabajar con gas licuado. Tanto su potencia como la presión de contra cámara es acorde a la potencia de las calderas. Estos poseen todo su control incorporado y su funcionamiento es automático. Cada quemador posee un arranque de gas licuado (suministro) con válvulas de corte individuales y una de corte general fuera de la sala de calderas.

2.1.1.5. Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor de placas marca Cipriani modelo A 125 + son dos en total, uno por circuito de caldera, ambos fabricados en acero inoxidable para el sistema de generación de agua caliente sanitaria.

I. Características técnicas:

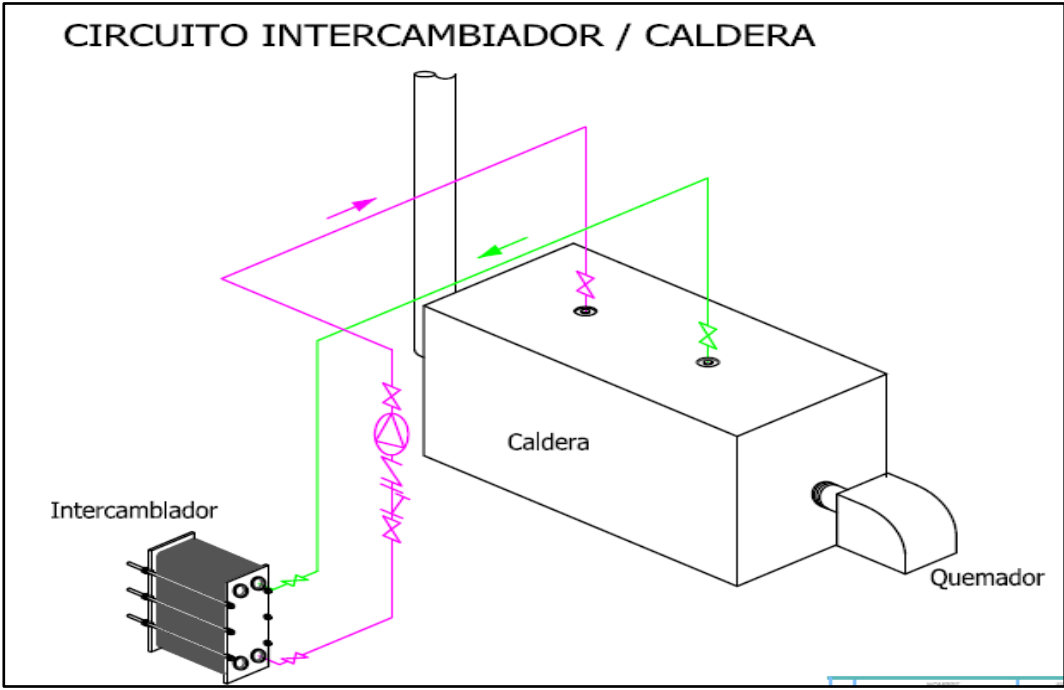
- Potencia térmica: 400.000 Kcal/hr. c/u.

II. Circuito Primario:

- T° Agua Caliente Surtidor: 85 C°
- T° Agua Caliente Retorno: 70 C°
- Pérdida de Carga: 2 mca

III. Circuito Secundario:

- T° Agua Potable Entrada: 5 C°
- T° Agua Caliente Sanitaria Salida: 60 C°
- Pérdida de Carga: 2.5 mca
- Presión de trabajo: 3 Bar



Fuente: Captura obtenida de los planos isométricos del sistema.

Diagrama 2-1 Circuito primario del sistema de calefacción.

2.1.2. Equipos del circuito secundario

Los equipos correspondientes al circuito secundario son los activos asociados a los procesos que son parte de la generación de agua caliente sanitaria (ACS), tales como bombas de agua caliente, tuberías, tipos de válvulas, intercambiadores de calor, entre otros. Estos equipos tienen directa relación con la distribución del producto ACS dentro de los sistemas de transferencia térmica.

2.1.2.1. Bombas de circulación

Las bombas de circulación de agua son del tipo centrífuga, de montaje en línea para la recirculación entre la caldera y los serpentines del sistema de calefacción, entre calderas e intercambiadores de calor, intercambiadores a acumuladores y recirculación general.

2.1.2.2. Cañerías de agua caliente

Las cañerías de agua caliente de calefacción, correspondientes a las matrices verticales y a las matrices en la sala de calderas son de Acero ASTM-A53, SCH 40

Grado A y los fittings y materiales menores del circuito secundario, son de cobre y bronce, especiales para el servicio solicitado.

2.1.2.3. Válvulas tipo compuerta

- Sólo como válvula de corte, no para regulación.
- Hasta 2" de diámetro; ajustes y cuerpo de bronce, conexiones roscadas, para servicio de 150 PSI.
- Para 2 ½" de diámetro y mayores: con ajuste de bronce o acero, cuerpo de acero fundido y flange para servicio de 150 PSI.

2.1.2.4. Válvulas tipo retención

- Hasta 3" de diámetros; bronce, tipo chapaleta, conexión roscada y servicio de 150 PSI.

2.1.2.5. Válvulas tipo bola

- Solo como válvula de corte, no para regulación.
- Hasta 2" de diámetro; ajustes y cuerpo de bronce, conexiones roscadas, para servicio de 150 PSI.

2.1.2.6. Filtro tipo "Y"

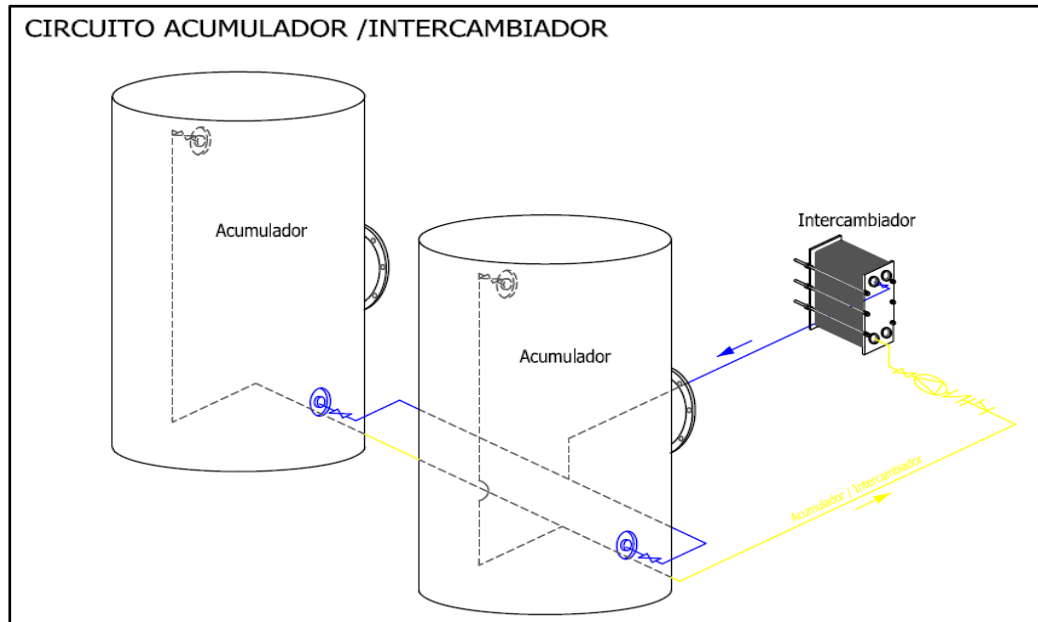
- Cuerpo de acero fundido con conexión para drenaje de limpieza sin detención del sistema.
- Los filtros poseen malla de acero inoxidable de 20 agujeros por pulgada lineal, y servicio de 150 PSI (conexiones con rosca).

2.1.2.7. Válvulas de seguridad

- Cuerpo de bronce, accionamiento de resorte y presión de regulación 5% superior a presión del sistema.

2.1.2.8. Válvula termostática de tres vías

- Válvulas de mezcla para el control y regulación de T° en los fluidos.
- Poseen cuerpo de hierro y asiento de bronce.
- El disco de la válvula es tipo bola con paso interior para cambiar de dirección el flujo.



Fuente: Captura obtenida de los planos isométricos del sistema.

Diagrama 2-2 Circuito secundario del sistema de agua caliente sanitaria.

2.1.3. Equipos y componentes del circuito de salida de ACS

Etapa del proceso encargada de almacenar y cuando se requiere, mezclar el agua caliente sanitaria junto al agua fría almacenada en el exterior de las instalaciones, todo a través de la válvula termostática de tres vías, última etapa antes que el usuario tenga contacto con el producto.

2.1.3.1. Acumuladores de agua caliente sanitaria

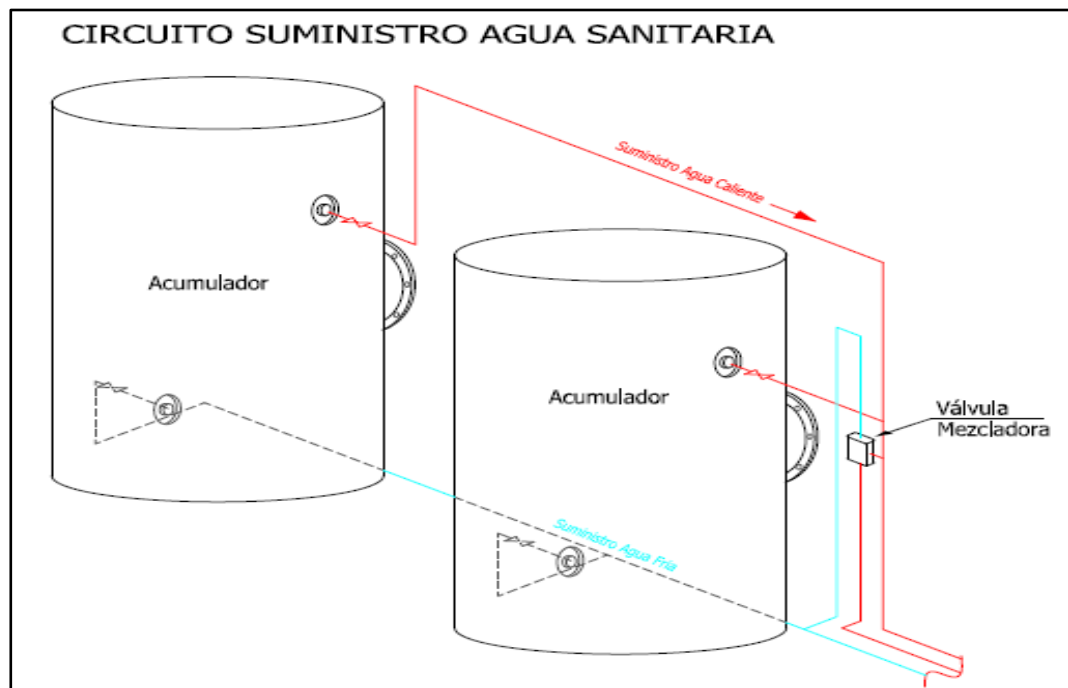
El sistema posee cuatro acumuladores de agua caliente sanitaria verticales, con capacidad individual de 6.000 litros cada uno, aptos para trabajar a una presión de servicio de 8 bar. Los estanques están fabricados en acero negro y sus espesores de pared calculados según la norma ASME VIII Div.1.

Los acumuladores son tratados interiormente con epóxico reforzado con fibra de vidrio, exento de todo tipo de solventes contaminantes REVIDUR 99 W.

Cada acumulador cuenta con sus elementos periféricos de funcionamiento, tales como:

- Ánodo de sacrificio.
- Válvula de Alivio de acuerdo con la presión de servicio.
- Purgador de aire.
- Termostato de inmersión.
- Tapa hombre “manhold”.
- Termómetro.
- Manómetro.

Como aislamiento exterior, los cilindros cuentan con inyección de poliuretano de 40 mm de espesor forrado con plancha metálica de acero galvanizado de 0.4 mm de espesor.



Fuente: Captura obtenida de los planos isométricos del sistema.

Diagrama 2-3 Circuito de almacenamiento salida del agua caliente sanitaria

2.1.4. Equipos y componentes en sistema de calefacción

Sistemas de calefacción encargadas de abastecer y mantener un clima agradable para el usuarios de las salas de cambio y camarines del barrio cívico del caso de estudio, en el presente punto, se presentan los equipos que son parte del sistema HVAC.

2.1.4.1. Gabinete de unidad manejadora de aire

Son del tipo modular, compuesto por una sección para filtros, otra porta ventilador y otra porta serpentín calefactor con puertas de inspección por cada módulo. Están confeccionadas en planchas de acero galvanizado en 1,5 mm de espesor y revestida interiormente por planchas rígidas de aislación del tipo aislán roll compuesto por lana de vidrio de 25 kg/m³ de densidad y papel foil en su cara interior.

Las puertas de inspección están abisagradas en toda su longitud, manilla con seguro de gancho y sello perimetral de espuma de PVC en toda la cara de asentamiento de la puerta con su marco.

2.1.4.2. Ventilador de Impulsión

El ventilador es del tipo motor ventilador centrífugo con alabes inclinados hacia adelante, de doble oído con una compuerta anti-retorno en la descarga, que impide cualquier entrada de aire cuando el ventilador está detenido. El motor está montado a uno de los oídos de aspiración por medio de soporte afianzado en la periferia de la envolvente, más un motor fuera del ventilador con transmisión de poleas y correas, todo dentro de la unidad manejadora.

La voluta de doble oído es chapa de acero galvanizado y la cubierta de acero de 1mm de espesor, los alabes también son metálicos y el motor dimensionado para un 25 %, superior a la capacidad total con un máximo de revoluciones de 1450 rpm.

2.1.4.3. Serpentín calefactor

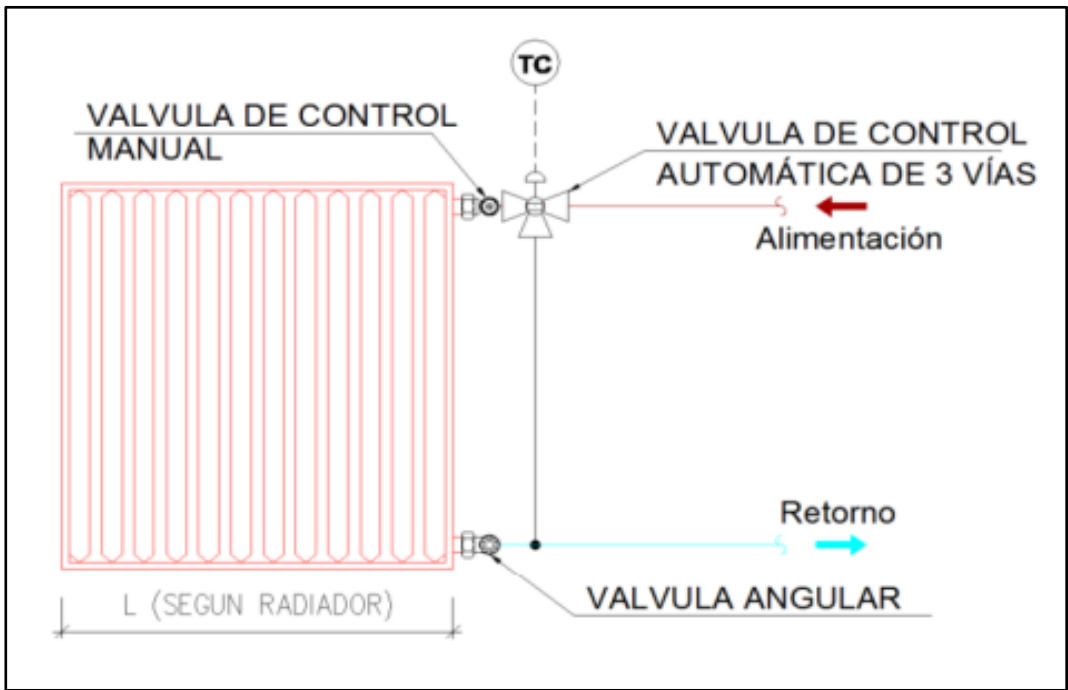
El serpentín de intercambio de calor para aire/agua, es de tubos de cobre doblado, con cabezal en los extremos y aletas de aluminio, para disipación del calor. En la entrada del serpentín está una válvula de tres vías. Esta es controlada por un termostato con sensor a distancia. La válvula tiene un by pass de ¼", para evitar congelamiento en el invierno.

2.1.4.4. Sección Filtros

Los filtros de aire son del siguiente detalle:

Filtros de fibra de vidrio o fibra de papel de 5 cm de espesor y velocidad frontal de 1,5 m/s. Su eficiencia mínima debe ser de 30% según norma ASHRAE Standard 52-76, similares a los de la marca AIRGUARD 30/30. El Filtro de aire lavable de 5 cm de espesor y velocidad frontal de 1,5 m/s. Su eficiencia mínima debe ser de 65% según norma ASHRAE Standard 52-76, similar a la marca AIRGUARD HS-Aluminium. Las

dimensiones son las que otorga la sección y el marco por donde se deslizan los filtros. En estos rieles de deslizamiento para filtros el contacto es ser hermético.



Fuente: Captura obtenida del informe de operación y mantenimiento del sistema.

Diagrama 2-4 Circuito de transferencia de calor mediante serpentín calefactor

2.2. METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.

2.2.1. Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional es la capacidad de una instalación (infraestructura, personas, tecnología, entre otros) para cumplir con su función (que haga lo que se espera de ella), y en caso de que esto no ocurra y falle, lo haga del modo o de la manera menos dañina posible para el negocio. Un modelo operacional confiable debe considerar como variables fundamentales tanto la continuidad operacional, como la administración y control de los riesgos que se presentan en el proceso.

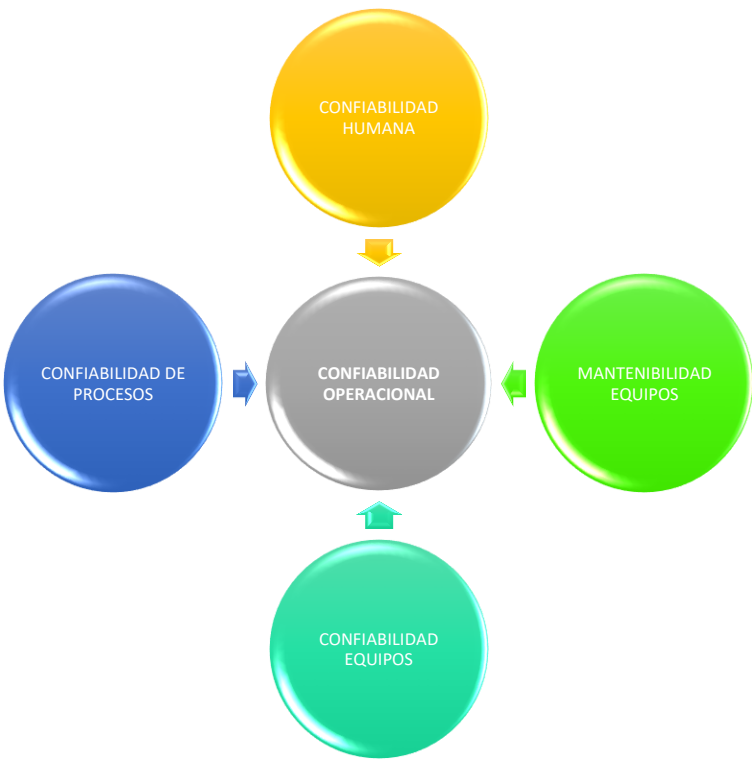
Para lograr una alta confiabilidad operacional dentro de una organización, se debe considerar una mejora integral en todas las áreas relacionadas de manera directa o indirecta del proceso productivo, ya sea operación, logística, abastecimiento,

mantenimiento, recurso humano, compras, etc..., No deben existir puntos vulnerables de deficiencia productiva.

2.2.1.1. Características del proceso de mejora de la Confiabilidad Operacional

- Mejorar la Confiabilidad Operacional se puede conseguir mediante muchas iniciativas, herramientas y metodologías.
- No existe una única metodología que domine todos sus aspectos.
- Depende de la interacción entre los equipos de trabajo, los procesos, las personas y el ambiente organizacional.
- La presencia ineludible de la incertidumbre coloca a la confiabilidad en el ámbito de las decisiones basadas en riesgo.

2.2.1.2. Parámetros que conforman la Confiabilidad Operacional



Fuente: Elaboración propia en base al modelo de John Woodhouse.

Diagrama 2-5 Confiabilidad Operacional, basado en modelo de John Woodhouse.

2.2.2. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, en el cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de diseñar un modelo de optimización de planes de mantenimiento hacia un activo físico crítico. Otra de las funciones del MCC, es el proceso de alimentación de información, decisiones y frecuencias (tiempos) al programa de planificación de mantenimiento base y con esto ajustar las actividades según las distintas estrategias seleccionadas para alcanzar un máximo de eficiencia productiva y una robusta administración de los riesgos presentes en el contexto operacional, en otras palabras “un traje a la medida”.

2.2.2.1. Características generales del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

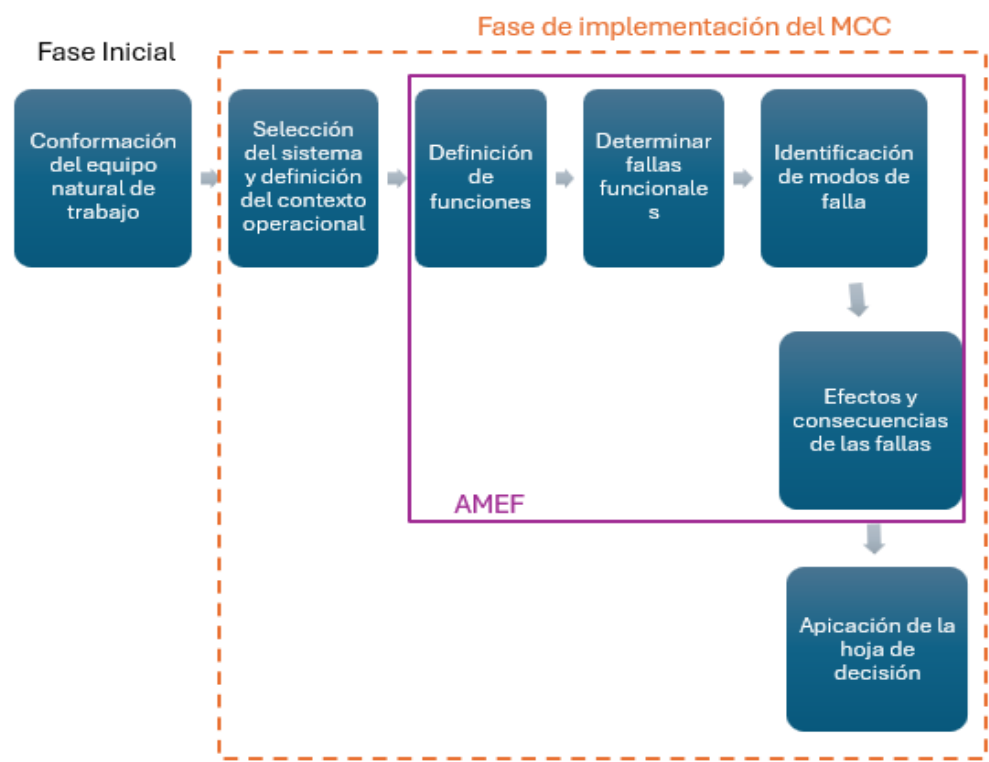
- Herramienta que permite ajustar acciones de control de fallos (estrategias de mantenimiento) al entorno operacional.
- Metodología basada en un procedimiento sistemático que permite generar planes óptimos de mantenimiento / produce un cambio cultural.
- Los resultados de la aplicación del RCM, tendrán su mayor impacto, en sistemas complejos con diversidad de modos de fallo.
- Maduración: de la estrategia: mediano a largo plazo.

La metodología MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos físicos en su contexto operacional, a partir de las siguientes siete preguntas:

- I. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente?
- II. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
- III. ¿Qué causa cada falla funcional?
- IV. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
- V. ¿Qué puede ocurrir si se presenta cada modo de falla?
- VI. ¿Qué se puede hacer para evitar, predecir o detectar cada modo de falla?
- VII. ¿Cómo proceder si no es posible evitar, predecir o detectar el modo de falla?

2.2.3. Modelo de implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El éxito del proceso de implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad dependerá básicamente del complemento y desempeño del equipo natural de trabajo, el cual tiene la labor de analizar y responder las siete preguntas que presenta esta herramienta de gestión de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia en base al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

Diagrama 2-6 Fases de implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

2.2.3.1. Fase inicial: Conformación del equipo natural de trabajo (grupo multidisciplinario)

Un equipo natural de trabajo se define dentro del contexto de MCC como conjunto de personas de diferentes funciones en la empresa (Equipo multidisciplinario), que trabajan bajo un mismo objetivo común e igual periodo de tiempo para analizar problemas presentadas en un proceso productivo o activo físico.

Dentro del equipo natural de trabajo de MCC, se requiere de la presencia de ciertas personas claves que representan diferentes puntos asociados al contexto operacional del equipo o proceso al que se evalúa. Estos representantes pueden ser:

- Representantes área Operaciones (Operadores)
- Representantes área Mantenimiento (Mecánicos, Eléctricos, Instrumentistas, etc.)
- Especialistas del área o proceso productivo (Ingenieros de proceso)
- Planificadores y Programadores
- Facilitador de la metodología
- Especialistas o representantes de la marca del activo



Fuente: Fuente: Elaboración propia en base al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

Diagrama 2-7 Equipo natural de trabajo para la implementación de un MCC

Características del equipo natural de trabajo:

- Hay una atmósfera informal y relajada, facilitando el involucramiento.
- Participación de todos los miembros en las discusiones, las que permanecen concentradas en la tarea (sin jerarquías).

- Hay aceptación y compromiso con el objetivo por parte de todos los miembros.
- Se escucha a cada uno y no hay temor en hacer sugerencias.
- Los desacuerdos no se ocultan, sino que son discutidos en conjunto.
- Las mayorías de las decisiones se toman en consenso.

2.2.3.2. Selección del sistema o equipo crítico y contexto operacional

La Jerarquización de los activos dentro de una planta, organización o proceso, se genera con la finalidad de presentar un orden o jerarquización en base al riesgo que presenta cada activo físico para el proceso productivo y el negocio. Los criterios más utilizados son:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos
- Frecuencia de fallas
- MTTR

Modelo de factores ponderados /Basado en la teoría de riesgo:

- $\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$
- $\text{Frecuencia} = \text{número de fallas en un tiempo determinado.}$
- $\text{Consecuencias} = (\text{Impacto operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costos de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH.}$

Luego del proceso de jerarquización de activos dentro del contrato (realizado en el capítulo nº1), se determina que las calderas de calefacción son los equipos más críticos del proceso y la decisión es basada en el riesgo que generan hacia el personal operativo. Para el actual caso de estudio, se considerará como sistema crítico la Central Térmica de Calefacción (conjunto Caldera, quemador y equipos periféricos).

2.2.3.3. Contexto Operacional y Funciones de la Central térmica de calefacción

I. Función principal o propósito

Generar agua caliente a 85 °C mediante una central térmica de calefacción (caldera), mantenimiento una presión de trabajo de 3 bar, con la finalidad de abastecer el circuito hidráulico de calefacción y el sistema de almacenamiento de agua caliente sanitaria.

II. Descripción general del sistema

Para el proceso de generación de agua caliente sanitaria y agua de calefacción, se tiene el conjunto de caldera y quemador, los cuales suministran y distribuyen por medio de bombas y matrices de fierro el agua caliente para las unidades manejadoras de aire (sistema de calefacción) y para el intercambiador de calor del proceso (agua caliente sanitaria). La unidad manejadora de aire es un equipo compacto que toma el aire desde el exterior, lo filtra y calienta para distribuirlo por medio de ductos hacia los lugares a calefaccionar.

En el sistema de calefacción, el serpentín que se encuentra en el interior de la unidad manejadora de aire, el agua caliente del circuito primario pasa por su interior, produciéndose el intercambio de energía por medio del aire frío externo enviado por un ventilador, para luego inyectar una masa de aire caliente al ambiente (salas de cambio).

Para el agua caliente sanitaria, el fluido de la caldera viaja al intercambiador de calor por medio de una bomba circuladora en el circuito primario (ciclo cerrado) y con otra bomba de características similares ubicada en el circuito secundario, se traslada el agua almacenada fría desde el acumulador hacia el mismo intercambiador de calor, con el objetivo de transmitir energía al agua fría y aumentar la temperatura del agua almacenada en el acumulador (agua de consumo sanitario). La temperatura en el estanque acumulador es controlada por un termostato de inmersión regulado a 60°C.

Una válvula termostática de tres vías ubicada a la salida del proceso genera una relación de mezcla con el agua caliente de los acumuladores a 60°C y con el agua fría a 5°C aproximadamente (línea independiente), para la entrega de un producto en los puntos de consumo a 40°C.

III. Descripción específica del proceso

Central térmica de calefacción, conjunto quemador modelo Riello 70 y caldera modelo Superac 695 y sus accesorios periféricos. Los rangos de operación deben ser entre 70 °C y 85 °C del fluido, con una presión máxima del circuito primario de 3 bar. Para el funcionamiento y operación del conjunto caldera quemador, se debe contar con el suministro de combustible GLP (combustión interna) y electricidad de 220 V (panel de control y quemador). Como parte del circuito primario se encuentra el conjunto piping para la distribución del fluido, las bombas de circulación y distribución del agua caliente, los sistemas de calefacción (unidades manejadoras de aire) y un intercambiador de calor de placas para la transferencia térmica hacia el circuito secundario.

IV. Equipos principales

- Caldera de Calefacción (potencia de calefacción 650000 Kcal/hr).
- Quemador de doble etapa (Potencia de calefacción 165000 a 700000 Kcal/hr).

V. Equipos secundarios

- Bombas centrífugas racores en línea para agua caliente (Caudal: 12 a 36 m³/hr - Potencia consumida: 900 W).
- Bombas centrífugas racores en línea para sistema de calefacción (Caudal: 2 a 12 m³/hr - Potencia consumida: 350 W).
- Intercambiador de calor tipo placas (Caudal: 6 a 25 m³/hr - Potencia consumida: 400000 Kcal/hr).
- Unidad Manejadora de Aire calefacción por serpentín (Capacidad calor: 50000 Kcal/hr - Caudal: 4696 m³/hr).
- Cañerías Acero ASTM-A53, SCH 40 grado A
- Sistema de Control y monitoreo de variables físicas (caldera).

2.2.3.4. Diagrama ENTRADA – PROCESO – SALIDA (EPA)

I. Entrada

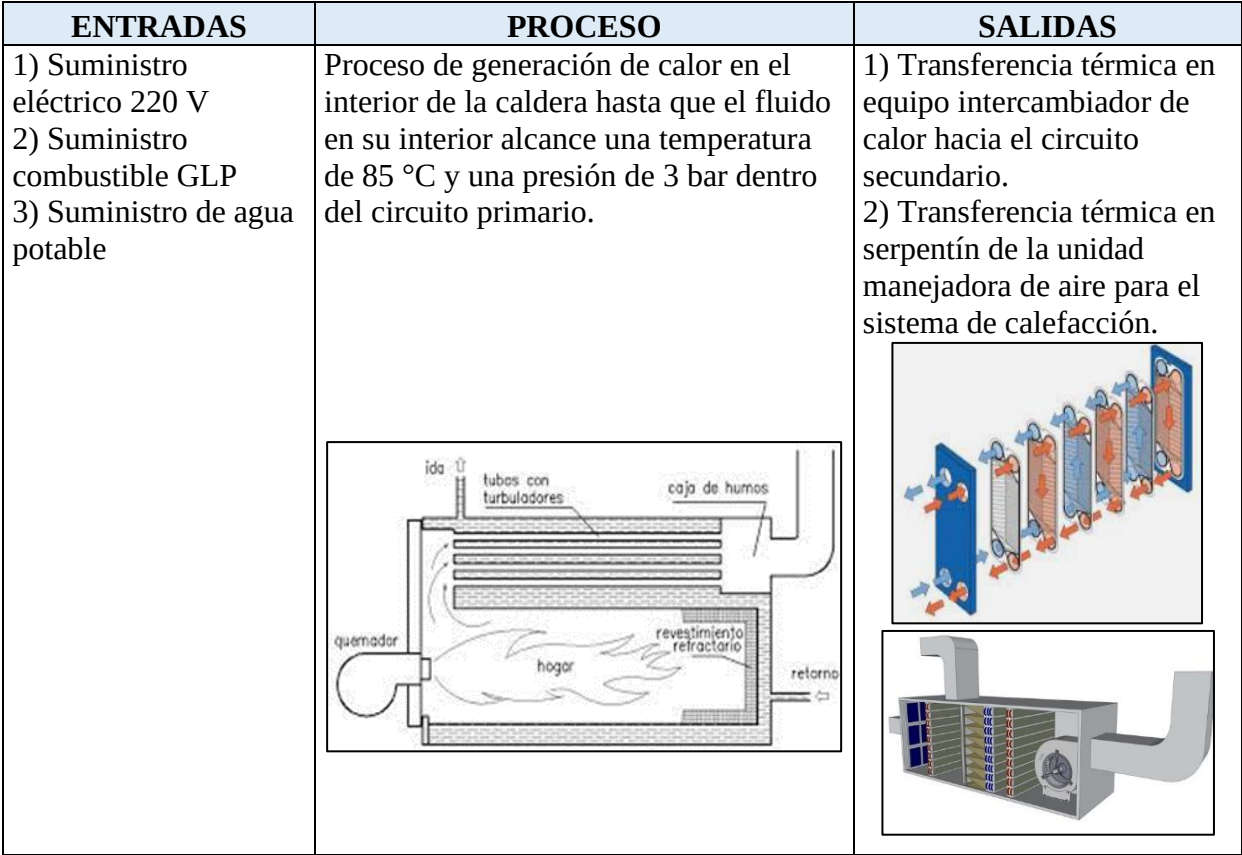
- Suministro eléctrico 220 V
- Suministro combustible GLP
- Suministro de agua potable

II. Proceso

- Proceso de generación de calor en el interior de la caldera hasta que el fluido en su interior alcance una temperatura de 85 °C y una presión de 3 bar dentro del circuito primario.

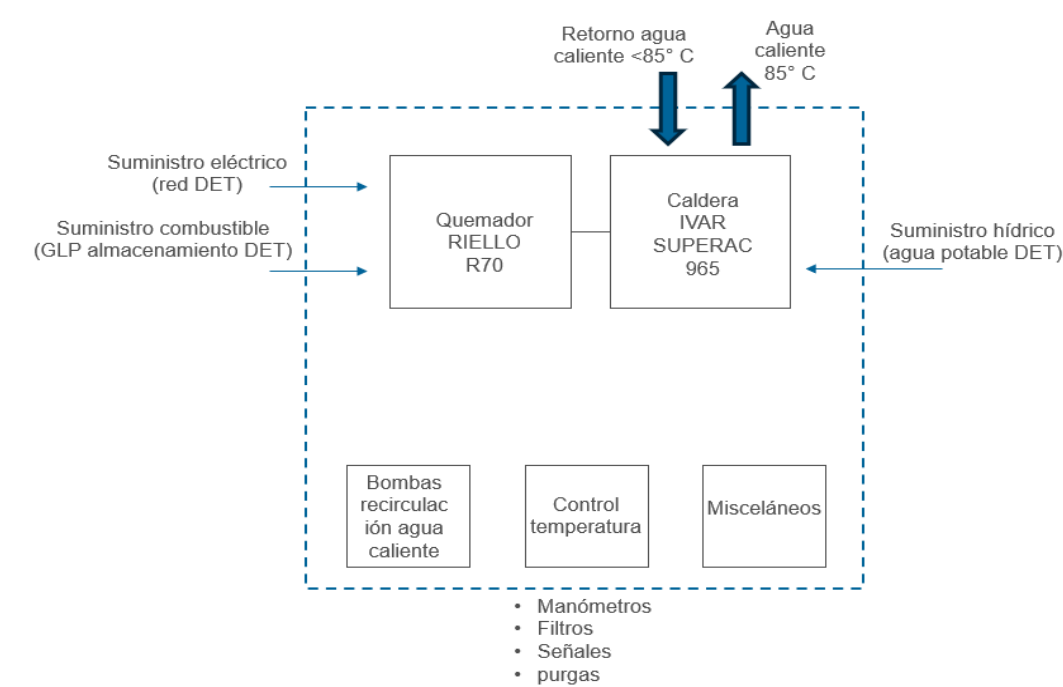
III. Salidas

- Transferencia térmica en equipo intercambiador de calor hacia el circuito secundario.
- Transferencia térmica en serpentín de la unidad manejadora de aire para el sistema de calefacción.



Fuente: Elaboración propia en base a manual de operaciones y mantenimiento del sistema.

Diagrama 2-8 Diagrama Entrada-Proceso-Salida de la central térmica de calefacción.



Fuente: Fuente: Elaboración propia en base al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

Diagrama 2-9 Contexto Operacional enfoque norma ISO 14224.

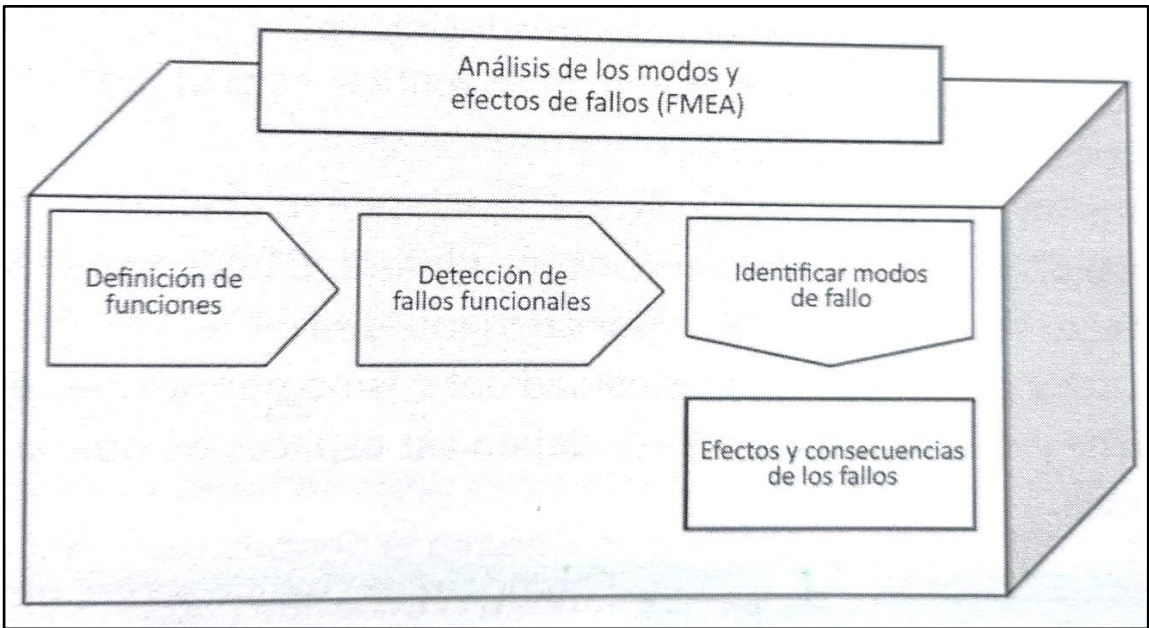
2.2.3.5. Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

El Análisis de Modos y efectos de Fallas, es la principal herramienta del RCM para optimizar la gestión de mantenimiento de un sistema u organización, ya que es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan dañar a los procesos y productos de un sector. A partir del trabajo realizado por el equipo multidisciplinario en los activos físicos y su contexto operacional, se obtienen los datos claves para prevenir las consecuencias y los efectos de los distintos modos de falla, mediante la selección adecuada de las actividades de mantenimiento. Estas actividades son escogidas con el objetivo que actúen por cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

El objetivo es encontrar todas las formas o modos en los que puede fallar el equipo dentro de un contexto operacional, e identificar las posibles consecuencias en función de los siguientes criterios: seguridad humana, seguridad del medio ambiente e impacto en la producción.

Para dar cumplimiento al objetivo, el análisis de efectos y modos de falla debe ser llevado en el siguiente orden por el equipo multidisciplinario:

- I. Definir las funciones de los activos y sus respectivos estándares de operación y ejecución.
- II. Definir las fallas funcionales asociados a cada función del activo.
- III. Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional.
- IV. Establecer los efectos y consecuencias asociados a cada modo de falla.



Fuente: Captura obtenida al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

Diagrama 2-10 Proceso de elaboración del análisis de modos y efectos de falla

2.2.3.6. Funciones de un activo y sus estándares de ejecución

Una función se define como el propósito o el objetivo de un equipo en un contexto operacional establecido. La metodología define los siguientes tipos de funciones:

- Funciones primarias: son las funciones que un activo tiene que cumplir dentro de un proceso, normalmente estas funciones están definidas por el propio nombre del equipo.
- Funciones secundarias: son las funciones que el equipo está capacitado para cumplir en complemento a las salidas principales descritas por las funciones primarias.
- Funciones de protección: existen equipos que tienen como objetivo primario la seguridad de las personas de los posibles efectos de las fallas y posterior a este objetivo principal continúan con la protección de los activos.
- Funciones de control: el patrón de funcionamiento de los equipos de control consiste en tomar mediciones con dispositivos especiales, estas funciones se encargan en adquirir las distintas variables físicas del proceso productivo.
- Funciones subsidiarias: son funciones realizadas en el proceso principal por equipos especiales adecuados a procesos específicos que no están relacionados directamente con el producto final del proceso principal.

Para poder saber claramente cuando un equipo no está realizando sus funciones de manera eficiente es necesario que el grupo de trabajo defina de forma precisa los estándares de funcionamiento asociados a cada activo a analizar con respecto a su contexto operacional en particular.

2.2.3.7. Fallas funcionales totales y parciales

Se define a la falla funcional como el estado en el tiempo, en el cual el equipo no puede lograr el estándar de operación esperado y trae como consecuencias que el

activo físico no pueda cumplir su función principal de manera total o parcial en el contexto operacional en el cual se desempeña.

La definición precisa de una falla funcional para un equipo depende en gran parte del contexto operacional en el que actúa, por lo que activos idénticos pueden sufrir diferentes fallas funcionales si el contexto operacional es diferente.

2.2.3.8. Modos de falla

Se define el modo de falla como la causa física (evidente) de cada falla funcional. El modo de falla es el que genera o provoca la pérdida de función total o parcial del equipo en su contexto operacional. La forma idónea de gestionar el mantenimiento según este criterio es que las actividades de mantenimiento generadas a partir del análisis realizado por el grupo de trabajo RCM, ataquen específicamente cada uno de los modos de falla asociados a cada falla funcional (cada falla funcional puede tener más de un modo de falla).

En el proceso de análisis de modos de falla, el grupo de trabajo multidisciplinario buscará información consultando:

- Listas genéricas de modos de fallas
- Personal de operación y/o mantenimiento que haya tenido una larga asociación con el equipo.
- Registros e historiales técnicos existentes del equipo.
- Fabricantes o vendedores del equipo.
- Otros usuarios del mismo equipo.

2.2.3.9. Efectos y consecuencias de los modos de falla

El objetivo primordial del equipo grupo multidisciplinario es la identificación de lo que sucederá en el contexto operacional cuando ocurre un modo de falla previamente identificado. La identificación de los efectos del modo de falla deberá incluir toda la información necesaria que ayude a soportar la evaluación y análisis de las consecuencias. Para identificar de mejor forma los efectos producidos por los modos de falla, el grupo de trabajo debe dar respuesta de forma clara a las siguientes preguntas:

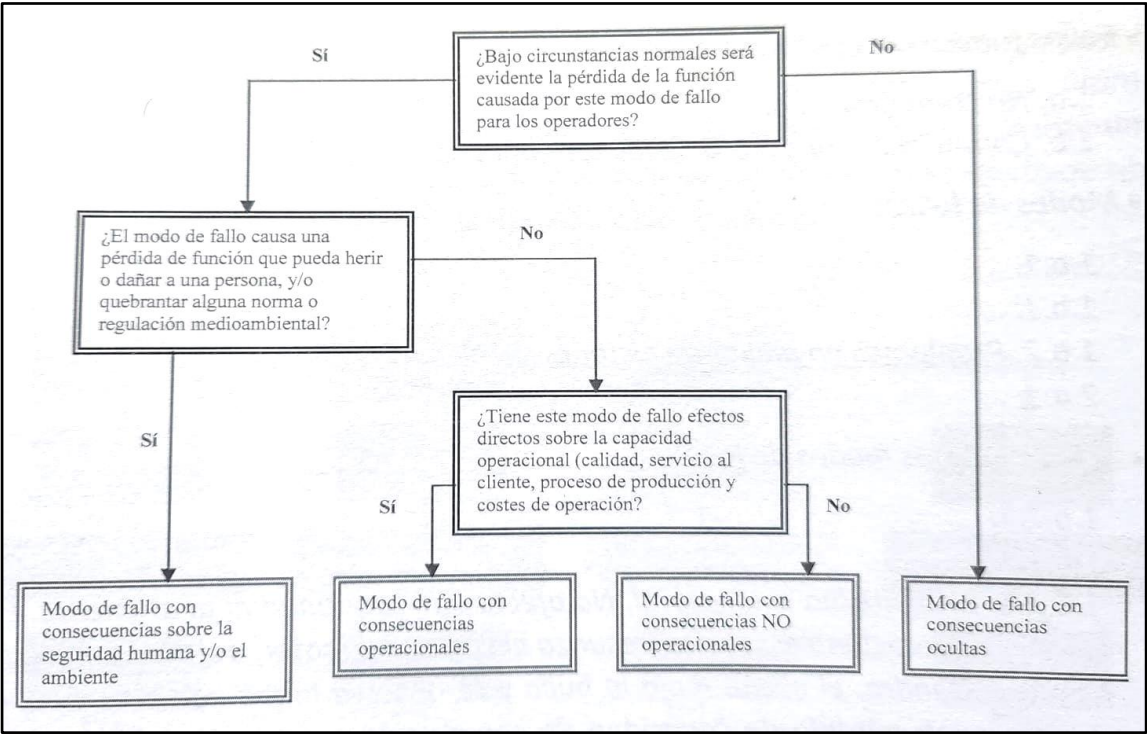
- I. ¿Cómo se evidencia (si puede ser evidente) que un modo de falla ha ocurrido?
- II. ¿Cómo podría afectar la ocurrencia de cada modo de falla a la seguridad humana o al medio ambiente?
- III. ¿Cómo afectaría la ocurrencia de cada modo de falla a la producción y a las operaciones?

Para decidir cuál es la mejor actividad de mantenimiento a ejecutar sobre los activos, es necesario que el grupo multidisciplinario tenga claramente definido la naturaleza y severidad de las consecuencias de los modos de falla dentro del proceso de producción y tener la cuantificación del impacto económico de cada modo de falla.

El impacto del modo de falla en la organización depende del contexto operacional donde trabaje el activo, del estándar de ejecución deseado para la función del activo y de las consecuencias físicas generadas tras la aparición del modo de falla. Al combinar estos tres factores, hace que cada modo de falla tenga una forma característica de impactar en la seguridad, en el ambiente y en las operaciones. El RCM clasifica los modos de falla en las siguientes categorías.

- **Modos de fallas con consecuencias ocultas:** Las consecuencias se generan a partir de funciones ocultas o no evidentes que presentan algunos activos en su contexto operacional, la presencia de estos modos de falla no será visible en el desarrollo normal de la operación del sistema. Este tipo de modos de falla no son evidente por si solos, se hacen visible cuando otra falla aparece, por lo que se denominan fallos ocultos.
- **Modos de falla con consecuencias sobre la seguridad humana y el medio ambiente:** las consecuencias surgen a partir de funciones evidentes de los activos y afectarán a la seguridad humana y el medio ambiente.
- **Modos de falla con consecuencias operacionales:** surgen a través de los modos de falla que afectan de manera negativa a las funciones de los activos que forman parte importante del proceso productivo o de las operaciones (cantidad de producto, calidad de este, costos de operación, costos directos de reparación, entre otros).
- **Modos de falla con consecuencias no operacionales:** surgen a partir de funciones evidentes y sus consecuencias son aceptables respecto a la seguridad, ambiente y operaciones; únicamente repercute económicamente en el costo directo de su reparación.

Las consecuencias de los modos de falla se determinan apoyándose en el siguiente diagrama:



Fuente: Captura obtenida al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

Diagrama 2-11 Decisión AMEF.

2.2.3.10. Plantilla de Análisis de Modos y Efectos de Falla

Tabla 2-1 Formato plantilla Análisis de Modos y Efectos de Fallas.

Sistema / Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frecuencia de Falla	MTTR (Log. - Ejec. - PE)	Multas por indisponibilidad >5 horas [\$USD]	Costos directos por falla [\$USD]	Multas por incumplimiento Decreto 10 [\$USD]	Riesgo cuantitativo \$/año [\$USD]
Sistema de generación de agua caliente	1	Generar agua caliente a 85 °C mediante una central térmica de calefacción, mantenimiento una presión de trabajo de 3 bar.	1.1	Incapacidad de alcanzar los 85 °C en el fluido	1.1.1	Rotura vástago de termostato de inmersión	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Pérdida de control y regulación de temperatura del fluido. Acción correctiva: Sustitución.	1	3	0	200	0	200
					1.1.2	Sonda de control de temperatura cortado	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Impide que el fluido de la caldera alcance los valores de trabajo según contexto al no poder controlar la temperatura del fluido. Acción correctiva: Contraste con equipos periféricos que controlan la misma variable y si es necesario cambiar el componente.	0,50	6	1050	200	0	625
					1.1.3	Saturación de cámaras de salida de humos de la caldera	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): No se alcanza la temperatura de seteo. Acción correctiva: Limpieza de deflectores y de cámara de salida de humos.	0,50	6	1050	100	0	575
					1.1.4	Obstrucción del filtro de válvula reguladora de gas del quemador	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida de eficiencia del quemador. Acción correctiva: Retiro y limpieza de filtro y en caso de ser necesario, realizar el cambio del componente.	2	1	0	100	0	200
					1.1.5	Trabamiento de impulsor de bombas de circulación de agua caliente	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Operan las protecciones del circuito. Acción correctiva: Sustitución de bomba.	3	2	0	500	0	1500
					1.1.6	Purgadores automáticos del circuito primario, no actúan	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): No se evacúa el aire dentro del circuito, impidiendo que el fluido líquido alcance la temperatura adecuada. Acción correctiva: Sustitución.	4	2	0	300	0	1200

				1.1.7	Bomba de condensación de la caldera no opera	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Condensación por diferencias de temperaturas. Acción correctiva: Verificación de estado de saturación, limpieza de filtros o sustitución.	2	2	0	300	0	600	
Sistema de generación de agua caliente		Generar agua caliente a 85 °C mediante una central térmica de calefacción, mantenimiento una presión de trabajo de 3 bar.		Pérdida de contención en los circuitos de suministros y fluidos de la caldera	1.1.8	Pérdida de integridad mecánica del cuerpo de caldera (tubos de salida humos)	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Disminuye el fluido dinámico del circuito primario y baja la eficiencia. Acción correctiva: Detener la caldera y evaluar opción de encamisado.	2	24	1050	1000	0	4100
					1.1.9	Bomba de condensación de la caldera no opera	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Condensación por diferencias de temperaturas. Acción correctiva: Verificación de estado de saturación, limpieza de filtros o sustitución.	2	2	0	300	0	600
				1.1.10	Trabamamiento de impulsor de bombas de circulación de agua caliente	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Operan las protecciones del circuito, al detener el sistema se alivia el estrés de las placas de los intercambiadores de calor y genera filtraciones. Acción correctiva: Sustitución de bomba.	3	1	0	500	0	1500	
				1.1.11	Desgaste de sellos mecánicos de bombas de circulación	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Ineficiencia en el proceso de combustión para la calefacción del fluido. Acción correctiva: Análisis y calibración de quemador de la caldera.	4	1	0	200	0	800	
				1.1.12	Soltura entre placas en el intercambiados de calor	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Se generan diferencias de presión a la presión de trabajo normal de operación, tanto como alza o como baja presión. Acción correctiva: Regularizar presión del circuito mediante las válvulas de by pass y generar el cambio de la válvula de llenado automático.	2	2	0	31,96	0	63,92	
				1.1.13	Rotura en líneas o estanques de suministro de gas	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Impide directamente el funcionamiento del quemador y a la vez la caldera. Acción correctiva: Medir, analizar y aislar circuito, reparar cañería de suministro con personal certificado, en caso de ser necesario, cambiar tramo afectado.	0,20	24	1050	31,96	0	216,392	

					1.1.14	Filtración en tuberías y válvulas del circuito primario	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida de carga dentro del circuito primario por falta de contención. Acción correctiva: Reparación de tubería dependiendo de su materialidad, en caso de ser necesario, cambiar el componente.	3	24	1050	1000	0	6150
Sistema de generación de agua caliente		Generar agua caliente a 85 °C mediante una central térmica de calefacción, mantenimiento una presión de trabajo de 3 bar.		Sobrepresión en circuito primario y caldera >3 bar	1.1.15	Válvula de seguridad no actúa	Evidente / No evidente: No Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida de carga dentro del circuito primario de calefacción. Acción correctiva: Reparación de los puntos afectados o si es necesario, cambio de tramo o componente.	0,50	2	0	300	67467	33883,5
					1.1.16	Válvulas de paso del fluido agripadas	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida de carga dentro del circuito primario de calefacción. Acción correctiva: Reparación de los puntos afectados o si es necesario, cambio de tramo o componente.	0,25	3	0	500	0	125
					1.1.17	Tubos de salida de humos de combustión obstruidos	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida de carga del circuito de calefacción al presentar filtraciones. Acción correctiva: Capacitación de montaje de bombas y generación de instructivos para la actividad.	0,33	6	1050	300	0	450
					1.1.18	Regulación incorrecta de rampa de gas del quemador	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida de carga del circuito de calefacción al presentar filtraciones. Acción correctiva: Detención de la bomba y cambio del componente sello mecánico.	0,20	36	1050	2000	0	610
					1.1.19	Válvula de llenado automático no cierra	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida de carga dentro del circuito primario de calefacción. Acción correctiva: Aislar el sistema y generar reapriete de placas de intercambiador de calor.	2	2	0	200	0	400
Sistema de generación de agua caliente	2	Generar agua caliente a 85 °C mediante una central térmica de calefacción, mantenimiento una presión de trabajo de 3 bar.	2.1	Quemador no enciende, no opera o se bloquea	2.1.1	Termostato de regulación o de seguridad en estado abierto	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Impide directamente el funcionamiento del quemador y a la vez la caldera. Acción correctiva: Generar regulación o sustituirlo.	0,50	2	0	300	0	150

					2.1.2	Rotura de membrana de válvula reguladora de gas	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Impide directamente el funcionamiento del quemador y a la vez la caldera. Acción correctiva: Aislar válvula a intervenir y generar apertura del dispositivo.	0,50	6	1050	31,96	0	540,98
					2.1.3	Rotura en línea de suministro de gas	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Impide directamente el funcionamiento del quemador y a la vez la caldera. Acción correctiva: Aislar circuito reparar cañería de suministro dependiendo de su diámetro, en caso de ser necesario, cambiar tramo afectado.	0,20	24	1050	31,96	0	216,392
					2.1.4	Falta de suministro eléctrico	Evidente / No evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Quemador bloqueado, no opera por condición de conexión. Acción correctiva: Revisión de componentes y conexionado de control y fuerza del quemador.	2	3	1050	31,96	0	2163,92
					2.1.5	Trabamiento o bloqueo de motor de quemador	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Quemador bloqueado, no opera por condición de motor. Acción correctiva: Revisión de componentes y conexionado, sustitución o desbloqueo del relé térmico al retorno de las 3 fases.	0,33	3	0	31,96	0	10,65333333
					2.1.6	Presóstat de aire del quemador no conmuta	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Genera deficiencia en la combustión y en algunos casos hasta el bloqueo del quemador. Acción correctiva: Cambio de componente, sustituir caja de control y/o regulación.	0,50	6	1050	500	0	775
					2.1.7	Electroválvula de regulación de gas no actúa (apertura o cierre)	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Afecta directamente el funcionamiento del quemador y proceso productivo. Acción correctiva: Verificación de estado de solenoide de válvula, inspección de cuerpo de válvula por obstrucción y de ser necesario, se cambia el componente.	0,50	6	1050	1000	0	1025
					2.1.8	Sonda de ionización cortada	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Genera deficiencia en la combustión y en algunos casos el bloqueo del quemador. Acción correctiva: sustitución, rehacer conexiones, comprobar posición de sonda.	0,50	24	1050	1000	0	1025

					2.1.9	Bloqueo de quemador una vez iniciado su proceso operativo	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Genera deficiencia en la combustión y en algunos casos hasta el bloqueo del quemador. Acción correctiva: Verificar sensores de gas y a la vez controlar la presión del circuito de abastecimiento del suministro.	0,50	6	1050	2000	0	1525
					2.1.10	Servomotor del quemador defectuoso, tarda más tiempo en cambiar de estado	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Ineficiencia en el proceso de combustión para la calefacción del fluido y en algunos casos hasta el bloqueo del quemador. Acción correctiva: Sustitución componentes servomotor y calibración de quemador de la caldera.	0,33	6	1050	1500	0	850
					2.1.11	rotura de eje de levas en servomotor	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Ausencia de suministro de gas o intermitencia. Acción correctiva: Sustitución.	0,25	36	1050	2000	0	762,5
					2.1.12	Cabezal de combustión obstruido	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Intermitencia en la inyección del suministro de gas. Acción correctiva: Limpieza de cabezal, recambio de varillas si es necesario.	0,5	6	1050	2000	0	1525
Sistema de generación de agua caliente	3	Generar agua caliente a 85 °C mediante una central térmica de calefacción, mantenimiento una presión de trabajo de 3 bar.	3.1	Sistema de impulsión de agua potable no opera	3.1.1	Rotura de conmutador físico del presostato	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Impide directamente el control de funcionamiento de las bombas centrífugas Acción correctiva: Sustitución.	2	2	0	500	0	1000
					3.1.2	Soltura de impulsor de bombas de elevación	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Ruido excesivo, golpeteo y vibraciones al circuito. Acción correctiva: Detención y retiro de bomba, mantención y/o cambio de impulsor.	0,33	3	0	500	0	166,6666667
					3.1.3	Válvulas de paso del fluido agripadas y en mal estado	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Impide directamente el paso del fluido, genera aumento de presión en el sistema. Acción correctiva: Sustitución.	0,33	2	0	500	0	166,6666667

					3.1.4	Rotura en línea de impulsión de agua	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Pérdida del suministro hídrico, funcionamiento continuo de bombas centrífugas, desabastecimiento de instalaciones. Acción correctiva: Revisión e identificación de la rotura y reparación.	0,33	8	1050	5000	0	2016,666667
					3.1.5	Ausencia de suministro eléctrico	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Imposibilidad de suministrar agua a las instalaciones. Acción correctiva: Verificación de tensión en gabinete de fuerza y control.	0,33	3	1050	500	0	516,666667
					3.1.6	Ausencia de suministro hídrico desde la matriz	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Imposibilita el abastecimiento de agua a las instalaciones. Acción correctiva: Comunicación inmediata con EECC encargada de la distribución.	4	6	1050	500	0	6200
					3.1.7	Rotura de línea de alimentación de bombas	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Imposibilita el abastecimiento de agua a las instalaciones. Acción correctiva: Revisión, análisis y reparación de línea.	0,25	8	1050	5000	0	1512,5
					3.1.8	Rotura de estanques de almacenamiento de agua	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Imposibilita el abastecimiento de agua a las instalaciones. Acción correctiva: Revisión, análisis y reparación de estanque.	0,10	48	1050	10000	0	1105
					3.1.9	Tubería de impulsión de agua obstruido	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Abastecimiento de agua de manera parcial o en menor cantidad. Acción correctiva: Revisión, análisis y retiro del material.	0,50	6	1050	2000	0	1525
					3.1.10	Rotura de membrana de estanque hidroneumático	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Imposibilita el buen control de volumen y presión en el interior del circuito hídrico. Acción correctiva: Sustitución.	0,50	24	1050	5000	0	3025
					3.1.11	Ruido anómalo en rodamientos de motor eléctrico	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Falla potencial. Acción correctiva: Extracción y revisión de los elementos rodantes.	0,25	3	0	500	0	125

				3.1.12	Golpe de Ariete	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Falla potencial, daño al circuito completo por los golpes y vibraciones generadas. Acción correctiva: Verificar estados de válvulas de retención del circuito, comprobar estado de las membranas del hidropack.	0,25	2	0	5000	0	1250
				3.1.13	Cavitación	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Falla potencial, daño al circuito completo por los golpes y vibraciones generadas. Acción correctiva: Verificar presencia y/o niveles del agua almacenada.	0,25	2	0	3000	0	750
												83727,42

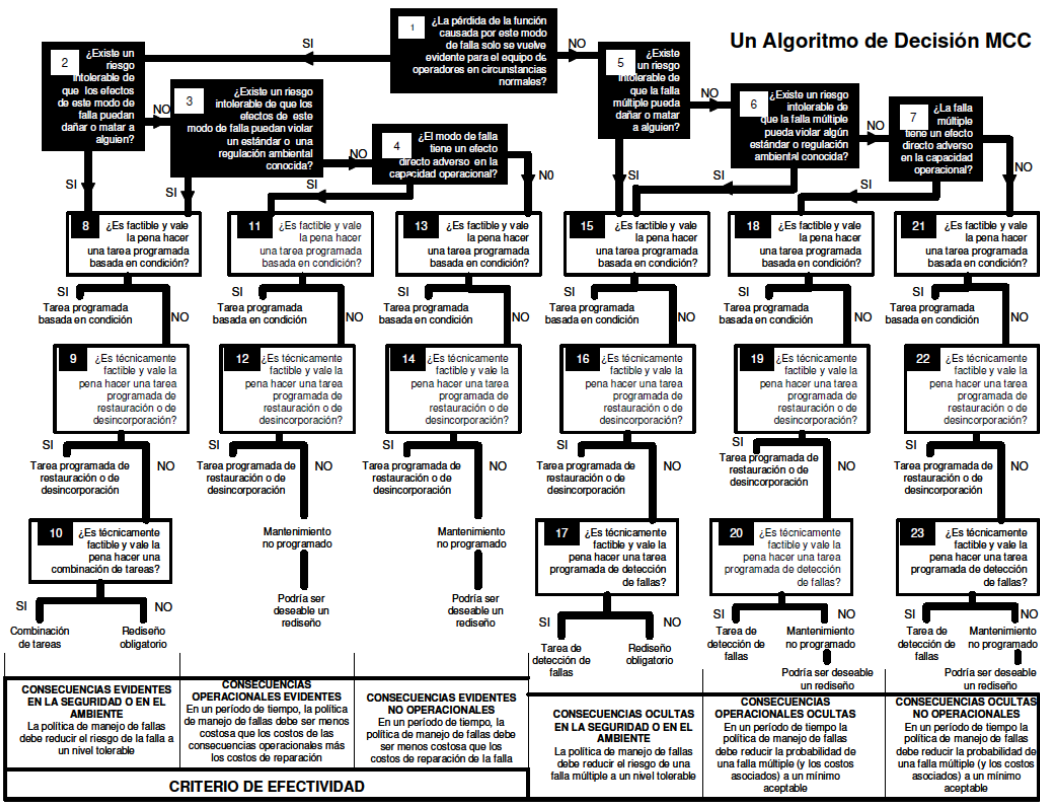
Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en proceso productivo.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA DEL CASO EN
ESTUDIO, CON APOYO DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS COSTO
RIESGO BENEFICIO

3. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

3.1. SELECCIÓN Y VALORIZACIÓN DE ESTRATÉGIAS DE MANTENIMIENTO

Una vez realizado el Análisis de Modos y Efecto de Fallas, el equipo multidisciplinario es el encargado de seleccionar las actividades que buscarán eliminar o mitigar los distintos modos de falla anteriormente declarados. El modelo del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad presenta una herramienta en apoyo a la selección de actividades de mantenimiento, el cual expone distintas estrategias con la finalidad de evitar los posibles efectos y/o consecuencias de cada modo de falla, esta herramienta es el árbol lógico de decisión.



Fuente: Captura obtenida al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

Figura 3-1 Árbol lógico de decisión (MCC), según Norma SAE JA 1012.

Con la ayuda del árbol lógico de decisión, el equipo multidisciplinario, deberá identificar, seleccionar y detallar la actividad de mantenimiento escogida según las características del modo de falla evaluado, también es necesario presentar la frecuencia de aplicación de la actividad, basado en el historial del modo de falla.

3.1.1. Actividades de mantenimiento y su clasificación

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad clasifica las actividades de mantenimiento en dos grandes grupos: las de acciones preventivas y las acciones correctivas.

3.1.1.1. Actividades de mantenimiento preventivo (proactivo)

Para la metodología de MCC, las actividades de mantenimiento preventivo se dividen en cuatro categorías.

Tabla 3-1 Actividades de mantenimiento preventivo (proactivo)

Tareas programadas en base a condición	Las actividades programadas en base a condición son las llamadas “actividades predictivas”, se basan en el hecho de que gran parte de los eventos no ocurren de manera instantánea, si no que se van desarrollando progresivamente durante un periodo. Si el modo de falla es detectado bajo la condición normal de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en el activo, que ayuden a prevenir estos modos de falla y disminuir o eliminar su consecuencia.
Tareas de reacondicionamiento	Son actividades periódicas que se realizan para reestablecer un activo físico a su condición de operación original. Se ejecutan actividades preventivas en intervalos de tiempo menores al término de su vida útil. En este tipo de tareas, el activo es puesto fuera de servicio, generando inspecciones generales, limpieza y cambio de componentes si es necesario. Este tipo de restauraciones programadas son llamadas “overhauls” y son comunes en activos de gran envergadura.
Tareas de sustitución-reemplazo programado	Estas tareas están enfocadas específicamente al reemplazo (cambio) de componentes o partes usadas, antes que se vea afectada su vida productiva (antes que se produzca la falla). Las tareas de reemplazo devolverán a su condición original ciertas partes del sistema, ya que el componente dañado, en mal estado o muchas veces aún apto para continuar operando, es cambiado por un componente completamente nuevo, la diferencia con las tareas anteriores es que esta se enfoca en un componente, no en todo el equipo.
Tareas de búsqueda de fallas ocultas	Los modos de falla ocultos, no se pueden visualizar a simple vista bajo una condición de operación normal de trabajo, por lo que esta falla no tiene consecuencias directas y evidentes, pero si puede generar fallas múltiples al sistema. Una de las estrategias para minimizar este tipo de fallas o sus efectos, es disminuir su probabilidad de ocurrencia, generando inspecciones periódicas para comprobar si la función oculta trabaja correctamente.

Fuente: Elaboración propia en base al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

3.1.1.2. Actividades de mantenimiento correctivo (reactivo)

Cuando las actividades preventivas no son aplicables o efectivas al modo de falla, el método MCC propone actividades de mantenimiento correctivo, estas actividades correctivas o reactiva, se dividen en dos categorías.

Tabla 3-2 Actividades de mantenimiento correctivo (reactivo)

Rediseño	En caso de que ninguna de las cuatro actividades preventivas ayude a reducir la posibilidad de ocurrencia de los distintos modos de falla, se hace necesario realizar un rediseño o una modificación (de la estrategia de mantenimiento o del modo de falla) que permita eliminar o minimizar las consecuencias latentes.
Actividades de mantenimiento no programado	En el caso de no conseguir actividades preventivas económicamente más baratas que los posibles efectos de los distintos modos de falla con consecuencias operacionales o no operacionales, se podrá tomar la decisión de esperar la falla y actuar de forma reactiva.

Fuente: Elaboración propia en base al libro “Ingeniería en Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestión de activos”.

3.1.2. Terminología adoptada

- I. **Actividad de Mantenimiento:** Intervención básica de mantenimiento (acciones), tarea elemental realizada por un técnico/especialista (¿Qué hacer?), estas pueden ser inspección, ejecución, lubricación, limpieza, sustitución, entre otros.
- II. **Política de mantenimiento:** Regla o conjunto de reglas que describen el mecanismo de activación de las diferentes acciones de mantenimiento.
- III. **Concepto de mantenimiento:** Conjunto de políticas y acciones de mantenimiento de diversa índole y estructura general de decisiones en las que se planifican y soportan (La lógica y receta del mantenimiento a utilizar).

Tabla 3-3 Formato plantilla propuesta de mantenimiento AMEF del MCC

#	Modo de Falla	Política	Actividad Mantenimiento	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación [MESES]	Número de personas	Tiempo ejecución	Especialidad	Costo hh especialidad	Costos HH [USD]	Otros costos directos [\$USD]	Costo del plan anual [\$USD]
1.1.1	Rotura vástago de termostato de inmersión	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual en detenciones programadas. Revisión del estado del vástago que se encuentra en contacto con el fluido.	12	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	0	27,84
1.1.2	Sonda de control de temperatura cortado	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual en detenciones programadas y verificación de continuidad.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	300	341,76
1.1.3	Saturación de cámaras de salida de humos de la caldera	Mantenimiento Preventivo	Limpieza	Realizar mantención programada, limpieza de cámaras y deflectores (retirar todo el hollín generado)	12	2	4	Electricista y Mecánico	13,92	55,68	200	255,68
1.1.4	Obstrucción del filtro de válvula reguladora de gas del quemador	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección programada y mantener un control diario de presiones para verificar la saturación del filtro	4	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	0	83,52
1.1.5	Trabamiento de impulsor de bombas de circulación de agua caliente	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección programada de estado del impulsor, generar ruta de lubricación y establecer equilibrios de funcionamiento con sus bombas pares.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	400	441,76
1.1.6	Purgadores automáticos del circuito primario, no actúan	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección programada de operatividad.	1	2	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	200	367,04
1.1.7	Bomba de condensación de la caldera no opera	Mantenimiento Preventivo	Inspección, limpieza, ejecución	Realizar mantención programada, verificando estado de impulsor, sellos, válvulas, limpieza de filtros y reapriete conexonado eléctrico.	4	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	500	583,52
1.1.8	Pérdida de integridad mecánica cuerpo de caldera (tubos de salida humos)	Mantenimiento Preventivo	Predictivo	Inspección por ultrasonido (detección de fallas y medición de espesores)	4	1	1	Especialistas Predictivos	119,05	119,05	100	457,15
1.1.9	Bomba de condensación de la caldera no opera	Mantenimiento Preventivo	Inspección, limpieza, ejecución	Realizar mantención programada, verificando estado de impulsor, sellos, válvulas, limpieza de filtros y reapriete conexonado eléctrico.	4	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	500	583,52
1.1.10	Trabamiento de impulsor de bombas de circulación de agua caliente	Mantenimiento Preventivo	Inspección, lubricación	Realizar inspección programada de estado del impulsor, generar ruta de lubricación y establecer equilibrios de funcionamiento con sus bombas pares.	12	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	200	227,84
1.1.11	Desgaste de sellos mecánicos de bombas de circulación	Mantenimiento Preventivo	Sustitución	Cambio de sellos mecánicos	2	2	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	200	283,52
1.1.12	Soltura entre placas en el intercambiados de calor	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual en detenciones programadas. Revisión estado de saturación de placas, ajustar torque en elementos de sujeción y detección de grietas.	6	2	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	400	427,84

1.1.13	Rotura en líneas o estanques de suministro de gas	Mantenimiento Preventivo	Predictivo	Inspección por ultrasonido (detección de fallas y medición de espesores).	4	1	1	Especialistas Predictivos	119,05	119,05	200	557,15
1.1.14	Filtración en tuberías y válvulas del circuito primario	Mantenimiento Preventivo	Predictivo	Inspección por ultrasonido (detección de fallas y medición de espesores).	4	1	1	Especialistas Predictivos	119,05	119,05	200	557,15
1.1.15	Válvula de seguridad no actúa	Mantenimiento Correctivo	Falla Oculta	Generar programa de inspección "falla oculta".	6	2	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	100	127,84
1.1.16	Válvulas de paso del fluido agripadas	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección programada para comprobar el estado de las válvulas asociadas a los equipos críticos.	12	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	300	327,84
1.1.17	Tubos de salida de humos de combustión obstruidos	Mantenimiento Preventivo	Inspección, ejecución, limpieza	Realizar mantención programada, limpieza de cámaras y deflectores (retirar todo el hollín acumulado)	12	2	4	Electricista y Mecánico	13,92	55,68	200	255,68
1.1.18	Regulación incorrecta de rampa de gas del quemador	Mantenimiento Preventivo	Ejecución, predictivo	Realizar mantención programada para regular la inyección de suministros y medir los gases de la combustión.	12	2	1	Especialista	1500,00	1500	100	1600
1.1.19	Válvula de llenado automático no cierra	Mantenimiento Preventivo	Sustitución	Realizar mantenimiento programado basado en tiempo, cambio de válvula.	4	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	300	383,52
2.1.1	Termostato de regulación o de seguridad en estado abierto	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual y comprobación de operatividad en detenciones programadas.	12	2	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	0	13,92
2.1.2	Rotura de membrana de válvula reguladora de gas	Mantenimiento Preventivo	Sustitución	Realizar mantenimiento programado basado en tiempo, cambio de membrana.	12	2	4	Electricista y Mecánico	13,92	55,68	300	355,68
2.1.3	Rotura en línea de suministro de gas	Mantenimiento Preventivo	Predictivo	Inspección por ultrasonido (detección de fallas y medición de espesores).	4	1	1	Especialistas Predictivos	119,05	119,05	200	557,15
2.1.4	Falta de suministro eléctrico	Mantenimiento Correctivo	Falla Oculta	Sugerir generar programa de inspecciones con grupo electrógeno de respaldo "falla oculta". FUERA DEL ALCANCE DEL CONTRATO	3	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	0	167,04
2.1.5	Trabamiento o bloqueo de motor de quemador	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual y comprobación de operatividad en detenciones programadas.	12	2	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	0	13,92
2.1.6	Presóstato de aire del quemador no conmuta	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual en detenciones programadas y verificación de operatividad.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	200	241,76
2.1.7	Electroválvula de regulación de gas no actúa (apertura o cierre)	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección mecánica y eléctrica en detenciones programadas y verificación de operatividad.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	200	241,76
2.1.8	Sonda de ionización cortada	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual en detenciones programadas y verificación de continuidad.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	200	241,76
2.1.9	Bloqueo de quemador una vez iniciado su proceso operativo	Mantenimiento Preventivo	Inspección, ejecución	Realizar inspección en circuito y dispositivos de control del quemador en detenciones programadas y verificación de operatividad.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	200	241,76
2.1.10	Servomotor del quemador defectuoso, tarda más tiempo en cambiar de estado	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección visual (desgaste o trabamiento) de los mecanismos de transmisión para el actuar del componente, incorporar en las detenciones programadas.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	200	241,76

2.1.1.11	rotura de eje de levas en servomotor	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Inspección visual del eje, detección de grietas y esfuerzos asociados al funcionamiento de estos elementos.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	100	141,76
2.1.1.12	Cabezal de combustión obstruido	Mantenimiento Preventivo	Inspección, ejecución, limpieza	Realizar inspección visual en detenciones programadas, generar limpieza y verificación de operatividad.	12	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	100	141,76
3.1.1	Rotura de conmutador físico del presostato	Mantenimiento Preventivo	Inspección, ejecución	Realizar pruebas y simulaciones de funcionamiento en detenciones programadas y verificación de operatividad.	12	2	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	200	213,92
3.1.2	Soltura de impulsor de bombas de elevación	Mantenimiento Preventivo	Inspección, ejecución	Realizar inspección visual de desgaste, agrietamiento y soltura del impulsor, ajustar si es necesario.	12	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	200	227,84
3.1.3	Válvulas de paso del fluido agripadas y en mal estado	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección programada para comprobar el estado de las válvulas asociadas a los equipos críticos.	12	1	1	Electricista y Mecánico	13,92	13,92	300	313,92
3.1.4	Rotura en línea de impulsión de agua	Mantenimiento Preventivo	Predictivo	Inspección por ultrasonido (detección de fallas y medición de espesores).	4	1	1	Especialista	119,05	119,05	200	557,15
3.1.5	Ausencia de suministro eléctrico	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Sugerir generar programa de inspecciones con grupo electrógeno de respaldo "falla oculta". FUERA DEL ALCANCE DEL CONTRATO	3	2	3	Electricista y Mecánico	13,92	41,76	0	167,04
3.1.6	Ausencia de suministro hídrico desde la matriz	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Activar protocolo comunicación con empresa a cargo de suministrar el recurso y activar by pass con estanques de almacenamiento.	Cada vez	1	1	Operador de Turno	5,15	5,15	0	20,6
3.1.7	Rotura de línea de alimentación de bombas	Mantenimiento Preventivo	Predictivo	Inspección por ultrasonido (detección de fallas y medición de espesores).	4	1	1	Especialista	119,05	119,05	200	557,15
3.1.8	Rotura de estanques de almacenamiento de agua	Mantenimiento Preventivo	Predictivo	Inspección por ultrasonido (detección de fallas y medición de espesores).	4	1	1	Especialista	119,05	119,05	200	557,15
3.1.9	Tubería de impulsión de agua obstruido	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Generar control de presiones en testigos de la línea, para comprobar posibles obstrucciones.	12	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	100	127,84
3.1.10	Rotura de membrana de estanque hidroneumático	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección preventiva en detenciones programadas. Asegurar disponibilidad del estanque hidroneumático, cambiar membrana	12	2	4	Electricista y Mecánico	13,92	55,68	1000	1055,68
3.1.11	Ruido anómalo en rodamientos de motor eléctrico	Mantenimiento Preventivo	Inspección, ejecución, limpieza, lubricación	Realizar plan preventivo de lubricación y cambio de componentes de manera programada.	6	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	300	355,68
3.1.12	Golpe de Ariete	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Realizar inspección preventiva en detenciones programadas. Asegurar disponibilidad del estanque hidroneumático y válvulas unidireccionales.	6	2	2	Electricista y Mecánico	13,92	27,84	100	155,68
3.1.13	Cavitación	Mantenimiento Preventivo	Inspección	Controlar el abastecimiento matriz de agua potable y asegurar niveles óptimos de los estanques de almacenamiento.	1	1	1	Operador de Turno	5,15	5,15	100	161,8
											9000	14961,65

Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en el contrato de mantenimiento.

3.2. ANÁLISIS COSTO – RIESGO – BENEFICIO Y SU AHORRO POTENCIAL

La metodología Costo Riesgo Beneficio es una comparación cuantitativa costo - beneficio que buscar identificar si las consecuencias o pérdidas producidas por una falla (pérdidas de producción por indisponibilidad, pérdidas de calidad de los productos, costos de reparación, multas por seguridad, higiene o medio ambiente, entre otros), excedan los costos de realizar las actividades de mitigación para evitar el evento, evaluados ambos desde la mirada del ciclo de vida del activo.

3.2.1. Costos asociados al Mantenimiento

Al presentar los costos de mantenimiento, se deben considerar los costos totales asociados, tomando en cuenta las múltiples variables que conforman tanto los costos directos, como los indirectos del servicio. El cálculo preciso de los costos en los planes de acción de mitigación o mejora del servicio, constituyen una parte fundamental de los análisis financieros para conocer si el recurso a invertir permitirá obtener los beneficios esperados.

Los costos de la actividad de mantenimiento o costos directos del servicio están conformados por los siguientes factores: mano de obra, insumos y/o materiales, herramientas, acreditaciones y algunos gastos generales enfocados a las instalaciones, tal como se detallan en la siguiente imagen.

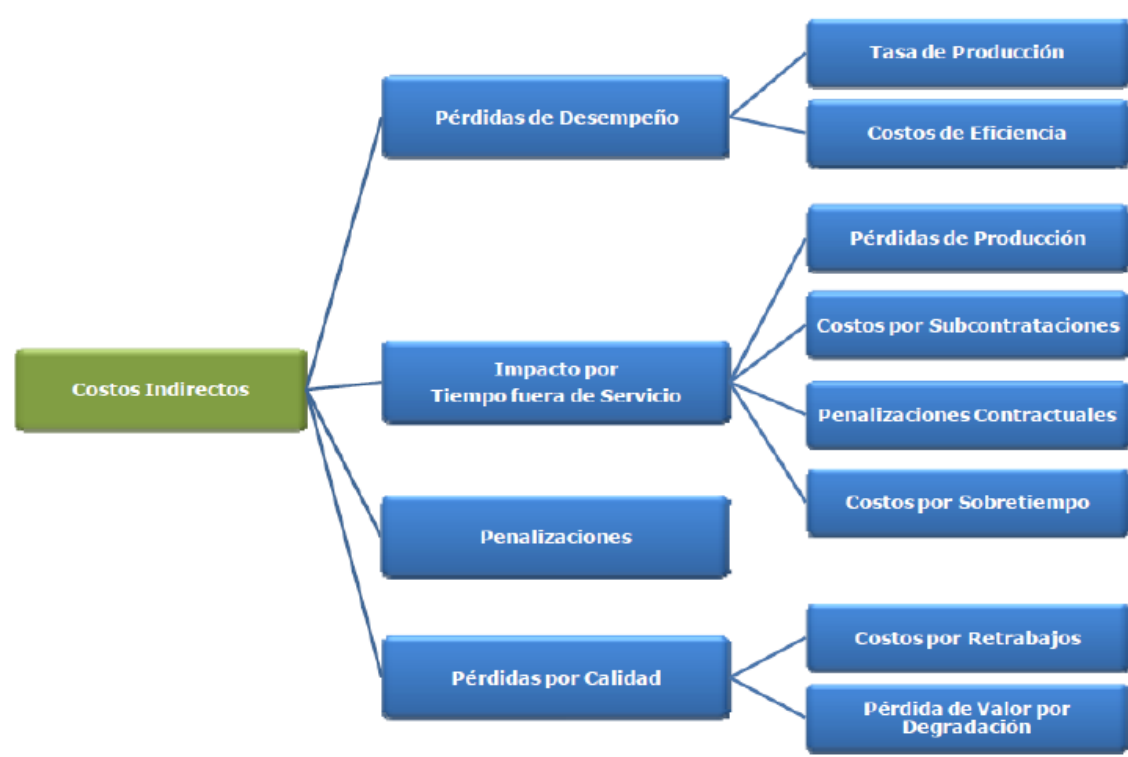


Fuente:

Diagrama 3-1 Costos directos

3.2.2. Costos asociados al Riesgo

El lucro cesante, las penalizaciones y las multas son pérdidas monetarias generada por la ocurrencia de un evento no deseado, mientras se realiza el mantenimiento para restituir la condición de normalidad operacional, a este tipo de costos también se les conoce como costos indirectos y entre estos están: las pérdidas de producción, de calidad, tiempos fuera de servicio, sanciones legales, entre otros.



Fuente:

Diagrama 3-2 Costos indirectos

3.2.3. Beneficios del Mantenimiento

Para validar que el beneficio obtenido por los planes propuestos sean los esperados, es necesario comprender y conocer detalladamente las razones o fallas que justifican estas soluciones o actividades de mitigación.

Las soluciones propuestas deben satisfacer los siguientes criterios:

- Prevenir la recurrencia de las fallas (Frecuencia de fallas).
- Controlar las soluciones o planes de mitigación definidos.
- Que las actividades propuestas puedas satisfacer las metas y objetivos organizacionales, sustentada en un análisis técnico económico.

3.2.4. Análisis Costo – Riesgo – Beneficio del caso de estudio

Para el plan de mantenimiento presentado como medida de solución o mitigación, se presentan los siguientes detalles económicos que se deben tener en consideración al momento del cálculo de costos de mantenimiento.

3.2.5. Costos directos del servicio

- I. Costos de horas hombre de Mantenedor Eléctrico del contrato.
Valor/hora: \$7,73 USD
- II. Costos de horas hombre de Mantenedor Mecánico del contrato.
Valor/hora: \$6,19 USD
- III. Costos de horas hombre relacionadas a los Operadores del contrato (operación de central térmica de calefacción). Valor/hora: \$5,15 USD
- IV. Costo por servicio de calibración y análisis de combustión en quemadores de GLP (servicio externo). Valor: \$1500 USD
- V. Costos de horas hombre del Especialista Predictivo (servicio externo).
Valor/hora: \$119,05 USD
- VI. Herramientas e instrumentos para cubrir el plan de mantenimiento propuesto (Llave de torque, Multímetro, Medidor de aislación, Extractores, Juego de llaves, Destornilladores, entre otros). Valor anual: \$2500 USD
- VII. Repuestos críticos en stock para cubrir el mantenimiento basado en tiempo según la calendarización del plan (Termostatos de inmersión, Membranas para estanques hidroneumáticos, Válvulas, Sellos Mecánicos, Bombas de recirculación, Manómetros, Purgadores automáticos, Válvulas de llenado automático, entre otros). Valor anual: \$5000 USD
- VIII. Fungibles varios para el mantenimiento (grasa, electrodos, teflón, tubería, sellantes, tornillos, entre otros). Valor anual: \$1500 USD

Tabla 3-4 Costos directos del servicio

I.	Costos de horas hombre de Mantenedor Eléctrico del contrato.	Valor/hora: \$7,73 USD
II.	Costos de horas hombre de Mantenedor Mecánico del contrato.	Valor/hora: \$6,19 USD
III.	Costos de horas hombre relacionadas a los Operadores del contrato (operación de central térmica de calefacción).	Valor/hora: \$5,15 USD
IV.	Costo por servicio de calibración y análisis de combustión en quemadores de GLP (servicio externo).	Valor: \$1500 USD
V.	Costos de horas hombre del Especialista Predictivo (servicio externo).	Valor/hora: \$119,05 USD
VI.	Herramientas manuales y eléctricas e instrumentos de medición para cubrir el plan de mantenimiento propuesto.	Valor anual: \$2500 USD
VII.	Repuestos críticos en stock para cubrir el mantenimiento basado en tiempo según la calendarización del plan y emergencias.	Valor anual: \$5000 USD
VIII.	Fungibles varios para el mantenimiento.	Valor anual: \$1500 USD

Fuente: Elaboración propia en base a costos asociados al servicio de operación y mantenimiento.

3.2.6. Costos indirectos del servicio

- I. Costos por indisponibilidad del servicio: la multa por una indisponibilidad mayor a cinco horas continuas tiene multa con un valor de \$1050 USD.
- II. Costos por incumplimiento al Decreto 10: multa establecida por el Libro Décimo del Código Sanitario, el valor fluctúa entre un décimo de una UTM hasta 1000 UTM.
- III. Riesgo total futuro USD/año con nueva propuesta de mitigación: valor de \$37314 USD.

Tabla 3-5 Costos indirectos del servicio

I.	Costos por indisponibilidad del servicio.	Valor multa: \$1050 USD
II.	Costos por incumplimiento al Decreto 10.	Valor multa: \$67467 USD
III.	Riesgo total futuro USD/año con nueva propuesta de mitigación	Valor anual: \$37314 USD

Fuente: Elaboración propia en base a costos asociados al servicio de operación y mantenimiento.

Valores unidades monetarias:

- Dólar Estadounidense (USD): \$970 CLP (pesos chilenos).
- Unidad Tributaria Mensual (UTM): \$65443 CLP (pesos chilenos).

3.2.7. Beneficios de la propuesta

En relación con los posibles beneficios de la propuesta del plan de mantenimiento, se declara lo siguiente:

- Se estima una disminución de la frecuencia de fallas por año en un 50%, a través de las distintas actividades que forman parte del plan de mantenimiento basado en los modos de falla.
- Se espera una disminución de un 25% en los tiempos de intervención y reacción (MTTR) en los eventos de falla analizados, al estar en conocimiento de la información de los distintos modos y efectos de fallas detectados en la etapa de creación del AMEF. Con la información de la misma herramienta, se podrá generar un stock mínimo de fungibles y repuestos específicos del sistema crítico analizado, decisión basada en el historial de modos de falla y frecuencias.
- El aumento de disponibilidad, una vez implementado el plan de mantenimiento, sería del orden de 0,05%, por lo que el plan no aumentará significativamente este indicador.
- El costo de implementación del plan de mantenimiento propuesto es de \$ 14.962 USD/año, considerando los costos que aplican al tener un plan básico (situación actual) asciende a \$ 83.727 USD, el beneficio económico anual esperado (ahorro potencial) por la implementación de la propuesta “plan a la medida” para la central térmica de calefacción y sus subsistemas sería de \$ 31.452 USD.

Tabla 3-6 Formato plantilla Costo Beneficio del MCC

#	Modo de Falla	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año [USD]	MTTR (Log. - Ejec. - PE) [USD]	Multas por indisponibilidad >5 horas [USD]	Costos directos por falla \$/falla [USD]	Multas por incumplimiento Decreto 10 [USD]	Riesgo Futuro esperado \$/año [USD]	Disponibilidad situación actual	Disponibilidad situación futura	Ahorro Potencial Anual [USD]
1.1.1	Rotura vástago de termostato de inmersión	0,50	2,25	0	200	0	100	99,97%	99,99%	72
1.1.2	Sonda de control de temperatura cortado	0,25	4,50	0	200	0	50	99,97%	99,99%	233
1.1.3	Saturación de cámaras de salida de humos de la caldera	0,25	4,50	0	100	0	25	99,97%	99,99%	294
1.1.4	Obstrucción del filtro de válvula reguladora de gas del quemador	1,00	0,75	0	100	0	100	99,98%	99,99%	16
1.1.5	Trabamiento de impulsor de bombas de circulación de agua caliente	1,50	1,50	0	500	0	750	99,93%	99,97%	308
1.1.6	Purgadores automáticos del circuito primario, no actúan	2,00	1,50	0	300	0	600	99,91%	99,97%	233
1.1.7	Bomba de condensación de la caldera no opera	1,00	1,50	0	300	0	300	99,95%	99,98%	-284
1.1.8	Pérdida de integridad mecánica del cuerpo de caldera (tubos de salida humos)	1,00	18,00	1050	1000	0	2050	99,45%	99,79%	1593
1.1.9	Bomba de condensación de la caldera no opera	1,00	1,50	0	300	0	300	99,95%	99,98%	-284
1.1.10	Trabamiento de impulsor de bombas de circulación de agua caliente	1,50	0,75	0	500	0	750	99,97%	99,99%	522
1.1.11	Desgaste de sellos mecánicos de bombas de circulación	2,00	0,75	0	200	0	400	99,95%	99,98%	116
1.1.12	Soltura entre placas en el intercambiados de calor	1,00	1,50	0	32	0	32	99,95%	99,98%	-396
1.1.13	Rotura en líneas o estanques de suministro de gas	0,10	18,00	1050	32	0	108	99,94%	99,98%	-449
1.1.14	Filtración en tuberías y válvulas del circuito primario	1,50	18,00	1050	1000	0	3075	99,17%	99,69%	2518

1.1.15	Válvula de seguridad no actúa	0,25	1,50	0	300	67467	16942	99,99%	100,00%	16814
1.1.16	Válvulas de paso del fluido agripadas	0,13	2,25	0	500	0	63	99,99%	100,00%	-265
1.1.17	Tubos de salida de humos de combustión obstruidos	0,16	4,50	0	300	0	50	99,98%	99,99%	144
1.1.18	Regulación incorrecta de rampa de gas del quemador	0,10	27,00	1050	2000	0	305	99,92%	99,97%	-1295
1.1.19	Válvula de llenado automático no cierra	1,00	1,50	0	200	0	200	99,95%	99,98%	-184
2.1.1	Termostato de regulación o de seguridad en estado abierto	0,25	1,50	0	300	0	75	99,99%	100,00%	61
2.1.2	Rotura de membrana de válvula reguladora de gas	0,25	4,50	0	32	0	8	99,97%	99,99%	177
2.1.3	Rotura en línea de suministro de gas	0,10	18,00	1050	32	0	108	99,94%	99,98%	-449
2.1.4	Falta de suministro eléctrico	1,00	2,25	1050	32	0	1082	99,93%	99,97%	915
2.1.5	Trabamiento o bloqueo de motor de quemador	0,16	2,25	0	32	0	5	99,99%	100,00%	-9
2.1.6	Presóstato de aire del quemador no conmuta	0,25	4,50	0	500	0	125	99,97%	99,99%	408
2.1.7	Electroválvula de regulación de gas no actúa (apertura o cierre)	0,25	4,50	0	1000	0	250	99,97%	99,99%	533
2.1.8	Sonda de ionización cortada	0,25	18,00	1050	1000	0	513	99,86%	99,95%	271
2.1.9	Bloqueo de quemador una vez iniciado su proceso operativo	0,25	4,50	0	2000	0	500	99,97%	99,99%	783
2.1.10	Servomotor del quemador defectuoso, tarda más tiempo en cambiar de estado	0,16	4,50	0	1500	0	250	99,98%	99,99%	358
2.1.11	rotura de eje de levas en servomotor	0,13	27,00	1050	2000	0	381	99,90%	99,96%	239
2.1.12	Cabezal de combustión obstruido	0,25	4,50	0	2000	0	500	99,97%	99,99%	883
3.1.1	Rotura de conmutador físico del presostato	1,00	1,50	0	500	0	500	99,95%	99,98%	286
3.1.2	Soltura de impulsor de bombas de elevación	0,16	2,25	0	500	0	83	99,99%	100,00%	-145

3.1.3	Válvulas de paso del fluido agripadas y en mal estado	0,16	1,50	0	500	0	83	99,99%	100,00%	-231
3.1.4	Rotura en línea de impulsión de agua	0,16	6,00	1050	5000	0	1008	99,97%	99,99%	451
3.1.5	Ausencia de suministro eléctrico	0,16	2,25	1050	500	0	258	99,99%	100,00%	91
3.1.6	Ausencia de suministro hídrico desde la matriz	2,00	4,50	0	500	0	1000	99,72%	99,90%	5179
3.1.7	Rotura de línea de alimentación de bombas	0,13	6,00	1050	5000	0	756	99,98%	99,99%	199
3.1.8	Rotura de estanques de almacenamiento de agua	0,05	36,00	1050	10000	0	553	99,94%	99,98%	-5
3.1.9	Tubería de impulsión de agua obstruido	0,25	4,50	0	2000	0	500	99,97%	99,99%	897
3.1.10	Rotura de membrana de estanque hidroneumático	0,25	18,00	1050	5000	0	1513	99,86%	99,95%	457
3.1.11	Ruido anómalo en rodamientos de motor eléctrico	0,13	2,25	0	500	0	63	99,99%	100,00%	-293
3.1.12	Golpe de Ariete	0,13	1,50	0	5000	0	63	99,99%	100,00%	469
3.1.13	Cavitación	0,13	1,50	0	3000	0	375	99,99%	100,00%	213
							37314	99,92%	99,97%	31452

Fuente: Elaboración propia en base a costos asociados al contrato de mantenimiento y operación del servicio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a lo abordado con anterioridad, la jerarquización de los activos físicos dentro del sistema de generación de agua caliente y agua caliente sanitaria generó un excelente apoyo estadístico para determinar a los equipos que presentan un mayor riesgo para el negocio, tanto en ámbitos económicos, como en temas de seguridad y medio ambiente.

La central térmica de calefacción como conjunto caldera-quemador es el sistema con mayor criticidad dentro de la cartera de activos bajo del alcance del contrato, ya que ante algún evento catastrófico no deseado que se produzca en la central térmica durante su operación, puede impactar negativamente al proyecto por los posibles daños físicos a las personas, a las instalaciones de servicio y a la vez el sostenimiento económico del contrato por la alta posibilidad de multas asociadas al control legal establecido.

Luego del análisis basado en riesgo generado hacia el contexto operacional del equipo crítico, enfatizado a la declaración de los distintos modos y efectos de como este sistema puede fallar, se logró obtener información relevante del conjunto que anteriormente no se había considerado, componentes del sistema con una alta rotación no controlada que generan fugas económicas dentro de la provisión económica de mantenimiento del contrato y la revelación de necesidad de componentes y repuestos back up necesarios para agilizar la continuidad operacional ante una falla.

Una vez determinadas las actividades de mantenimiento a desarrollar para cada modo de falla detectado en el contexto de la función principal de la central térmica de calefacción, se genera el coste de las distintas acciones de mitigación de riesgo con el objetivo de conocer las posibles diferencias económicas que se pueden alcanzar bajo el escenario del plan actual de mantenimiento versus la propuesta de optimización con la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, obteniendo resultados técnicos y económicos positivos ante la posibilidad de aumento en la disponibilidad del equipo y un ahorro potencial anual en el presupuesto de mantenimiento de \$31452 USD.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

CRESPO Andrés y Parra Carlos. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. 2da edición, 2015. Edita: INGEMAN, España. Capítulos 1 y 2.

SOCIEDAD de ingeniería. 2009. Criterios de Evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. SAE JA1011, SAE Internacional.

ANEXOS

ANEXO A: ORDEN DE TRABAJO RELACIONADA A CALDERA



ALMAR WATER SERVICIOS LATAM

N°: OT64133
Fecha: 2022-12-15
Calificación: 5
Costo Total: \$ CLP 0.00

Orden de Trabajo

GENERÓ: CRISTOBAL YANCA VIDAL	RESPONSABLE: MANTENIMIENTO CODELCO ET NNM
DURACIÓN ESTIMADA: 00:30:00	NOTAS:

ACTIVOS

DESCRIPCIÓN: CALDERA N°2 I.VAR SUPERAC 695 170216
UBICADO EN Ó ES PARTE DE: // CHILE/ MINERÍA/ ZONA CENTRO/
CODELCO NNM EL TENIENTE/ MCTN003F/ LA JUNTA II/
CALDERAS/ CLASIFICACIÓN 1: CALDERAS
TIPO: CALDERA CLASIFICACIÓN 2:
PRIORIDAD: CENTRO DE COSTO:
CÓDIGO DE BARRAS:

TAREAS PLANIFICADAS

DESCRIPCIÓN: MANTENIMIENTO MENSUAL	FECHA Y HORA DE INICIO: 2022-12-15 13:10
FECHA PROGRAMADA: 2022-12-15	FECHA Y HORA DE FINALIZACIÓN: 2022-12-15 13:15
TIPO DE TAREA: PREVENTIVA	DURACIÓN ESTIMADA: 00:30:00
PRIORIDAD:	TIEMPO DE EJECUCIÓN: 00:05:00
ACTIVADOR: Fecha Cada 1 Meses	TIEMPO REAL DE PARO DEL ACTIVO: 00:00:00
CLASIFICACIÓN 1: MECÁNICA	
CLASIFICACIÓN 2:	

SUBTAREAS

	REVISAR POSIBLES FILTRACIONES	☒ Aprobó ☐ Alerta ☐ Falló
	LIMPIEZA EXTERIOR	☒ SI ☐ No ☐ N/A
	REVISIÓN DE CHIMENEA	☒ Aprobó ☐ Alerta ☐ Falló