



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

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

**PROPUESTA DE MEJORAS EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS**

Trabajo de Titulación para optar al título de
INGENIERO EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumno:

Isaac Antonio Bustamante Carrasco

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González



DEDICATORIA

Dedicado a mi madre,

Ana Luisa Carrasco Cerón por ser un ejemplo de esfuerzo, dedicación, perseverancia y por sobre todo el amor incondicional. Gracias por creer en mí, en cada idea que se me ha venido a la mente siempre cuento con tu apoyo, gracias por estar en los momentos más felices y también los más complicados de mi vida sobre todo cuando no he querido seguir luchando como me ocurrió en varias ocasiones en esta etapa universitaria. Te admiro y te amo como no lo puedes imaginar, gracias por siempre querer darme la mejor educación, pero por sobre todo entregarme valores y las herramientas para ser un gran profesional y mejor persona.

A mis amigos y compañeros de carrera,

A mi gran equipo apodado como “payasos” formado por Nicolas, Javiera, Felipe y José, gracias por compartir cada desafío y cada victoria a lo largo de este largo camino. Sin duda su compañía y apoyo han sido invaluable en esta etapa de mi vida.

A mis compañeros por ser más que colegas, por la buena onda, las risas y por hacer de estos años una experiencia inolvidable. Los partidos de futbol antes de clases, también los partidos intensos de ping pong y las charlas interminables no solo nos unieron, sino que también aligeraron el camino en los días más intensos. Cada momento compartido estará siempre en mi memoria como parte esencial de este viaje.

Finalmente, a mí mismo,

Por la perseverancia y el esfuerzo dedicados a cumplir este objetivo. Este trabajo simboliza no sólo un logro académico, sino también el fruto de años de dedicación y sacrificio. Las noches de estudio sin dormir, los días de celebraciones en los que me tuve que ausentar, y el poco tiempo que pude dedicar a mi familia son pruebas del compromiso que asumí sabiendo que todo valdría la pena. Hoy, este logro no solo cierra una etapa, sino que abre las puertas a un futuro lleno de nuevas oportunidades y aprendizajes.



RESUMEN

Keywords: Caldera de Vapor, Modos de Falla, FMECA.

En el presente trabajo de título se elaboró un plan de mantenimiento preventivo con el objetivo de minimizar fallas, incrementar la disponibilidad operativa y minimizar los gastos relacionados con el mantenimiento y las detenciones imprevistas. El estudio inicial reveló que la caldera de vapor experimentaba 16,4 fallas anuales, con un período de inactividad de 68 horas y un gasto de mantenimiento de \$9.176.990 CLP/año. A través del uso de la metodología FMECA, se desarrolló un nuevo plan de prevención que modificó las frecuencias, maximizó los recursos y otorgó prioridad a las actividades críticas, presentado mediante diagrama PERT.

Con la propuesta que se elaboró, la frecuencia de fallas disminuyó a 3,28 anuales (80% menos), el tiempo fuera de servicio disminuyó a 30,5 horas, y los costos de mantenimiento disminuyeron a \$ 8.103.665 CLP/año. También, los costos asociados a ineficiencias se redujeron de \$ 80.267.200 CLP/año a \$ 36.002.200 CLP/año, consiguiendo un ahorro total de \$ 45.338.325 CLP/año.

El estudio determinó que la puesta en marcha del plan de mantenimiento sugerido mejoró notablemente la administración de la caldera de vapor, aumentando su confiabilidad y disponibilidad en funcionamiento. Esto resultó en una disminución significativa de las interrupciones imprevistas, previniendo pérdidas de hasta \$ 1.180.400 CLP por cada hora de interrupción. Además, el ahorro financiero demostrado fortalece la factibilidad del plan, asegurando una gestión financiera eficiente. Se resaltó que este plan no solo optimizó los índices de mantenimiento, sino que también precipitó las horas extra requeridas para recuperar la producción perdida, disminuyendo gastos extra.

Finalmente, se sugirió llevar a cabo evaluaciones regulares del plan y evaluar el efecto medioambiental de las mejoras en la disponibilidad de las operaciones. La puesta en marcha del plan garantizará la rentabilidad a largo plazo de los recursos de la empresa.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	3
1. ANTECEDENTES GENERALES	4
1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	4
1.1.1. Estructura del personal y equipos de la planta de producción	4
1.1.2. Layout de la planta de alimentos	7
1.1.3. Misión	10
1.1.4. Visión.....	10
1.1.5. Clientes	10
1.1.6. Proveedores.....	11
1.1.7. Actividades realizadas en la planta de producción	12
1.2 ANÁLISIS DE FALLAS.....	17
1.2.1. Análisis de fallas mediante registro de ficha histórica.....	17
1.3 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO	18
1.3.1. Modelo semicuantitativo para la evaluación criticidad de quipos	18
1.3.2. Criterios de evaluación de riesgo	19
1.3.3. Factores ponderados para cada uno de los criterios.....	20
1.3.4. Evaluación de equipos de la planta de producción	21
1.3.5. Jerarquización de los equipos identificados.....	22
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA FMECA	24
2. METODOLOGÍA FMECA	25
2.1 DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA	25
2.2 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE FALLA (FMECA).....	25
2.3 TAXONOMÍA SEGÚN LA NORMA ISO 14224.....	25
2.4 CATEGORIZACIÓN DEL EQUIPO.....	28
2.5 DATOS ESPECÍFICOS DEL EQUIPO	29
2.5.1. Función del equipo.....	30
2.6 PREPARACIÓN DEL FMECA	30



2.7	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA) DE LA CALDERA DE VAPOR.....	32
2.8	CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO	35
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS MEJORAS PROPUESTAS		38
3.	EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS MEJORAS PROPUESTAS...39	
3.1	PREPARACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	39
3.1.1.	Análisis de los planes de mantenimiento	44
3.1.2.	Representación de los planes de mantenimiento mediante diagrama PERT	45
3.2	COSTOS DE MANTENIMIENTO	48
3.2.1.	Evaluación de costos para los diferentes tipos de mantenimiento	48
3.2.2.	Análisis de Costos y Ahorros por Modo de Falla	50
3.2.3.	Costos asociados e indicadores de indisponibilidad	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
BIBLIOGRAFIA		56
ANEXOS		57
Anexo 1	.....	57
Anexo 2	.....	57
Anexo 3	.....	58
Anexo 4	.....	58
Anexo 5	.....	60
Anexo 6	.....	61
Anexo 7	.....	62
Anexo 8	.....	63
Anexo 9	.....	64
Anexo 10	.....	64
Anexo 11	.....	65
Anexo 12	.....	65
Anexo 13	.....	66
Anexo 14	.....	67
Anexo 15	.....	68



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Planta de producción de alimentos Andino.....	5
Figura 1-2. Layout de la planta de producción de alimentos Andino, primer piso.....	8
Figura 1-3. Layout de la planta de producción de alimentos Andino, segundo piso.....	9
Figura 1-4. Diagrama de molienda, separación y envasado de especias y condimentos.....	13
Figura 1-5. Diagrama de pasteurizado, secado, envasado manual a granel de hierbas aromáticas, especias y condimentos.	14
Figura 1-6. Diagrama de elaboración y envasado de saborizante y fortificante para leche.....	15
Figura 1-7. Diagrama de envasado de avena en hojuelas y elaboración de avena saborizada.....	16
Figura 1-8. Matriz de criticidad propuesta para el método MCR.	19
Figura 2-1. Clasificación de la taxonomía con niveles taxonómicos.....	26
Figura 3-1. Círculo de actividad en el diagrama PERT.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Equipos de la planta de producción de alimentos Andino junto con la marca y número de serie.	6
Tabla 1-2: Equipos de la empresa junto con la frecuencia de fallas registradas desde el año 2021 hasta el año 2024.....	17
Tabla 1-3. Factores ponderados para los criterios de evaluación de criticidad de activos.	21
Tabla 1-4. Jerarquización de los equipos identificados y evaluados bajo los criterios de evaluación asignados previamente.....	22
Tabla 2-1. Niveles taxonómicos según Norma ISO 14224:2016, aplicado al caso de estudio.	27
Tabla 2-2. Niveles taxonómicos según Norma ISO 14224:2016, aplicado al caso de estudio.	27
Tabla 2-3. Clasificación de tipos – calefactores y calderas.	29
Tabla 2-4. Datos específicos del equipo, categoría calefactores y calderas según ISO 14224:2016.	29
Tabla 2-5. FMECA realizado con falla total a Quemador Riello de la caldera.	32
Tabla 2-6. FMECA realizado con falla total a tubos de la caldera.	33
Tabla 2-7. FMECA realizado con falla parcial a Paredes de la caldera.	34
Tabla 3-1. Plan de mantenimiento preventivo cambio quemador.	40
Tabla 3-2. Recursos asignados al plan de mantenimiento cambio quemador.	43
Tabla 3-3. Tabla de actividades y precedencias.....	46



Tabla 3-4. Costos asociados a los nuevos planes de mantenimiento.	49
Tabla 3-5. Análisis de Costos y Ahorros por Modo de Falla.....	51
Tabla 3-6. Escenario propuesto para selección de plan de mantenimiento.	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Diagrama 3-1. Representación de los planes de mantenimiento mediante diagrama PERT...47	
Diagrama 3-2. Diagrama de Gantt.	48

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1. Cálculo de criticidad total.	18
Ecuación 1-2. Cálculo de consecuencias.	18
Ecuación 2-1. Cálculo de riesgo cuantitativo.	31
Ecuación 3-1. Cálculo de MTBF.	41
Ecuación 3-2. Cálculo de intervalo sugerido.	42



SIGLAS

FMECA (Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos)

RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)

RAMS (Acrónimo que se refiere a cuatro aspectos claves en el desempeño de un sistema, confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad)

REX (Retorno de la experiencia)

MCR (Matriz de Criticidad por Riesgo)

RPN (Número de Riesgo de Probabilidad)

MTBF (Tiempo promedio entre fallas)

MTTR (Tiempo medio de reparación)

SÍMBOLOGÍA

kg (Kilogramo)

kW (Kilovatios)

h (Hora)

mm (Milímetro)

cm (Centímetro)

cm² (Centímetro cuadrado)

m (metro)

m² (Metro cuadrado)

l (Litro)

psi (Libras por pulgada cuadrada)

ton (Tonelada)



INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria cumple un papel fundamental en el desarrollo económico y social del país, puesto que no sólo es la encargada de la producción y distribución de alimentos, sino que también influye en la salud y el bienestar de la población. Es necesario que las empresas del sector implementen procesos eficientes y seguros que garanticen la continuidad en la producción y la calidad de los alimentos ofrecidos a los consumidores.

A pesar de los avances tecnológicos y de gestión, numerosas plantas de producción de alimentos se enfrentan a desafíos significativos en relación con la optimización de sus actividades. La aparición de averías en equipos críticos, entre ellos hornos, selladoras, envasadoras y calderas, es cada vez más habitual. Estas fallas pueden provocar interrupciones en la producción, lo que afecta a la rentabilidad de la empresa, como a la calidad del producto final. El impacto estimado de una falla en la producción es de aproximadamente \$1.180.400 pesos por hora, lo que resalta la gravedad de la situación. En un contexto donde la normativa sobre seguridad alimentaria es cada vez más estricta.

En los últimos años, la planta ha experimentado un número considerable de fallas en sus equipos, con un total de 283 fallas registradas entre 2021 y 2024, lo que ha generado un importante impacto financiero. A pesar de contar con un presupuesto anual de mantenimiento \$15.879.800 pesos, la planta sigue teniendo dificultades para optimizar su gestión en este ámbito. Es necesario abordar estas deficiencias para identificar los puntos fuertes de las medidas actuales y las áreas que requieren mejoras.

El objetivo de este estudio es conseguir una visión clara de las deficiencias en la gestión del mantenimiento, lo que permitirá identificar las áreas de oportunidad y generar una propuesta de mejora. Esta propuesta también ayudará a determinar si los resultados alcanzados se ajustan a los objetivos estratégicos establecidos por la administración de la empresa y si se alinean con el cumplimiento de sus metas organizacionales.

Para cumplir este objetivo se aplicará la metodología Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA), que permitirá evaluar el modelo de gestión de mantenimiento actual y presentar soluciones orientadas a mejorar la confiabilidad y así prevenir fallas que afecten la producción en la planta de producción.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de la empresa Alimentos Andino, utilizando la metodología de Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA), con el fin de optimizar la planificación y ejecución del mantenimiento mediante la elaboración de un plan estructurado y la identificación de los costos asociados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar información sobre el contexto operacional, analizando el historial de los equipos e información técnica relevante mediante catálogos y flujogramas, identificando los puntos críticos y problemáticas asociadas.
2. Proponer metodología Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA), para la implementación de planes de mejora en la gestión de mantenimiento, considerando actividades programadas, planificación, personal y asignación de recursos.
3. Evaluar técnica y económicamente la propuesta de mejoras, a través de presupuesto actual destinado al área de mantenimiento, determinando la factibilidad de la implementación para la empresa de alimentos.



CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Alimentos Andino es una empresa que cuenta con más de 20 años de antigüedad, fue creada bajo el perfil de una empresa innovadora y moderna, la principal actividad económica es la comercialización de productos para marcas propias creadas en las principales empresas de retail a nivel nacional. También se dedica a la prestación de servicios a terceros para la elaboración de saborizantes para productos lácteos y envasado de café soluble importado.

La planta de producción está ubicada en el sector El Salto de Viña del Mar, donde se realizan líneas de trabajo, sistemas de esterilización, molienda y mezcla.

Poseen certificaciones y normativas internacionales, destacando DQS CFS GmbH (organismo certificador acreditado según ISO/IEC 17065 para certificaciones IFS y socio contractual de IFS Management GmbH), cumpliendo con el nivel básico de evaluación del 94,63%, satisfaciendo los requerimientos de IFS Food (versión 7, octubre 2020) y otros documentos normativos correspondientes. Implementando sistemas con estrictos protocolos para garantizar la máxima calidad en la totalidad del proceso productivo, que hoy en día alcanza las veinte toneladas mensuales.

La empresa utiliza la más alta tecnología y calidad, brindando el mayor soporte técnico de acuerdo con las necesidades del cliente, siendo efectivos en los procesos logísticos, eficientes en el uso del tiempo y la energía, lo que permite asegurar y garantizar la calidad mediante la gestión de los procesos productivos en todas sus etapas.

Hoy la planta de producción funciona en Chile con un equipo comercial enfocado en Latinoamérica y en Europa con operaciones comerciales en Italia, Bologna.

1.1.1. Estructura del personal y equipos de la planta de producción

En la figura 1-1 se puede observar la entrada de la planta alimentos Andino, dentro de su personal se cuenta con cinco personas a cargo de la jefatura de la planta, quince operadores de línea, dos personas en logística y bodega, dos personas en control de calidad y una persona encargada del área de mantenimiento de la planta de producción.



Figura 1-1. Planta de producción de alimentos Andino.

Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 23/09/24.

Dentro de sus instalaciones se cuenta con una gran cantidad de equipos los cuales son fundamentales para garantizar la eficiencia y calidad en la producción. Cada equipo desempeña funciones específicas que contribuyen al procesamiento de los productos, desde la manipulación de las materias primas, el envasado hasta el almacenamiento.

El correcto funcionamiento y mantenimiento de estos equipos es fundamental para minimizar los tiempos de inactividad y asegurar que se cumplan los estándares de higiene y seguridad.

A continuación, se presentan los equipos de la planta de producción, junto con la marca y número de serie:

N°	Nombre del equipo	Marca	N° de serie
1	Envasadora vertical 1	Plaspak	Hp 5000
2	Envasadora vertical 2	2L 270	-
3	Envasadora vertical 3	Plaspak	Hp 5000
4	Envasadora vertical 4	-	-
5	Multicabezal	Plaspak	MSM 10
6	Cinta alimentadora z	Plaspak	-
7	Envasadora volumétrica avena	-	-
8	Selladora continua	Plaspak	-
9	Detector de metales	Plaspak	FM 3515 (Vasos)

10	Detector de metales	Plaspak	FMD 500 (Avena)
11	Mezclador pantalón	-	-
12	Selladora de vasos	Plaspak	ET-95
13	Codificador	Citronix	CI 1000
14	Molino de azúcar	Wittersheim	-
15	Mezclador de saborizante	-	-
16	Aglomerador	-	-
17	Tamizador circular	Factor	-
18	Caldera de vapor	Induvapor	116
19	Compresor 1	-	-
20	Compresor 2	-	-
21	Apilador eléctrico 1 (aglomerador)	-	FX 170569
22	Apilador eléctrico 2 (mezclas)	-	-
23	Extractores de aire de planta	-	-
24	Iluminación de planta	-	-
25	Mezclador lecitinador	-	-
26	Envasadora de vasos	Maspack	-
27	Compresor de aire	Botarini	KS35
28	Secador de aire	Kaesar	TC10
29	Estanque de agua esterilizador	-	-
30	Tolva de envasado esterilizado	Factor	-
31	Envasadora de azúcar	China	NT 40 NK
32	Multicabezal vertical 4	-	-
33	Molino martillo 1	Sensagcua	-
34	Molino martillo 2	-	-
35	Tamizador sala molino	-	-
36	Máquina extrusora	Negavim	-
37	Grajeador	-	-
38	Horno salva	Salva	-
39	Tronzadora de especias	-	-
40	Molino de turbina especias	Wittersheim	-
41	Envasadora	China	NT 40NK SACHETERA
42	Esterilizador 1	-	MTC 150
43	Esterilizador 2	-	MTC 1500
44	Sala de secado esterilizado	-	-
45	Extractor de vapor esterilizado	-	-

Tabla 1-1. Equipos de la planta de producción de alimentos Andino junto con la marca y número de serie.

Fuente: Elaboración propia en base a equipos de la planta de producción.

Nota: En los espacios con guion se indica que no existe marca y/o número de serie

1.1.2. Layout de la planta de alimentos

La planta de producción de alimentos Andino está organizada de manera estratégicamente para optimizar los procesos de producción así como las actividades administrativas. En la figura 1-2 se puede observar donde se ubican las oficinas administrativas, las salas de reuniones destinadas a la gestión y coordinación operativa. Además, la planta cuenta con espacios exclusivos para el control de calidad, como los laboratorios y bodegas, que garantizan el perfecto almacenamiento de las materias primas y de los productos terminados.

Las áreas de producción se distribuyen en distintas salas de equipos especializados, como la sala de caldera donde se lleva a cabo la generación de vapor crucial para los procesos, también se encuentran la sala de mezclado, sala de molino, sala 2 extrusor, sala de esterilizado, envasadora vertical 1, 2 y 3, el multicabezal, entre otros.

El taller de mantención garantiza el funcionamiento continuo de los equipos, mientras que la sala de compresor y el lavadero completan las instalaciones técnicas.

En la figura 1-3 se encuentran instalaciones claves para garantizar el control del aire gracias a la sala de extractor de aire, y también el aglomerador que controla la compactación de materiales durante el proceso productivo.

La planta de producción cuenta con una zona de estacionamiento que no solo está destinada a los vehículos de los trabajadores, sino que también sirve como área de almacenamiento temporal para los pallets de productos terminados, listos para ser despachados a sus respectivos destinos.

A continuación, se presenta el layout correspondiente al primer piso de la planta, seguido del layout correspondiente al segundo piso:

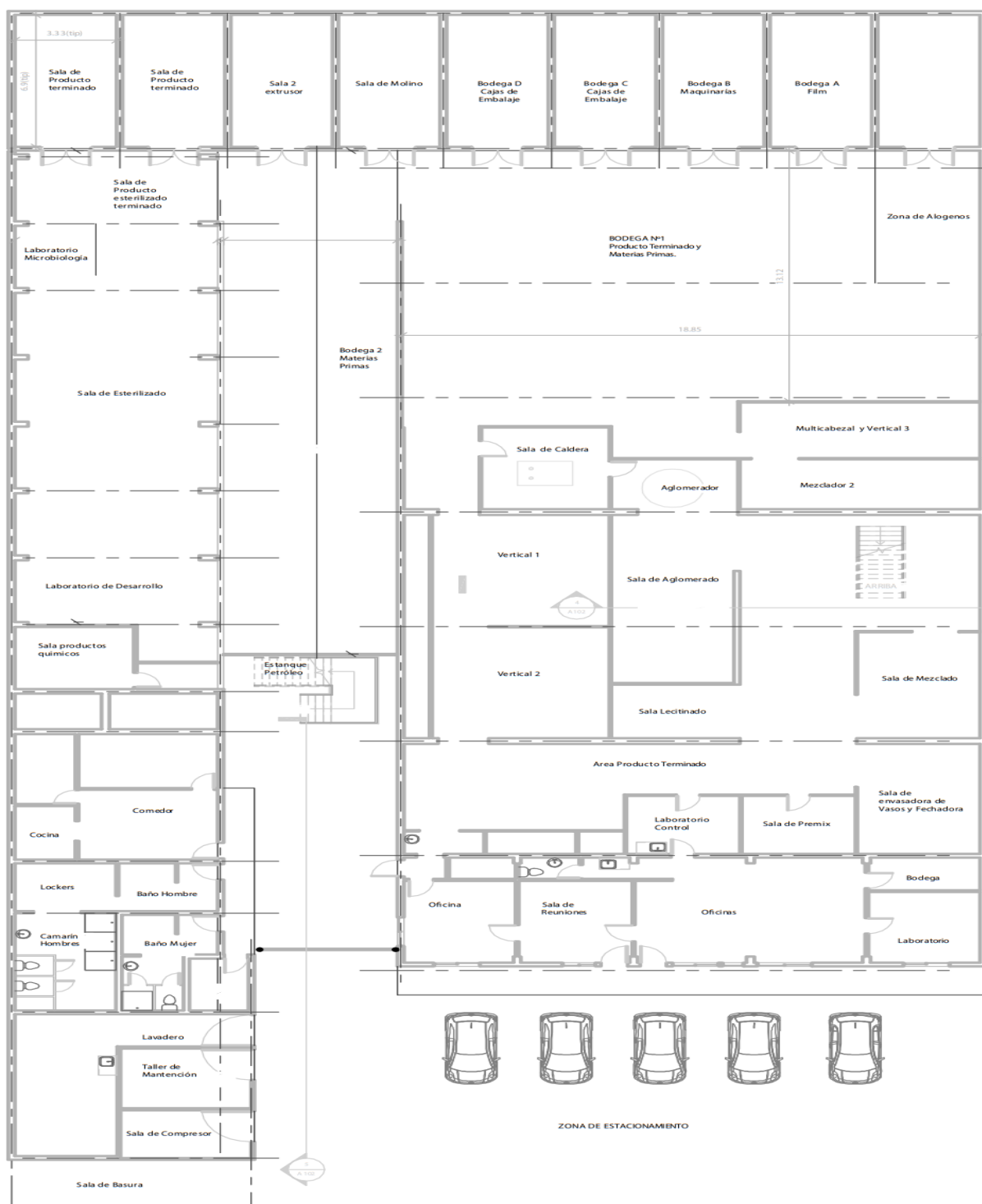


Figura 1-2. Layout de la planta de producción de alimentos Andino, primer piso.

Fuente: Alimentos Andino.



Figura 1-3. Layout de la planta de producción de alimentos Andino, segundo piso.

Fuente: Alimentos Andino.



1.1.3. Misión

La misión de Alimentos Andino es garantizar que cada individuo tenga acceso a productos y servicios de calidad, sin importar el rubro en el que se desarrolle. La empresa se compromete a ofrecer alimentos que no solo cumplan con los más altos estándares de frescura y sabor, sino que también reflejen una dedicación constante a la sostenibilidad y la responsabilidad social. Alimentos Andino trabaja para establecer relaciones sólidas con proveedores y distribuidores, asegurando que sus productos lleguen a cada rincón del mercado. Con este enfoque, la empresa busca contribuir al bienestar de las comunidades y promover la riqueza gastronómica andina, fomentando un entorno en el que la calidad sea la norma y la satisfacción del cliente siempre sea su prioridad.

1.1.4. Visión

Se enfocan en la necesidad de desarrollar empresas dedicadas a la excelencia en el servicio y la calidad de los productos, como respuesta a las demandas actuales de nuestro país. Para Andino alimentos, es fundamental que cada empresa creada dentro de su holding refleje fielmente los valores establecidos en su lineamiento estratégico. En esta visión, cada ejecutivo desempeña un papel clave, siendo un pilar que representa de manera auténtica la misión de la compañía. Además, se busca que cada cliente experimente un trato único y personalizado, sintiéndose siempre como un invitado especial.

1.1.5. Clientes

Alimentos Andino se posiciona como un referente en el sector alimentario, enfocándose principalmente en la distribución de sus productos a supermercados, distribuidoras e importadoras. Su compromiso con la calidad y la autenticidad ha permitido a la empresa establecer relaciones sólidas con estos clientes, quienes valoran la frescura y el sabor característico de los alimentos andinos. Alimentos Andino no solo proporciona productos de alta calidad, sino que también se enfoca en prácticas sostenibles y responsables, asegurando que su oferta cumpla con las expectativas del mercado actual y contribuya a la preservación de la riqueza gastronómica de la región.

A continuación, se presentan algunos de los clientes de Alimentos Andino, que reflejan su presencia en el mercado de distribución y retail:

1. WALMART CHILE S.A
2. CAMBIASO HNOS S.A.C



3. DISTRIBUIDORA Y COM PROVIMARKET LTDA
4. NUTRANDES SPA
5. HIPERMERCADOS TOTTUS S.A
6. GOOD FOOD S.A
7. EMPRESAS CAROZZI S.A
8. STARBUCKS COFEE CHILE S.A
9. NESTLE CHILE S.A
10. TRESMONTES S.A
11. COMERCIAL LENJU SPA
12. DIMERCO COMERCIAL S.A
13. SUPERMERCADOS PERUANOS S.A
14. MATTE ARAVENA Y CIA LTDA
15. TEAM CHILE SPA

1.1.6. Proveedores

Alimentos Andino se distingue por su sólida red de proveedores, quienes son fundamentales para garantizar la calidad y frescura de sus productos. La empresa colabora con agricultores y productores locales comprometidos con prácticas sostenibles y responsables, lo que permite ofrecer ingredientes auténticos de la región andina. Esta alianza no solo respalda la economía local, sino que también asegura que cada producto cumpla con los estándares más altos de calidad.

A continuación, se presentan algunos de los proveedores que forman parte de esta red esencial:

1. MOLINERA ITATA S.A
2. CHILEMPACK S.A
3. ANDES CHILE SPA
4. IMIFLEX SPA
5. PONTIFICIA UC DE VALPARAISO
6. MERCADOPAGO SA
7. MONTALDO Y CHAYTOR LIMITADA
8. ASESORIAS EN COMERCIO EXTERIOR SPA
9. COMERCIAL VENSER S.A
10. GRANOTEC CHILE S.A
11. ENVASES MONDIPACK S.A



12. TECRO SPA
13. MARSOL S.A
14. PLASTICOSS EL SALTO LTDA
15. CENCOSUD RETAIL S.A

1.1.7. Actividades realizadas en la planta de producción

En alimentos Andino se realizan diversas actividades, entre ellas se encuentran líneas de trabajo, sistemas de esterilización, molienda y mezclado con certificaciones y normativas internacionales, destacando la más importante, DQS CFS GmbH (organismo certificador acreditado conforme a la norma ISO/IEC 17065 para certificaciones IFS y socio contractual de IFS Management GmbH) cumpliendo en su nivel básico con una evaluación de 94,63% satisfaciendo los requisitos de IFS Food (versión 7, octubre de 2020) y otros documentos normativos correspondientes. Implementando sistemas con estrictos protocolos para garantizar la máxima calidad en todo el proceso productivo

Es importante visualizar los diagramas de flujo de cada proceso de producción ya que estos ayudan a comprender detalladamente lo que se debe realizar y que pasos se deben seguir, esto lo convierte en una herramienta esencial para mejorar la eficacia, reconocer las áreas mejorables y mejorar la comunicación dentro de una organización.

A continuación, se presentan los diagramas de flujo entregados por la empresa para identificar claramente cada paso de los diferentes procesos de producción de la planta de alimentos Andino.

	DIAGRAMA DE FLUJO Molienda, separación y envasado de Especies y condimentos	REF: D-01 POE-13D Nº Revisión: 2 Fecha Revisión: 30-06-2024
---	--	--

Verificación en terreno equipo HACCP

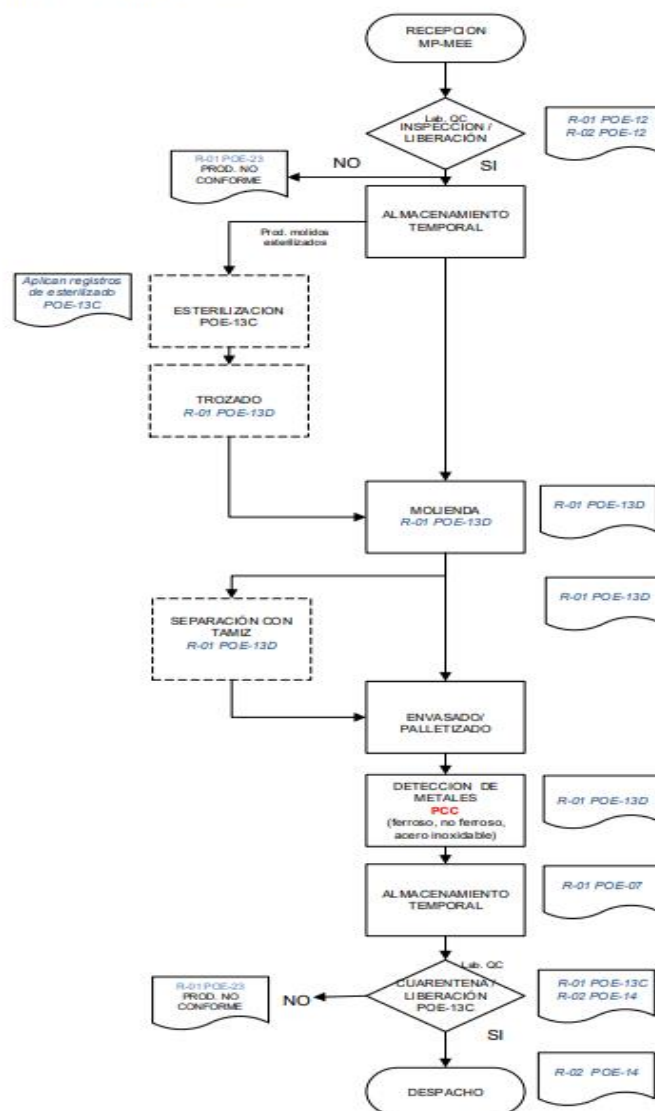


Figura 1-4. Diagrama de molienda, separación y envasado de especias y condimentos.

Fuente: Alimentos Andino.

El diagrama de la figura 1-4, muestra el proceso de molienda, separación y envasado de especias y condimentos, a etapas secundarias como la recepción de materia prima, inspección, separación, detección de metales, trozado, esterilización, molienda y envasado. Se destacan los procedimientos operativos estándar (POE) y los puntos de control críticos (PCC) que garantizan la calidad y seguridad del producto, así como los roles clave en el proceso, incluyendo al jefe de planta y al jefe de producción.

	DIAGRAMA DE FLUJO Pasteurización, Secado, Envasado manual a Granel de Hierbas Aromáticas, Especies y Condimentos	REF: D-01 POE-13C
		N.º Revisión: 6
		Fecha Revisión: 10-09-2024

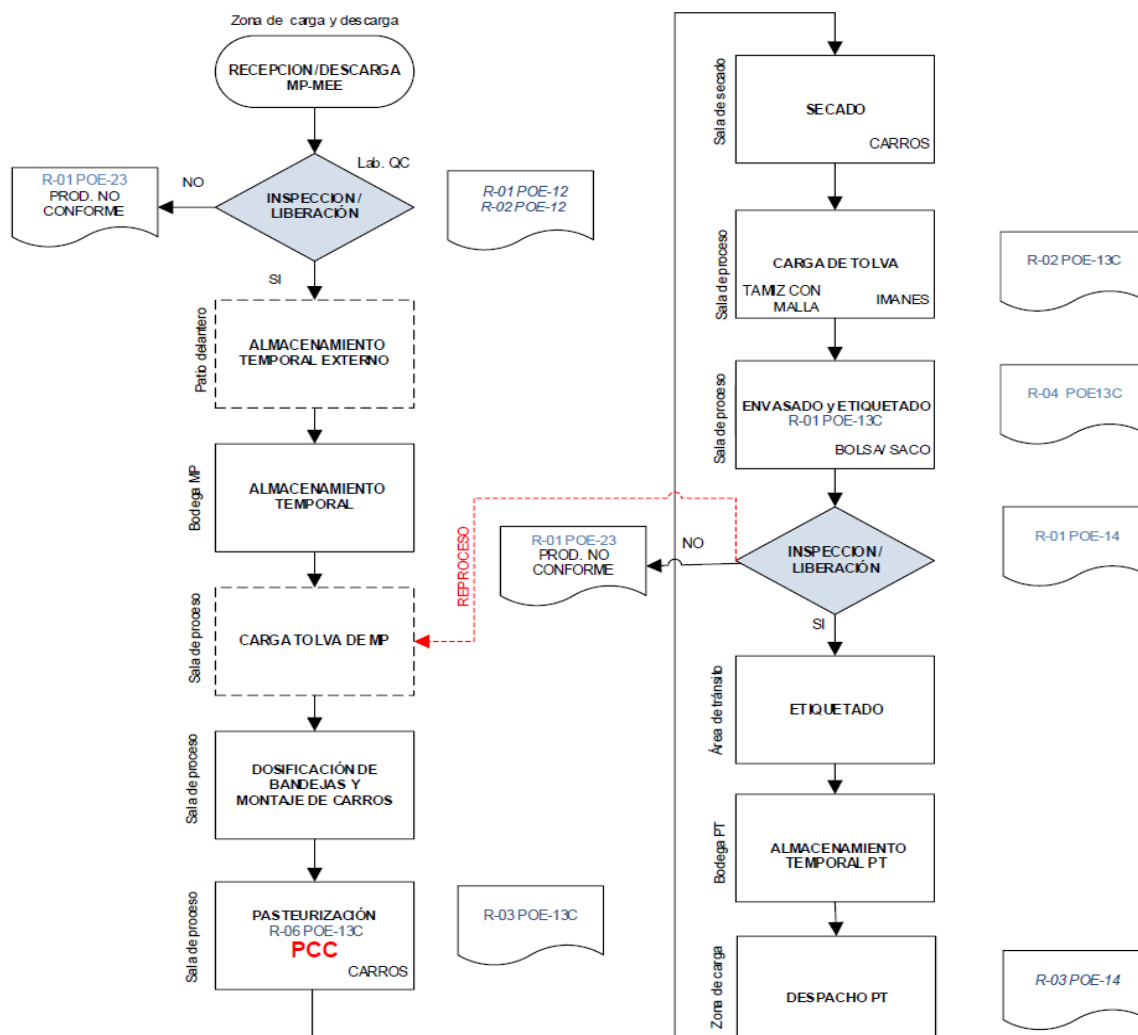


Figura 1-5. Diagrama de pasteurizado, secado, envasado manual a granel de hierbas aromáticas, especias y condimentos.

Fuente: Alimentos Andino.

El diagrama de la figura 1-5, muestra el proceso de pasteurización, secado y envasado manual de hierbas aromáticas, especias y condimentos, detallando las etapas que incluyen la recepción de materia prima, almacenamiento, inspección, pasteurización, secado, dosificación, tamizado, envasado y etiquetado, así. como los procedimientos operativos estándar y controles de calidad implementados en cada fase, además indica las acciones a seguir en caso de productos no conformes durante el proceso que donde se debe realizar un reproceso.

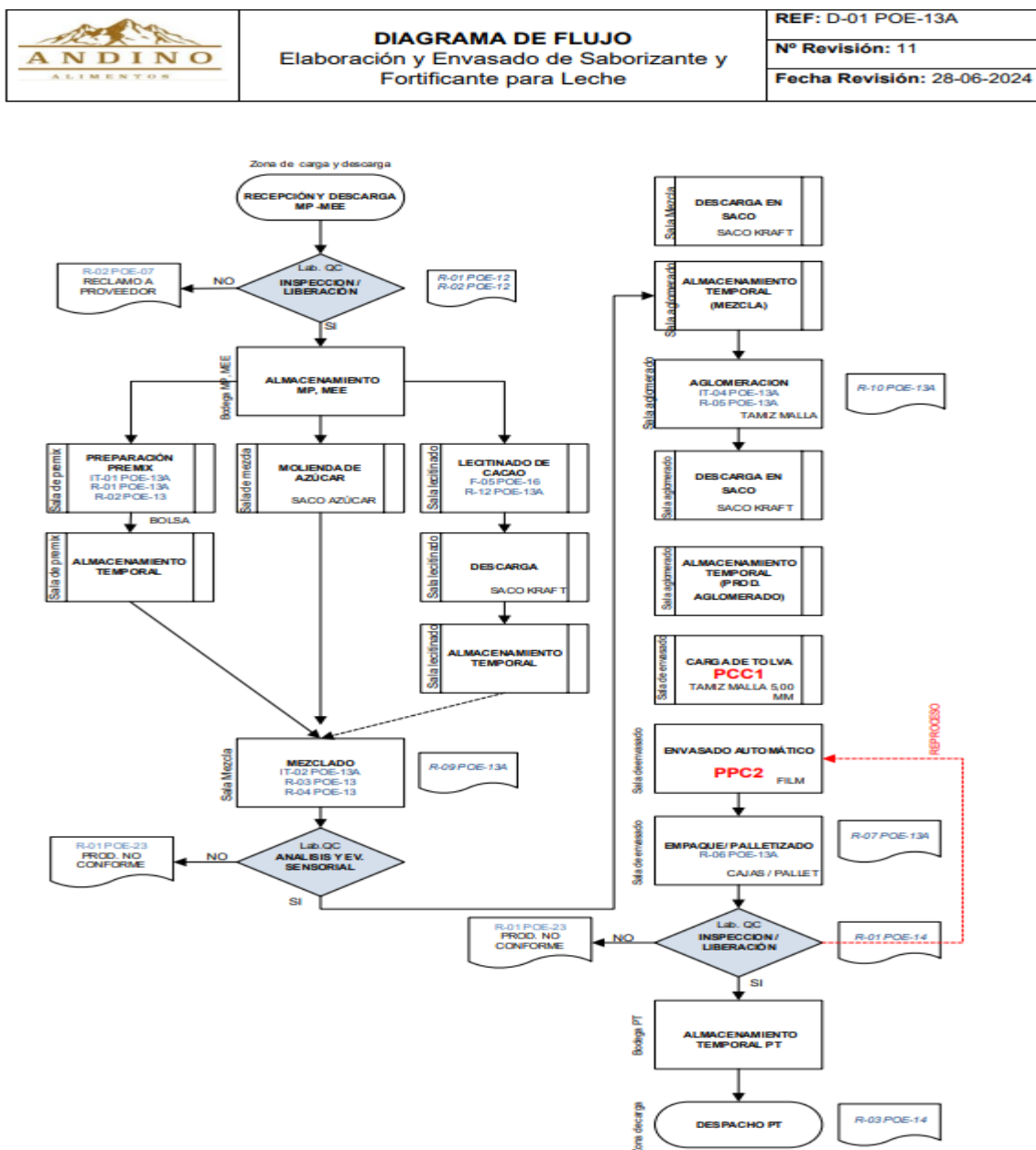


Figura 1-6. Diagrama de elaboración y envasado de saborizante y fortificante para leche.

Fuente: Alimentos Andino.

El diagrama de la figura 1-6, muestra el proceso de elaboración y envasado de un saborizante y fortificante para leche, las etapas posteriores desde la recepción de materias primas hasta el almacenamiento temporal del producto final. Se incluyen procedimientos para la inspección y liberación de materiales, así como la aglomeración, mezcla, preparación de premezcla, molienda de azúcar y envasado automático. Además, se mencionan las acciones a seguir para manejar productos no conformes y la realización de análisis sensoriales en el laboratorio de control de calidad.

	DIAGRAMA DE FLUJO Envasado de Avena en Hojuelas y Elaboración de Avena Saborizada	REF: D-01 POE-13B
		Nº Revisión: 04
		Fecha Revisión: 28-03-2024

Verificación en terreno equipo HACCP.

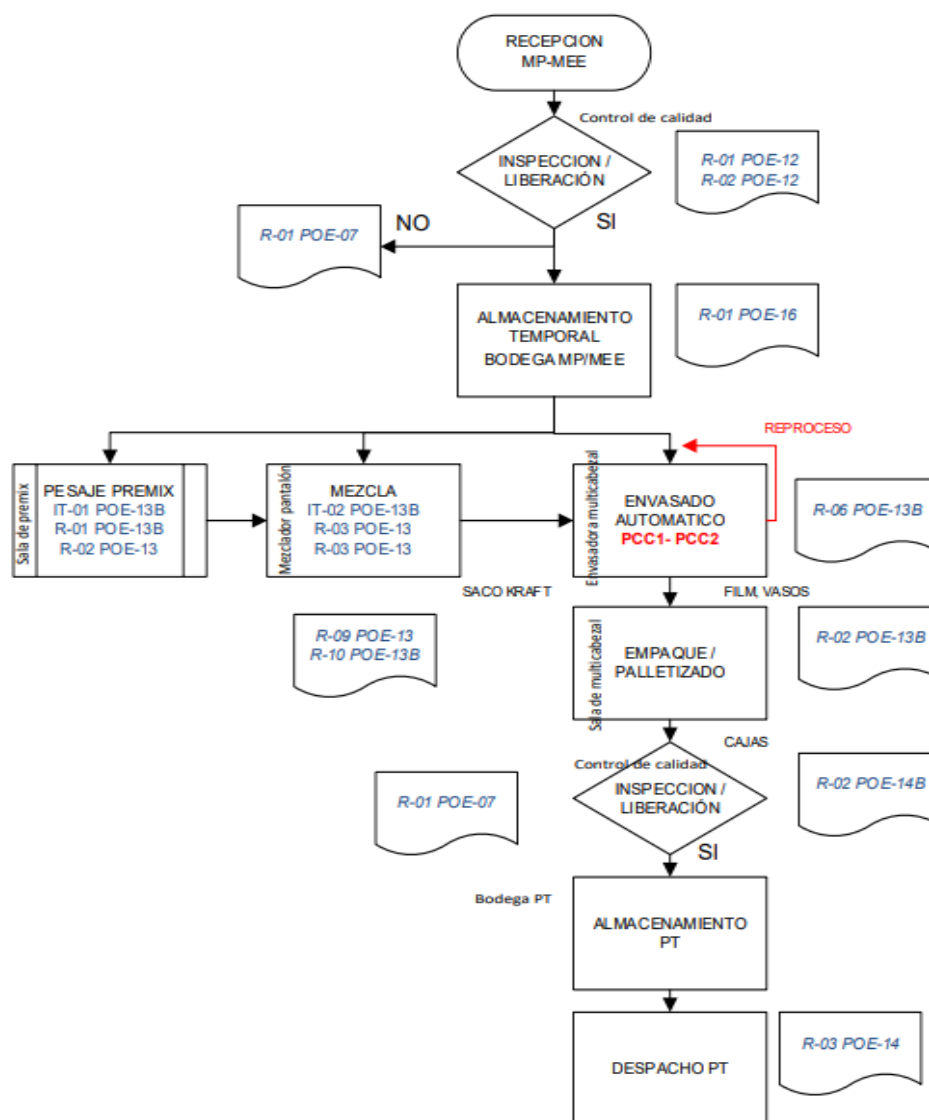


Figura 1-7. Diagrama de envasado de avena en hojuelas y elaboración de avena saborizada.

Fuente: Alimentos Andino.

El diagrama de la figura 1-7, detalla el proceso de envasado de avena en hojuelas y la elaboración de avena saborizada, abarcando etapas como la recepción de materia prima, inspección, almacenamiento, mezcla, envasado automático, pesaje, empaque, paletizado y despacho. También se mencionan los procedimientos operativos estándar (POE), los responsables de cada etapa, los controles de calidad implementados y la opción de reprocesar productos.

1.2 ANÁLISIS DE FALLAS

1.2.1. Análisis de fallas mediante registro de ficha histórica

La investigación llevada a cabo en la planta de producción de alimentos de Andino comenzó con un estudio exhaustivo del registro histórico, que se mantiene actualizado desde el año 2021. Este registro ha revelado patrones y tendencias en el rendimiento de los equipos, así como la frecuencia de los fallos que han afectado a la producción a lo largo del tiempo.

A través de este análisis, se ha buscado no solo comprender el origen de los fallos, sino también optimizar el rendimiento y la eficiencia de los procesos de producción. El registro histórico ha sido una herramienta muy valiosa, que ha proporcionado datos concisos para apoyar las decisiones de mantenimiento y mejora continua.

Es importante destacar la labor del jefe de Producción y Mantenimiento, que ha liderado este proceso con gran dedicación y profesionalidad, su compromiso ha sido clave para impulsar la investigación, facilitando así la recogida de datos necesaria para este análisis.

En el anexo 1 del trabajo se encuentra disponible la tabla en su totalidad, a continuación, se pueden observar los equipos de la planta y la cantidad de fallas a la fecha:

Nombre del equipo	2021	2022	2023	2024	Frecuencia
Envasadora vertical 2	16	4	5	9	34
Envasadora vertical 1	15	3	12	3	33
Envasadora vertical 3	15	2	8	3	28
Selladora continua	8	1	7	2	18
Aglomerador	6	2	5	5	18
Mezclador de saborizante	0	4	7	5	16
Caldera de vapor	5	2	7	2	16
Multicabezal	4	2	4	5	15
Envasadora de vasos	1	6	4	1	12
Molino de azúcar	4	2	2	3	11
Mezclador lecitinador	8	0	0	1	9
Estanque de agua esterilizador	3	3	1	2	9
Selladora de vasos	8	0	0	0	8

Tabla 1-2: Equipos de la empresa junto con la frecuencia de fallas registradas desde el año 2021 hasta el año 2024.

Fuente: Elaboración propia en base a equipos de la planta de producción.

1.3 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO

1.3.1. Modelo semicuantitativo para la evaluación criticidad de quipos

El objetivo principal del análisis de criticidad es establecer un método que permita jerarquizar los equipos, evaluando la importancia y consecuencia de las eventuales fallas en los sistemas de producción de la planta. Las técnicas de evaluación de criticidad pueden ser analizarse de forma cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa, lo que facilita la optimización de los modelos de administración del mantenimiento. Estos métodos se basan en la teoría del riesgo, que combina la confiabilidad (frecuencia de fallas) y sus consecuencias (impacto en seguridad, medio ambiente, calidad y producción).

El modelo semicuantitativo MCR (Matriz de Criticidad por Riesgo) se fundamenta en el Número de Riesgo de Probabilidad (RPN), el cual se calcula como el producto de la frecuencia de falla y la gravedad del fallo.

Donde se consideran las siguientes ecuaciones:

$$Criticidad\ Total = FF \times C$$

Ecuación 1-1. Cálculo de criticidad total.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- $FF = \frac{\#Fallas}{Tiempo}$
- FF: Frecuencia de fallos.
- C: Consecuencias de las fallas en la seguridad, el medio ambiente, la calidad y la producción.

El cálculo de las consecuencias se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$C = SHA \times IC \times IP$$

Ecuación 1-2. Cálculo de consecuencias.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y medio ambiente.
- IC: Impacto en la calidad del producto.

- IP: impacto en producción.

Los resultados de la evaluación de riesgos se presentan en una matriz de criticidad de 5x5, en la que el eje vertical muestra 5 niveles de frecuencia de fallo, mientras que el eje horizontal indica 5 niveles de consecuencias de fallo.

La matriz se subdivide en 4 áreas que representan distintos niveles de criticidad:

- B: Baja Criticidad
- M: Media Criticidad
- A: Alta Criticidad
- MA: Muy Alta Criticidad

Frecuencia	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Figura 1-8. Matriz de criticidad propuesta para el método MCR.

Fuente: Modelo elaborado por "ENAP-SIPETROL".

1.3.2. Criterios de evaluación de riesgo

Por las características de la planta y el proceso al que se aplicará el análisis de criticidad, se han definido los siguientes criterios para evaluar el riesgo asociado a los posibles eventos de falla en los equipos:

- Frecuencia de falla (FF): Criterio que analiza el número de fallas en el periodo de tiempo analizado (falla/año), afecta tanto la productividad como la calidad y seguridad de los productos, los costos operativos, y puede generar riesgos legales y regulatorios importantes. Es clave gestionar adecuadamente el mantenimiento preventivo y predictivo para mitigar estos impactos.

- Impacto en Producción (IP): Criterio que permite identificar el impacto en la producción causado por la indisponibilidad a raíz de fallas en cada uno de los activos evaluados. Además, facilita la cuantificación de las pérdidas económicas resultantes de los eventos de averías, considerando los recursos inmovilizados durante el tiempo que sea necesario para restablecer las funciones del activo.
- Impacto en Calidad (IC): Criterio que facilita la determinación del impacto de las fallas en la calidad del producto, considerando aspectos como propiedades físico-químicas, sensoriales y apariencia del bien producido. También posibilita cuantificar las pérdidas económicas resultantes del reproceso de la materia prima en las unidades afectadas por las fallas en los activos.
- Impacto en Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (SHA): Criterio que analiza la gravedad de las consecuencias de una falla en la seguridad o higiene del producto, en el impacto ambiental de la organización, y en la seguridad tanto de las instalaciones como también del personal que se encuentra relacionado directamente con los equipos. Este criterio también está asociado a posibles sanciones legales y financieras.

1.3.3. Factores ponderados para cada uno de los criterios

A continuación, se exponen los criterios de evaluación basados en un modelo utilizado habitualmente en la industria agroalimentaria, que ha demostrado su eficacia a la hora de identificar y analizar los riesgos asociados a los activos de este sector. Sin embargo, este modelo se modificó en colaboración con el responsable de mantenimiento de la planta de producción alimentos Andino, con el fin de alinearlos lo más adecuadamente con las necesidades particulares de la empresa.

Este trabajo en equipo permitió ajustar los criterios de evaluación para abordar con mayor precisión los retos específicos a los que se enfrenta la planta, teniendo en cuenta factores como las características de los equipos, los procesos de producción y las normas reglamentarias pertinentes. Además, se tomó en consideración la experiencia del personal de mantenimiento y las características del entorno operativo, lo que dio lugar a un marco de evaluación más sólido y preciso. De esta forma, los criterios personalizados no sólo reflejan las mejores prácticas del sector, sino que también dan una respuesta específica a las necesidades de la empresa.

Criterio de evaluación	Puntaje	Descripción del criterio de evaluación
	1	Excelente: Frecuencia de fallas menor al 25% de la meta anual establecida
	2	Bueno: Frecuencia de fallas entre el 25% y el 75% de la meta anual establecida

Frecuencia de falla (FF)	3	Promedio: Frecuencia de fallas entre el 75% y el 100% de la meta anual establecida
	4	Malo: Frecuencia de fallas entre el 100% y el 125% de la meta anual establecida
	5	Muy malo: Frecuencia de fallas mayor al 125% de la meta anual establecida
Seguridad - Higiene - Ambiente (SHA)	1	Las consecuencias de la falla en las operaciones no impactan a la seguridad, higiene o medio ambiente.
	2	Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente
	3	Evento genera: daños menores a la integridad física y/o afectación al ambiente controlable
	4	Evento genera: lesión incapacitante y/o afectación sensible al ambiente
	5	Evento catastrófico: muerte y/o Alto impacto ambiental)
Impacto en Calidad (IC)	1	Excelente: Afectación en calidad menor al 20% de la meta de afectación por fallas
	2	Bueno: Afectación en calidad entre el 20% y el 40% de la meta de afectación por fallas
	3	Normal: Afectación en calidad entre el 40% y el 60% de la meta de afectación por fallas
	4	Malo: Afectación en calidad entre el 60% y el 80% de la meta de afectación por fallas
	5	Muy Malo: Afectación en calidad mayor al 80% de la meta de afectación por fallas
Impacto en producción (IP)	1	Excelente: Afectación menor al 25% de la meta de afectación por fallas
	2	Bueno: Afectación entre el 26% y el 50% de la meta de afectación por fallas
	3	Normal: Afectación entre el 51% y el 75% de la meta de afectación por fallas
	4	Malo: Afectación entre el 76% y el 100% de la meta de afectación por fallas
	5	Muy Malo: Afectación mayor al 100% de la meta de afectación por fallas

Tabla 1-3. Factores ponderados para los criterios de evaluación de criticidad de activos.

Fuente: Elaboración propia con la colaboración del jefe de mantenimiento.

1.3.4. Evaluación de equipos de la planta de producción

Se llevó a cabo una evaluación en conjunto con el jefe de mantenimiento, aplicando los criterios de evaluación de riesgo anteriormente establecidos para los equipos.

- Para el primer criterio, frecuencia de fallas, se definió una meta específica tomando en consideración la cantidad de fallas que tiene actualmente la planta de producción, en conjunto con el jefe de mantenimiento se escogió una meta igual a 4 fallas por año.
- Para el segundo criterio seguridad, higiene y ambiente se realizó una evaluación de acuerdo con la definición establecida con anterioridad, aplicando los mismos parámetros y lineamientos definidos en los criterios de evaluación de riesgo.
- Para el criterio impacto en calidad, se utilizaron criterios netamente cualitativos, donde la experiencia y los conocimientos del personal técnico y administrativo del área de mantenimiento fueron la principal fuente de información. Se priorizó la calidad del

producto final, considerando aspectos como el sellado óptimo, el peso correcto y que las fechas tanto de elaboración y vencimiento sean válidas, cumpliendo con los requisitos y estándares de la empresa.

- Para el último criterio impacto en producción, se evaluó tomando en cuenta el porcentaje aproximado en que cada equipo afecta directamente al producto final, bajo los parámetros anteriormente mencionados.

1.3.5. Jerarquización de los equipos identificados

En el anexo 4 del trabajo se encuentra disponible la tabla en su totalidad, a continuación, se puede observar la jerarquización de los equipos de la planta de producción de alimentos, de acuerdo con los criterios de evaluación establecidos:

EQUIPOS IDENTIFICADOS	FRECUENCIA FALLAS	SHA	CA	IP	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Envasadora vertical 2	5	1	3	1	3	15	Muy Alta Criticidad
Caldera de vapor	3	5	1	5	5	15	Muy Alta Criticidad
Aglomerador	4	3	2	1	3	12	Alta Criticidad
Envasadora vertical 1	5	1	2	1	2	10	Alta Criticidad
Envasadora vertical 3	5	1	1	1	1	5	Alta Criticidad
Esterilizador 1	1	5	2	1	5	5	Alta Criticidad
Esterilizador 2	1	5	2	1	5	5	Alta Criticidad
Mezclador de saborizante	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
Selladora continua	4	1	1	1	1	4	Media Criticidad
Multicabezal	3	1	1	1	1	3	Media Criticidad

Tabla 1-4. Jerarquización de los equipos identificados y evaluados bajo los criterios de evaluación asignados previamente.

Fuente: Elaboración propia en base a criterios de evaluación establecidos.

De acuerdo con los resultados obtenidos a través del análisis de criticidad, teniendo en cuenta los criterios previamente establecidos, los equipos: envasadora vertical 2 y la caldera de vapor son de muy alta criticidad. Esto demuestra su importancia en el proceso productivo y las graves consecuencias que sus fallas podrían causar en la planta de producción, de igual manera se puede observar que se obtuvieron 5 equipos con un índice de alta criticidad, 3 equipos con un índice de media criticidad y 28 equipos con baja criticidad.



Se puede observar por un lado que la envasadora vertical 2 tiene mayor frecuencia de fallas anuales y mucho más impacto en la calidad de los productos.

Por otro lado, la caldera de vapor tiene mayor impacto en seguridad, higiene y ambiente ya que podría causar un evento catastrófico de muerte y/o alto impacto ambiental. Así mismo causaría mayor impacto en la producción de la planta ya que fue evaluado como muy malo causando afectación mayor al 100% de la meta de afectación por fallas.

En base a la información obtenida, el equipo seleccionado para aplicar la metodología FMECA, en este contexto ha sido la caldera de vapor, debido a que si ocurriese una avería en este equipo tendría un impacto significativo en la planta de producción.

A diferencia de la caldera de vapor, si la envasadora vertical 2 no se encuentra en funcionamiento, solo se opta por emplear otra de las envasadoras verticales de la planta, minimizando así el impacto en el proceso productivo.



CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA FMECA

2. METODOLOGÍA FMECA

2.1 DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA

La metodología se define como "la disciplina que analiza el conjunto de técnicas o procedimientos utilizados en los estudios científicos para lograr las metas propuestas. "Es un componente esencial para el análisis de las ciencias." En este capítulo, se usará el estudio de Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA)

2.2 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE FALLA (FMECA)

La metodología de Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA), es una herramienta del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) que facilita la identificación y análisis de los posibles modos de fallo para conseguir una categorización tanto cualitativa como cuantitativa. Esto posibilita el análisis del impacto y la exposición de los modos de falla críticos a través de un análisis semicuantitativo. Así, se pueden identificar oportunidades de mejora en el mantenimiento de los subsistemas y su efecto en el presupuesto, lo que la hace una herramienta sumamente valiosa para la toma de decisiones.

2.3 TAXONOMÍA SEGÚN LA NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224:2016 define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas basada en características relacionadas para su agrupación en niveles. La taxonomía permite localizar el equipo dentro de una organización y de esta forma contribuir a la identificación de sus funciones y futuras fallas funcionales que impactan en la confiabilidad del subsistema en estudio en base a la clasificación de los ítems mantenibles del mismo.

La norma anteriormente mencionada describe los principios de recolección de datos, además de términos y definiciones asociados que conforman un "lenguaje de confiabilidad", el cual es útil al momento de comunicar la experiencia operativa.

Para la norma ISO 14.224, los niveles de 1 al 5 representan un alto nivel de categorización en relación con la aplicación en la industria y las plantas, independientemente de los equipos. Por otra parte, los niveles de 6 al 9 representan una parte individual, componente, unidad funcional, equipo, subsistema, o sistema. Esto se puede ver en la figura 2-1

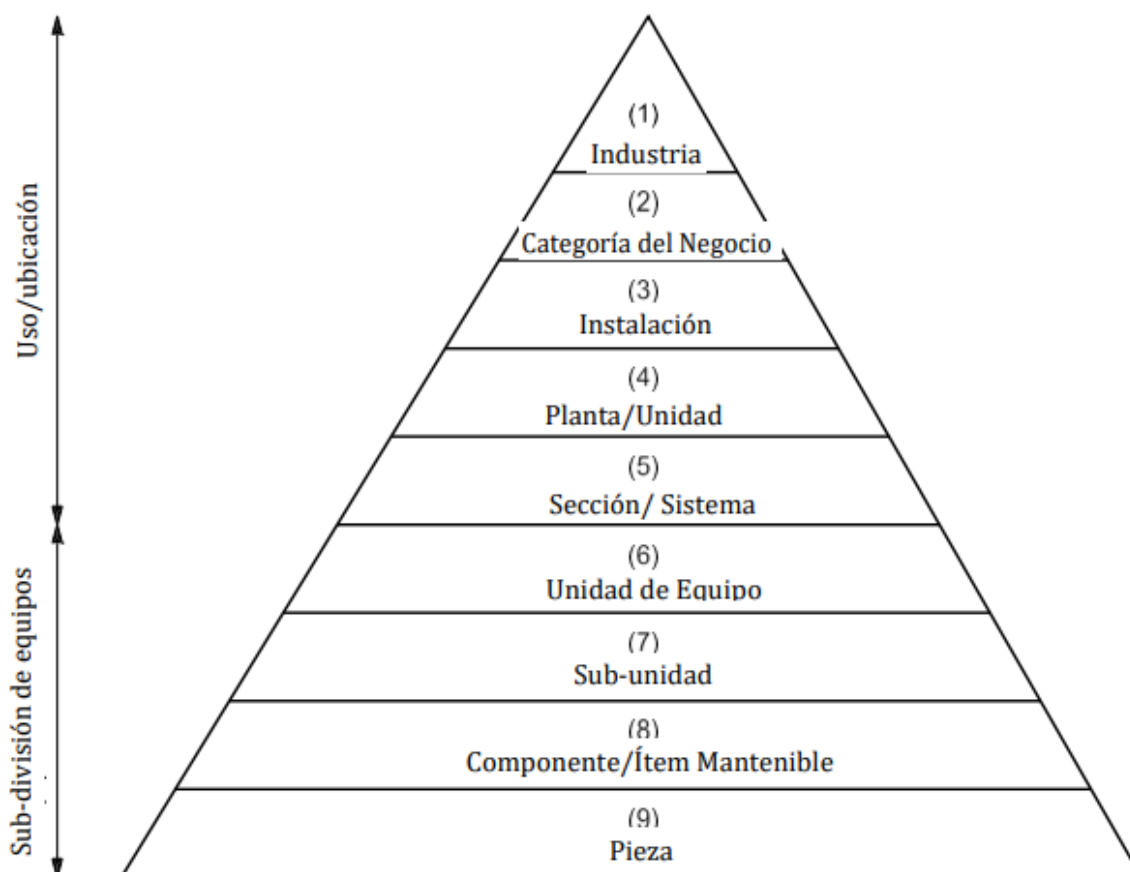


Figura 2-1. Clasificación de la taxonomía con niveles taxonómicos.

Fuente: BS EN ISO 14224:2016.

A continuación, en la tabla 2-1 y 2-2, se puede visualizar la taxonomía de la planta de producción, aplicando la norma ISO 14224:2016.

Categoría principal	Nivel	Descripción	Definición	Alimentos Andino S. A
Datos de Uso / Ubicación	1	Industria	Tipo principal de industria	Alimentos y bebidas
	2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o proceso	Fabricación de productos alimenticios y bebidas
	3	Categoría instalación	Tipo de instalación	Planta de producción

	4	Planta / Unidad	Tipo de planta o unidad	Planta Alimentos Andino
	5	Sección / Sistema	Sección principal / sistemas de la planta	Sistema de calderas

Tabla 2-1. Niveles taxonómicos según Norma ISO 14224:2016, aplicado al caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la planta de producción.

Categoría principal	Nivel	Descripción	Definición	Alimentos Andino S. A.
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo / unidad	Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables	Caldera de Vapor
	7	Subsistema	Subsistema necesario para que el equipo funcione	Quemador
	8	Componente / Ítem mantenible	Grupo de partes del equipo que son mantenidos (reparados / restaurados) como un todo	Boquilla
	9	Parte o pieza (Opcional)	Una parte o pieza o repuesto de un equipo	Pernos

Tabla 2-2. Niveles taxonómicos según Norma ISO 14224:2016, aplicado al caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la planta de producción.

2.4 CATEGORIZACIÓN DEL EQUIPO

El equipo seleccionado para este análisis es una Caldera de Vapor, un activo crítico para la planta de producción de Alimentos Andino debido a su papel esencial en la generación de vapor, que se utiliza en varios procesos de producción, como la pasteurización, el secado y otras operaciones térmicas fundamentales.

Según la norma ISO 14224:2016, que establece directrices para la recopilación y clasificación de datos de mantenimiento y confiabilidad, este tipo de equipo se clasifica dentro del nivel 6 taxonómico, correspondiente a una unidad de equipo específica. Este nivel permite una descripción detallada del equipo que facilita tanto su análisis funcional como la evaluación de su rendimiento a lo largo de su ciclo de vida.

En el caso de la caldera de vapor:

- Clasificación de unidad de equipo (HB): Se refiere a un sistema de caldera diseñado para producir vapor mediante calentamiento controlado. Incluye los subsistemas y componentes necesarios para el funcionamiento seguro y eficiente de la caldera.
- Tipo de caldera (HC): Dentro de esta clasificación, se define como una caldera de tipo calentamiento, lo que indica su función principal de transferir calor a un fluido para producir vapor, ya sea por combustión directa, eléctrica u otros medios.
- Código funcional (FB): La caldera se identifica dentro de un conjunto de equipos que comparten funcionalidades similares, lo que permite una mejor comparación y análisis de datos entre diferentes equipos de su misma categoría.

Este nivel de detalle resulta especialmente útil a la hora de realizar análisis como el FMECA, ya que permite abordar aspectos específicos de los equipos en términos de modos de fallo, criticidad y mantenimiento, lo que contribuye a una toma de decisiones más informada y precisa. En la tabla 2-3 se pueden observar estas clasificaciones y así facilitar su interpretación en el contexto del análisis.

Clase de equipo - Nivel 6		Tipo de equipo	
Descripción	Código	Descripción	Código
Calefactores y calderas	HB	Calefactor con calentamiento directo	DF
		Calefactor eléctrico	EH
		Calefactor con calentamiento HC indirecto	IF

	Calefactor de pretratamiento	HT
	Caldera sin calentamiento HC	NF
	Caldera eléctrica	EB
	Caldera con calentamiento HC	FB

Tabla 2-3. Clasificación de tipos – calefactores y calderas.

Fuente: BS EN ISO 14224:2016.

2.5 DATOS ESPECÍFICOS DEL EQUIPO

Para cada equipo que se quiera analizar es fundamental contar con la información técnica y del proceso para definir las características que influyen en la toma de decisiones frente a la gestión de los activos. La norma ISO 14224:2016 propone una listado de datos específicos para cada tipo de equipo, dentro de los cuales se encuentra el activo en estudio.

En la tabla 2-4 se pueden visualizar los datos específicos de la Caldera de Vapor:

Nombre	Descripción	Unidad o lista de códigos	Prioridad
Fuente de energía	Combustión de Diesel	[l/h]	Alta
Medio calentado/hervido	Agua	-	Alta
Transferencia térmica clasificada	0.87	[kW]	Alta
Temperatura de entrada	20	[°C]	Mediana
Temperatura de salida	105	[°C]	Mediana
Tamaño - diámetro	1100	[mm]	Mediana
Tamaño - largo	2100	[mm]	Mediana
Número de tubos	Tubos	24	Mediana
Material de tubos	Mannesmann, acero, sin uniones, sin soldadura	-	Baja
Configuración de serpentín	-	Horizontal	Baja
Tipo de empaquetadura	Tela manga fibra de vidrio	-	Alta
Tipo de calefactor	Calentamiento directo	Caja	Baja
Número de quemadores	Riello / RBL Riello	1	Baja

Tabla 2-4. Datos específicos del equipo, categoría calefactores y calderas según ISO 14224:2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos del equipo.

2.5.1. Función del equipo

Teniendo en cuenta la categoría del equipo según la norma ISO 14224:2016, es posible definir con precisión las funciones principales y secundarias de la caldera de vapor, lo cual es fundamental para realizar un análisis FMECA eficaz. Estas funciones deben ir acompañadas de una norma de desempeño para evaluar su funcionamiento en términos cuantitativos y cualitativos.

Función primaria: La función principal de la caldera de vapor es generar vapor mediante el calentamiento de agua, cumpliendo con las siguientes normas de desempeño:

- **Presión máxima de trabajo:** Capacidad de generar vapor a una presión máxima de trabajo de 50 PSI.
- **Temperatura del vapor:** El vapor producido debe alcanzar una temperatura mínima de 2 bar para cumplir los requisitos de los procesos productivos.
- **Tasa de generación de vapor:** Producción de vapor constante de hasta 270 kg/h, según las especificaciones de diseño.

Este vapor es utilizado en diversos procesos productivos de la planta, como pasteurización, secado y acondicionamiento de productos.

Función secundaria: Además de su función principal, la caldera desempeña funciones secundarias relacionadas con la gestión térmica de la planta:

- **Control de humedad:** Mantener niveles de vapor adecuados para controlar la humedad relativa en determinadas zonas de proceso.
- **Acondicionamiento térmico:** Proporcionar calor para regular la temperatura de espacios específicos de la planta, asegurando un ambiente óptimo para la operación de otros equipos y procesos.
- **Generación de agua caliente:** Producir agua caliente a una temperatura controlada para fines secundarios, como limpieza o sanitización de equipos.

2.6 **PREPARACIÓN DEL FMECA**

Lo primero es definir claramente el sistema a analizar, incluyendo sus límites e interfaces, y considerar las condiciones operativas y ambientales, como la temperatura y el esfuerzo mecánico, que influyen en los modos de fallo.

Es necesario entender cómo los fallos afectan el funcionamiento del sistema y qué significa su correcto funcionamiento. Además, se recomienda utilizar experiencias previas (REX) de procesos o productos similares, también consultar a los proveedores para obtener información detallada de los componentes.

Esta metodología debe llevar consigo varios pasos para conseguir hacerlo correctamente, estos se describen a continuación:

- Falla funcional: En este aspecto se deben especificar las fallas, tanto una total como también una falla parcial del equipo o componente que se está analizando, para así después realizar los siguientes pasos del FMECA enfocándose en estas fallas.
- Modos de falla: En esta etapa se centra en los fallos más pequeños dentro del equipo que provocan o contribuyen a que se genere la falla funcional del equipo.
- Efectos de falla: Este punto se describe como un síntoma que se genera antes de que se produzca un modo de fallo dentro del equipo.

Para identificar el impacto de las fallas, se considerarán los siguientes aspectos.:

- Evidencia: Determinar si la ocurrencia es detectable inmediatamente o no.
- Seguridad, Salud y Medio Ambiente: Definir si la ocurrencia del modo de fallo afecta directamente a la seguridad y salud de las personas o al medio ambiente.
- Efecto Operacional (síntomas): se determinará cómo la aparición del modo de fallo interviene en el funcionamiento del equipo y en su operación.
- Acción correctiva: acción correctiva necesaria para la restauración del equipo.
- Cuantificación del riesgo: Es el proceso de medir y evaluar el nivel de riesgo asociado a una actividad, proceso o sistema. Este proceso permite asignar un valor numérico al riesgo, lo que facilita su análisis, comparación y gestión.

Se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo Cuantitativo} = \text{Frecuencia de Fallas} \times (\text{MTTR} \times \text{Impacto en Producción} + \text{Costo Directo por Falla})$$

Ecuación 2-1. Cálculo de riesgo cuantitativo.

Fuente: Elaboración propia.

2.7 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA) DE LA CALDERA DE VAPOR

Una vez obtenidos los datos, se procedió a investigar cuáles son las principales fallas de la caldera de vapor que se presentan constantemente, para lo cual se tomó en cuenta información proporcionada por la empresa y datos proporcionados por el manual de reparación asistido por el fabricante donde se informan las fallas frecuentes del equipo. Posteriormente se realizó el Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA) el que se encuentra disponible en su totalidad en el anexo 5 del trabajo. A continuación, se puede observar como quedó la primera sección:

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla
Subsistema: Quemador gas Riello G40 petróleo Diesel	1	Quemar 20 [l/h] Diesel	1.1	<u>FALLA FUNCIONAL TOTAL:</u> No llega a quemar hasta la capacidad de diseño	1.1.1	Boquilla en mal estado	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Disminuye el caudal del Diesel para ser pulverizado Acción correctiva: Cambio completo del quemador
					1.1.2	Tubo de llama tapado	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): No permite el ingreso adecuado del aire que proviene de la turbina Acción correctiva: Desarme y limpieza de parte
					1.1.3	Problemas en el accionamiento del transformador	Evidente: Sí Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): No permite que se genere la chispa para el encendido de los electrodos Acción correctiva: Desarme y limpieza de controlador
					1.1.4	El programador no responde a las señales de encendido	Evidente: Sí Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Imposibilita el proceso de encendido del quemador Acción correctiva: Desarme del sistema eléctrico, limpieza y reapriete de piezas

Tabla 2-5. FMECA realizado con falla total a Quemador Riello de la caldera.

Fuente: Elaboración propia en base al FMECA realizado.

Como se puede observar en la tabla 2-5, se aplicó el análisis FMECA al quemador de la caldera de vapor identificando una falla funcional total, es decir que el equipo queda inutilizable a

causa de la falla funcional. Posteriormente se procedió a analizar cuáles eran los posibles modos de fallo que podrían ser capaces de generar la falla total del equipo descrita en el análisis, estas causas fueron enumeradas del 1.1.1 al 1.1.4, con su respectivo efecto de falla.

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla
Subsistema: Tubos de la caldera	2	Permite el paso del agua dentro de la caldera para calentamiento	2.1	<u>FALLA FUNCIONAL TOTAL:</u> Fuga de agua a través de los tubos	2.1.1	Corrosión por dentro y fuera del material de los tubos	Evidente: No Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Debilita los componentes ya que no cuenta con inhibidores químicos Acción correctiva: Desarme y revisión interna de tubos
					2.1.2	Formación de incrustaciones	Evidente: No Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Aumento de las sales que se encuentran presentes en el agua debido al nulo tratamiento de agua Acción correctiva: Desarme e inspección de tubos
					2.1.3	Falla en el sistema de refrigeración	Evidente: Sí Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Acelera la corrosión y la oxidación Acción correctiva: Desarme, revisión y soldadura si es requerida

Tabla 2-6. FMECA realizado con falla total a tubos de la caldera.

Fuente: Elaboración propia en base al FMECA realizado.

Como se observa en la tabla 2-6, se aplicó el análisis FMECA a los tubos de la caldera de vapor identificando una falla funcional total, es decir que el equipo nuevamente queda inutilizable a causa de dicha falla. Posteriormente se procedió a analizar cuáles eran los posibles modos de fallo que podrían ser capaces de generar la falla total del equipo descrito en el análisis, estas causas fueron enumeradas del 2.1.1 al 2.1.3, con su respectivo efecto de falla.

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla
Subsistema: Paredes de la caldera	3	Albergar los gases producto de la combustión y transferir hacia los tubos que contienen agua	3.1	<u>FALLA FUNCIONAL PARCIAL:</u> Reducción aproximada del 40 % en la capacidad de transferencia de calor hacia el agua en los tubos	3.1.1	Defectos en el diseño	Evidente: No Afecta SHA: Sí Efecto operacional (síntomas): Poca eficiencia térmica Acción correctiva: Desarme y revisión de partes comprometidas
					3.1.2	Rotura en las costuras de la soldadura	Evidente: Sí Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Degradación del material Acción correctiva: Reparación externa de maestranza (servicio de soldadura)
					3.1.3	Deterioro en el material resistente a altas temperaturas	Evidente: No Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Porosidades y cambios de temperatura Acción correctiva: Reparación externa de maestranza (servicio de soldadura)

Tabla 2-7. FMECA realizado con falla parcial a Paredes de la caldera.

Fuente: Elaboración propia en base al FMECA realizado.

Como se observa en la tabla 2-7, se aplicó el análisis FMECA a las paredes de la caldera de vapor, identificando una falla funcional parcial. Esta falla afecta aproximadamente un 40 % de la capacidad de transferencia de calor del equipo, lo que reduce la generación de vapor, pero no la bloquea por completo. Posteriormente se procedió a analizar cuáles eran los posibles modos de fallo que son capaces de generar la falla parcial del equipo, estos fueron enumerados de 3.1.1 al 3.1.3, con su respectivo efecto de falla.

2.8 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

A continuación, se presentan los valores de riesgo asociados a cada modo de falla identificado en los subsistemas críticos de la caldera de vapor. Este análisis destaca el impacto económico y operativo de cada falla, considerando su frecuencia, severidad y detectabilidad. Los valores proporcionados permiten priorizar las acciones correctivas y enfocar los esfuerzos de mantenimiento en los riesgos más significativos para garantizar la continuidad y seguridad de las operaciones.

1.1.1 Boquilla en mal estado

- Riesgo económico: \$9.834.109
- Impacto: Clasificación AA (Alto impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Cambio completo del quemador.

1.1.2 Tubo de llama tapado

- Riesgo económico: \$4.925.875
- Impacto: Clasificación AA (Alto impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Desarme y limpieza de la parte.

1.1.3 Problemas en el accionamiento del transformador

- Riesgo económico: \$5.104.695
- Impacto: Clasificación CC (Minimo impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Desarme y limpieza del controlador.

1.1.4 El programador no responde a las señales de encendido

- Riesgo económico: \$5.283.515
- Impacto: Clasificación CC (Minimo impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Desarme del sistema eléctrico, limpieza y reapriete de piezas.

2.1.1 Corrosión por dentro y fuera del material de los tubos

- Riesgo económico: \$10.443.200
- Impacto: Clasificación AC (Medio impacto en seguridad y ambiente).

- Acción correctiva: Desarme y revisión interna de los tubos.

2.1.2 Formación de incrustaciones

- Riesgo económico: \$10.388.209
- Impacto: Clasificación AC (Medio impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Desarme e inspección de los tubos.

2.1.3 Falla en el sistema de refrigeración

- Riesgo económico: \$10.443.200
- Impacto: Clasificación AC (Medio impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Reparación externa de maestranza (servicio de soldadura).

3.1.1 Defectos en el diseño

- Riesgo económico: \$9.580.079
- Impacto: Clasificación AA (Alto impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Reparación externa de maestranza (servicio de soldadura).

3.1.2 Rotura en las costuras de la soldadura

- Riesgo económico: \$10.443.200
- Impacto: Clasificación BC (Mínimo impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Reparación externa de maestranza (servicio de soldadura).

3.1.3 Deterioro en el material resistente a altas temperaturas

- Riesgo económico: \$10.443.200
- Impacto: Clasificación BC (Mínimo impacto en seguridad y ambiente).
- Acción correctiva: Reparación externa de maestranza (servicio de soldadura).

Observaciones.

el análisis realizado evidencia que los modos de falla relacionados con la corrosión en los tubos (riesgo económico: \$10.443.200), la formación de incrustaciones (\$10.388.209) y las fallas en el sistema de refrigeración (\$10.443.200) presentan los riesgos económicos más altos,



clasificados como de impacto medio en seguridad y ambiente (AC). Estos resultados resaltan la importancia de implementar acciones correctivas prioritarias en estos subsistemas para minimizar los costos asociados y garantizar la seguridad operacional. Paralelamente, fallas como los defectos en el diseño y la boquilla en mal estado, aunque de menor impacto económico, destacan por su clasificación AA, lo que subraya su relevancia en términos de seguridad y ambiente.



CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

3.1 PREPARACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez comprendida la información detallada en el capítulo 2, que incluía la identificación de los equipos críticos, su funcionamiento, los modos de fallo más relevantes y los costes asociados a dichos fallos, así como la cuantificación del riesgo de estos, se establecen las bases para el desarrollo de este capítulo.

En este capítulo, se utilizará el software Fractal One para realizar un exhaustivo levantamiento de información sobre la planta de producción y, en particular, sobre el equipo crítico. Este levantamiento permitirá diseñar un plan de mantenimiento optimizado que contemple eficientemente las necesidades del equipo y de la operación en general.

El plan incluirá la asignación adecuada de herramientas, suministros y recursos humanos, incluyendo la incorporación de personal en casos particulares que se especificarán en el punto (3.1.1). El principal objetivo de esta optimización es reducir los tiempos de intervención. Se espera que estas mejoras tengan un impacto positivo en la eficiencia operativa de la planta, alineando las operaciones con estándares más altos de rendimiento y fiabilidad.

Nota sobre la presentación de los planes de mantenimiento, en este capítulo se presentará de manera detallada el plan de mantenimiento para el primer modo de falla, el cambio completo del quemador. Los planes de mantenimiento de los demás modos de falla estudiados se incluyen en los anexos del trabajo, con el objetivo de facilitar la lectura y no sobrecargar de información el capítulo.

A continuación, se presenta el plan de mantenimiento diseñado para abordar el primer modo de fallo identificado en el equipo crítico, que corresponde a la sustitución completa del quemador.



Catálogo de Plan de Tareas

Plan de Tareas PLAN DE MANTENIMIENTO CALDERA DE VAPOR

TAREA: CAMBIO QUEMADOR

TIPO DE TAREA: PREVENTIVO

PRIORIDAD: Muy Alta

CLASIFICACIÓN 1: NIVEL 5

TIEMPO DE PARO POR MANTENIMIENTO: 04H 00mins

CLASIFICACIÓN 2: EQUIPO MECÁNICO

DURACIÓN ESTIMADA: 04H 00mins

¿HACER CUANDO?		
Activada Por	Descripción	
Fecha	Cada 22 Meses	
SUBTAREAS		
Grupo/Parte	Procedimiento	Resultado
	RECOLECTAR HERRAMIENTAS Y REPUESTOS	Si / No
CALDERA	APAGAR EL EQUIPO Y VERIFICAR QUE ESTE COMPLETAMENTE APAGADO	Si / No
CALDERA	CERRAR LAS VÁLVULAS DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE Y AGUA	Si / No
CALDERA	VERIFICAR LA AUSENCIA DE PRESIÓN ANTES DE PROCEDER CON EL DESMONTAJE	Verificación
QUEMADOR	DESMONTAR LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL QUEMADOR (CABLES DE CONTROL, ALIMENTACIÓN, TIERRA)	Si / No
QUEMADOR	RETIRAR LOS SENSORES CONECTADOS AL QUEMADOR	Si / No
QUEMADOR	CERRAR LAS LÍNEAS DE COMBUSTIBLE Y AFLOJAR LAS CONEXIONES DE LAS TUBERÍAS	Si / No
QUEMADOR	RETIRAR LAS SUJECIONES MECÁNICAS QUE FIJAN EL QUEMADOR A LA CALDERA	Si / No
QUEMADOR	RETIRAR QUEMADOR CON CUIDADO Y COLOCAR EN ZONA SEGURA	Si / No
QUEMADOR	AJUSTAR LAS CONEXIONES MECÁNICAS DEL NUEVO QUEMADOR AL CUERPO DE LA CALDERA, ASEGURÁNDOSE DE QUE ESTÉ ALINEADO CORRECTAMENTE	Si / No
QUEMADOR	CONECTAR LAS TUBERÍAS DE COMBUSTIBLE	Si / No
QUEMADOR	VERIFICAR QUE NO HAYA FUGAS AL APRETAR LAS UNIONES	Verificación
QUEMADOR	RECONECTAR LOS CABLES ELÉCTRICOS SEGÚN EL DIAGRAMA TÉCNICO (CONTROL, ALIMENTACIÓN, TIERRA)	Si / No
QUEMADOR	INSTALAR LOS SENSORES DE LLAMA, TEMPERATURA O PRESIÓN EN EL NUEVO QUEMADOR	Si / No
QUEMADOR	VERIFICAR QUE TODO ESTE CONECTADO CORRECTAMENTE	Número
QUEMADOR	REALIZAR AJUSTES MECÁNICOS EN LAS VÁLVULAS DE AIRE Y COMBUSTIBLE DEL QUEMADOR	Si / No
CALDERA	RECONECTAR LA ENERGÍA Y REALIZAR UNA PRUEBA DE ENCENDIDO, MONITOREANDO LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS	Si / No
QUEMADOR	VERIFICAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL QUEMADOR Y AJUSTAR LA COMBUSTIÓN PARA CUMPLIR CON LOS PARÁMETROS DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD	Verificación

Tabla 3-1. Plan de mantenimiento preventivo cambio quemador.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fracttal One.

El plan de mantenimiento de la tabla 3-1, diseñado para la sustitución completa del quemador establece las tareas específicas a realizar, clasificándolas según su prioridad.

Se detallan las siguientes características principales:

- Tipo de tarea: Incluye actividades específicas de mantenimiento por ejemplo mantenimiento preventivo, correctivo entre otros.
- Clasificación: Se define de acuerdo con la criticidad de la tarea, considerando su impacto en la operación y seguridad del equipo.
- Prioridad: Se ordenan las tareas por prioridad, asignando mayor urgencia a aquellas que evitan fallas críticas o prolongadas.
- Tiempo de inactividad: Se estima un tiempo de parada por mantenimiento de 4 horas, lo que implica una mejora significativa respecto al tiempo actual de 8 horas.
- Duración estimada: Cada tarea tiene un tiempo aproximado para su ejecución, optimizando la planificación de recursos.
- Fecha: Se debe indicar el día que se realiza el mantenimiento.
- Descripción: Se especifica cada cuanto tiempo se debe realizar el mantenimiento.

En este último punto, para determinar la frecuencia con la que se debe realizar un mantenimiento basado en la ocurrencia de fallas, se utiliza la tasa de fallas promedio para estimar un intervalo adecuado. Según lo visto en el capítulo 2, se sabe que este equipo ha presentado 2 fallas en los últimos 5 años, por lo tanto, se puede calcular el tiempo promedio entre fallas (MTBF).

Cálculo del intervalo de mantenimiento preventivo:

1. Duración del período analizado: 5 años $\rightarrow 5 \text{ años} \times 12 \text{ meses} = 60 \text{ meses}$.
2. Cantidad de fallas registradas: 2 fallas.
3. Tiempo promedio entre fallas (MTBF): Se calcula dividiendo el período de tiempo por el número de fallas:

$$MTBF = \frac{\text{Duración del período}}{\text{Número de fallas}}$$

Ecuación 3-1. Cálculo de MTBF.

Fuente: Elaboración propia.

Sustituyendo con la información obtenida:

$$MTBF = \frac{60}{2} = 30 \text{ meses.}$$

4. Recomendación del intervalo de mantenimiento preventivo: Para prevenir los fallos antes de que se produzcan, el mantenimiento debe programarse con una frecuencia inferior al MTBF.
5. Cálculo del intervalo de mantenimiento preventivo:

$$\text{Intervalo sugerido} = MTBF \times (1 - \text{Margen de seguridad})$$

Ecuación 3-2. Cálculo de intervalo sugerido.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando un margen de seguridad del 25%:

$$\text{Intervalo sugerido} = 30 \times (1 - 0,25) = 22,5 \text{ meses.}$$

6. Se recomienda que el mantenimiento preventivo se realice cada 22 meses (aproximadamente cada 2 años), para reducir el riesgo de fallos inesperados y optimizar el tiempo de operativo del equipo.

Además, se ha elaborado un procedimiento ordenado y detallado, en el que se especifica cada parte del quemador que interviene en el mantenimiento. Este procedimiento incluye pasos claros para su correcta ejecución, asignando tareas específicas al personal encargado.

El plan también señala que el personal debe registrar si se ha realizado cada tarea, incluyendo tareas de verificación para asegurar que se cumplen correctamente los parámetros establecidos. Estas comprobaciones son esenciales para validar la efectividad del mantenimiento y asegurar el correcto funcionamiento de los equipos.

A continuación, se presentan los recursos necesarios para realizar correctamente el plan de mantenimiento del primer modo de fallo identificado en el equipo crítico, que corresponde a la sustitución completa del quemador.

RECURSOS A UTILIZAR		
Descripción	Cantidad	Tipo
JEFE DE MANTENIMIENTO PLANTA ANDINO	1	Recursos Humanos
MECÁNICO	1	Recursos Humanos
Quemador 40 { PLT-SC-01-QMDR }	1	Inventario
Llave Punta Corona 19 mm LP19-1234 Stanley PC19 { HERR-LPC-19 } Acero cromado tratado térmicamente	1	Inventario
JUEGO DE LLAVES COMBINADAS JLC-123 FORCE SKU 579516 { HERR001 } ACERO ACROMADO	1	Inventario
LLAVE AJUSTABLE (LLAVE INGLESA) 10 PULGADAS REDLINE ADJ-10 { HERR002 } ACERO CROMADO	1	Inventario
LLAVE ALLEN (JUEGO COMPLETO) JA-MM001 SANLEY HexKeySet-MM { HERR004 } 1.5 mm - 10 mm	1	Inventario
ALICATE DE PRESIÓN AP-TRUP123 STANLEY LP10 { HERR005 } 10 pulgadas	1	Inventario
ALICATE UNIVERSAL AU-STAN789 STANLEY 8U-B { HERR006 } 8 pulgadas	1	Inventario
CORTADOR DE CABLES CC-KNIPPEX123 STANLEY TPX-CABLECUT { HERR007 } Hasta 15 mm	1	Inventario
CINTAMÉTRICA CM-STANLEY10 STANLEY 5010S { HERR008 } 10 m	1	Inventario
MULTÍMETRO MM-DIGITAL FLUKE Fluke Fluke 117 { HERR009 } Digital	1	Inventario
TALADRO MAKITADHP487RFJ { HERR010 } ATORNILLADOR	1	Inventario
MANÓMETRO PORTÁTIL TESTO Testo 510 { HERR011 } DIGITAL	1	Inventario
LINTERNA ENERGIZER ENERGIZER HARD CASE LED { HERR012 } LED	1	Inventario
CINTA AISLANTE { REP001 }	1	Inventario
Paño Microfibra Multiuso 10 Unidades { LIMP-PM-10 }	1	Inventario
SELLADOR PARAROSCAS (TEFLÓN) { REP002 }	1	Inventario

Tabla 3-2. Recursos asignados al plan de mantenimiento cambio quemador.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fractal One.

La tabla 3-2, muestra un desglose detallado de los recursos necesarios para ejecutar el mantenimiento de los quemadores.

Se describen las siguientes categorías fundamentales para llevar a cabo un correcto mantenimiento:

- Herramientas: Incluye las herramientas específicas necesarias para el desmontaje, inspección y montaje del quemador, como llaves, taladro y equipos especializados para garantizar la precisión en las intervenciones.
- Repuestos y suministros: Especifica los componentes necesarios para la sustitución completa del quemador, incluyendo el nuevo quemador, cinta aislante, sellador para roscas, asegurando la disponibilidad de nuevos elementos para sustituir a los dañados.
- Recursos humanos: Detalla el personal involucrado en el mantenimiento, como lo es el jefe de mantenimiento, considerando la incorporación de un mecánico adicional para reducir los tiempos de intervención y mejorar la eficiencia del proceso.

3.1.1. Análisis de los planes de mantenimiento

El análisis de los modos de fallo de las calderas de vapor permitió identificar importantes oportunidades para optimizar el mantenimiento del equipo, tanto en tiempo como en recursos. Actualmente, las tareas de mantenimiento correctivo se realizan bajo metodologías que, si bien son efectivas en algunos casos, presentan oportunidades de mejora para reducir los tiempos de parada, optimizar el uso de personal y garantizar la continuidad operativa.

A continuación, se presentan propuestas específicas diseñadas para abordar cada uno de los modos de fallo detectados, incorporando ajustes en la frecuencia del mantenimiento, el número de personas implicadas y el enfoque en las actividades preventivas. Estas mejoras tienen por objetivo aumentar la eficiencia operativa y la fiabilidad de los equipos.

Plan N°1 propuesto para Modo de Falla: (1.1.1) Boquilla en mal estado.

En este modo de falla se conservó la acción correctiva actual, pero con un enfoque preventivo para aumentar la fiabilidad del equipo. El plan preventivo establece intervenciones cada 22 meses, lo que permitirá anticiparse al desgaste de la boquilla. Además, se recomienda incrementar el personal asignado a esta tarea, sumando un mecánico adicional, con el objetivo de reducir el tiempo de reparación de 8 horas a 4 horas.

Plan N°2 propuesto para Modo de Falla: (1.1.2) Tubo de llama tapado.

Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo con una frecuencia de 9 meses, asegurando un monitoreo constante del tubo de llama. Para optimizar el tiempo de intervención, se sugiere sumar un mecánico adicional, logrando disminuir la duración de esta tarea de 4 horas a 2:30 horas.

Plan N°3 y N°4 propuesto para Modos de Falla: (1.1.3 – 1.1.4) Problemas en el accionamiento del transformador y el programador no responde a las señales de encendido.

Ambos modos de falla fueron integrados en un plan de mantenimiento preventivo conjunto, a realizarse cada 2 meses. Esto permitirá aprovechar los recursos de manera eficiente. Se recomienda que el jefe de mantenimiento se encargue del tercer modo de falla, mientras un mecánico se encarga del cuarto modo de falla. Esta estrategia en simultáneo reducirá el tiempo total de intervención de 8 horas a 4 horas.

Plan N°5 propuesto para Modos de Falla: (2.1.1 – 2.1.2 – 2.1.3) Corrosión por dentro y fuera del material de los tubos, Formación de incrustaciones y Falla en el sistema de refrigeración.

Actualmente, estas actividades involucran a 6 personas y requieren 24 horas para completarse. Se propone un plan de mantenimiento preventivo cada 2 meses, con una optimización significativa en los recursos, se reducirá el personal a 2 personas, el jefe de mantenimiento y un mecánico, disminuyendo la duración de la tarea a 8 horas. Esto garantizará un uso más eficiente del tiempo y los recursos.

Plan N°6 propuesto para Modos de Falla: (3.1.1 – 3.1.2 – 3.1.3) Defectos en el diseño, Rotura en las costuras de la soldadura y Deterioro en el material resistente a altas temperaturas.

Estas actividades también se realizan actualmente con 6 personas, tardando 24 horas. Se propone un plan de mantenimiento preventivo con una frecuencia de 6 meses, optimizando el equipo de trabajo a 3 personas, el jefe de mantenimiento, un mecánico y un soldador, reduciendo el tiempo requerido a 8 horas. Este enfoque permitirá abordar los problemas con mayor eficacia, mejorando la planificación y reduciendo costos operativos.

3.1.2. Representación de los planes de mantenimiento mediante diagrama PERT

Un diagrama PERT es una herramienta de gestión de proyectos utilizada para planificar, programar y coordinar tareas dentro de un proyecto. Este tipo de diagrama representa las actividades y sus interdependencias mediante nodos y flechas, en este trabajo se utiliza la AEN (actividades en los nodos) esto permite identificar el camino crítico y optimizar el tiempo de ejecución.

Actividad	Descripción	Precedentes	Tiempo (horas)
A	Cambio Quemador	-	4
B	Limpieza y desobstrucción del tubo de llama	A	2,5
C	Desarme y limpieza del controlador	B	4
D	Desarme y limpieza del sistema eléctrico	B	4
E	Inspección, limpieza y control preventivo de los tubos	C, D	8
F	Inspección y reparación de soldadura a paredes de caldera	E	8

Tabla 3-3. Tabla de actividades y precedencias.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 3-3, se enumeraron las actividades nuevas, se estableció la precedencia de cada una y se incorporó el tiempo en horas de cada actividad, esto es esencial para realizar el diagrama PERT, ya que esta información permite realizar el diagrama de manera correcta.

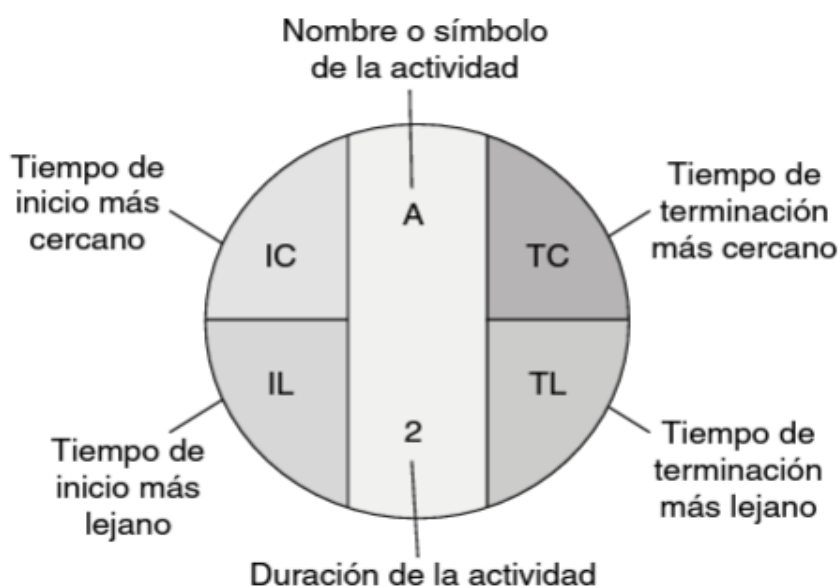


Figura 3-1. Círculo de actividad en el diagrama PERT.

Fuente: PPT de Gestión de Operaciones, s.f.

La figura 3-1, representa un diagrama típico del método de la ruta crítica utilizado en la gestión de proyectos para planificar y controlar actividades. En este caso, se muestra un nodo circular con la información clave de una actividad en un diagrama PERT.

A continuación, se presenta el diagrama PERT que incluye las actividades implementadas según las precedencias definidas en la tabla 3-3.

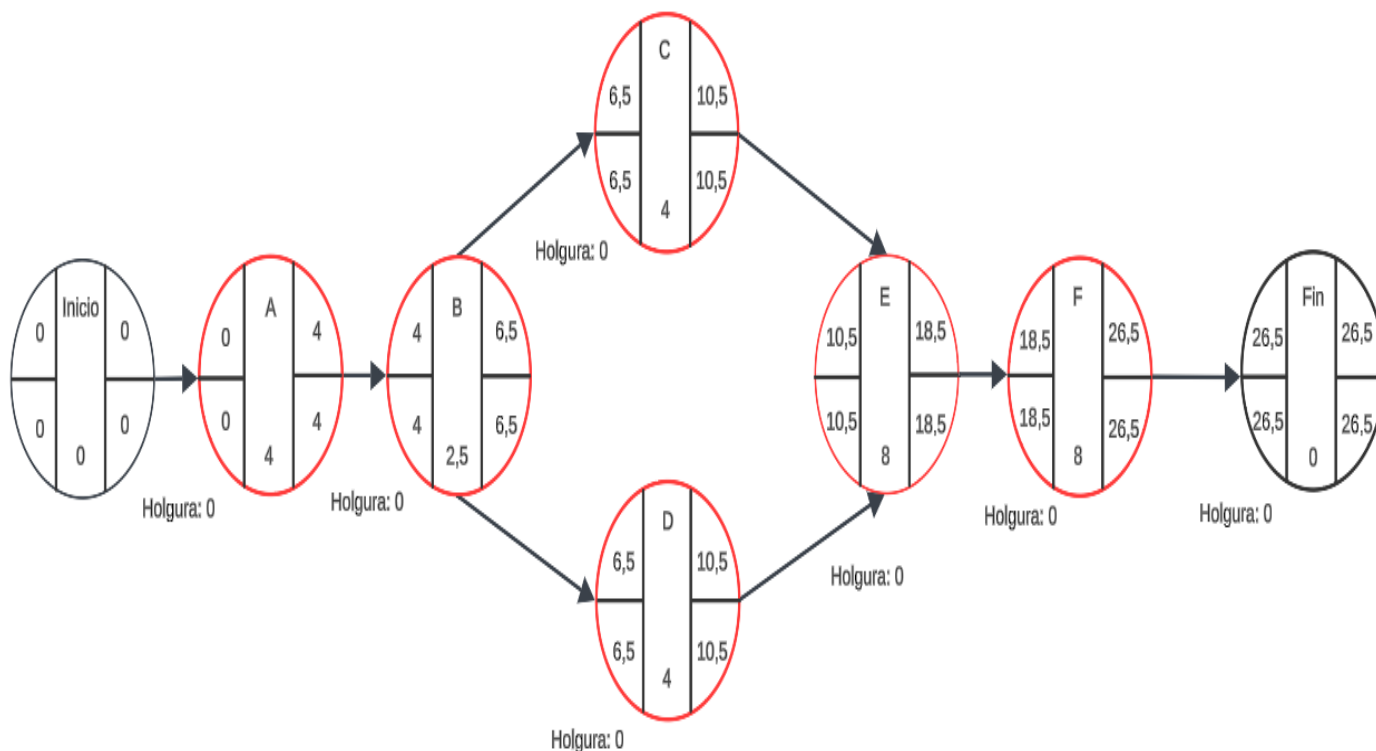


Diagrama 3-1. Representación de los planes de mantenimiento mediante diagrama PERT.

Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama 3-1, se puede observar la ruta crítica en rojo también la secuencia de las actividades y sus interdependencias, con el tiempo estimado entre actividades, cada actividad está representada por un círculo, con los tiempos de duración de las actividades en el diagrama. Los números dentro de cada círculo indican los tiempos de inicio, fin y duración de cada tarea. Los tiempos de holgura, indican la cantidad de tiempo que puede retrasarse una tarea sin afectar la fecha de finalización del proyecto. En este caso, todas las actividades tienen una holgura de 0, lo que conlleva que no hay flexibilidad de tiempo en ninguna de ellas, lo cual es coherente con la ruta crítica. Además, se puede observar la duración total del proyecto el cual está indicado por el tiempo de la última actividad (Fin), que es 26,5 unidades de tiempo.

Posteriormente, se presenta el diagrama de Gantt que detalla la programación de las actividades implementadas, basado en el diagrama PERT y las precedencias definidas de la tabla 3-3.

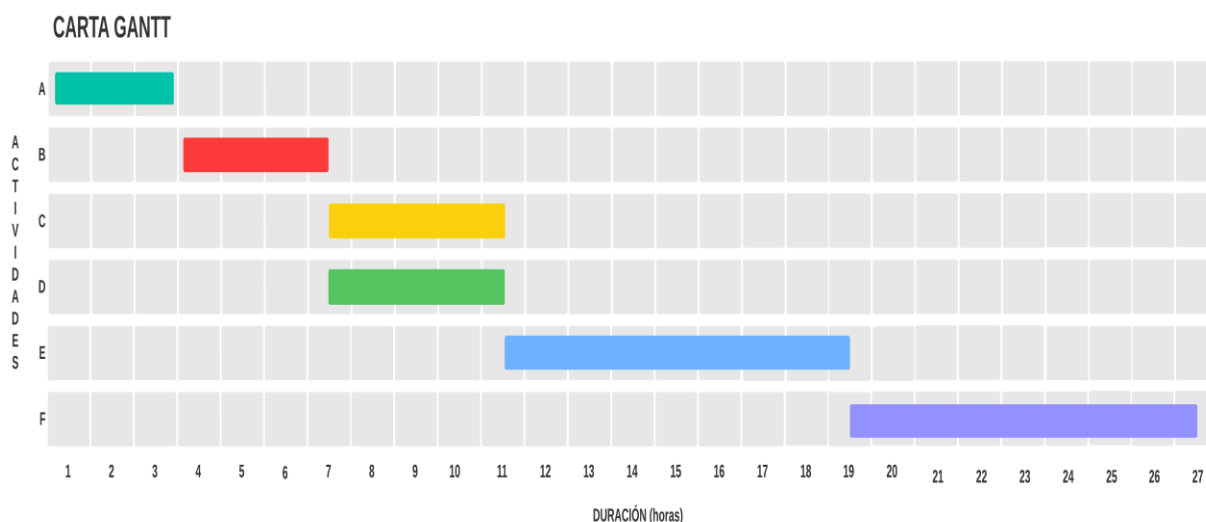


Diagrama 3-2. Diagrama de Gantt.

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama 3-2, se ha agregado con el fin de permitir una visualización detallada de la duración de cada actividad del proyecto. Esta herramienta facilita la comprensión de la planificación temporal y la relación entre las tareas, mostrando claramente los plazos establecidos para su ejecución.

3.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO

En este punto del capítulo se realiza un análisis de costos anuales del mantenimiento preventivo si la empresa optara por incorporar este nuevo sistema de mantenimiento preventivo. Además, se analizarán los beneficios obtenidos por la empresa al incorporarlo, y las diferencias con el mantenimiento correctivo actual de la planta de producción.

3.2.1. Evaluación de costos para los diferentes tipos de mantenimiento

En este punto se presenta un análisis detallado de los costos asociados a los nuevos planes de mantenimiento propuestos. La evaluación incluye el desglose de cada actividad, especificando su nombre, la acción a ejecutar, la nueva frecuencia de aplicación recomendada, el número de personas requeridas, las horas-hombre de ejecución (HH), la tarifa por especialidad que indica el valor del personal por hora, así como los costos de insumos y materiales. Finalmente, se calcula el presupuesto anual estimado para cada plan de mantenimiento y se incluye el

presupuesto total anual, proporcionando una visión clara de los recursos económicos necesarios para implementar las mejoras.

Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (anual)	Número de personas	HH -ejecución	Tarifa especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
Mtto.Preventivo	Cambio Quemador	1,83	2	4	\$ 10.864	\$ 885.940	\$ 1.780.314
Mtto.Preventivo	Limpieza y desobstrucción del tubo de llama del quemador	1,33	2	2,5	\$ 10.864	\$ 164.840	\$ 291.480
Mtto.Preventivo	Desarme y limpieza del controlador	6	1	4	\$ 6.364	\$ 164.840	\$ 1.141.767
Mtto.Preventivo	Desarme y limpieza del sistema eléctrico	6	1	4	\$ 4.500	\$ 164.840	\$ 1.097.040
Mtto.Preventivo	Inspección, limpieza y control preventivo de los tubos	6	2	8	\$ 10.864	\$ 164.840	\$ 2.031.949
Mtto.Preventivo	Inspección y reparación de soldadura a paredes de caldera	2	3	8	\$ 16.264	\$ 490.230	\$ 1.761.115
Total Presupuesto Anual							\$ 8.103.665

Tabla 3-4. Costos asociados a los nuevos planes de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de plantilla de Ingeniería en Mantenimiento USM 2024.

La tabla 3-4, presenta una estimación detallada de los costos anuales asociados a cada plan de mantenimiento en la empresa, considerando la incorporación de un nuevo procedimiento. Este nuevo plan de mantenimiento a la caldera de vapor está diseñado para prevenir posibles fallas en los componentes principales: el quemador, los tubos y las paredes de la caldera.

El costo total de este plan es de \$8.103.665. Este presupuesto anual refleja la inversión necesaria para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de este equipo crítico, asegurando una gestión eficiente y sostenible de los recursos.

El gasto anual del mantenimiento correctivo asciende a \$9.176.990. Al compararlo con los costos estimados para implementar el mantenimiento preventivo, se aprecia una reducción

aproximada del 11,7 %, lo que representa un ahorro significativo. Este cambio, no solo disminuye los costos, también optimiza los recursos destinados al mantenimiento, alineándose con los objetivos planteados por la empresa.

El nuevo plan de mantenimiento preventivo no considera gastos asociados a personal externo, ya que no requiere su intervención. Esto se debe a que el mantenimiento preventivo se lleva a cabo durante los tiempos muertos de las máquinas, es decir, en los períodos en los que no están operando.

De esta forma, el plan no interfiere con el proceso de producción, asegurando una disponibilidad del 100 % de las máquinas. Esto garantiza el cumplimiento de los tiempos determinados para la entrega de los productos, fortaleciendo la eficiencia operativa de la empresa.

Además de los beneficios económicos directos, la implementación del plan de mantenimiento propuesto tiene como objetivo reducir significativamente la ocurrencia de paradas inesperadas en la caldera de vapor.

Actualmente, cada hora de inactividad causada por fallas inesperadas genera una pérdida aproximada de \$1.180.400. por cada hora de inactividad para la planta. Por lo tanto, prevenir estas interrupciones no solo optimiza los costos, sino que también asegura la continuidad operativa, minimizando el impacto en la producción y fortaleciendo la sostenibilidad de los procesos.

Al optimizar este proceso, no solo se minimizan los tiempos muertos y el impacto en la producción, sino que también se evita la necesidad de trabajar horas extras para cumplir con la demanda que no pudo ser satisfecha debido a las paradas del equipo. Esto contribuye a reducir costos adicionales para la empresa, asegurando una operación más eficiente y sostenible en el tiempo.

3.2.2. Análisis de Costos y Ahorros por Modo de Falla

En el contexto de la optimización de la gestión de mantenimiento, se presenta el análisis de riesgos cuantitativos asociados a los modos de falla identificados en la caldera de vapor. Este análisis permite evaluar el impacto económico de cada modo de falla tanto en el plan actual como en el plan propuesto, con el fin de identificar las áreas donde se pueden generar ahorros significativos al implementar mejoras en las estrategias de mantenimiento.

Modo de falla	Riesgo cuantitativo anual plan actual	Riesgo cuantitativo anual plan propuesto	Potencial ahorro anual
Boquilla en mal estado	\$ 9.834.109	\$ 6.368.325	\$ -
Tubo de llama tapado	\$ 4.925.875	\$ 3.186.146	\$ -
Problemas en el accionamiento del transformador	\$ 5.104.695	\$ 5.736.095	\$ 631.400
El programador no responde a las señales de encendido	\$ 5.283.515	\$ 5.736.095	\$ 452.580
Corrosión por dentro y fuera del material de los tubos	\$ 10.443.200	\$ 10.932.240	\$ 489.040
Formación de incrustaciones	\$ 10.388.209	\$ 10.483.149	\$ 94.940
Falla en el sistema de refrigeración	\$ 10.443.200	\$ 10.932.240	\$ 489.040
Defectos en el diseño	\$ 9.580.079	\$ 10.474.569	\$ 894.490
Rotura en las costuras de la soldadura	\$ 10.443.200	\$ 10.932.660	\$ 489.460
Deterioro en el material resistente a altas temperaturas	\$ 10.443.200	\$ 10.923.660	\$ 480.460

Tabla 3-5. Análisis de Costos y Ahorros por Modo de Falla.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de riesgos cuantitativos muestra que el riesgo total anual en el plan actual alcanza los 86.889.282 CLP, mientras que en el plan propuesto se reduce a 85.705.179 CLP. Esto refleja una mejora en la gestión de mantenimiento, con un ahorro potencial anual que se detalla para cada modo de falla en la tabla anterior. El ahorro se logra gracias a la implementación de medidas correctivas y preventivas, lo que contribuirá a una mayor eficiencia operativa y reducción de costos asociados a fallas.

3.2.3. Costos asociados e indicadores de indisponibilidad

La tabla presentada resume la comparación entre el plan de mantenimiento actual y el propuesto, destacando los indicadores clave que permiten evaluar la eficiencia técnica y económica de ambos enfoques. Se incluyen parámetros como frecuencia de fallas, indisponibilidad, horas de mantenimiento, tiempo fuera de servicio y costos anuales, lo que proporciona una visión integral de las mejoras esperadas.

Análisis de operación y costos asociados al plan actual:

- Las horas anuales de operación de la planta son 8.653 horas. Aunque la planta opera 8.760 horas al año, se deben considerar 107,2 horas de mantenimiento correctivo anuales.
- El costo por pérdida de producción que se considerará en el costo anual por ineficiencia es de aproximadamente \$ 1.180.400 por hora de indisponibilidad.
- El plan actual tiene 16,4 fallas por año, una indisponibilidad del 11,57% y un costo anual de ineficiencia de \$ 80.267.200 CLP.

	Plan actual	Plan propuesto
Cantidad de fallas por año	16,4	3,28
Indisponibilidad (%)	11,57 %	0,4 %
Horas de ejecución de mantenimiento por plan	107,2	123
Tiempo fuera de servicio por plan (hrs)	68	30,5
Costo anual por ineficiencia (CLP/año)	\$ 80.267.200	\$ 36.002.200
Presupuesto anual Plan (CLP/año)	\$ 9.176.990	\$ 8.103.665
Costo Global (CLP/año)	\$ 89.444.190	\$ 44.105.865
Ahorro (CLP/año)	-	\$ 45.338.325

Tabla 3-6. Escenario propuesto para selección de plan de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones.

- El plan propuesto reduce significativamente las fallas anuales, pasando de 16,4 fallas/año a 3,28 fallas/año. Esto equivale a una disminución del 80%, mejorando considerablemente la confiabilidad de los equipos.
- La indisponibilidad disminuye de 11,57% en el plan actual a solo 0,4% en el plan propuesto, mejorando la disponibilidad operativa de los activos y disminuye significativamente los tiempos en los que los equipos están fuera de servicio.
- Aunque el plan propuesto requiere un ligero aumento en las horas de mantenimiento pasando de 107,2 a 123 horas, este cambio se traduce en mejoras significativas en el desempeño general del sistema.
- El tiempo fuera de servicio disminuye de 68 horas a 30,5 horas, lo que refleja una optimización en los procesos de mantenimiento y una disminución significativa en la interrupción operativa.
- El costo asociado a ineficiencias en el plan actual asciende a \$ 80.267.200 CLP/año, mientras que con el plan propuesto se disminuye a \$ 36.002.200 CLP/año, logrando un ahorro directo de \$ 44.265.000 CLP/año solo en este aspecto específico.
- El costo directo de implementar el plan propuesto es ligeramente menor, pasando de \$ 9.176.990 CLP/año a \$ 8.103.665 CLP/año, lo que refuerza la factibilidad económica del cambio.
- El costo global que incluye las ineficiencias y el presupuesto del plan se reduce de \$ 89.444.190 CLP/año a \$ 44.105.865 CLP/año, generando un ahorro total de \$ 45.338.325 CLP/año.

La comparación demuestra que el plan propuesto es considerablemente más eficiente desde una perspectiva técnica y económica. Las mejoras en la disponibilidad operativa, la disminución de fallas, y la reducción de costos operativos hacen que el plan propuesto sea la mejor alternativa para garantizar la sostenibilidad y rentabilidad de los activos gestionados.

Con esta evaluación, concluyo mi trabajo de título, resaltando que la implementación del plan propuesto aportará beneficios tangibles para la empresa, optimizando tanto los indicadores clave de desempeño, como también la capacidad de respuesta ante las demandas operativas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el plan de mantenimiento propuesto, ya que al hacerlo disminuirá significativamente las fallas anuales del equipo crítico de 16,4 a 3,28, lo que equivale a una reducción del 80%, aumentando la confiabilidad de los equipos y mejorando la disponibilidad operativa, actualmente la tasa de indisponibilidad alcanza 11,57% y se reduce al 0,4%, asegurando un funcionamiento más constante y optimizando la utilización de los recursos existentes. También se busca una optimización en los tiempos de mantenimiento y servicio, aunque el plan propuesto aumenta las horas de mantenimiento de 107,2 horas a 123 horas, el tiempo fuera de servicio se reduce de 68 horas a 30,5 horas, mejorando las actividades y disminuyendo considerablemente los periodos de parada.

El beneficio económico para la empresa es notable, ya que si se analizan los costos directos de ejecución del plan disminuirá de \$ 9.176.990 CLP/año a \$ 8.103.665 CLP/año. Los costos anuales por ineficiencia disminuirán a \$ 44.265.000 CLP, pasando de \$ 80.267.200 CLP/año a 36.002.200 CLP/año. Por último, en el estudio de los costos globales se puede apreciar que el nuevo plan generará un ahorro total anual de \$ 45.338.325 CLP, este ahorro refuerza la viabilidad financiera del cambio propuesto.

Es sugerible que la planta lleve a cabo revisiones regulares de este plan de mantenimiento para detectar potenciales áreas de mejora continua, además de un estudio adicional del efecto ambiental vinculado a las mejoras en la disponibilidad operativa.

A lo largo del estudio realizado en el equipo, se pudieron cumplir con todos los objetivos que se han propuesto desde el inicio, logrando así poder generar la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo a la caldera de vapor, logrando una mejora significativa en la gestión de mantenimiento de la empresa. Esto fue logrado luego de un exhaustivo estudio a la información técnica y operacional que facilitó la identificación de problemas fundamentales, tales como un elevado índice de fallas y una indisponibilidad operativa.

Así mismo, mediante el uso de la metodología FMECA, se elaboró un plan de mantenimiento optimizado que disminuyó las fallas a 3,28 anuales, redujo el tiempo fuera de servicio a 30,5 horas y aumentó la disponibilidad operativa. En términos económicos, el plan permitió una disminución del costo global de \$ 44.105.865 CLP/año, lo que resultó en un ahorro total de \$ 45.338.325 CLP/año, evidenciando la factibilidad financiera del plan de mantenimiento propuesto.



Se concluye que este plan no solo incrementa la confiabilidad y disponibilidad operativa de los equipos, sino que también garantiza una administración financiera eficaz. La puesta en marcha del plan propuesto aportará ventajas considerables para la planta de producción, potenciando los indicadores clave de rendimiento, disminuyendo los gastos relacionados con ineficiencias y asegurando la viabilidad y la rentabilidad operativa de sus activos a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

ACHS. (s.f.) Asociación chilena de seguridad: Descripción de calderas y generadores de vapor.

https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/calderas_01.pdf?sfvrsn=8c8a1d83_0

Andinos Alimentos. (s.f.). <https://www.abgift.cl/andino.html>

Engineering, L. (2020). ¿Qué es un FMECA? Leedeo. <https://www.leedeo.es/l/fmeca/>

ESTÁNDAR BRITÁNICO. (2016). BS ISO 14224:2016 Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016). Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels: CENTRO DE GESTIÓN CEN-CENELEC.

Javier Ponce. (2014). Video sobre boquillas quemador.

https://www.youtube.com/watch?v=htQYx7nsvfY&ab_channel=JavierPonce

Martínez Niño, JL (2018). *Análisis de criticidad aplicado a sistemas productivos en la industria procesadora de alimentos, basado en el modelo semi-cuantitativo MCR (Matriz de Criticidad por Riesgo)* [Informe técnico]. ASME. DOI: [10.13140 /RG.2.2.13024.92168](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13024.92168)

Parra, C.; Crespo, A. (2015) Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos. Segunda Edición. INGEMAN, España, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.29363.66083

Parra, C. (2015). ENAP. Matriz de Evaluación y Gestión de Riesgos para la Confiabilidad Operacional, diseñada para los Yacimientos Pampa del Castillo – La Guitarra. Editado por ENAP INF-10-2015-CONF-1, Santiago de Chile, Chile.

Parra, C.; Tino, G.; Parra, J. A.; Viveros, P.; & Kristjanpoller, F. A. (2022). Criticality Analysis Techniques Applied to Optimize Maintenance Management Processes: Tools Based on the Qualitative and Quantitative Risk Model. In Cases on Optimizing the Asset Management Process; V. González-Prida, C. Márquez, A. Márquez, Eds. IGI Global; USA, pp. 180-207. <http://doi:10.4018/978-1-7998-7943-5.ch008>

Raffino, Equipo editorial, Etecé (2024). Metodología. Enciclopedia Concepto. Recuperado el 26 de septiembre de 2024.

Viveros, P. (2020). *Apuntes “Planificación y programación de mantenimiento”*. Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento, Universidad Técnica Federico Santa María.

ANEXOS

Anexo 1

Nombre del equipo	2021	2022	2023	2024	Frecuencia
Envasadora vertical 2	16	4	5	9	34
Envasadora vertical 1	15	3	12	3	33
Envasadora vertical 3	15	2	8	3	28
Selladora continua	8	1	7	2	18
Aglomerador	6	2	5	5	18
Mezclador de saborizante	0	4	7	5	16
Caldera de vapor	5	2	7	2	16
Multicabezal	4	2	4	5	15
Envasadora de vasos	1	6	4	1	12
Molino de azúcar	4	2	2	3	11
Mezclador lecitinador	8	0	0	1	9
Estanque de agua esterilizador	3	3	1	2	9
Selladora de vasos	8	0	0	0	8
Cinta alimentadora z	4	1	0	2	7
Detector de metales 1	2	1	1	2	6
Compresor de aire	0	3	2	1	6
Apilador eléctrico 1	1	1	1	2	5
Tolva de envasado esterilizado	0	0	0	5	5
Tamizador circular	0	0	0	4	4
Apilador eléctrico 2	0	0	2	2	4
Molino martillo 1	0	2	0	2	4
Detector de metales 2	0	0	1	2	3
Tamizador sala molino	0	0	1	2	3
Codificador	1	1	0	0	2
Mezclador pantalón	0	0	0	1	1
Iluminación de planta	1	0	0	0	1
Secador de aire	0	0	0	1	1
Envasadora de azúcar	0	0	1	0	1
Molino martillo 2	0	0	0	1	1
Tronzadora de especias	0	0	0	1	1
Molino de turbina especias	0	0	0	1	1

ANEXO 1. Equipos de la planta de producción junto con la frecuencia de fallas registradas hasta la fecha.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2

Nombre del equipo	Estado
Compresor 1	Sin Fallas
Compresor 2	Sin Fallas
Extractores de aire de planta	Sin Fallas
Máquina extrusora	Sin Fallas

Grajeador	Sin Fallas
Horno salva	Sin Fallas
Envasadora	Sin Fallas
Esterilizador 1	Sin Fallas
Esterilizador 2	Sin Fallas
Sala de secado esterilizado	Sin Fallas
Extractor de vapor esterilizado	Sin Fallas

ANEXO 2. Equipos de la planta de producción que no presentan fallas.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3

Nombre del equipo	Razón
Envasadora vertical 4	Reemplazado por equipo nuevo
Envasadora volumétrica avena	Reemplazado por equipo nuevo
Multicabezal vertical 4	Reemplazado por equipo nuevo

ANEXO 3. Equipos de la planta de producción que no se encuentran operativos.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4

EQUIPOS IDENTIFICADOS	FRECUENCIA FALLAS	SHA	CA	IP	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Envasadora vertical 2	5	1	3	1	3	15	Muy Alta Criticidad
Caldera de vapor	3	5	1	5	5	15	Muy Alta Criticidad
Aglomerador	4	3	2	1	3	12	Alta Criticidad
Envasadora vertical 1	5	1	2	1	2	10	Alta Criticidad
Envasadora vertical 3	5	1	1	1	1	5	Alta Criticidad
Esterilizador 1	1	5	2	1	5	5	Alta Criticidad
Esterilizador 2	1	5	2	1	5	5	Alta Criticidad
Mezclador de saborizante	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
Selladora continua	4	1	1	1	1	4	Media Criticidad
Multicabezal	3	1	1	1	1	3	Media Criticidad
Codificador	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
Molino de azúcar	2	3	2	2	3	6	Baja Criticidad
Mezclador lecitinador	2	3	2	1	3	6	Baja Criticidad
Envasadora de vasos	2	3	2	1	3	6	Baja Criticidad
Estanque de agua esterilizador	2	1	3	3	3	6	Baja Criticidad
Tolva de envasado esterilizado	2	3	2	2	3	6	Baja Criticidad
Molino martillo 1	2	3	1	1	3	6	Baja Criticidad
Cinta alimentadora z	2	1	1	2	2	4	Baja Criticidad
Selladora de vasos	2	1	2	1	2	4	Baja Criticidad
Apilador eléctrico 1	2	2	1	2	2	4	Baja Criticidad
Apilador eléctrico 2	2	2	1	2	2	4	Baja Criticidad
Mezclador pantalón	1	3	1	1	3	3	Baja Criticidad

Iluminación de planta	1	1	3	2	3	3	Baja Criticidad
Molino martillo 2	1	3	1	1	3	3	Baja Criticidad
Tronzadora de especias	1	3	1	2	3	3	Baja Criticidad
Sala de secado esterilizado	1	3	1	1	3	3	Baja Criticidad
Extractor de vapor esterilizado	1	3	1	2	3	3	Baja Criticidad
Detector de metales 1	2	1	1	1	1	2	Baja Criticidad
Detector de metales 2	2	1	1	1	1	2	Baja Criticidad
Tamizador circular	2	1	1	1	1	2	Baja Criticidad
Extractores de aire de planta	1	1	2	2	2	2	Baja Criticidad
Compresor de aire	2	1	1	1	1	2	Baja Criticidad
Tamizador sala molino	2	1	1	1	1	2	Baja Criticidad
Envasadora vertical 4	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Envasadora volumétrica avena	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Compresor 1	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Compresor 2	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Secador de aire	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Envasadora de azúcar	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Multicabezal vertical 4	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Máquina extrusora	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Grajeador	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Horno salva	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Molino de turbina especias	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Envasadora	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad

ANEXO 4. Jerarquización de los equipos identificados y evaluados bajo los criterios de evaluación asignados previamente.

Fuente: Elaboración propia en base a criterios de evaluación establecidos.



Anexo 5

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	FREC. FALLAS	MTTR (LOG-EJEC. P-EN MARCHA)	IMP. PROD. CL/Ph	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CL/Ph/falla	IMP. SEG	IMP. AMB	RIESGO CUANTITATIVO CL/Pda	RIESGO CUALITATIVO	GRÁFICO	Actividad Mtn	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (anual)	Número de personas	HH-ejecución	Tarifa especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
Subsistema: Quemador gas Riello G40 perfiles Diesel	1	Queimar 20 [l/h] Diesel	1.1	FALLA FUNCIONAL TOTAL: No llega a quemar hasta la capacidad de diseño	1.1.1	Buquilla en mal estado	Evidente: SI Alfeca SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Disminuye el caudal del Diesel para ser pulverizado Acción correctiva: Cambio completo del quemador	0,4	20	\$ 1.180.400	\$ 977.273	A	A	\$ 9.834.109	AA	3	Mtno.Correctivo	Cambio completo del quemador	0,4	1	8	\$ 6.364	\$ 850.000	\$ 360.364
					1.1.2	Tubo de llama tapado	Evidente: SI Alfeca SHA: SI Efecto operacional (síntomas): No permite el ingreso adecuado del aire que proviene de la turbina Acción correctiva: Desarme y limpieza de parte	1	4	\$ 1.180.400	\$ 204.275	A	A	\$ 4.925.875	AA	3	Mtno.Correctivo	Desarme y limpieza de parte	1	1	4	\$ 6.364	\$ 178.820	\$ 204.275
					1.1.3	Problemas en el accionamiento del transformador	Evidente: SI Alfeca SHA: No Efecto operacional (síntomas): No permite que se genere la chispa para el encendido de los electrodos Acción correctiva: Desarme y limpieza de controlador	2	2	\$ 1.180.400	\$ 191.547	C	C	\$ 5.104.695	CC	1	Mtno.Correctivo	Desarme y limpieza de controlador	2	1	4	\$ 6.364	\$ 178.820	\$ 408.549
					1.1.4	El programador no responde a las señales de encendido	Evidente: SI Alfeca SHA: No Efecto operacional (síntomas): Imposibilita el proceso de encendido del quemador Acción correctiva: Desarme del sistema eléctrico, limpieza y reajuste de piezas	3	1,33	\$ 1.180.400	\$ 187.305	C	C	\$ 5.283.515	CC	1	Mtno.Correctivo	Desarme del sistema eléctrico, limpieza y reajuste de piezas	3	1	4	\$ 6.364	\$ 178.820	\$ 612.824
Subsistema: Tubos de la caldera	2	Permite el paso del agua dentro de la caldera para calentamiento	2.1	FALLA FUNCIONAL TOTAL: Fuga de agua a través de los tubos	2.1.1	Corrosión por dentro y fuera del material de los tubos	Evidente: No Alfeca SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Debilita los componentes ya que no cuenta con inhibidores químicos Acción correctiva: Desarme y revisión interna de tubos	1	8	\$ 1.180.400	\$ 1.000.000	A	C	\$ 10.443.200	AC	3	Mtno.Correctivo	Desarme y revisión interna de tubos	1	2	8	\$ 62.500	\$ 500.000	\$ 1.500.000
					2.1.2	Formación de incrustaciones	Evidente: No Alfeca SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Aumento de las sales que se encuentran presentes en el agua debido al mal tratamiento de agua Acción correctiva: Desarme e inspección de tubos	5	2	\$ 1.180.400	\$ 189.002	A	C	\$ 10.388.209	AC	3	Mtno.Correctivo	Desarme e inspección de tubos	5	2	8	\$ 6.364	\$ 178.820	\$ 1.403.191
					2.1.3	Falla en el sistema de refrigeración	Evidente: SI Alfeca SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Acelera la corrosión y la oxidación Acción correctiva: Desarme, revisión y soldadura si es requerida	1	8	\$ 1.180.400	\$ 1.000.000	A	C	\$ 10.443.200	AC	3	Mtno.Correctivo	Desarme, revisión y uso de soldadura si es requerida	1	2	8	\$ 62.500	\$ 500.000	\$ 1.500.000
Subsistema: Paredes de la caldera	3	Alberga los gases producto de la combustión y transfiere hacia los tubos que contienen agua	3.1	FALLA FUNCIONAL PARCIAL: Reducción aproximada del 40 % en la capacidad de transferencia de calor hacia el agua en los tubos	3.1.1	Defectos en el diseño	Evidente: No Alfeca SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Poca eficiencia térmica Acción correctiva: Desarme y revisión de partes comprometidas	1	8	\$ 1.180.400	\$ 136.879	A	A	\$ 9.580.079	AA	3	Mtno.Correctivo	Desarme y revisión de partes comprometidas	1	2	8	\$ 6.364	\$ 85.970	\$ 187.788
					3.1.2	Rotura en las costuras de la soldadura	Evidente: SI Alfeca SHA: No Efecto operacional (síntomas): Degradación del material Acción correctiva: Reparación externa de manzanra (servicio de soldadura)	1	8	\$ 1.180.400	\$ 1.000.000	B	C	\$ 10.443.200	BC	2	Mtno.Correctivo	Reparación externa de manzanra (servicio de soldadura)	1	2	8	\$ 62.500	\$ 500.000	\$ 1.500.000
					3.1.3	Deterioro en el material resistente a altas temperaturas	Evidente: No Alfeca SHA: No Efecto operacional (síntomas): Porosidades y cambios de temperatura Acción correctiva: Reparación externa de manzanra (servicio de soldadura)	1	8	\$ 1.180.400	\$ 1.000.000	B	C	\$ 10.443.200	BC	2	Mtno.Correctivo	Reparación externa de manzanra (servicio de soldadura)	1	2	8	\$ 62.500	\$ 500.000	\$ 1.500.000
TOTAL PTTO ANUAL																							\$	9.176.990

ANEXO 5. Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de plantilla de Ingeniería en Mantenimiento USM 2024.

Anexo 6

TAREA: LIMPIEZA Y DESOBSTRUCCIÓN DEL TUBO DE LLAMA DEL QUEMADOR

TIPO DE TAREA: PREVENTIVO

PRIORIDAD: Alta

CLASIFICACIÓN 1: NIVEL 4

TIEMPO DE PARO POR MANTENIMIENTO: 02H 30mins

CLASIFICACIÓN 2: QUEMADOR

DURACIÓN ESTIMADA: 02H 30mins

¿HACER CUANDO?		
Activada Por	Descripción	
Fecha	Cada 9 Meses	
SUBTAREAS		
Grupo/Parte	Procedimiento	Resultado
HERRAMIENTAS	REUNIR LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS	Si / No
CALDERA	APAGAR LA CALDERA	Si / No
CALDERA	VERIFICAR QUE ESTÉ DESCONECTADA DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO Y DE COMBUSTIBLE, FRÍA Y SIN PRESIÓN	Verificación
QUEMADOR	DESMONTAR EL QUEMADOR, AFLOJANDO LAS FIJACIONES MECÁNICAS	Si / No
QUEMADOR	DESCONECTAR LAS LÍNEAS DE COMBUSTIBLE Y CONEXIONES ELÉCTRICAS	Si / No
QUEMADOR	RETIRAR EL QUEMADOR PARA ACCEDER AL TUBO DE LLAMA	Si / No
TUBO DE LLAMA	LIMPIAR EL INTERIOR DEL TUBO DE LLAMA CON LA AYUDA DE LA ESCOBILLA METÁLICA	Si / No
TUBO DE LLAMA	SOPLAR EL TUBO CON AIRE COMPRIMIDO Y VERIFICAR VISUALMENTE EL ESTADO INTERNO CON UNA LINTERNA	Si / No
QUEMADOR	REINSTALAR EL QUEMADOR Y AJUSTAR LAS FIJACIONES MECÁNICAS	Si / No
QUEMADOR	RECONECTAR LAS LÍNEAS DE COMBUSTIBLE	Si / No
QUEMADOR	RECONECTAR LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS Y CALIBRAR LOS PARÁMETROS DEL QUEMADOR	Si / No
CALDERA	REALIZAR UNA PRUEBA DE ENCENDIDO PARA AJUSTAR LA COMBUSTIÓN Y VERIFICAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO	Verificación
CALDERA	INSPECCIONAR FUGAS Y REALIZAR UNA REVISIÓN FINAL DE SEGURIDAD	Si / No
CALDERA	LIMPIAR EL ÁREA DE TRABAJO Y DOCUMENTAR LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	Si / No

ANEXO 6. Plan de mantenimiento preventivo limpieza y desobstrucción del tubo de llama del quemador.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fractal One.

Anexo 7

RECURSOS A UTILIZAR		
Descripción	Cantidad	Tipo
JEFE DE MANTENIMIENTO	1	Recursos Humanos
MECÁNICO	1	Recursos Humanos
Llave Punta Corona 19 mm LP19-1234 Stanley PC19 { HERR-LPC-19 } Acero cromado tratado térmicamente	1	Inventario
TALADRO MAKITA DHP487RFJ { HERR010 } ATORNILLADOR	1	Inventario
LINTERNA ENERGIZER ENERGIZER HARDCASE LED { HERR012 } LED	1	Inventario
ESCOBILLA DE ACERO CUERPO MADERA HELA SKU 119719 { HERR015 } ACERO	1	Inventario
ESPÁTULA LISA HELA SKU 384128 { HERR017 } ACERO INOXIDABLE	1	Inventario
SENSOR GALGA DE ESPESOR MITUTOYO { HERR018 } ACERO INOXIDABLE	1	Inventario
DESINCRUSTANTE DE SARRO { }	1	Inventario
RASPADOR STANLEY RASP-BASIC-01 { HERR019 } ACERO INOXIDABLE	1	Inventario

ANEXO 7. Recursos asignados al plan de mantenimiento limpieza y desobstrucción del tubo de llama del quemador.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fractal One.

Anexo 8

TAREA: DESARME Y LIMPIEZA DEL CONTROLADOR

TIPO DE TAREA: PREVENTIVO

PRIORIDAD: Alta

CLASIFICACIÓN 1: NIVEL 4

TIEMPO DE PARO POR MANTENIMIENTO: 04H 00mins

CLASIFICACIÓN 2: CONTROLADOR

DURACIÓN ESTIMADA: 04H 00mins

¿HACER CUANDO?		
Activada Por	Descripción	
Fecha	Cada 2 Meses	
SUBTAREAS		
Grupo/Parte	Procedimiento	Resultado
HERRAMIENTAS	REUNIR LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS	Si / No
CALDERA	APAGAR LA CALDERA	Si / No
CALDERA	DESCONECTAR LA CALDERA DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	Si / No
CONTROLADOR	VERIFICAR VISUALMENTE SI HAY DAÑOS EVIDENTES, CONEXIONES SUeltas O SIGNOS DE SOBRECALENTAMIENTO EN EL TRANSFORMADOR O EL CONTROLADOR	Verificación
CONTROLADOR	AFLOJAR LOS TORNILLOS Y ABRIR LA CARCASA DEL CONTROLADOR CON LAS HERRAMIENTAS ADECUADAS	Si / No
CONTROLADOR	IDENTIFICAR LOS COMPONENTES INTERNOS PRINCIPALES, INCLUYENDO TERMINALES, RELÉS Y CONTACTOS	Si / No
CONTROLADOR	UTILIZAR AIRE COMPRIMIDO PARA REMOVER POLVO ACUMULADO EN LA SUPERFICIE Y EN ÁREAS DIFÍCILES DE ALZANZAR (EVITAR DIRIGIR EL AIRE A LOS CONTACTOS SIN PROTECCIÓN)	Si / No
CONTROLADOR	LIMPIAR LOS CONTACTOS ELÉCTRICOS Y ELIMINAR RESIDUOS O SUCIEDAD CON UN PAÑO DE MICROFIBRA HUMEDECIDO CON ALCOHOL ISOPROPÍLICO	Si / No
CONTROLADOR	SI SE ENCUENTRA CORROSIÓN LIGERA, UTILIZAR GOMA DE BORRAR O UNA HERRAMIENTA ESPECIALIZADA PARA PULIR CONTACTOS	Si / No
CONTROLADOR	VERIFICAR QUE LOS TORNILLOS, CONECTORES Y TERMINALES ESTÉN FIRMES Y SIN HOLGURAS	Verificación
CONTROLADOR	CERRAR LA CARCASA DEL CONTROLADOR Y AJUSTAR TODOS LOS TORNILLOS EN SU LUGAR	Si / No
CONTROLADOR	RECONECTAR CONTROLADOR AL TRANSFORMADOR Y AL SISTEMA ELÉCTRICO	Si / No
CALDERA	ENCENDER LA CALDERA, VERIFICAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR Y DEL CONTROLADOR	Verificación
REGISTRO	DOCUMENTAR LA LIMPIEZA REALIZADA Y INCLUIR RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INTERVENCIONES SI ES NECESARIO	Texto

ANEXO 8. Plan de mantenimiento preventivo desarme y limpieza del controlador.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fractal One.

Anexo 9

RECURSOS A UTILIZAR		
Descripción	Cantidad	Tipo
JEFE DE MANTENIMIENTO PLANTA ANDINO	1	Recursos Humanos
ALCOHOL ISOPROPÍLICO { 121457908 }	1	Inventario
DESTORNILLADOR PLANO Y CRUZ DP-8MM STANLEY FLAT 8mm { HERR003 } MANGO ERGONOMICO DE GOMA	1	Inventario
CEPILLO DE CERDAS SUAVES STANLEY SOFT-BRUSH-2024 { HERR016 } USO GENERAL	1	Inventario

ANEXO 9. Recursos asignados al plan de mantenimiento desarme y limpieza del controlador.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fracttal One.

Anexo 10

TAREA: DESARME Y LIMPIEZA DEL SISTEMA ELÉCTRICO

TIPO DE TAREA: PREVENTIVO

PRIORIDAD: Alta

CLASIFICACIÓN 1: NIVEL 4

TIEMPO DE PARO POR MANTENIMIENTO: 04H 00mins

CLASIFICACIÓN 2: SISTEMA ELÉCTRICO

DURACIÓN ESTIMADA: 04H 00mins

¿HACER CUANDO?		
Activada Por	Descripción	
Fecha	Cada 2 Meses	
SUBTAREAS		
Grupo/Parte	Procedimiento	Resultado
HERRAMIENTAS	REUNIR LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS	Si / No
CALDERA	APAGAR EL SISTEMA Y DESCONECTAR EL PROGRAMADOR	Si / No
PROGRAMADOR	REVISAR EL PROGRAMADOR Y VERIFICAR SI HAY SEÑALES DE DAÑOS O SOBRECALENTAMIENTO	Verificación
PROGRAMADOR	MEDIR LAS ENTRADAS DE CORRIENTE CON EL MULTÍMETRO PARA ASEGURAR QUE LAS SEÑALES DE ENCENDIDO LLEGUEN CORRECTAMENTE	Si / No
CONTROLADOR	VERIFICAR LAS CONEXIONES PARA DESCARTAR CABLES SUELTOS	Verificación
PROGRAMADOR	DESMONTAR EL PROGRAMADOR, REALIZAR INSPECCIÓN INTERNA EN BUSCA DE CABLES DAÑADOS O SUELTOS	Si / No
PROGRAMADOR	ELIMINAR POLVO CON AIRE COMPRIMIDO, LIMPIAR CONTACTOS ELÉCTRICOS CON ALCOHOL ISOPROPÍLICO	Si / No
PROGRAMADOR	RECONECTAR EL PROGRAMADOR Y VERIFICAR LAS CONEXIONES	Verificación
CALDERA	REALIZAR PRUEBAS DE ENCENDIDO PARA CONFIRMAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMADOR	Si / No
REGISTRO	DOCUMENTAR LA INTERVENCIÓN Y REGISTRAR CUALQUIER RECOMENDACIÓN	Texto

ANEXO 10. Plan de mantenimiento preventivo desarme y limpieza del sistema eléctrico.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fracttal One.

Anexo 11

RECURSOS A UTILIZAR		
Descripción	Cantidad	Tipo
MECÁNICO	1	Recursos Humanos
DESTORNILLADOR PLANO Y CRUZ DP-8MM STANLEY FLAT 8mm { HERR003 } MANGO ERGONOMICO DE GOMA	1	Inventario
MULTÍMETRO MM-DIGITALFLUKE Fluke Fluke 117 { HERR009 } Digital	1	Inventario
ALCOHOL ISOPROPÍLICO { 121457908 }	1	Inventario
Paño Microfibra Multiuso 10 Unidades { LIMP-PM-10 }	1	Inventario

ANEXO 11. Recursos asignados al plan mantenimiento de desarme y limpieza del sistema eléctrico.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fractal One.

Anexo 12

TAREA: INSPECCIÓN, LIMPIEZA Y CONTROL PREVENTIVO DE LOS TUBOS

TIPO DE TAREA: PREVENTIVO

PRIORIDAD: Muy Alta

CLASIFICACIÓN 1: NIVEL 4

TIEMPO DE PARO POR MANTENIMIENTO: 08H 00mins

CLASIFICACIÓN 2: TUBOS

DURACIÓN ESTIMADA: 08H 00mins

¿HACER CUANDO?		
Activada Por		Descripción
Fecha	Cada 2 Meses	
SUBTAREAS		
Grupo/Parte	Procedi miento	Resultado
HERRAMIENTAS	REUNIR HERRAMIENTAS NECESARIAS	Si / No
CALDERA	APAGAR Y PURGAR LA CALDERA	Si / No
CALDERA	VERIFICAR QUE ESTÉ DESPRESURIZADA Y FRÍA	Verificación
TUBOS	RETIRAR PANELES DE ACCESO Y DESMONTAR LOS TUBOS AFECTADOS	Si / No
TUBOS	IDENTIFICAR VISUALMENTE SIGNOS DE CORROSIÓN, INSCRUSTACIONES O DEFORMACIONES POR CALOR	Si / No
TUBOS	EN CASO DE INSCRUSTACIONES, APLICAR PRODUCTOS QUÍMICOS DESINCRUSTANTES O USAR HERRAMIENTAS ABRASIVAS PARA REMOVER DEPÓSITOS SÓLIDOS	Si / No
TUBOS	EN CASO DE CORROSIÓN, USAR CEPILLOS METÁLICOS Y AIRE COMPRIMIDO PARA LIMPIAR SUPERFICIES INTERNAS Y EXTERNAS	Si / No
TUBOS	INSPECCIONAR EL FLUJO DE AGUAA TRAVÉS DE LOS TUBOS Y LIMPIAR OBSTRUCCIONES	Si / No

TUBOS	EVALUAR EL DESGASTE EN ZONAS CON CORROSIÓN, UTILIZANDO UN MEDIDOR DE ESPESORES	Si / No
TUBOS	IDENTIFICAR ÁREAS DONDE LAS INCRUSTACIONES HAYAN DETERIORADO EL MATERIAL	Si / No
TUBOS	DETECTAR DAÑOS ESTRUCTURALES DEBIDO AL SOBRECALENTAMIENTO	Texto
TUBOS	REPARAR ZONAS AFECTADAS POR CORROSIÓN LEVE O RESIDUOS PERSISTENTES	Si / No
TUBOS	ANTE LA APARICIÓN DE FISURAS, PAREDES ADELGAZADAS O DEFORMACIONES, SE DEBEN SUSTITUIR LOS TUBOS CON DAÑO CRÍTICO	Si / No
TUBOS	REENSAMBLAR LOS TUBOS Y REALIZAR UNA PRUEBA PARA VERIFICAR LA INTEGRIDAD DEL SISTEMA	Verificación
TUBOS	SUPERVISAR EL FLUJO DE AGUA Y LA PRESIÓN PARA CONFIRMAR LA CORRECTA FUNCIONALIDAD	Verificación
REGISTRO	DOCUMENTAR LAS ACCIONES REALIZADAS Y INCLUIR RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INTERVENCIONES SI ES NECESARIO	Texto
CALDERA	REACTIVAR LA CALDERA Y MONITOREAR SU DESEMPEÑO INICIAL	Si / No

ANEXO 12. Plan de mantenimiento preventivo inspección, limpieza y control de los tubos.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fracttal One.

Anexo 13

RECURSOS A UTILIZAR		
Descripción	Cantidad	Tipo
JEFE DE MANTENIMIENTO	1	Recursos Humanos
MECÁNICO	1	Recursos Humanos
Llave Punta Corona 19 mm LP19-1234 Stanley PC19 { HERR-LPC-19 } Acero cromado tratado térmicamente	1	Inventario
TALADRO MAKITA DHP487RFJ { HERR010 } ATORNILLADOR	1	Inventario
LLAVE AJUSTABLE (LLAVE INGLESA) 10 PULGADAS REDLINE ADJ-10 { HERR002 } ACERO CROMADO	1	Inventario
CEPILLO DE CERDAS SUAVES STANLEY SOFT-BRUSH-2024 { HERR016 } USO GENERAL	1	Inventario

ANEXO 13. Recursos asignados al plan de mantenimiento inspección, limpieza y control de los tubos.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fracttal One.

Anexo 14

TAREA: INSPECCIÓN Y REPARACIÓN DE SOLDADURA A PAREDES DE CALDERA

TIPO DE TAREA: PREVENTIVO

PRIORIDAD: Muy Alta

CLASIFICACIÓN 1: NIVEL 5

TIEMPO DE PARO POR MANTENIMIENTO: 08H 00mins

CLASIFICACIÓN 2: PAREDES DE CALDERA

DURACIÓN ESTIMADA: 08H 00mins

¿HACER CUANDO?		
Activada Por	Descripción	
Fecha	Cada 6 Meses	
SUBTAREAS		
Grupo/Parte	Procedimiento	Resultado
PROTOCOLO	COORDINAR LAS ACTIVIDADES Y ASEGURAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD	Si / No
HERRAMIENTAS	REUNIR HERRAMIENTAS Y MATERIALES NECESARIOS	Si / No
ÁREA DE TRABAJO	PREPARAR EL ÁREA DE TRABAJO, DESPEJANDO OBSTRUCCIONES PARA TENER UN ACCESO SEGURO A LAS PAREDES DE LA CALDERA	Si / No
CALDERA	VERIFICAR LA DESCONEXIÓN ELÉCTRICA Y DESPRESURACIÓN DE LA CALDERA	Verificación
EQUIPO DE SOLDADURA	INSPECCIONAR EL EQUIPO DE SOLDADURA Y VERIFICAR QUE LOS MATERIALES DE REPARACIÓN ESTÉN DISPONIBLES	Si / No
PAREDES	REALIZAR EL DESARME DE LAS CUBIERTAS EXTERNAS, EXPONIENDO LAS PAREDES INTERNAS Y ÁREAS SOLDADAS	Si / No
PAREDES	LIMPIAR LAS SUPERFICIES PARA FACILITAR LA INSPECCIÓN	Si / No
PAREDES	INSPECCIONAR VISUALMENTE LAS PAREDES IDENTIFICANDO DEFECTOSO ZONAS DETERIORADAS	Si / No
PAREDES	UTILIZAR LÍQUIDOS PENETRANTES PARA DETECTAR FISURAS Y MEDICIÓN DE ESPESORES EN PUNTOS CRÍTICOS	Si / No
PAREDES	SI ES NECESARIO, SUSTITUIR O AJUSTAR PLACAS DAÑADAS	Si / No
PAREDES	REALIZAR PREPARACIONES EN LA SUPERFICIE PARA FACILITAR LA SOLDADURA	Si / No
PAREDES	REPARAR COSTURAS DEFECTUOSAS MEDIANTE SOLDADURA, APLICAR MATERIAL RESISTENTE AL CALOR EN LAS ZONAS DETERIORADAS	Si / No
PAREDES	VERIFICAR QUE LAS REPARACIONES CUMPLAN CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD	Verificación
PAREDES	RETIRAR RESIDUOS DE SOLDADURA Y LIMPIAR LA ZONA PARA FACILITAR EL MONTAJE FINAL	Si / No

CALDERA	REALIZAR PRUEBAS FUNCIONALES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA, ASEGURANDO QUE LAS REPARACIONES SEAN EFECTIVAS	Si / No
REGISTRO	DOCUMENTAR LAS ACCIONES REALIZADAS, INCLUYENDO LAS ÁREAS REPARADAS	Si / No

ANEXO 14. Plan de mantenimiento preventivo inspección y reparación de soldadura a paredes de caldera.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fracttal One.

Anexo 15

RECURSOS A UTILIZAR		
Descripción	Cantidad	Tipo
JEFE DE MANTENIMIENTO	1	Recursos Humanos
MECÁNICO	1	Recursos Humanos
SOLDADOR	1	Recursos Humanos
Llave Punta Corona 19 mm LP19-1234 Stanley PC19 { HERR-LPC-19 } Acero cromado tratado térmicamente	1	Inventario
LLAVE AJUSTABLE (LLAVE INGLESA) 10 PULGADAS REDLINE ADJ-10 { HERR002 } ACERO CROMADO	1	Inventario
DETECTOR DE LÍQUIDOS PENETRANTES { SUM001 }	1	Inventario
EQUIPO DE SOLDADURA INDURA WELDER-IND-200 { EQS001 } SOLDADURA MIG	1	Inventario
ESCOBILLA DE METAL Metalfer Cepillo de hilo de Acero { HERR020 } Madera 6 Filas	1	Inventario
ESMERIL ANGULAR MAKITA M9510b { EQS002 } 4 1/2" (115mm)	1	Inventario
MEDIDOR DE ESPESOR POR ULTRASONIDO Smart Sensor AS840 { MED001 } 1.2 mm - 225 mm	1	Inventario
ELECTRODO SOLDADURA E-7018 1/8" { ELECT001 }	1	Inventario
MASILLA REFRACTARIA { MAS001 }	1	Inventario
SELLANTE MULTIUSO { SIK001 }	1	Inventario

ANEXO 15. Recursos asignados al plan de mantenimiento inspección y reparación de soldadura a paredes de caldera.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Fracttal One.