



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA



**JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS Y ELABORACIÓN DE PLANES DE
MANTENIMIENTO A EQUIPOS MECÁNICOS CRÍTICOS**

Por

Alicia Valentina Matus Quezada

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniera Civil Mecánica

Profesor Guía:
PhD Emilio Dufeu Delarze

Ingeniera Supervisora:
Isabella Concha Hermosilla

Julio 2023
Concepción (Chile)

© 2023 Alicia Valentina Matus Quezada

© 2023 Alicia Valentina Matus Quezada

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

Agradecimientos

En este momento especial, quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte esencial de mi camino académico y profesional, y que me han brindado su valioso apoyo durante el desarrollo de esta memoria de título:

A mi mamá, el pilar inquebrantable de mi vida, gracias por tu inmenso amor, apoyo y paciencia. Tus palabras de aliento y tu confianza en mí fueron mi fuerza motriz en los momentos más desafiantes. Sin tu presencia constante, nada de esto hubiera sido posible.

A mi hermana, compañera y amiga incondicional, gracias por tus consejos y escucha atenta en cada etapa de este proceso, te agradezco infinitamente por estar ahí para ayudarme siempre, sin excepción y por llevarme al terminal de buses y a la práctica cada vez que lo necesité.

Quiero agradecer especialmente a Nicolás, por ser mi fuente de motivación y valentía, por creer en mí desde un principio y estar siempre a mi lado brindándome su apoyo, comprensión, ánimo y cariño. Te admiro, tu amor es mi mayor fortaleza.

Aunque ya no esté físicamente con nosotros, quiero agradecer profundamente a mi papá, Jaime. Tus enseñanzas, sabiduría y amor perdurarán eternamente en mi corazón. Cada logro que alcanzo es también un tributo a tu legado.

A mi estimado profesor guía, Emilio Dufeu, gracias por su dedicación, orientación y sabias enseñanzas a lo largo de la carrera. Su guía experta y sus comentarios constructivos fueron fundamentales para dar forma y enriquecer este trabajo.

A mis queridos compañeros de carrera, quienes me acompañaron durante estos intensos 6 años (y medio), agradezco cada momento compartido y su valiosa ayuda desinteresada. Sus intercambios de ideas, colaboración y amistad fueron esenciales para enriquecer mi formación. Espero llegar a ser tan buena profesional como ustedes.

A mi supervisora, Isabella Concha, y a todas las personas en la empresa Cargill de Coronel, quienes generosamente compartieron su tiempo, conocimientos y experiencia, les agradezco su disposición para colaborar y brindarme información valiosa. Su contribución fue un pilar fundamental en el desarrollo de esta memoria.

Asimismo, deseo extender mi reconocimiento a todos quienes, directa o indirectamente, han sido parte de este viaje. Cada uno de ustedes ha dejado una huella significativa en mi trayectoria académica y profesional. A través de sus contribuciones he crecido y aprendido más de lo que hubiera imaginado. Gracias por formar parte de este capítulo crucial de mi vida y por ser una fuente constante de inspiración y motivación.

Resumen

El presente proyecto de titulación se lleva a cabo en la empresa Cargill, ubicada en Coronel, Chile, con el objetivo de diseñar un programa de mantenimiento para los equipos críticos involucrados en el proceso de producción de pellets alimenticios para salmón. El estudio surge de la necesidad del departamento de mantenimiento por optimizar los recursos y mejorar la eficiencia y productividad en la gestión del mantenimiento.

El proyecto consta de varias etapas. En primer lugar, se realiza un análisis exhaustivo de la situación actual del departamento para comprender los procesos, maquinaria involucrada y el sistema de gestión de mantenimiento existente. Luego, se recopila información técnica sobre los equipos instalados en la planta industrial, actualizando un inventario técnico de las unidades instaladas y organizándolas según los niveles taxonómicos especificados en la norma ISO 14.224, la cual establece una base para la recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos [1].

A continuación, se aplica una metodología de análisis cualitativo de criticidad basada en el riesgo para priorizar las unidades según su probabilidad de falla y el impacto que su avería genera en la producción, calidad, mantenimiento, seguridad y medio ambiente. El análisis evalúa tanto los equipos obligatorios designados por la compañía como los equipos de nivel 6 previamente definidos en la clasificación taxonómica. Los resultados revelan la existencia de 8 equipos críticos, 159 equipos con criticidad media y 629 equipos con baja criticidad dentro de la planta Cargill Coronel.

Para desarrollar los planes de mantenimiento, la priorización es fundamental y, por lo tanto, se crean primero los planes para los equipos más críticos. Debido a la falta de datos históricos en los registros de la empresa, los planes se desarrollan en base a las instrucciones del fabricante, requisitos legislativos y políticas de mantenimiento establecidas por la compañía.

Los hallazgos de este proyecto brindan conocimientos valiosos sobre el proceso de optimización del mantenimiento para equipos críticos en la producción de pellets alimenticios para salmón. El programa de mantenimiento preventivo propuesto sirve como marco para mejorar las prácticas de mantenimiento, optimizar la utilización de recursos y, en última instancia, lograr los objetivos operativos deseados en la organización.

Palabras clave: Mantenimiento, gestión de activos, equipos críticos, análisis de riesgos, ISO 14224.

Abstract

This project is carried out at Cargill, located in Coronel, Chile, with the aim of designing a maintenance program for critical equipment involved in the production process of salmon feed pellets. The study emerged from the maintenance department's need to optimize resources and enhance efficiency and productivity in maintenance management.

The project consists of several stages. Firstly, an analysis of the current maintenance department is conducted to understand the processes, machinery involved, and the existing maintenance management system. Technical information regarding the equipment installed in the industrial plant is then gathered, updating a technical inventory of the installed units, and organizing them according to the taxonomy levels specified in standard ISO 14.224, which establishes a basis for the collection and exchange of reliability and maintenance data of equipment [1].

Next, a qualitative criticality analysis methodology based on risk is applied to prioritize the units according to their failure probability and the impact of their breakdown on production, quality, maintenance, safety, and the environment. The analysis evaluates both mandatory equipment designated by the company and level 6 equipment previously defined in the taxonomy ranking. The results reveal the presence of 8 critical equipment, 159 equipment with medium criticality, and 629 equipment with low criticality within the Cargill Coronel plant.

To develop maintenance plans, prioritization is crucial, and therefore, plans are created first for the most critical equipment. Due to the lack of historical data in the company's records, the plans are developed based on manufacturer instructions, legislative requirements, and the maintenance policies mandated by the company.

The findings of this project provide valuable insights into the maintenance optimization process for critical equipment in the production of salmon feed pellets. The proposed preventive maintenance program serves as a framework for enhancing maintenance practices, optimizing resource utilization, and ultimately achieving the desired operational objectives in the organization.

Keywords: Maintenance, asset management, critical equipment, risk analysis, ISO 14224.

Tabla de Contenidos

Resumen	i
Abstract.....	ii
Tabla de Contenidos	iii
Lista de Tablas.....	v
Lista de Figuras	vi
Glosario	vii
1 CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivo general.....	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 Metodología	3
1.5 Planificación del proyecto	4
2 CAPÍTULO 2: Marco Teórico	5
2.1 Antecedentes de la empresa.....	5
2.2 Descripción del proceso productivo	6
2.3 Norma ISO 14.224.....	8
2.4 Estrategia CAF: Cargill Asset Framework	9
2.5 Estructura taxonómica CAF.....	10
2.6 ¿Qué es un análisis de criticidad?.....	13
2.7 Jerarquización de activos	14
2.8 Mantenimiento	15
2.9 Programa de mantenimiento	17
3 CAPÍTULO 3: Análisis de criticidad	19
3.1 Equipos para incluir en el análisis de criticidad	20
3.2 Determinación del número de criticidad.....	24
3.3 Evaluación de criticidad.....	25
3.4 Resultados del análisis de criticidad	25
4 CAPÍTULO 4: Activos críticos	27
4.1 Caldera	27
4.2 Sala de calderas de planta Cargill-Ewos.....	27

4.3 Decreto Supremo N°10: Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que utilizan vapor de agua.	27
4.4 Descripción pruebas exigibles por DS10 [22]	28
4.5 Subequipos y partes principales que componen a una caldera pirotubular	30
4.6 Datos técnicos de Calderas N°3 y N°4	33
4.7 Extrusor.....	34
5 CAPÍTULO 5: Planes de Mantenimiento.....	36
5.1 Plan de mantenimiento Caldera N°3 y N°4	36
5.2 Plan de mantenimiento extrusor	45
6 CAPÍTULO 6: Conclusiones.....	54
Trabajos Futuros	55
Referencias	56
Anexo A: Tabla evaluación criticidad.	58
Anexo B: Encuesta para evaluar criticidad de activos.	59
Anexo C: Formato encuesta para evaluar criticidad de activos. (Enlace a encuesta)	60
Anexo D: Mantenimiento recomendado por fabricante reductor de extrusor.	64
Anexo E: Plano de extrusor línea 5.	65
Anexo F: Lubricación recomendada por fabricante extrusor.	66
Anexo G: Plano buje centrador tornillo extrusor.....	67

Lista de Tablas

Tabla 1. Calibres fabricados. [13]	8
Tabla 2. Pros y contras de un análisis de criticidad.....	13
Tabla 3. Requerimientos y desventajas del mantenimiento preventivo. [20].....	17
Tabla 4. Equipos mandatorios de Cargill.	20
Tabla 5. Equipos nivel 6.	20
Tabla 6. Clasificación de criticidad.	25
Tabla 7. Resultados análisis de criticidad: Equipos de alta criticidad.....	25
Tabla 8. Información técnica de calderas N°3 y N°4.	33
Tabla 9. Datos técnicos extrusores en Cargill planta Coronel.....	34
Tabla 10. Simbología usada para periodicidad en los planes.	36
Tabla 11. Programa de mantenimiento general de las calderas.....	38
Tabla 12. Plan de mantenimiento quemador caldera N°3.	39
Tabla 13. Plan de mantenimiento ventilador de caldera N°3.	40
Tabla 14. Programa de mantenimiento bomba de alimentación caldera N°3.	41
Tabla 15. Tareas de mantenimiento válvulas y accesorios.....	42
Tabla 16. Programa de mantenimiento compresor de Caldera.....	43
Tabla 17. Programa de mantenimiento de dispositivos de control y seguridad de las calderas. ...	44
Tabla 18. Programa de mantenimiento central de detección de chispas.	45
Tabla 19. Programa de mantenimiento cuerpo extrusor L5.	46
Tabla 20. Programa de mantenimiento caja reductora de velocidad de extrusor.	47
Tabla 21. Programa de mantenimiento para el motor del extrusor de la línea 5.	49
Tabla 22. Programa de mantenimiento para el porta cuchillos.	49
Tabla 23. Programa de mantenimiento del sistema de control del extrusor.....	51
Tabla 24. Programa de mantenimiento para línea de vapor del extrusor.	52
Tabla 25. Programa de mantenimiento para la línea de agua del extrusor.	52

Lista de Figuras

Figura 1. Principales exportaciones chilenas fuera del cobre.....	1
Figura 2. Carta Gantt del proyecto.	4
Figura 3. Ubicación Cargill - Ewos en Coronel, Chile.....	5
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso productivo.....	6
Figura 5. Taxonomía según estándar ISO 14.224. [1].....	9
Figura 6. Estructura taxonómica CAF.....	11
Figura 7. Ejemplo de organización según taxonomía norma ISO 14.224.....	13
Figura 8. Evolución del mantenimiento en la industria.....	15
Figura 9. Metodología aplicada para análisis de criticidad.	19
Figura 10. Criterios para determinar probabilidad de falla del equipo.....	21
Figura 11. Criterios para evaluar impacto en producción y calidad.	22
Figura 12. Criterios para evaluar impacto en el mantenimiento.....	22
Figura 13. Criterios para evaluar impacto en seguridad.....	23
Figura 14. Criterios para evaluar impacto en el medio ambiente.	23
Figura 15. Porcentajes utilizados según área para ponderación del puntaje de criticidad.....	24
Figura 16. Caldera N°3.....	37
Figura 17. Caldera N°4.....	37
Figura 18. Extrusor línea 5.	46
Figura 19. Plano buje centrador.....	67

Glosario

Falla: Condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe; es decir, es todo lo que detiene la operación de una máquina [2].

Fueloil: Combustible líquido derivado del petróleo, que se destina normalmente a la calefacción.

Taxonomía: Clasificación ordenada y jerárquica [3].

Purga de superficie: Procedimiento que se lleva a cabo de manera continua o periódica con el objetivo de eliminar los sólidos disueltos que se acumulan en la capa superior de un líquido [4].

Purga de fondo: Este proceso es manual que tiene por objetivo eliminar los sedimentos y lodos que se acumulan en el fondo de la caldera. Suele realizarse durante unos segundos una vez en cada turno [4].

Tesoro: Un tesoro es una herramienta de organización y búsqueda de información que utiliza un listado controlado de términos relacionados y sus relaciones para facilitar la recuperación de información de manera precisa y exhaustiva.

Disponibilidad: La disponibilidad se expresa generalmente como un porcentaje, que indica la proporción del tiempo en que un sistema está disponible para producir en relación con el tiempo total.

Confiabilidad: se refiere a la capacidad de un sistema o producto para funcionar de manera constante y predecible durante un período de tiempo determinado, bajo condiciones específicas.

Mantenibilidad: se refiere a la capacidad de un sistema o producto para ser mantenido o reparado de manera efectiva y eficiente.

Acrónimos

AC	:	Análisis de Criticidad
CAF	:	<i>Cargill Asset Framework</i>
DS	:	Decreto supremo
KPI	:	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador clave de rendimiento)
LWCO	:	<i>Low water cut off</i> (corte por bajo nivel de agua)
MTBF	:	Tiempo medio entre fallos
MTTC	:	Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgos
MTTR	:	Tiempo medio de reparación
PF	:	Probabilidad de Falla
RCA	:	<i>Root cause analysis</i> (Análisis causa raíz)
RCM	:	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (Mantenimiento centrado en confiabilidad)
TBF	:	Tiempo de buen funcionamiento
TPM	:	<i>Total Productive Maintenance</i> (Mantenimiento productivo total)
UdeC	:	Universidad de Concepción

CAPÍTULO 1: Introducción

1.1 Descripción del problema

Cargill es una empresa industrial de importancia global, que se dedica a la producción y comercialización de una amplia gama de insumos, desde productos químicos y lubricantes, hasta soja, maíz, cacao, carne, pescado, aceite y productos digitales [5]. En particular, Cargill en Chile se dedica a la fabricación de alimento para salmón.

Chile es el segundo productor de salmónidos en el mundo después de Noruega, concentrando el 28% de la producción mundial. Dentro del ámbito nacional, tal como se muestra en la Figura 1, el salmón es el segundo producto más exportado de Chile, luego del cobre [6].

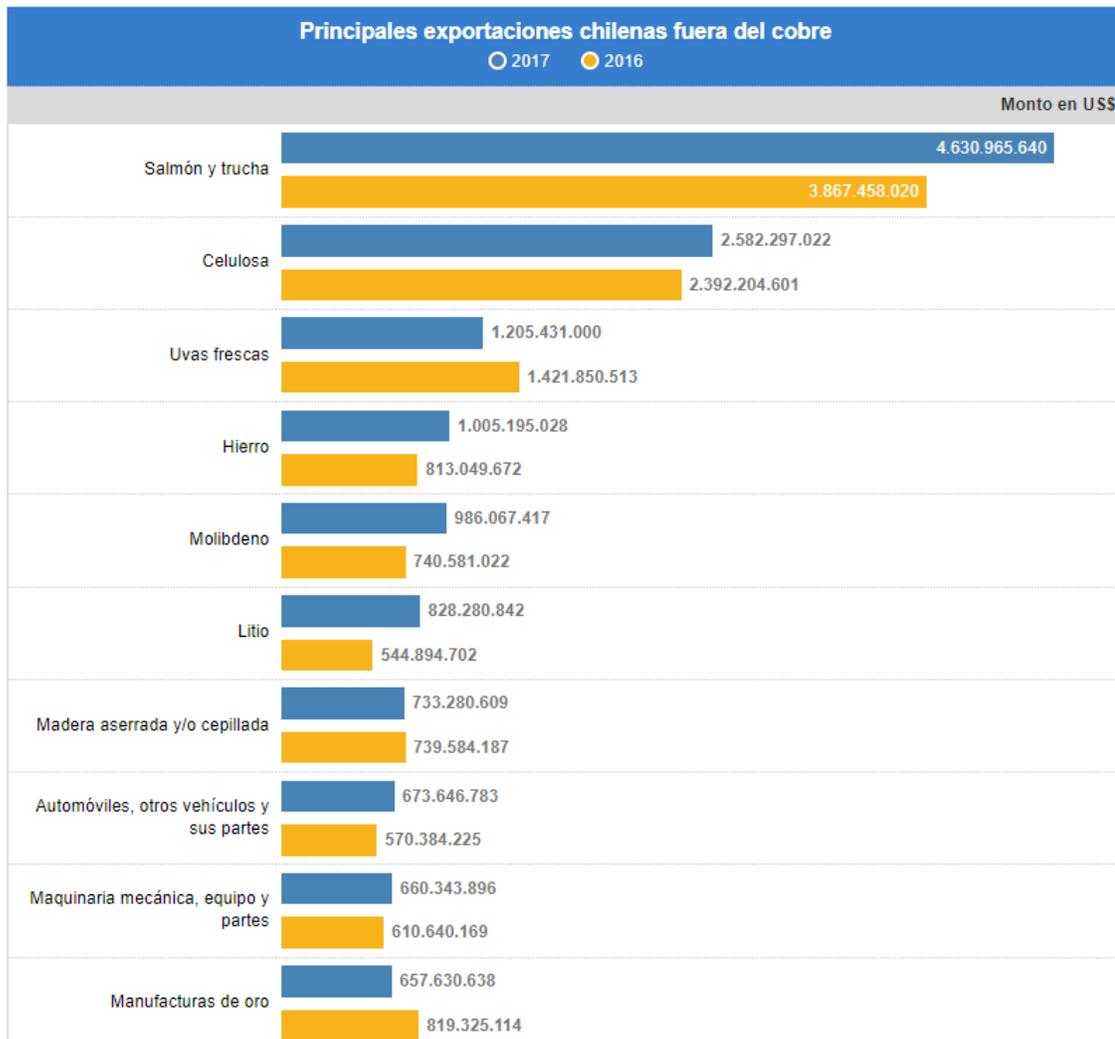


Figura 1. Principales exportaciones chilenas fuera del cobre.

Debido a la gran demanda de salmón, que experimentó un fuerte crecimiento luego de la pandemia por Covid-19, se requiere que las industrias productoras de alimento para salmónidos se mantengan operando constantemente de una manera cada vez más eficiente y segura.

Cargill-Ewos reconoce la importancia de mantener una operación continua. No obstante, la compañía enfrenta desafíos actuales relacionados con averías frecuentes y una falta de planes de mantenimiento adecuados para sus equipos. Esto resulta en un enfoque predominantemente correctivo en lugar de preventivo, lo que conlleva a la falta de orden y organización en las labores de mantenimiento. Estos problemas tienen impactos negativos evidentes, como tiempos de inactividad que afectan la producción de alimentos para el salmón y, como consecuencia, la compañía se enfrenta a diversas problemáticas, como las que se detallan a continuación:

- Aumento de los costos de reparación: Si los equipos no se mantienen regularmente, pueden sufrir fallas y desgaste prematuro, lo que trae como consecuencia un mayor gasto en reparaciones y reemplazos [7].
- Tiempos de inactividad no planificados: Cuando un equipo falla o deja de funcionar correctamente, puede causar interrupciones en la calidad, el costo y el tiempo de producción, lo que puede resultar en pérdidas financieras significativas para la empresa [8].
- Disminución de la eficiencia operativa: Los equipos que no se mantienen adecuadamente pueden sufrir una disminución en su eficiencia operativa, lo que puede afectar negativamente la calidad del producto y la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos de entrega.
- Peligro para la seguridad de los empleados: La falta de realización de mantenimientos preventivos conlleva un incremento significativo en el número de accidentes debido a descuidos operativos y/o reparaciones deficientes [9]. Por esta razón el personal se ve expuesto a condiciones de trabajo inseguras que pueden ocasionar lesiones graves o incluso la muerte.
- Pérdida de clientes y reputación: Si los equipos no funcionan correctamente y la empresa no puede cumplir con los plazos de entrega o los requisitos de calidad, puede perder clientes y su reputación en el mercado puede verse afectada negativamente.

Todos los efectos mencionados se reflejan actualmente en las distintas áreas de la compañía en estudio, evidenciando que la falta de planes de mantenimiento conduce a una serie de problemas que afectan negativamente su producción, rentabilidad, seguridad de los trabajadores, inocuidad y calidad del producto, entre otros. Para corregir esto es fundamental que la empresa cuente con un sólido mantenimiento planificado de sus equipos que permita garantizar la seguridad y eficiencia de sus operaciones.

1.2 Objetivo general

Proponer un programa de mantenimiento asociado a los equipos mecánicos críticos, a través de la jerarquización de activos y elaboración planes de mantenimiento mecánicos, para mejorar principalmente la seguridad y confiabilidad en la planta.

1.3 Objetivos específicos

OE1: Organizar los activos con los que cuenta la compañía según taxonomía descrita por el estándar CAF (Cargill Asset Framework) basado en la norma ISO 14.224.

OE2: Realizar análisis de criticidad de los equipos que intervienen en el proceso productivo para su jerarquización según su impacto en seguridad, medio ambiente, mantenimiento, calidad y producción.

OE3: Seleccionar dos clases de los equipos más críticos y elaborar sus planes de mantenimiento.

1.4 Metodología

OE1: Organizar los activos con los que cuenta la compañía según taxonomía descrita por el estándar CAF (Cargill Asset Framework) basado en la norma ISO 14.224.

Para comenzar, es estrictamente necesario saber cuál es el estado actual de los activos existentes en la planta, es decir, conocer los activos que se tienen, la cantidad y en qué condiciones están. En este sentido, se propone comenzar realizando un catastro de los equipos presentes en la compañía.

Se requiere completar el catastro de todos los activos que intervienen en el proceso productivo, para esto se organizan visitas a planta para ver los equipos en terreno y recopilar la información faltante en los registros, la cual se ordena en un archivo Excel siguiendo la estructura definida en el estándar ISO 14.224.

OE2: Realizar análisis de criticidad de los equipos que intervienen en el proceso productivo para su jerarquización según su impacto en seguridad, medio ambiente, mantenimiento, calidad y producción.

Una vez completado el proceso de levantamiento de datos y organizado el listado de todos los activos que intervienen en el proceso, resulta necesario evaluar los equipos principales desde diferentes perspectivas de importancia en el proceso, lo cual permite determinar la criticidad de cada activo. Para esto se le asigna una calificación de criticidad a los equipos en base a la evaluación de su riesgo potencial en distintos aspectos, tales como seguridad, medio ambiente, mantenimiento, producción y calidad. La calificación obtenida permite establecer una jerarquía de la maquinaria en función de su criticidad, lo que a su vez determina qué equipos requieren de forma prioritaria la elaboración de un plan de mantenimiento.

Dado que la empresa no cuenta con ningún tipo de registro de datos, como historial de fallas de sus maquinarias, se debe recurrir al uso de una metodología cualitativa para el análisis de criticidad. Para

esto se coordinan reuniones con los mantenedores de la empresa y los operadores, con esto se espera conocer en detalle los equipos a estudiar y recopilar la información acerca de sus componentes o problemas que históricamente se han presentado en su funcionamiento.

OE3: Seleccionar dos clases de los equipos más críticos y elaborar sus planes de mantenimiento.

Se seleccionan dos clases de equipos mecánicos para realizar los planes de mantenimiento a partir de la información del fabricante, la cual se encuentra especificada en los manuales de operación y mantenimiento respectivos, y de la normativa legislativa vigente según corresponda. Además, se pretende realizar una revisión bibliográfica para determinar qué técnicas de mantenimiento son las idóneas para los equipos seleccionados y las exigencias a las que están sujetos por normativa.

De esta forma, con la elaboración de programas de mantenimiento en la planta industrial Cargill-Ewos, se espera mejorar significativamente la calidad de los pellets alimenticios para salmón, asegurando un producto final de alta calidad, además de lograr un proceso de fabricación seguro para los colaboradores y contribuyendo al éxito de la industria acuícola. Asimismo, se pretende optimizar los procesos de producción, reducir los tiempos de inactividad no planificados y aumentar la eficiencia general de la planta.

1.5 Planificación del proyecto

En la Figura 2 se presenta la planificación del proyecto, considerando como semana de inicio de actividades la semana del 20 de marzo y como termino la semana del 3 de Julio del presente año.

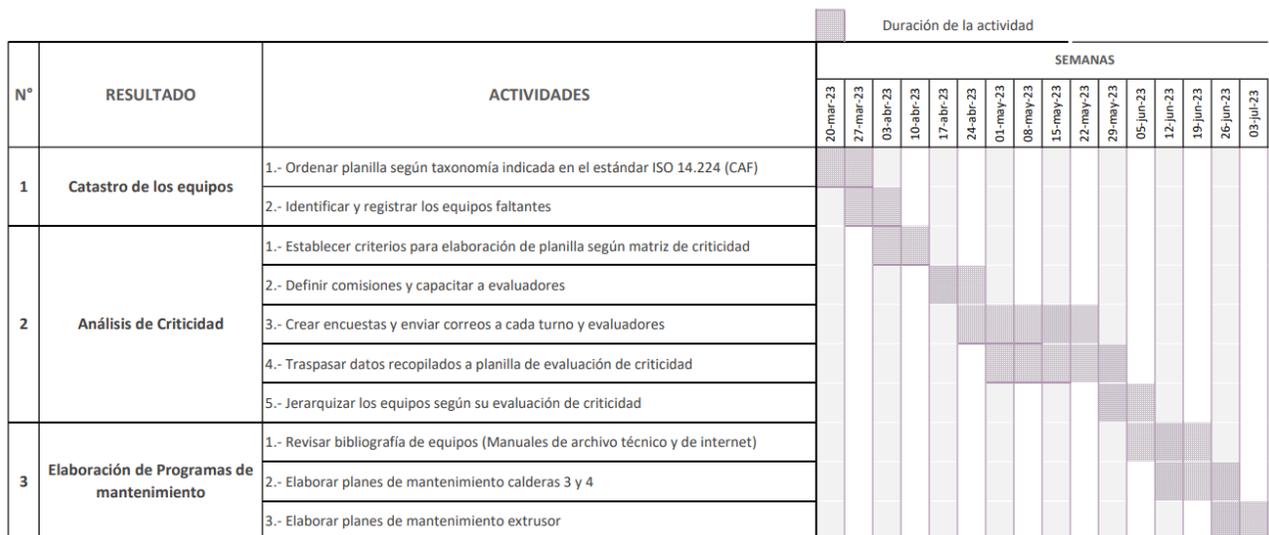


Figura 2. Carta Gantt del proyecto.

CAPÍTULO 2: Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la empresa

Cargill, es una empresa internacional dedicada a la agroindustria, que estableció su presencia en Chile en el año 2015 mediante la adquisición de EWOS, una destacada compañía dedicada a la producción de alimentos para peces a nivel global. Desde entonces, Cargill ha mantenido una presencia constante en el país y en la industria acuícola, contando con una planta de fabricación ubicada en Parque Industrial Escuadrón, km. 20 camino a Coronel, en la Región del Biobío, que es donde se lleva a cabo el presente proyecto. En la Figura 3 se muestra la ubicación geográfica de planta Cargill Coronel.



Figura 3. Ubicación Cargill - Ewos en Coronel, Chile.

Además, la compañía posee un Centro de Distribución y oficinas en Puerto Montt, así como un Centro de Innovación en Salud de peces en la localidad costera de Colaco, conocido como Cargill Innovation center Colaco, en la Región de Los Lagos [10].

Las operaciones de Cargill en Chile se enfocan en la producción y comercialización de alimentos para la acuicultura, los cuales son suministrados a sus clientes desde la Región de la Araucanía hasta la Patagonia Chilena, en la Región de Magallanes. Asimismo, desde Chile, la empresa exporta alimentos acuícolas de alta calidad al resto del mundo, comercializándolos bajo la reconocida marca EWOS.

2.2 Descripción del proceso productivo

El proceso productivo en la elaboración de pellets para la piscicultura es altamente exigente y presenta diferencias significativas en comparación con los métodos utilizados para otras especies animales. En general, los pellets de hundimiento destinados a la alimentación de peces se fabrican principalmente utilizando máquinas peletizadoras y de extrusión. La empresa Cargill – EWOS es destacada en este campo, centrandose sus trabajos en la fabricación de alimento para salmón. En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo de producción y a continuación se proporciona una descripción de cada etapa del proceso que se lleva a cabo en la planta.

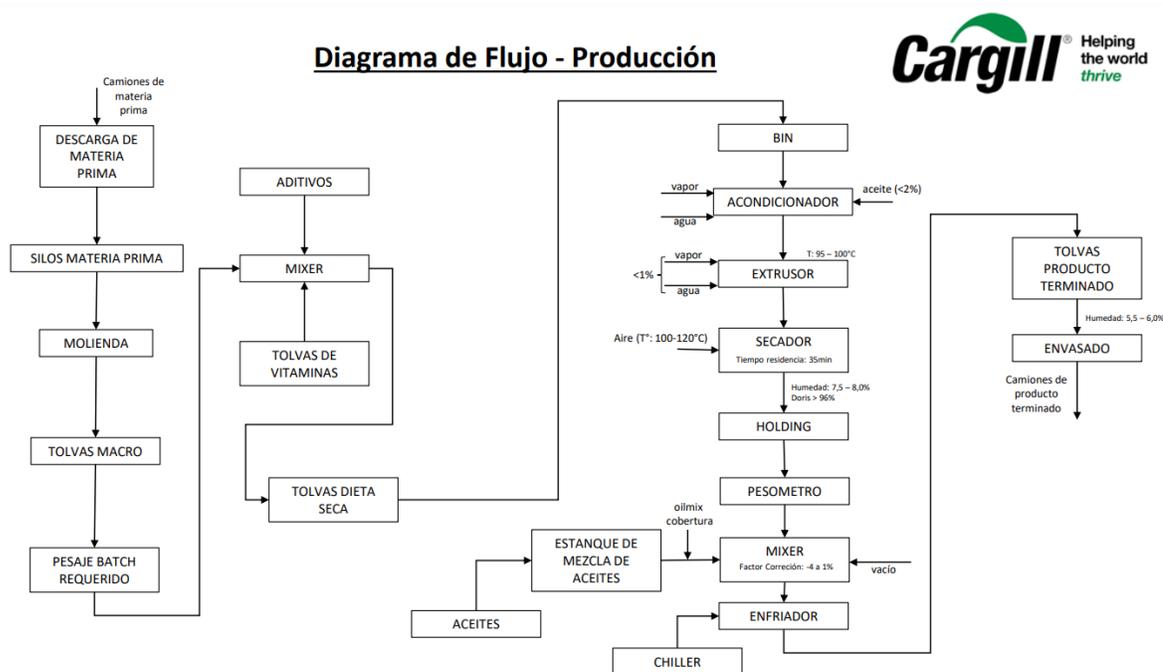


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso productivo.

2.2.1 Descarga de materia prima

Las operaciones comienzan en las líneas de insumo, lo cual comprende desde la llegada de la materia prima, la cual corresponde a harina de pescado, subproductos de granos u otros vegetales, aceite de pescado, vitaminas y minerales, y una fuente de pigmentos carotenoides [11], hasta la llegada de los insumos al almacenamiento en los silos de materia prima.

2.2.2 Molienda y mezclado

A continuación, viene el proceso de molienda, donde todos los ingredientes secos se muelen para obtener una granulometría y textura adecuada, luego se mezclan en proporciones específicas y se le

agregan los aditivos y/o vitaminas, todo esto según las necesidades nutricionales del salmón en cada etapa de su desarrollo.

2.2.3 Extrusión

Luego, continúa el proceso de extrusión, donde la mezcla de ingredientes se introduce en una máquina acondicionadora de dieta en la que se agregan vapor, agua y aceite bajo parámetros preestablecidos para generar la cocción de los ingredientes, posterior a esto la mezcla generada pasa a una maquina extrusora, la que con el movimiento del tornillo sin fin en su interior aumenta la presión y el calor empujando la mezcla contra una matriz que entrega un pellet con dimensiones requeridas según el producto que se encuentre fabricando. Durante este proceso, se produce una cocción rápida y una expansión de la mezcla, lo que da como resultado una textura y forma definida para los pellets de alimento.

2.2.4 Secado

Posteriormente se tiene el secado, en el cual los pellets de alimento se someten a un proceso de secado para disminuir su porcentaje de humedad y prolongar su vida útil. Esto se puede lograr mediante secado al aire, secado por convección o secado por pulverización.

2.2.5 Aceitado

El aceitado es un proceso utilizado para incorporar aceites vegetales y marinos al pellet, el cual lo penetran gracias al uso de bombas generadoras de vacío. Además, en este proceso se entrega un recubrimiento de grasa el cual proporciona una permeabilidad adecuada que facilita su conservación y posterior transporte. Además, el recubrimiento ayuda a reducir la dispersión de las partículas de alimento y el polvo. Para el recubrimiento de los pellets, la empresa utiliza un líquido llamado policap [12].

2.2.6 Enfriamiento

Después del aceitado, los pellets de alimento se enfrían para evitar que se adhieran entre sí y previniendo la generación de hongos por la humedad presente en el pellet producido. Este proceso se realiza en tolvas de enfriamiento en donde el pellet recibe aire a menor temperatura que lo atraviesa a contraflujo gracias al uso de ventiladores que generan un tiro forzado.

2.2.7 Envasado

Finalmente, el alimento es empaquetado en bolsas o contenedores adecuados para su almacenamiento y transporte. Es importante mantenerlo en condiciones adecuadas de temperatura y humedad para preservar su calidad y garantizar su frescura. Y una vez envasado, se almacena en una bodega de producto terminado, donde permanece a la espera de ser distribuido a las granjas acuícolas donde se cría el salmón.

El proceso descrito involucra el funcionamiento de más de 4.000 equipos, distribuidos en siete líneas de producción completamente automatizadas operadas por un equipo de personal altamente capacitado y calificado para la fabricación de distintas variedades de calibre de pellets para salmón. A continuación, en la Tabla 1 se detallan las medidas de los calibres fabricados y las respectivas líneas encargadas de su producción.

Tabla 1. Calibres fabricados. [13]

Calibre	Diámetro [mm]	Largo [mm]	Línea
0,15	0,3	0,66	Línea micro
0,18	0,5	1	Línea micro
0,75	0,75	1,3	Línea micro
2	1,1	1,7	Línea 2
5	1,6	1,6	Línea 2
15	2,2	2,2	Línea 2
50	3	3	Línea 2
100	4	4	Líneas 2, 3, 4, 5 y 6
250	6	6	Líneas 2, 3, 4, 5, 6 y 7
800/1500	9,5	9,5	Líneas 2, 3, 4, 5, 6 y 7
1500/2000	12	9,5	Líneas 2, 3, 4, 5, 6 y 7
1500/2000/3500	12	12	Líneas 2, 3, 4, 5, 6 y 7

De la información mostrada en la Tabla 1 es posible apreciar la importancia que tiene la línea 2, ya que, si bien es una de las líneas más antiguas y cuenta con equipos de menores dimensiones, es capaz de fabricar la mayoría de los calibres. Por esta razón, ante cualquier detención en la producción de las líneas 3, 4, 5, 6 o 7; la línea 2 permite continuar produciendo el calibre requerido y atenuar, de cierta forma, la emergencia generada por la detención de otra línea.

2.3 Norma ISO 14.224

La norma ISO 14.224 [1] brinda una sólida base para la recolección y organización de los datos de confiabilidad y mantenimiento para los activos instalados en industrias de petróleo, petroquímica y gas natural. [14]

Los datos recopilados sirven para la gestión de los activos durante su ciclo de vida y permiten la toma de decisiones informadas sobre mantenimiento y mejoras. Debido a que la norma aborda equipos comunes en las instalaciones industriales, esta norma puede ser fácilmente adaptada para su aplicación en cualquier industria que tenga activos físicos en los procesos, de esta forma se puede utilizar esta norma al recopilar la información del activo. [15]

En la Figura 5 se muestra la taxonomía descrita por la norma, la cual consta de una pirámide con distintos niveles que abarcan desde lo más general (primer nivel), a lo más específico (noveno nivel).

Los niveles del 1 al 5 están relacionados con el uso y la ubicación del activo, mientras que los niveles del 6 al 9 se refieren a la subdivisión del activo.

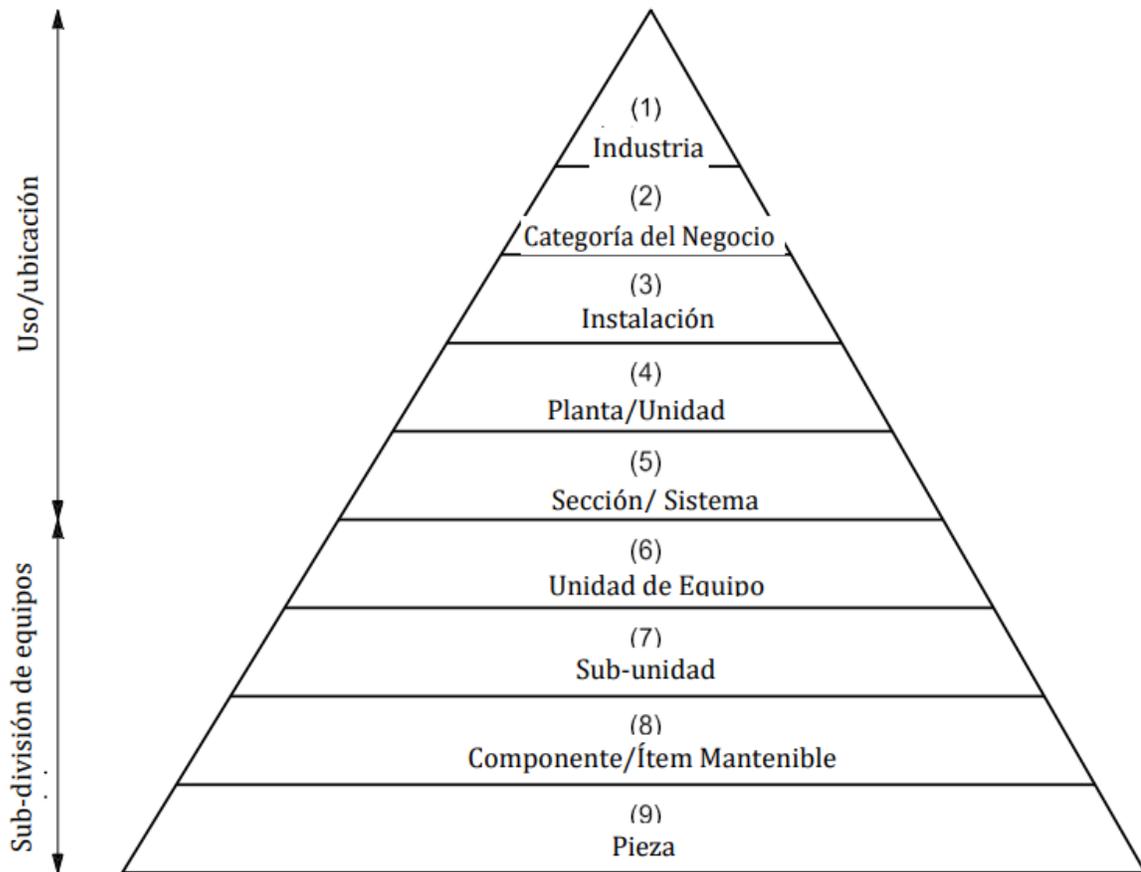


Figura 5. Taxonomía según estándar ISO 14.224. [1]

2.4 Estrategia CAF: Cargill Asset Framework

Cargill Asset Framework (CAF) es desarrollada por Cargill, como una adaptación de la norma ISO 14.224, para gestionar sus activos de manera efectiva y así optimizar el rendimiento de los activos, reducir los costos operativos y mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Esta estrategia proporciona un enfoque estructurado y sistemático para la gestión de activos en toda la organización, abarcando desde la identificación de activos críticos hasta la implementación de estrategias de mantenimiento y mejora continua.

El CAF se basa en las mejores prácticas de gestión de activos y se alinea con las normas internacionales de gestión de activos. Algunos elementos clave del Cargill Asset Framework incluyen:

2.4.1 Identificación de activos

El CAF plantea identificar los activos críticos de la organización, es decir, aquellos que tienen un impacto significativo en la producción y calidad, seguridad, mantenimiento y medio ambiente. Para

esto primero es necesario cuales son los activos con los que cuenta la compañía, por lo que se requiere realizar un levantamiento generando un listado de los activos o actualizando algún listado ya existente.

2.4.2 Evaluación de riesgos y rendimiento

La evaluación de riesgos es una metodología que facilita la identificación de los activos críticos permite enfocar los esfuerzos de gestión y asignar los recursos adecuados. El marco CAF proporciona herramientas y técnicas para evaluar los riesgos asociados con los activos y su impacto en los objetivos de la organización. Además, permite realizar evaluaciones periódicas del rendimiento de los activos para detectar oportunidades de mejora.

2.4.3 Desarrollo de estrategias de mantenimiento

El CAF ayuda a desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas para maximizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos. Esto implica la implementación de planes de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, así como la gestión de repuestos y la capacitación del personal.

2.4.4 Mejora continua

El CAF fomenta la mejora continua en la gestión de activos, a través de la implementación de acciones correctivas y preventivas, el seguimiento del desempeño de los activos y la retroalimentación de la información recopilada.

2.5 Estructura taxonómica CAF

Para la identificación de activos y recopilación de su información asociada, el CAF establece una estructura de 8 niveles, la cual se muestra a continuación en la Figura 6.

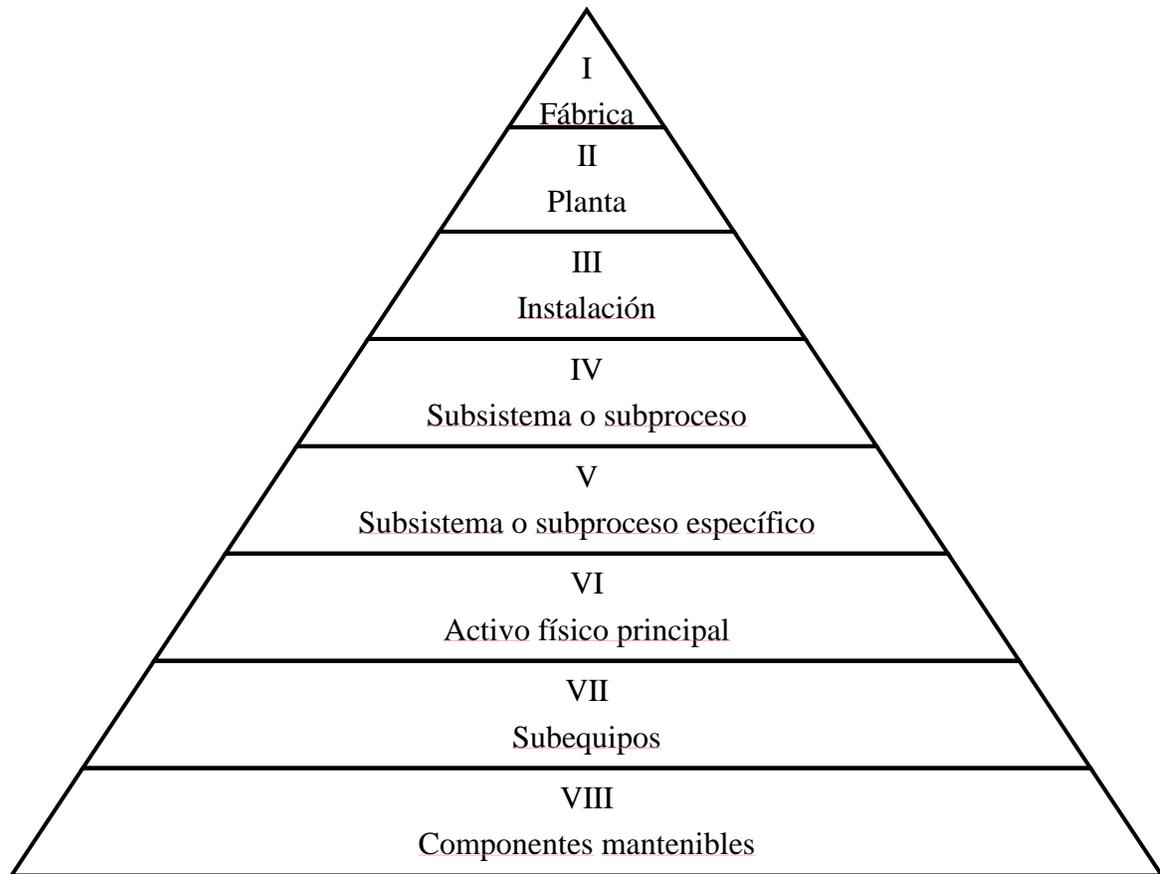


Figura 6. Estructura taxonómica CAF.

2.5.1 Nivel 1: Fábrica

Hace referencia a la categoría del negocio, para este caso la estructura es llevada a la fábrica de alimentos en Chile y se relaciona con la ubicación de la empresa en sus tres emplazamientos geográficas; Puerto Montt, Colaco y Coronel.

2.5.2 Nivel 2: Planta

Este nivel se relaciona con las unidades dentro de la planta, como lo son los distintos departamento o edificios. Estos pueden ser para la planta de Coronel, por ejemplo: Edificio de finanzas, edificio de ingeniería y mantenimiento, edificio de operaciones, edificio de producción, bodega de producto terminado, casino, planta de riles, etc.

2.5.3 Nivel 3: Instalación

Son las instalaciones al interior de cada uno de los departamentos o edificios, como por ejemplo las áreas dentro del edificio de producción, como lo son: almacenamiento de materias primas secas, almacenamiento de aceites, molienda, dosificación, líneas de extrusión, envasado, distribución de agua, vapor y aceite, etc.

2.5.4 Nivel 4: Subsistema o subproceso

Los subsistemas o subprocesos en el caso de la planta en cuestión solo pueden ser llevados a los emplazados dentro del edificio de producción, para este nivel corresponde a las líneas de producción y los subprocesos que son pertenecientes únicamente a una línea de producción.

2.5.5 Nivel 5: Subsistema o subproceso específico

Este nivel no es utilizado por la empresa ya que no existen subsistemas específicos de las líneas de producción.

2.5.6 Nivel 6: Activo físico o equipo principal

Corresponde a los equipos principales que son fundamentales para la generación del proceso, que están compuestos por más de un equipo, es decir, equipos que para su funcionamiento dependen de varios activos.

2.5.7 Nivel 7: Subequipos

Son los equipos que componen los equipos principales, en el caso de que alguno de estos equipos falle el equipo principal queda sin funcionamiento.

2.5.8 Nivel 8: Componente mantenible

Corresponde a los elementos mantenibles del activo, es decir, los distintos componentes que conforman el subequipo que potencialmente sufre una avería.

En la Figura 7 se muestra ejemplificada la estructura de organización por niveles que en el nivel 6 describe a un extrusor con sus subequipos en nivel 7 y sus componentes mantenibles en el nivel 8.

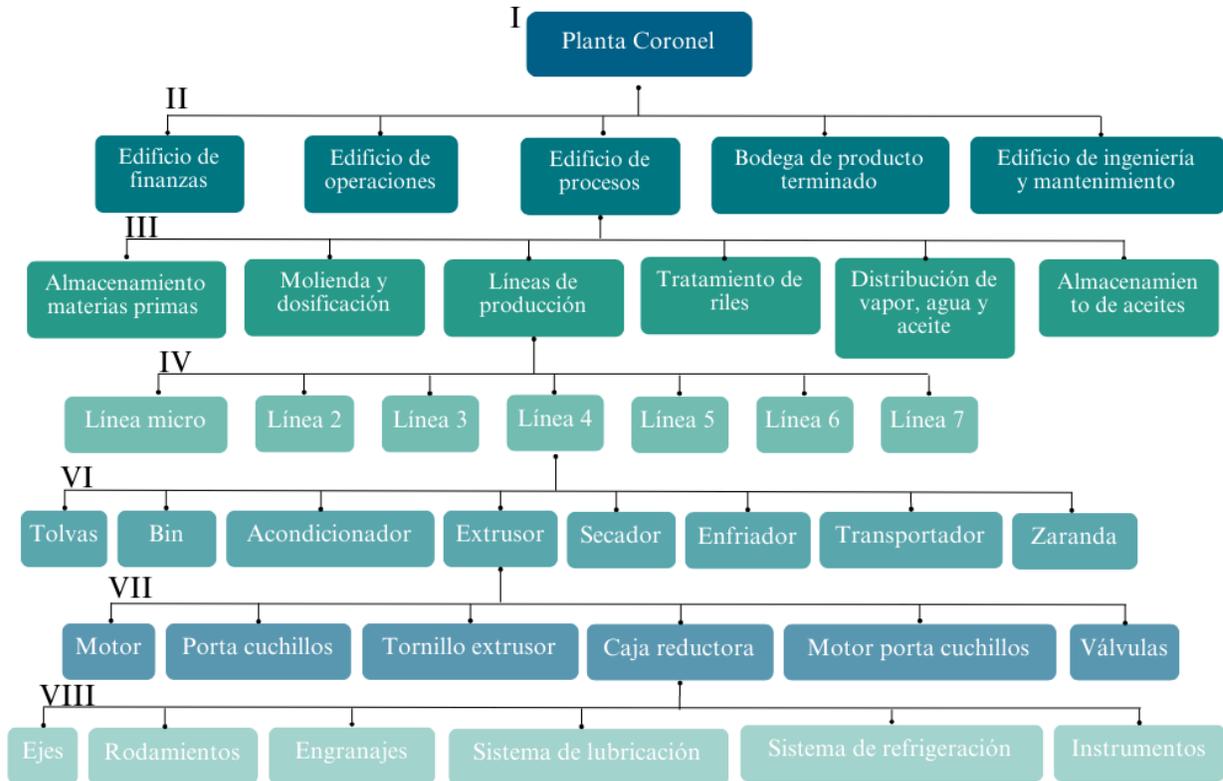


Figura 7. Ejemplo de organización según taxonomía norma ISO 14.224.

En el ejemplo de la Figura 7 es importante notar que la compañía en estudio no cuenta con nivel 5 asociado y una vez realizada la clasificación por nivel, se debe aplicar un análisis de criticidad a los equipos principales (nivel VI), considerando sus subequipos (nivel VII) correspondientes.

2.6 ¿Qué es un análisis de criticidad?

El análisis de criticidad basado en el riesgo es un método estructurado y sistemático para evaluar el riesgo que representan para una empresa las fallas de sus activos. Esta herramienta se utiliza para clasificar la criticidad de los activos entre sí, obteniendo una jerarquización que permite identificar aquellos equipos cuyo fallo puede tener un impacto significativo en aspectos como seguridad, medio ambiente, mantenimiento, producción y calidad. [16]

De esta manera se respalda la implementación de estrategias específicas de mantenimiento de la planta proporcionales al impacto de la falla. Este proceso estructurado permite eliminar una subjetividad considerable al tiempo que optimiza los gastos de mantenimiento. Ayuda a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, la seguridad de la planta y el tiempo de actividad del equipo. En la Tabla 2 se señalan los beneficios y desventajas que tiene la aplicación de esta metodología.

Tabla 2. Pros y contras de un análisis de criticidad.

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Mejora la confiabilidad y disponibilidad del equipo	No considera fallas consecuenciales o múltiples
Asegura el uso efectivo de los recursos de mantenimiento disponibles	El proceso puede ser lento y tomar mucho tiempo
Método completo y estructurado, eliminando considerable subjetividad	Los resultados no son absolutos, solo son contextuales para el equipo y la empresa
Relativamente fácil de aprender y aplicar. Además, fomenta la participación entre los departamentos y personas.	Se requiere reunir una gran cantidad de información del activo para una correcta evaluación

Para realizar un análisis de criticidad se puede proceder de dos maneras, una es mediante una metodología cuantitativa y el otro, es una metodología cualitativa. [17]

El análisis de criticidad cualitativo se basa en la evaluación subjetiva y cualitativa de los activos. En este enfoque, se consideran diferentes aspectos y criterios, como la importancia del activo para la continuidad operativa, la seguridad, la reputación o el medio ambiente. Se utilizan escalas de calificación o categorías para clasificar los activos en función de su nivel de criticidad, generalmente utilizando términos como alta, media o baja. Este enfoque es útil para identificar los activos más críticos y establecer prioridades de mantenimiento.

Por otro lado, el análisis de criticidad cuantitativo se basa en la recopilación y el análisis de datos objetivos y numéricos. En este enfoque, se utilizan métricas y medidas cuantitativas para evaluar la criticidad de los activos. Se consideran factores como la frecuencia y la duración de los fallos, los costos de reparación, las pérdidas de producción o los impactos financieros. Se utilizan modelos matemáticos y técnicas estadísticas para calcular un índice de criticidad cuantitativo, que proporciona una clasificación numérica de los activos en función de su nivel de criticidad. Este enfoque permite un análisis más preciso y objetivo de los riesgos y los costos asociados con los activos.

2.7 Jerarquización de activos

La jerarquización de activos se refiere a la clasificación de los activos de una organización en diferentes niveles o categorías, en función de su importancia o criticidad para el logro de los objetivos de la compañía. Esta jerarquización se utiliza para asignar recursos de manera adecuada y priorizar las actividades de gestión de activos, como el mantenimiento, la inversión y la mitigación de riesgos.

La estrategia permite a las organizaciones asignar recursos y esfuerzos de gestión de activos de manera proporcional a su importancia relativa. Esto implica que se deben tomar decisiones estratégicas sobre la inversión en mantenimiento, la gestión de riesgos y la planificación de la vida útil de los activos, considerando la criticidad de cada activo en la jerarquía.

Para determinar obtener una jerarquización de equipos, se debe realizar un análisis de criticidad, en el cual los equipos son evaluados cuantitativa o cualitativamente, obteniendo un ordenamiento

jerárquico que se basa en la comprensión de los impactos que la pérdida o el mal funcionamiento de un activo pueden tener en la organización.

2.8 Mantenimiento

El mantenimiento se define como un conjunto de actividades o tareas utilizadas mantener o para restaurar un elemento a un estado en el que pueda realizar sus funciones designadas [18]. Actualmente, bajo el concepto de Mantenimiento 4.0 se engloban diferentes técnicas y tecnologías que están permitiendo a las empresas dar un paso significativo en la mejora de la gestión del mantenimiento de sus equipos. En la siguiente imagen se puede ver la evolución habitual de la gestión de mantenimiento en una empresa y su transición hacia el mantenimiento 4.0.



Figura 8. Evolución del mantenimiento en la industria.

Cada técnica de mantenimiento tiene su propósito y sus beneficios asociados, por lo cual es importante estudiar el equipo y conocer sus componentes, para seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado que maximiza su vida útil y mejora su eficiencia.

El equilibrio entre los trabajos correctivos y preventivos es un objetivo fundamental para cualquier empresa en términos de mantenimiento. Es crucial establecer una combinación adecuada de estas actividades para optimizar la gestión del mantenimiento. A partir de esta base, es posible evolucionar hacia enfoques más avanzados como el mantenimiento predictivo y proactivo. La implementación de técnicas específicas de gestión del mantenimiento, como el análisis causa raíz (RCA), el mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM) y el mantenimiento productivo total (TPM), puede ser de gran ayuda en este sentido. Estas técnicas permiten identificar las causas fundamentales de las fallas, maximizar la confiabilidad de los activos y mejorar la eficiencia de los procesos de mantenimiento. Al adoptar un enfoque integral y aplicar estas prácticas, las empresas pueden alcanzar un nivel más alto de eficacia y rendimiento en su gestión del mantenimiento.[19]

Tal como se observa en la Figura 8, existen diferentes estrategias de mantenimiento, algunas de las cuales se detallan a continuación:

2.8.1 Mantenimiento correctivo o reactivo

Se realiza cuando se detecta un problema en un equipo o sistema y se lleva a cabo para restaurar su funcionamiento normal. Este tipo de mantenimiento no requiere planeación.

La aplicación de las estrategias correctivas o reactivas es justificada solo en situaciones que implican un bajo requerimiento de seguridad y costos menores de fallo, también cuando genera detención no crítica en producción y para las políticas que exigen una renovación frecuente del material. [20]

2.8.2 Mantenimiento Preventivo

Las tareas de mantenimiento preventivo constituyen acciones determinadas que se llevan a cabo de manera rutinaria y preventiva para evitar fallas o problemas futuros en los equipos. Estas tareas a su vez se pueden subdividir en tareas de mantenimiento de uso (o rutinario) y mantenimiento programado (o sistemático).

2.8.3 Mantenimiento de uso o rutinario

Este mantenimiento es ejecutado por el operador, quien debe ser previamente capacitado para entregarle los conocimientos y habilidades necesarios para ejecutar las tareas encomendadas, las cuales son sencillas pero muy importantes. Esto permite disminuir la carga al departamento de mantenimiento, permitiendo que el equipo de mantenedores pueda enfocarse en la ejecución del programa de mantenimiento preventivo programado.

2.8.4 Mantenimiento sistemático o programado

El mantenimiento programado lo lleva a cabo personal de mantenimiento y se realiza de manera regular y planificada. Consta de rutinas específicas con frecuencias previamente definidas. Requiere un alto nivel de planeación. Este tipo de mantenimiento incluye tareas como la limpieza, el reemplazo de piezas desgastadas y la lubricación. De manera general, el mantenimiento preventivo cuenta con

una serie de requerimientos y su implementación trae grandes beneficios para la empresa, pero a su vez tiene una serie de desventajas que deben ser consideradas, las cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Requerimientos y desventajas del mantenimiento preventivo. [20]

Requerimientos	Ventajas	Desventajas.
<ul style="list-style-type: none"> • Integración de un sistema administrativo. • Trabajos de planificación. • Adiestramiento del personal. • Contar con un buen y ordenado taller mecánico, equipado con herramientas adecuadas para facilitar la ejecución de los trabajos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en los costos y tiempos de reparación (Siempre que exista una correcta planificación). • Menos paros no planeados de la producción, por lo tanto, disminución en reparaciones imprevistas. • Mayor calidad de producto (Disminución en defectos de calidad en el producto elaborado). • Empresas más tecnificadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor cantidad de intervenciones innecesarias en los equipos. • Aumenta el riesgo de cometer errores de montaje de piezas al realizar el mantenimiento. • Desaprovecha la vida residual de las piezas (leyes de degradación).

2.8.5 Mantenimiento predictivo o basado en condición

Se utiliza para predecir cuándo se producirá una falla o un problema en un equipo o sistema y se realiza en función de datos recopilados mediante el monitoreo y la evaluación continua del rendimiento. Ejemplo de técnicas de mantenimiento predictivo: Pruebas e inspecciones.

2.8.6 Mantenimiento Proactivo

Se lleva a cabo para mejorar continuamente los equipos o sistemas y reducir la probabilidad de fallas o problemas futuros. Este tipo de mantenimiento implica la identificación de oportunidades de mejora y la implementación de soluciones antes de que se produzcan problemas. Ejemplo: Análisis de causa raíz.

2.9 Programa de mantenimiento

Un plan de mantenimiento es un conjunto de tareas planificadas y programadas que incluye las actividades, procedimientos, recursos y la escala de tiempo requerida para llevar a cabo el mantenimiento en los equipos y maquinarias mecánicas de una empresa. Esta herramienta es esencial para garantizar la operatividad y eficiencia de los activos en la industria. Un mantenimiento adecuado de los equipos ayuda a detectar fallas de manera prematura, posibilitando actuar antes de que esta ocurra, mediante la aplicación de una acción que evite la avería o bien, permitiendo una preparación

del equipo necesario para una corrección rápida y adecuada cuando suceda la avería; lo que trae consigo beneficios tales como un aumento en la vida útil del equipo y reduciendo los costos de reemplazo y reparación (costos correctivos).

CAPÍTULO 3: Análisis de criticidad

En el presente proyecto se aplica la metodología cualitativa basada en el riesgo para el análisis de criticidad debido a la falta de registros históricos de los activos en la planta. En este escenario, dado que no se disponen de datos numéricos objetivos sobre los fallos anteriores, se recurre a la evaluación cualitativa, la cual se basa en el conocimiento y la experiencia de los expertos para determinar la criticidad de los activos. Se consideran los posibles riesgos y las consecuencias potenciales de los fallos, así como la importancia de los activos para la continuidad operativa y la seguridad. Mediante este enfoque, se establece una jerarquía de criticidad y se prioriza el mantenimiento de los activos más críticos, a pesar de la falta de registros históricos.

Debido a que no todos los equipos tienen la misma importancia en la planta de producción de pellets alimenticios y para limitar técnica y económicamente los recursos mediados al mantenimiento, se debe establecer un ordenamiento jerárquico de los activos según su grado de influencia en distintos aspectos del proceso productivo llevado a cabo en fábrica Coronel [21]. Para esto se realiza un análisis de criticidad a los diferentes equipos constituyentes de la planta. En la Figura 9 se describe la secuencia de tareas seguida para llevar a cabo la evaluación de criticidad basada en riesgo.



Figura 9. Metodología aplicada para análisis de criticidad.

3.1 Equipos para incluir en el análisis de criticidad

El listado de equipos a analizar se compone de los equipos mandatorios de Cargill que a nivel mundial han tenido algún evento catastrófico en la compañía y los niveles 6 según la norma ISO 14.224.

3.1.1 Equipos mandatorios de la compañía

Cargill cuenta con un listado general de activos considerados mandatorios debido a que en alguna planta de Cargill en el mundo han tenido algún evento o accidente que comprometió la seguridad de los colaboradores, pero no necesariamente implican un mayor riesgo en Cargill planta Coronel, ya que son distintas las condiciones de operación y/o dimensiones, pero de igual forma deben ser incluidos en el análisis de criticidad. A continuación, en la Tabla 4 se detalla cuáles son los equipos mandatorios por indicación de la compañía.

Tabla 4. Equipos mandatorios de Cargill.

Equipo	Cantidad de unidades en planta Coronel
Caldera	2
Extrusor	7
Tolvas de macro insumos	40
Compresor	3
Secador	7
Elevador de capachos *	30
Filtro de manga	77
Ventilador centrífugo	153
Ascensor de personal	4
Molino	8
Mezcladora	3
Acondicionador	7
Válvula rotativa	109

* Mandatorios hasta antes del extrusor.

De manera que se cuenta con 450 equipos mandatorios a evaluar.

3.1.2 Equipos nivel 6

De acuerdo con el orden taxonómico descrito en el apartado 2.5, en la Tabla 5 se tiene el siguiente listado de equipos nivel 6.

Tabla 5. Equipos nivel 6.

Equipo	Cantidad de unidades en planta Coronel
Elevador de capachos	21
Tolvas de micro insumos	28

Tolvas dieta seca	18
Tolvas pre molinos	2
Transportador de tornillo	104
Pavo de descarga	3
Máquina compactadora	1
Silo	27
Transportador de cadena	57
Pesómetro	15
Zaranda	24
Pulverizador	3
Báscula	3
Pre-Bin	6
Bin	7
Holdíng	7
Aceitador	9
Enfriador	10
Pre-enfriador	1

* Niveles 6 después del extrusor.

De la información mostrada en la Tabla 5, se establece la existencia de 346 activos nivel 6 no mandatorios.

3.1.3 Probabilidad de Falla (PF)

Representa la probabilidad de que el activo que se está evaluando deje de cumplir su función, ya sea de manera temporal o permanente. Se determina en base al registro de detenciones asociado a las máquinas o, en caso de que el equipo a analizar no cuente con registro de datos, se determina de manera cualitativa, por medio de entrevistas con operadores y mecánicos de la compañía. En la Figura 10 se muestran los criterios utilizados para la evaluación del aspecto.

Parámetros críticos	% del total	Subdivisión	Descripción	Puntaje
FRECUENCIA				
Probabilidad de falla		Baja	La máquina es robusta y no se espera que falle / Se encuentra en buenas condiciones (Generalmente estanques o elementos estructurales)	1,00
			La máquina es robusta y es poco probable que falle / El activo ha presentado muy pocas fallas.	2,00
		Media	Presenta fallas perceptibles correspondientes a desgaste o rasgaduras. (Máquinas rotatorias generalmente caen dentro de esta categoría) / El activo ha presentado pocas fallas.	3,00
			La condición es media. Actualmente se encuentra en condición aceptable / La máquina ha fallado en forma frecuente.	4,00
		Alta	La condición de la máquina es deteriorada o antigua, pero es de fácil monitoreo / La máquina ha fallado casi siempre.	5,00
			La condición de la máquina es deteriorada o antigua y es de monitoreo complejo (Sistemas de varios componentes rotatorios o hidráulicos) / La máquina ha fallado en forma frecuente y se puede presentar en cualquier momento.	6,00

Figura 10. Criterios para determinar probabilidad de falla del equipo.

3.1.4 Consecuencias

Representa la severidad de los efectos de la falla del activo. La clasificación de cada equipo en una de las 3 categorías de criticidad se realiza en base de la influencia de su falla en 4 aspectos:

- **Producción y calidad (PC)**

Representa la capacidad e impacto provocado en la línea de producción cuando ocurre la falla. Contempla además conceptos de operación, negocio y gestión, lo que se traduce en alteraciones en las utilidades proyectadas de una empresa. En la Figura 11 se muestran los criterios utilizados para la evaluación del aspecto.

CONSECUENCIAS					
Parámetros críticos	% del total	Subdivisión	Ponderación	Descripción	Puntaje
Impacto en producción y/o calidad	35%	Baja	16,7%	0% a 5%: La detención de la máquina no afecta en la generación de ningún tipo de producto.	1,00
			33,3%	5% a 30%: La máquina opera producto que puede fabricarse en otra línea y al detenerse impacta en menor medida la producción.	2,00
	Media	50,0%	30% a 60%: La máquina opera producto que puede fabricarse en otra línea, pero impacta en forma considerable la producción	3,00	
		66,7%	60% a 100%: La máquina opera producto que puede fabricarse en otra línea y al detenerse impacta mayormente la línea.	4,00	
			5% a 30%: La máquina opera producto que no se fabrica en otra línea y al detenerse impacta en menor medida la producción	4,00	
			30% a 70%: La máquina opera producto que no se fabrica en otra línea y su detención impacta en forma considerable la producción	5,00	
	Alta	83,3%	30% a 70%: La máquina opera producto que no se fabrica en otra línea y su detención impacta en forma considerable la producción	5,00	
		100,0%	70% a 100%: La máquina opera producto que no se fabrica en otra línea y su detención impacta mayormente o completamente la producción	6,00	

Figura 11. Criterios para evaluar impacto en producción y calidad.

- **Mantenimiento (M)**

Este análisis tiene como fin, evaluar la severidad de una posible falla de un ítem o componente crítico que pueda presentar una máquina. Considerando tiempos de respuestas y costos de mantenimiento asociados ante una eventualidad extrema. En la Figura 12 se muestran los criterios utilizados para evaluar el aspecto.

CONSECUENCIAS					
Parámetros críticos	% del total	Subdivisión	Ponderación	Descripción	Puntaje
Impacto en mantenimiento	10%	Baja	16,7%	El tiempo de reparación de la máquina es bajo y los costos asociados son despreciables.	1,00
			33,3%	El tiempo de reparación de la máquina es menor a 1 turno y los costos asociados son bajos y no afectan mayormente.	2,00
	Media	50,0%	El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 1 turno y los costos asociados son bajos y no afectan mayormente.	3,00	
		66,7%	El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 2 turnos y los costos asociados son considerables.	4,00	
			El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 1 día y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.	5,00	
			El tiempo de reparación de la máquina es posible solo en un mantenimiento general completo y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.	6,00	
	Alta	83,3%	El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 1 día y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.	5,00	
		100,0%	El tiempo de reparación de la máquina es posible solo en un mantenimiento general completo y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.	6,00	

Figura 12. Criterios para evaluar impacto en el mantenimiento.

- **Seguridad (S)**

Representa el impacto que generan los eventos no deseados con respecto a daños en las personas al momento de producirse una falla en el activo analizado y los riesgos de las actividades de mantención relacionadas. En la Figura 13 se muestran los criterios utilizados para la evaluación de este aspecto.

CONSECUENCIAS					
Parámetros críticos	% del total	Subdivisión	Ponderación	Descripción	Puntaje
Impacto en seguridad	40%	Baja	16,7%	Impacto en las personas es mínimo o ninguno. (Posibles heridas leves, contusiones) / Personal en mantenimiento no tiene ningún riesgo (posibles heridas leves o contusiones)	1,00
			33,3%	Impacto en las personas es mínimo o ninguno / Personal en mantenimiento requiere de medidas preventivas adicionales pero se controlan riesgos	2,00
	Media	50,0%	Impacto en las personas es medio (Implica lesiones con pérdida de jornada) / Personal en mantenimiento debe implementar diversas medidas de seguridad para poder contener el riesgo	3,00	
		66,7%	Impacto en las personas es medio - alto (Implica lesiones mayores) / Personal en mantenimiento debe implementar medidas de apoyo especiales (Debe realizar PST en rigor con apoyo, arnés o trabajo en caliente)	4,00	
	Alta	83,3%	Impacto en las personas grave (amputaciones, incapacidad permanente, quemaduras severas, etc.) / Personal en mantenimiento debe utilizar medidas previas y durante de alta preocupación (Espacios Confinados, etc.)	5,00	
		100,0%	Impacto en las personas extremadamente grave. Muerte o varias muertes en el entorno, daño catastrófico / Personal en mantenimiento debe asegurar la zona ya que existe un riesgo latente en las personas que circulan cerca del área (Gases o líquidos inflamables, corrosivos o reactivos)	6,00	

Figura 13. Criterios para evaluar impacto en seguridad.

- **Medioambiente (MA)**

Representa el impacto de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente, al producirse una falla en el equipo analizado. Se evalúa el riesgo asociado y las medidas de control relacionadas. En la Figura 14 se muestran los criterios utilizados para la evaluación del aspecto.

CONSECUENCIAS					
Parámetros críticos	% del total	Subdivisión	Ponderación	Descripción	Puntaje
Impacto ambiental	15%	Baja	16,7%	Impacto en el ambiente es mínimo o ninguno (la recuperación es inmediata y fácil) / No se requiere un despliegue que permita asegurar el área.	1,00
			33,3%	Impacto en el ambiente es mínimo, pero se deben implementar diversas medidas para poder contener el riesgo ambiental.	2,00
	Media	50,0%	Impacto en el ambiente es relevante, pero al implementar diversas medidas para poder contener se tiene una recuperación sin relevancia en el medio externo.	3,00	
		66,7%	El impacto asociado requiere de un plan de restauración del recurso, es visible tanto internamente como la comunidad se deben solicitar recursos a para poder contener.	4,00	
	Alta	83,3%	El impacto ambiental es significativo internamente y en la comunidad, por lo que se requiere de la presencia de especialistas que indiquen los pasos a seguir bajo programas de descontaminación y recuperación.	5,00	
		100,0%	El impacto ambiental daña tanto a recursos naturales como a la imagen de la empresa. Acarrea problemas legales de consideración / Se da aviso a la comunidad y a entidades públicas con el fin de no desencadenar una catástrofe peor, etc.	6,00	

Figura 14. Criterios para evaluar impacto en el medio ambiente.

A continuación, en la Figura 15 se muestra la ponderación porcentual de cada aspecto en el cálculo de la criticidad.

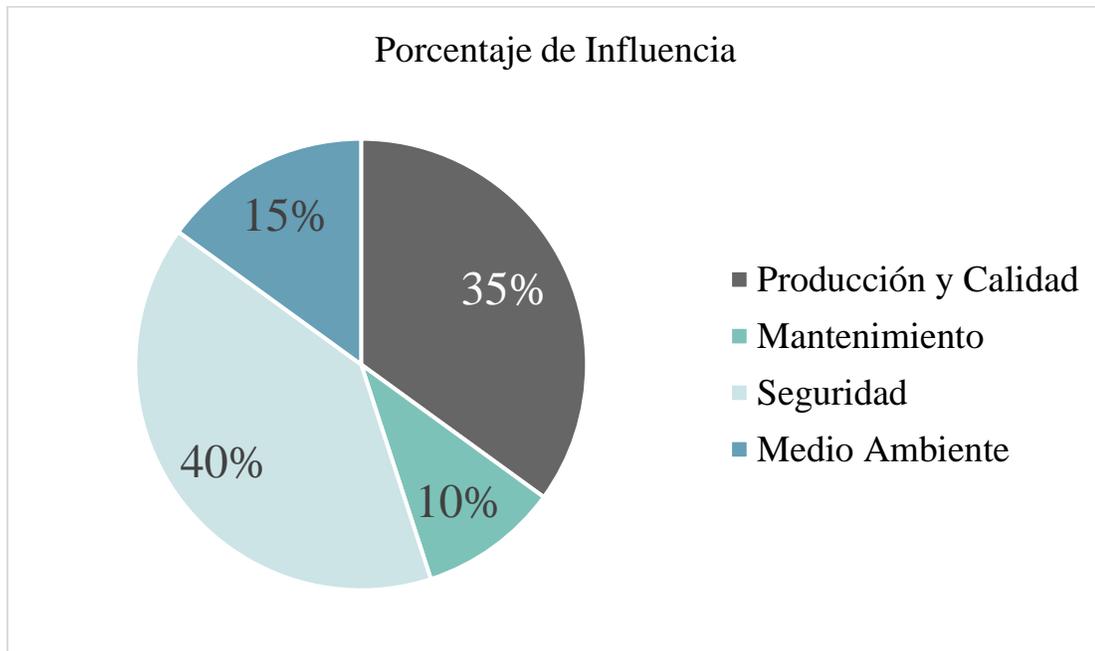


Figura 15. Porcentajes utilizados según área para ponderación del puntaje de criticidad.

La seguridad se ha transformado en un aspecto fundamental en una industria, no solo porque los accidentes laborales tienen un enorme impacto económico en cuanto a los costes que pueden suponer en vidas humanas, sino también porque los accidentes laborales afectan a las empresas y a toda la sociedad, llevando a enfrentar situaciones de sufrimiento por parte de sus trabajadores, sus familias y amistades. Por esta razón, el aspecto con mayor influencia es la seguridad con un 40%, ya que es de vital importancia garantizar la seguridad de los colaboradores en el lugar de trabajo.

3.2 Determinación del número de criticidad

Para calcular la criticidad de las máquinas se debe considerar la probabilidad de falla (PF) y las consecuencias que genera su falla. Dado que la empresa no cuenta con un registro de detenciones de sus equipos, se utilizará la metodología cualitativa, la cual considera que la criticidad de un activo se determina considerando dos aspectos: la probabilidad de falla (PF) y las consecuencias que genera su falla, es decir, de manera general la criticidad de un equipo se determina de la siguiente manera:

$$Criticidad = PF \cdot Consecuencia$$

De esta forma, considerando las distintas ponderaciones, se tiene que la criticidad de un activo está determinada por la siguiente ecuación.

$$Criticidad = PF \cdot \left[\sum (PC * 0,35 + M * 0,1 + S * 0,4 + MA * 0,15) \right] \quad (1)$$

El número de criticidad obtenido permite clasificar los activos según su criticidad en los grupos indicados en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de criticidad.

Calificación	Criticidad
[0,8]	Baja
]8,16]	Media
]16,36]	Alta

3.3 Evaluación de criticidad

Dada la gran cantidad de equipos a analizar, la evaluación de criticidad es un proceso largo pues para cada equipo se debe ir seleccionando el criterio que mejor se ajuste en cada uno de los aspectos. Para esto se diseña un plan de entrevista y se determina crear comisiones por área para discutir la evaluación de cada activo en compañía de personal de operaciones y equipo de mantenimiento de la empresa. Para facilitar la recopilación de datos se realiza un formulario con la herramienta Microsoft Forms, en el cual se incorporan las preguntas correspondientes para determinar la probabilidad y consecuencias de falla. El formato de la encuesta se encuentra en el anexo C, el cual fue adaptado para cada uno de los equipos evaluados.

3.4 Resultados del análisis de criticidad

Se lleva a cabo la evaluación de criticidad para 796 equipos, obteniendo en su mayoría equipos con criticidades bajas. Se obtienen 649 equipos con criticidad baja, 143 de criticidad baja y 8 equipos de alta criticidad. En la Tabla 7 se muestran en orden de jerarquía los equipos que obtienen una criticidad alta según la MCCR aplicada.

Tabla 7. Resultados análisis de criticidad: Equipos de alta criticidad.

Posición jerárquica	Equipo	TAG	PF	PC	M	S	MA	Puntaje Total
1	Caldera N°4	SG.18.04	6	5	5	6	3	27
2	Caldera N°3	SG.18.03	6	4	5	6	3	23,85
3	Extrusor	L5.06.10	6	5	6	5	3	23,7
4	Secador	L3.06.18	6	6	4	4	1	20,75
5	Acondicionador	L2.310.007	5	6	5	4	3	19,04
6	Elevador	LI.01.03	4	5	5	6	3	18
7	Elevador	PI2.01.67	4	5	5	6	3	18
8	Elevador	PI.75.25	6	4	4	5	2	17,8

Del análisis de la Tabla 7 es posible apreciar que el equipo más crítico de planta Coronel es la caldera N°4, seguido por la caldera N°3 y el extrusor de la línea 5. También se puede notar que los números de alta criticidad obtenidos no son tan extremos, ya que aún cuando el máximo de criticidad obtenible es 36, el número máximo de criticidad resultante del análisis es 27.

La importancia de estos equipos es clara, ya que las calderas son equipos transversales a todas las líneas, por lo tanto, su detención implica una detención general de toda la planta. Por otro lado, el extrusor, es un equipo de alto costo, en especial el de la línea 5, el cual fabrica gran cantidad de toneladas de producto.

Las criticidades de los demás equipos indicados en la Tabla 7 radican en la condición actual de los equipos, ya que son activos que llevan muchos años en operación y presentan una condición de deterioro notoria.

Es importante destacar que los resultados de la evaluación de la Criticidad de los 796 equipos son un punto de partida en el proceso de optimización que se lleva a cabo en Cargill planta Coronel. Posteriormente, en el capítulo 5 del proyecto se tomarán los 3 equipos más críticos de los que quedaron en la zona de alta criticidad, es decir, caldera N°3, caldera N°4 y extrusor L5; para proceder con el desarrollo de sus planes de mantenimiento, todo esto con el objetivo de mejorar aspectos técnicos como la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad; minimizar el impacto de las consecuencias sobre la seguridad, el mantenimiento, el medioambiente y la producción y así lograr una optimización integral los costos de operación y mantenimiento, además del soporte logístico para todo el ciclo de vida de la maquinaria crítica.

CAPÍTULO 4: Activos críticos

4.1 Caldera

En la industria, una caldera es un equipo o dispositivo de ingeniería específicamente diseñado para generar vapor. El proceso de generación de vapor en una caldera implica una transferencia de calor a presión constante, donde el fluido, que inicialmente se encuentra en estado líquido, es calentado y experimenta un cambio de fase hasta convertirse en vapor saturado. La caldera desempeña un papel fundamental en diversas aplicaciones industriales que requieren el uso de vapor, como la generación de energía, calefacción, procesos químicos, entre otros.

En la planta en cuestión el tipo de caldera instalada es del tipo pirotubular, en la cual los gases calientes de combustión pasan a través de tubos ubicados dentro de una cámara de agua. El agua rodea los tubos y se calienta debido al contacto con los gases de combustión, generando vapor. Este diseño proporciona una transferencia de calor eficiente y una gran superficie de intercambio térmico.

4.2 Sala de calderas de planta Cargill-Ewos

La sala de calderas de la planta cuenta con dos calderas encargadas de producir el vapor necesario para alimentar el proceso productivo. Las dos calderas instaladas son de tipo pirotubular.

Los combustibles con los cuales las calderas pueden operar son gas natural o fuel oíl. La selección del combustible depende de varios factores, como el costo, la disponibilidad en el mercado y las consideraciones ambientales. El cambio entre los dos combustibles se realiza de manera automatizada, garantizando un suministro continuo y eficiente de calor.

Es importante destacar que, al tratarse de calderas, es necesario seguir protocolos de seguridad y mantenimiento para evitar riesgos y asegurar su correcto funcionamiento, por esta razón se procede a realizar planes de mantenimiento a las dos calderas.

4.3 Decreto Supremo N°10: Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que utilizan vapor de agua.

El Decreto Supremo N°10 es una normativa gubernamental chilena que establece los requisitos y las regulaciones para el diseño, la construcción, la instalación, la operación y el mantenimiento de calderas, autoclaves y otros equipos que utilizan vapor de agua.

El objetivo principal del Decreto 10 es garantizar la seguridad en la operación de estos equipos, así como proteger la salud y el medio ambiente. El reglamento establece los estándares técnicos que se deben cumplir, las obligaciones de los propietarios y operadores, y los procedimientos de inspección y certificación. [22]

Algunos aspectos que suelen abordarse en el Decreto 10 incluyen:

- Requisitos de diseño y construcción de las calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua.
- Especificaciones técnicas para materiales, componentes y sistemas de seguridad.
- Procedimientos de instalación, incluyendo los requisitos para la ubicación adecuada de los equipos.
- Obligaciones de los propietarios y operadores, como la capacitación del personal, la realización de inspecciones periódicas y el mantenimiento adecuado.
- Procedimientos y criterios de evaluación de la conformidad, así como la emisión de certificados y autorizaciones correspondientes.

La Secretaría Regional Ministerial de Salud (Seremi de Salud) es la encargada de supervisar el cumplimiento de las normativas estipuladas en el Decreto Supremo N°10, realizando visitas a planta, donde se le deben proporcionar todos los registros de realización de las tareas y el cumplimiento de normas establecidas en el reglamento.

4.4 Descripción pruebas exigibles por DS10 [22]

En la siguiente sección se realiza una breve descripción de pruebas exigidas por DS10 a calderas.

Calderas de vapor, autoclaves, equipos que utilizan vapor y redes de distribución, Párrafo VI Artículo 42: La verificación de las condiciones de seguridad de las calderas de vapor, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua y de sus componentes y accesorios, incluidas las redes de distribución, se efectuará mediante las siguientes revisiones y pruebas, en la secuencia que se señala:

- A. Revisión interna y externa.
- B. Prueba hidrostática.
- C. Prueba de la válvula de seguridad.
- D. Prueba de acumulación de vapor.
- E. Revisión de la red de distribución de vapor, componentes y accesorios.
- F. Pruebas especiales.

Calderas de vapor, autoclaves, equipos que utilizan vapor y redes de distribución, Párrafo VI Artículo 43: Las calderas de vapor, autoclave y equipos que utilizan vapor de agua, deberán ser sometidas a las revisiones y pruebas de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a) Las indicadas en las letras A) y B) del artículo precedente, al término de la fabricación, antes de la entrega al usuario, las que deberán ser certificadas por el fabricante.
- b) Las indicadas en las letras A), B), C), D) y E) del artículo precedente:
 - Al término de la instalación y antes de ponerlas en servicio.

- Al término de cualquier reparación, reforzamiento o transformación y antes de ponerlas en servicio.
- A las que estén en funcionamiento, cada tres años.

c) La indicada en la letra F), cuando la autoridad sanitaria o el profesional facultado, lo estimen necesario.

d) La indicada en la letra E), cuando la instalación presente daños evidentes como consecuencia inmediata de un terremoto u otros esfuerzos mecánicos imprevistos. [22]

4.4.1 Revisión interna y externa

La revisión interna y externa de las calderas de vapor, autoclaves u otros equipos que utilizan vapor de agua implica los siguientes pasos:

Según el Artículo 45 del DS10 [22], se debe proceder de la siguiente manera:

- 1) Enfriamiento: Se permite que la caldera se enfríe antes de comenzar la revisión.
- 2) Vaciamiento: Se evacua por completo el fluido que se encuentra en el interior de la caldera.
- 3) Apertura: Se abre la caldera para tener acceso a su interior.
- 4) Limpieza: Se lleva a cabo una limpieza exhaustiva con el objetivo de eliminar cualquier residuo de Iodos, impurezas o incrustaciones presentes en la caldera.
- 5) Limpieza adicional: De ser necesario, se procede a limpiar por completo el hogar, los conductos de humos y las cámaras por donde circulan los gases de la combustión.

Por su parte, el Artículo 46 del DS10 establece que, en caso de constatar incrustaciones durante la revisión interna, se debe proceder a su limpieza, desincrustación o reparación, según corresponda. Además, se recomienda realizar una revisión de las instalaciones ablandadoras de agua, las cuales se encargan de reducir la dureza del agua utilizada en la caldera.

Estas revisiones internas y externas son fundamentales para asegurar el adecuado funcionamiento, eficiencia y seguridad de los equipos que trabajan con vapor de agua. Asimismo, permiten detectar y resolver problemas como las incrustaciones que podrían afectar su rendimiento y durabilidad.

4.4.2 Prueba Hidráulica de Caldera

Esta prueba tiene por finalidad comprobar si la caldera puede resistir satisfactoriamente la presión de trabajo, observándose que no existan pérdidas, fisuras ni deformaciones permanentes.

Las pruebas hidráulicas son exigidas anualmente por las reparticiones encargadas de habilitarlas (DS10). Para efectuarla, la caldera se debe encontrar fría, totalmente llena de agua y bridadas ciegamente o taponadas, todas las conexiones al exterior.

4.4.3 Prueba de acumulación de vapor

Durante la prueba de acumulación, se lleva a cabo con la caldera de vapor operando a su máxima capacidad y con la válvula principal de suministro de vapor cerrada. Bajo estas circunstancias, la

válvula de seguridad de la caldera de vapor deberá ser capaz de liberar todo el vapor sin exceder un 10% de la presión máxima de trabajo.

4.4.4 Revisión de la red de distribución de vapor, componentes y accesorios

El profesional responsable de realizar la prueba debe efectuar las siguientes revisiones, dichas tareas deben ser registradas en el libro de vida:

- a) Estado de la red de distribución de vapor incluyendo la aislación térmica.
- b) Sellos de agua y válvulas de conexión de los manómetros.
- c) Funcionamiento del sistema de alimentación y de control del nivel de agua desde el estanque de alimentación.
- d) Condiciones estructurales de la red de purga, estanque de retención de purgas y de suministro de agua.
- e) Accesorios de observación, de seguridad, componentes que conforman la red de distribución tales como: Bombas de alimentación, bombas de vacío, trampas de vapor, válvulas reguladoras de presión, válvulas reguladoras de flujo, estanques, entre otros.
- f) Determinar la precisión de la medición del manómetro, con respecto a un instrumento patrón.
- g) Funcionamiento de controles automáticos: De presión, de alarmas, de combustión, de temperatura y de detención por emergencias.

4.4.5 Pruebas Especiales

Corresponde a lo descrito en el artículo 53 del decreto, este es: Sin perjuicio de las pruebas prescritas en los artículos anteriores, en caso de considerarlo necesario, la autoridad sanitaria o el profesional facultado a cargo de las pruebas podrá solicitar pruebas especiales que consisten en ensayos no destructivos.

Las pruebas especiales serán realizadas por empresas certificadoras o por profesionales especializados en ellas.

4.5 Subequipos y partes principales que componen a una caldera pirotubular

Las calderas están compuestas por una serie de subequipos y componentes, a continuación, se realiza una breve descripción de los más importantes que componen las calderas de tipo pirotubular.

4.5.1 Ventilador centrífugo de tiro forzado

Equipo encargado de impulsar aire hacia el hogar, otorgando el oxígeno necesario para lograr una correcta reacción de combustión dentro de la caldera. El ventilador trabaja con un motor y una polea de transmisión, que le entrega la fuerza necesaria para funcionar y un damper, cuyo sistema de varillas tiene la tarea de dosificar el aire que ingresa al hogar.

4.5.2 Quemador

El quemador de una caldera pirotubular es un componente crucial que se utiliza para generar y controlar la combustión en el interior de la caldera. Su función principal es mezclar el combustible (que puede ser líquido o gaseoso) con el comburente (generalmente aire) en proporciones adecuadas para crear una llama eficiente y estable.

4.5.3 Hogar

El hogar de una caldera es el espacio designado donde se lleva a cabo la combustión. Es en esta zona donde se produce la reacción química entre el combustible y el oxígeno, generando calor. El hogar de la caldera está diseñado para confinar y controlar la combustión, proporcionando un ambiente adecuado para maximizar la eficiencia de la transferencia de calor al fluido caloportador. Además, suele contar con dispositivos de control para regular la entrada de combustible y aire, garantizando una combustión completa y minimizando las emisiones nocivas al medio ambiente. A su vez, el hogar cuenta con una puerta la cual consiste en una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con ladrillo refractario o de doble pared, por donde se alimenta de combustible sólido al hogar y se hacen las operaciones de control de fuego.

4.5.4 Cuerpo caldera

Estructura exterior de la caldera, cuyo interior contiene el tanque de agua, quemador, el hogar de la caldera, aislante, entre otros.

4.5.5 Control de Llama

Un control de llama en una caldera es un dispositivo que utiliza una célula fotoeléctrica para detectar la presencia de una llama en el quemador. Si la llama no es detectada, el control de llama corta el suministro de combustible y apaga la caldera para garantizar la seguridad.

4.5.6 Tubos de circulación de humos (Conducto de circulación de humos)

Todos aquellos elementos que conducen los productos de la combustión desde el hogar hasta la base de la chimenea.

4.5.7 Tapas de registro y tapas de inspección hombre

Las tapas de registro y las tapas hombre son componentes que permiten el acceso a áreas específicas de una caldera para inspecciones y mantenimiento. Las tapas de registro son cubiertas removibles o ajustables, mientras que las tapas hombre son aberturas más grandes diseñadas para que una persona pueda ingresar. Ambas son importantes para garantizar un mantenimiento seguro y eficiente de la caldera.

Las juntas de registro hombre y mano son juntas preformadas hechas a mano a partir de moldes con un tamaño específico. Se recomienda tener repuestos de estas juntas debido a que su fabricación y proceso de secado requieren varios días.

4.5.8 Cámara de agua

La cámara de agua de una caldera pirotubular es una parte fundamental de este tipo de calderas. Se encuentra ubicado en la parte posterior de la caldera, detrás de la zona de combustión. La cámara de agua es un espacio cilíndrico que se encarga de recibir y contener el agua que circula por la caldera. Esta cámara absorbe el calor generado por la combustión y lo transfiere al agua, debido a esto es que está diseñada con materiales resistentes al calor y a la presión.

Aquí se controla el nivel del agua para asegurar un funcionamiento adecuado de la caldera. Pueden existir dispositivos de control, como sondas o flotadores, que monitorean el nivel de agua y regulan su entrada y salida para mantenerlo dentro de los rangos óptimos de operación.

4.5.9 Carcasa

La carcasa de una caldera pirotubular es la estructura externa que protege los componentes internos de la caldera. Está fabricada con materiales resistentes a altas temperaturas y a la presión, generalmente acero, y tiene forma cilíndrica u ovalada. La carcasa cuenta con aberturas para el ingreso y salida de gases de combustión, así como conexiones para el flujo de agua. Proporciona seguridad, aislamiento térmico y alberga sistemas de control y seguridad. Su diseño robusto asegura un funcionamiento seguro y eficiente de la caldera.

4.5.10 Bomba de combustible

Una bomba de combustible para una caldera pirotubular es un componente que suministra el combustible necesario para la combustión. Impulsada por un motor, su mecanismo de bombeo envía el combustible al hogar de la caldera de manera controlada. Los controles permiten regular el flujo de combustible para mantener una combustión eficiente y segura.

4.5.11 Bomba de alimentación

La bomba de alimentación de agua para una caldera pirotubular es un componente esencial que suministra agua a la caldera. Usando un mecanismo centrífugo y controlado por un motor, la bomba mantiene un nivel adecuado de agua en la caldera.

4.5.12 Accesorios de observación, seguridad y control exigidos por DS10

El Decreto Supremo 10 indica que el propietario o usuario de una caldera de vapor debe disponer de ciertos accesorios para facilitar la inspección visual, seguridad y control, además tiene la responsabilidad de mantenerlos operativos y en buen estado de uso. Para facilitar su mantenimiento, estos deben estar ubicados en lugares visibles y de fácil acceso. En caso de cualquier anomalía detectada durante el funcionamiento, la caldera debe cesar su funcionamiento. [22]

Los accesorios de observación exigidos por norma son:

- Indicador de nivel de agua: Permite verificar el nivel de agua dentro del estanque de la caldera. Suele encontrarse en la parte superior de la carcasa. Según normativa, toda caldera debe contar con al menos dos de estos indicadores, independientes entre sí.
- Medidor de temperatura de salida de gases
- Manómetros: Instrumento utilizado para la medición de la presión, ya sea la presión efectiva o relativa a la presión atmosférica, ejercida por un fluido contenido en un recipiente o en un circuito a presión.

Los accesorios de seguridad exigidos por norma son:

- Válvula de seguridad: Esta válvula se abre cuando la presión dentro de la caldera excede la resistencia o límite del equipo, y evita que la caldera estalle por exceso de presión. Las calderas pirotubulares, por lo general, cuentan con dos válvulas de seguridad [23].
- Sistema de alarma audible y visible
- Sellos o compuertas para alivio de sobrepresión en el hogar
- Tapón fusible

Los accesorios de control automático exigidos por norma son uno o más de cada uno de los siguientes dispositivos:

- Controlador de nivel de agua.
- Detector de llamas.
- Presostatos con diferencial ajustable o digital. [22]

4.6 Datos técnicos de Calderas N°3 y N°4

Las especificaciones técnicas provistas por los fabricantes que se encuentran detalladas en los manuales de operación y mantenimiento constituyen una referencia fundamental en el proceso de planificación de las actividades de mantenimiento de calderas de vapor pirotubulares. Además, importante tener en cuenta que las tareas indicadas en el Decreto 10 son exigidas por la normativa gubernamental de Chile y están sujetas a fiscalización, por lo cual no pueden faltar en el plan de mantenimiento correspondiente a cada caldera.

En la Tabla 8, mostrada a continuación, se presentan los datos principales recopilados de las calderas.

Tabla 8. Información técnica de calderas N°3 y N°4.

	Caldera N°3	Caldera N°4
Fabricante	Johnston Boiler Company	Cleaver Brooks
Modelo	SSCON-163	4WI-400-800-150
Año fabricación	2000	2007

N° de serie	10032-01	OL105797
Presión máx. trabajo	13,78 bar	10,34 bar
Sup. calefacción	165,46 m ²	325,16 m ²
Combustible	Diésel – Gas Natural	Diésel – Gas Natural

4.7 Extrusor

Un extrusor de pellets es una máquina utilizada en la industria para procesar y dar forma a materiales en forma de pellets, los cuales son pequeños cilindros o gránulos comprimidos. En Cargill-Ewos, el extrusor de pellets es un tipo de equipo que se utiliza específicamente para la producción de pellets, el cual genera el proceso de extrusión que implica un aumento en la temperatura y presión de la mezcla, a través de un tornillo dentro de un barril. A medida que los ingredientes se mueven a lo largo del barril, se logran mezclar de manera homogénea. Luego, el material se empuja a través de una matriz en la parte final del extrusor, donde se les da forma a los pellets mediante corte.

En la planta Cargill ubicada en Coronel existen siete extrusores en cada una de las líneas de producción. En la Tabla 9, mostrada a continuación, se presentan los datos principales recopilados de los extrusores instalados.

Tabla 9. Datos técnicos extrusores en Cargill planta Coronel.

Extrusor	Fabricante	Modelo	Año fabric.	N° de serie	Caudal de producción	Velocidad del tornillo
Línea micro	Extru-tech	E-925	2005	05G004	250 kg/h	20 rpm
Línea 2	Extru-tech	E-925	1997	97J003	7.400 kg/h	35 rpm
Línea 3	Extru-tech	E-925	1997	97J003-001	7.400 kg/h	68 rpm
Línea 4	Extru-tech	E-925	2000	99H001	7.400 kg/h	80 rpm
Línea 5	Extru-tech	E-925	2000	00G001-001A	10.000 kg/h	52,5 rpm
Línea 6	Extru-tech	E-925	2000	00G001-001B	10.000 kg/h	52,5 rpm
Línea 7	Extru-tech	E-925	2007	07B001	13.000 kg/h	67,5 rpm

4.7.1 Componentes principales de un extrusor

- **Motor**

Transforma la energía eléctrica en cinética, proporcionando el movimiento necesario para hacer girar el eje del tornillo del extrusor.

- **Caja reductora**

Reduce la velocidad del movimiento entregado por el motor. En su eje de entrada es conectada con el eje del motor y transmite las revoluciones por minuto al eje del extrusor que está conectado a su eje de salida.

- **Cuerpo extrusor**

Es el sistema compuesto por un barril y un tornillo sin fin por el cual circula el material a extruir. Gracias al movimiento circular generado por el tornillo, aumenta la temperatura y presión al interior del barril. El material extruido es desplazado desde un extremo a otro el extrusor hacia una matriz que posee el diámetro requerido según la fabricación.

- **Porta matriz y cuchillos**

Sistema en donde está montada la matriz, la cual es intercambiable de acuerdo al diámetro de pellet requerido y los cuchillos que a medida que va avanzando la mezcla extruida, corta el pellet en su largo necesario.

- **Motor porta cuchillos**

Proporciona el movimiento necesario para hacer girar el sistema en donde van montados los cuchillos que cortan el pellet, este acoplamiento entre el eje del motor y el sistema giratorio es mediante una unión cardánica.

- **Ductos**

Son los ductos de traspaso que posee el extrusor, ya sea el de admisión de la mezcla proveniente del acondicionador o el de salida hacia el secador. Estos ductos poseen válvulas que permiten el descarte de la mezcla o el paso correcto en la línea de producción y también, poseen instrumentos.

- **Válvulas**

Por lo general son válvulas de dos vías que desvían la mezcla al inicio del extrusor hacia el descarte en las partidas o al extremo final del extrusor en donde desvían de igual manera hacia el producto rechazado o al secador.

CAPÍTULO 5: Planes de Mantenimiento

En el presente capítulo se describe la elaboración de los planes de mantenimiento para los equipos más críticos resultantes del análisis de criticidad realizado. Para las periodicidades se utiliza la siguiente denominación.

Tabla 10. Simbología usada para periodicidad en los planes.

D	Diario
S	Semanal
M	Mensual
A	Anual
O/C	On Condition

Las tareas de mantenimiento contempladas en ambas calderas son las mismas, únicamente existen variaciones en algunos puntos en cuanto a la periodicidad de cada labor. Por lo anterior, a continuación, se presenta un plan general para ambas calderas, señalando las variaciones en periodicidades indicadas según corresponda.

Posteriormente, para la ejecución del plan, se debe tener en cuenta que solo personal calificado y con experiencia en calderas, quemadores y control debe realizar tareas de mantenimiento y/o reparación en las calderas.

5.1 Plan de mantenimiento Caldera N°3 y N°4

La gran mayoría de los elementos y sistemas de la caldera Johnston Boiler requieren un mantenimiento mínimo, salvo por una inspección regular. La limpieza es crucial para llevar a cabo esta inspección. Es importante mantener el exterior libre de polvo y asegurarse de que los controles estén limpios. Además, se recomienda limpiar el polvo y la suciedad de los arrancadores de motor y los contactos de los relés. En la Figura 16 y Figura 17 se muestran imágenes de las calderas N°3 y N°4, respectivamente.



Figura 16. Caldera N°3.



Figura 17. Caldera N°4.

A continuación, se detallan los programas de mantenimiento de la caldera y de cada uno de sus equipos secundarios.

5.1.1 Mantenimiento general de la caldera

En la Tabla 11 se detallan las tareas de mantenimiento generales que se le realizan a las calderas.

Tabla 11. Programa de mantenimiento general de las calderas.

Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
Purgar la caldera, la columna de agua y el indicador de nivel y las válvulas de drenaje de control(es) de corte de agua baja deben operarse diariamente. Las válvulas de purga de fondo de la caldera deben operarse diariamente. [24]	1 D	1 D
Verifique que la caldera tenga las presiones y temperaturas de funcionamiento adecuadas, asegurando que estén dentro del rango de operación. [24]	1 D	1 D
Abrir, limpiar (enjuagar) e inspeccionar el lado del agua de la caldera, incluidos todos los controles de nivel de agua, tuberías y guarniciones. [24]	1 A	1 A
Realizar prueba hidráulica/hidrostática. Durante esta prueba se hacen inspecciones visuales de soldaduras, juntas y conexiones para detección de fugas, mientras se vigila la presión para ver cualquier bajada que podría indicar una fuga oculta. [22]	1 A	1 A
Revisión interna y externa. Cuando en la revisión interna se constaten incrustaciones, se deberá proceder a su limpieza, desincrustación o reparación, según corresponda, así como la revisión de las instalaciones ablandadoras de agua. [22]	3 A	1 A
Prueba de la válvula de seguridad. Para ello se graduarán éstas de manera que inicien la evacuación de vapor a una presión que no exceda más del 6% de la presión máxima de trabajo. [22]	3 A	1 A
Prueba de acumulación de vapor [22]	3 A	1 A
Pruebas especiales. (Ensayos no destructivos) [22]	O/C	1 A
Revisar la red de distribución de vapor, componentes y accesorios	3 A	1 A
Reemplazar las juntas del lado del agua al menos una vez al año. Las juntas de los pozos de acceso y las bocas de acceso requieren ser reemplazados con mayor frecuencia. Se deben revisar las juntas de las bocas de acceso y las bocas de inspección para ver su condición (aspecto exterior) trimestralmente.	3 M	1 A
Abrir, limpiar e inspeccionar el hogar de la caldera.	1 A	1 A

Verifique el estado de las juntas del hogar. Compruebe si hay dureza y/o agrietamiento. Reemplace las juntas del hogar según sea necesario, pero no menos de cada tres años.	1 A	1 A
Inspeccionar el estado del aislamiento de la caldera, incluyendo cualquier refractario si está presente.	1 A	1 A
Parchar, reemplazar o reparar el aislamiento según sea necesario.	O/C	O/C

5.1.2 Quemador

La implementación de un programa de mantenimiento efectivo resulta fundamental para asegurar el funcionamiento prolongado del quemador Johnston Boiler. Un mantenimiento adecuado de la unidad no solo reducirá los tiempos de inactividad innecesarios, sino que también disminuirá los gastos de reparación y mejorará la seguridad en su operación. Cualquier ruido inusual, medición de calibre incorrecta o fuga puede ser un signo de un problema en desarrollo y debe solucionarse de inmediato [24].

A continuación, en la Tabla 12 se indican las tareas de mantenimiento que requiere el quemador Johnston boiler de la caldera N°3.

Tabla 12. Plan de mantenimiento quemador caldera N°3.

Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
Verificar el arranque y funcionamiento del piloto del quemador y las llamas principales. [24]	1 D	1 D
Cuando se trabaja con fuel oil diariamente verifique el funcionamiento de la bomba de combustible, el calentador (para heavy fuel oil) y el compresor de aire. Compruebe el nivel de aceite en el compresor. Compruebe el estado del filtro de aceite combustible para ver si está limpio. [24]	1 D	1 D
Compruebe si hay fugas de combustible y aire.	1 D	1 D
Reemplace las luces indicadoras defectuosas y asegúrese de que todas las alarmas estén operativas.	1 D	1 D
Realiza la prueba de falla de la llama apagando el quemador. Verifica que se realice el ciclo de apagado de forma correcta.	1 D	1 D
Verifique que las juntas, los brazos y las varillas de conexión del quemador estén apretados. Verifique que el motor de índice de encendido del varillaje (motor MOD), los ejes, los cojinetes y las válvulas de combustible de control de flujo funcionen correctamente y sin problemas.	1 S	1 S

5.1.3 Ventilador

El ventilador incorporado en la caldera corresponde al ventilador que trae incorporado de fábrica, por lo tanto, es un componente original de la misma marca de la caldera, es decir, Johnston Boiler.

Tabla 13. Plan de mantenimiento ventilador de caldera N°3.

Parte	Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
GENERAL	Compruebe el estado, la limpieza y el funcionamiento correcto del conjunto del ventilador, incluido el motor y la rueda del ventilador.	1 M	1 M
	Inspeccionar visualmente al subequipo completo, poniendo énfasis en la búsqueda de cualquier cosa inusual, como por ejemplo pernos sueltos, fisuras en la estructura de soporte, grietas en las soldaduras, etc.	1 D	1 D
	Reparación de grietas con soldadura	O/C	O/C
	Realizar pruebas de arranque	1 A	1 A
	Asegurar que la rejilla de entrada en el conjunto del ventilador esté limpia y libre de obstrucciones.	1 D	1 D
	Limpiar o reemplazar filtros	3 M	3 M
	Verificar estado de los álabes (limpieza, fisuras o desgaste)	1 A	1 A
	Verificar fijación del centro del ventilador al rotor	1 A	1 A
	Realizar mantenimiento al rotor: Inspeccionar visualmente, limpiar con líquido desengrasante. Mantenimiento del rodete y eje: Alineamiento de rodete.	1 A	1 A
	Limpiar internamente con cepillo de alambre	1 A	1 A
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Verificar condición de la correa de transmisión del ventilador. En caso de presentar deterioro reemplácela.	3 M	3 M
	Verificar la tensión de la correa de transmisión del ventilador. En caso de que la tensión se encuentre fuera de los rangos admisibles, ajústela hasta la tensión adecuada.	1 A	1 A
MOTOR	Inspeccionar el exterior (carcasa) del motor. Mantener el ventilador libre de polvo y suciedad o de factores externos que interfieran en la ventilación del motor.	3 M	3 M
	Verifique si el interior y el exterior del motor se encuentran libres de suciedad, aceite, grasa, agua, etc. Puede haber acumulación de pulpa de papel, pelusas textiles, vapores aceitosos, etc., lo que bloquea la	3 M	3 M

	ventilación del motor. En caso de existir suciedad, limpiar.		
	Integridad del aislamiento de los devanados	3 M	3 M
	Verifique todos los conectores eléctricos para asegurar que estén bien apretados para evitar fallas en el funcionamiento.	3 M	3 M
	Verificar el tipo de grasa, para rodamientos es Polirex EM (-20F +300F)	1 M	1 M
	Realizar el intervalo de lubricación a los cojinetes con el tipo de grasa Chevron SRI (Instalada en Fábrica) – Base de Poliurea.	3600 H	3600 H
	Cambiar rodamientos	O/C	O/C
	Cambiar retén	O/C	O/C
DAMPER	Compruebe el estado, la limpieza y el funcionamiento correcto del conjunto del damper y sus conexiones.	1 M	1 M
	Verificación apriete sistema accionamiento damper.	1 S	1 S

5.1.4 Bomba de alimentación

La caldera cuenta con dos bombas de alimentación, las cuales realizan la misma función, son de la misma marca y cuentan con las mismas especificaciones técnicas. El mantenimiento a las bombas ayuda a prevenir la acumulación de sedimentos y corrosión, lo que prolonga la vida útil de la unidad y contribuye a la seguridad del personal y las instalaciones. En la Tabla 14 se muestra el plan de mantenimiento a seguir por las bombas presentes en las calderas.

Tabla 14. Programa de mantenimiento bomba de alimentación caldera N°3.

Parte	Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
MANTENIMIENTO GENERAL	Verifique el funcionamiento de la bomba de agua de alimentación de la caldera, el control y la válvula (regulador).	1 D	1 D
	Verificar que tenga las presiones de funcionamiento adecuadas.	1 D	1 D
	Examinar las bridas por si existen fugas, fisuras, desgastes o partes oxidadas que puedan hacer peligrar el funcionamiento.	1 D	1 D
	Inspeccionar el exterior del equipo (Carcasa). Eliminar la acumulación de polvo y suciedad.	6 M	3 M
	Inspeccionar y reparar sellos.	1 M	3 M
	Limpia los filtros.	1 M	1 M

	Lubricación de rodamientos según las especificaciones propias del aparato.	1 M	1 M
	Comprobar que los puntos de montaje son seguros.	1 M	1 M
	Comprobar los acoplamientos.	1 M	1 M
	Examen de vibración, para detectar patrones anormales en el movimiento de las aguas.	6 M	6 M
	Análisis de ultrasonidos, para establecer si existen problemas dentro de las bombas o tuberías.	1 A	1 A
	Revisar funcionamiento display alimentación agua	1 D	1 D
MOTOR DE BOMBA	Análisis de la temperatura para asegurarse de que el motor funcione en óptimas condiciones.	1 A	1 A
	Verificar cantidad de grasa para los cojinetes. Realizar la lubricación correspondiente al equipo	1 S	1 S
	Inspección de ruido y vibración	1 M	1 M
	Cambio de retén	O/C	O/C
	Reapriete de las conexiones eléctricas y de la puesta a tierra.	6 M	6 M

5.1.5 Válvulas y accesorios

El mantenimiento adecuado de las válvulas y accesorios de una caldera es de vital importancia desde una perspectiva operativa y de seguridad en aplicaciones industriales y comerciales. Estos componentes son esenciales para controlar el flujo de fluidos y la presión dentro del sistema, lo que afecta directamente la eficiencia y la capacidad de la caldera para producir energía térmica de manera segura y efectiva. Un mantenimiento regular asegura el buen funcionamiento y previene posibles fugas o bloqueos que puedan derivar en problemas catastróficos, como explosiones o averías importantes. Además, el mantenimiento contribuye a prolongar la vida útil de las válvulas y accesorios, lo que implica un ahorro significativo en costos de reemplazo y una mayor confiabilidad en la operación de la caldera a lo largo del tiempo.

Tabla 15. Tareas de mantenimiento válvulas y accesorios.

Parte	Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Inspeccionar visualmente la válvula de alimentación de agua en busca de deterioro o fugas [22]	1 D	1 D
	Verificar el apriete y funcionamiento de la válvula de control de agua [22]	1 D	1 D
	Probar funcionamiento del accionamiento manual válvula de seguridad [22]	1 D	1 D
	Válvulas apertura purga fondo	1 D	1 D
	Válvulas apertura purga superficie	1 D	1 D

Inspeccionar visualmente en busca de fugas en tuberías y accesorios [24]	1 D	1 D
Revisar funcionamiento y estado de la aislación en la red de vapor.	1 D	1 S

5.1.6 Compresor

Si bien ambas calderas cuentan con compresor, es necesario destacar que este sólo es utilizado cuando las calderas funcionan con fueloil. Dado que usualmente las calderas funcionan con gas natural, los compresores son utilizados con baja frecuencia, por esta razón, para evitar el excesivo mantenimiento de la unidad, se establecen los periodos de mantenimiento en horas de operación.

Tabla 16. Programa de mantenimiento compresor de Caldera.

Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
Verificar los amperios de carga completa.	2.000 H	2.000 H
Verificar todos los ajustes de presión.	2.000 H	2.000 H
Supervisar todos los medidores e indicadores para un funcionamiento normal.	24 H	24 H
Verificar el nivel de aceite.	24 H	24 H
Verificar los niveles de presión y temperatura, asegurando que estén dentro del rango de operación.	8 H	8 H
Cambio de lubricante (aceite)	500 H	500 H
Drenar el agua del aceite.	144 H	144 H
Buscar fugas de aceite.	8 H	8 H
Inspeccionar estado del filtro de línea de control de drenaje. Limpiar o cambiar según condición.	48 H	24 H
Escuchar o sentir cualquier ruido o vibración inusual.	8 D	8 D
Comprobar el funcionamiento de la válvula de seguridad.	144 H	24 H
Drenar cualquier receptor de aire en el sistema.	144 H	144 H
Verificar que el separador de humedad esté drenando correctamente.	144 H	144 H
Cambiar el separador de aceite	1.500 H	1.500 H
Inspeccionar filtro de aire.	144 H	144 H
Realizar el mantenimiento del filtro de aire según sea necesario. Si no es posible limpiar, entonces reemplazar filtro de aire.	O/C	O/C
Limpiar las aletas del post-enfriador y del enfriador de aceite (solo refrigerado por aire).	1 M	1 M
Limpiar el exterior de toda la unidad.	1 M	1 M
Reemplazar el filtro de aceite del compresor según condición.	O/C	O/C
Revisar la unidad y verificar que todos los pernos estén apretados.	1.500 H	1.500 H

Verificar el sistema de apagado de seguridad.	144 H	144 H
Inspección de correas y poleas	10.000 H	10.000 H
Sustituir cuando proceda el Kit de la válvula termostática	O/C	O/C
Sustituir cuando proceda el Kit de la válvula de aspiración	O/C	O/C
Sustituir cuando proceda el kit de la válvula de presión mínima	O/C	O/C
Sustituir cuando proceda el kit de la electroválvula	O/C	O/C
Reacondicionar el tornillo	30.000 H	30.000 H

5.1.7 Dispositivos de seguridad y control

Estos dispositivos son fundamentales para monitorear y proteger contra condiciones potencialmente peligrosas, como niveles bajos de agua o fallas en el funcionamiento del equipo. El mantenimiento adecuado permite asegurar su correcto desempeño, garantizando una respuesta oportuna ante situaciones de emergencia y evitando daños graves a la caldera, así como prevenir riesgos para el personal y el entorno. Asimismo, el cumplimiento de los protocolos de mantenimiento promueve la conformidad con las normas y regulaciones de seguridad pertinentes, asegurando una operación confiable y segura de la caldera a lo largo del tiempo. En la Tabla 17 se muestra el programa de mantenimiento para estos dispositivos.

Tabla 17. Programa de mantenimiento de dispositivos de control y seguridad de las calderas.

Parte	Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
LWCO	Verificar que el sistema quemador se apague de forma automática.	1 S	1 S
LWCO AUX.	Verificar que el sistema quemador no vuelva a encender. (Alarma visual y acústica)	1 D	1 S
Alarma	Verificar correcto funcionamiento de alarma agua alta	1 D	1 S
Termómetro	Verificar que termómetro se encuentre correctamente calibrado	1 A	1 D
Medidores	Inspeccionar medidores para asegurar que la caldera este trabajando en los rangos adecuados según la producción de la planta	1 D	1 D

5.1.8 Central de detección de chispas

Ambas calderas cuentan con el mismo sistema de detección de chispas. Un mantenimiento regular y minucioso a este sistema asegura el correcto funcionamiento y sensibilidad de los sensores, evitando falsas alarmas y detectando con precisión cualquier amenaza potencial. Asimismo, permite identificar

y corregir posibles fallos o deficiencias en el sistema, lo que garantiza su disponibilidad y efectividad en momentos críticos.

Tabla 18. Programa de mantenimiento central de detección de chispas.

Parte	Tarea de mantenimiento	Frecuencia Cal. N°3	Frecuencia Cal. N°4
GENERAL	Comprobación del diseño (Cambio de parámetros de la instalación, umbrales, intervalos, etc.)	6 M	6 M
	Comprobación de todas las entradas en el historial	6 M	6 M
	Realizar todos los pasos de la comprobación semestral de la central de detección de chispas	10 A	10 A
	Analizar técnicamente la seguridad de toda la instalación	10 A	10 A
	Limpieza de la pantalla táctil	O/C	O/C
	Inspección visual de la instalación para detectar posibles deficiencias: líneas defectuosas, carcasas dañadas, etc.	6 M	6 M
	Limpieza y control de desgaste en la instalación	6 M	6 M
	Prueba de funcionamiento del detector tirando de su soporte y exponiendo el detector a la luz infrarroja	6 M	6 M
	Comprobación de la respuesta del relé al evento	6 M	6 M
	Medición de la resistencia de aislamiento de cables y líneas usados	10 A	10 A
	Reemplazo sensor de llama	6 M	6 M

5.2 Plan de mantenimiento extrusor

El mantenimiento de un extrusor industrial de pellets es un aspecto crítico para garantizar su funcionamiento óptimo y la producción eficiente de materiales extruidos. Este proceso implica una serie de actividades sistemáticas y planificadas que incluyen la limpieza y revisión regular de componentes clave, como el tornillo y el barril, para prevenir acumulación de residuos y desgaste prematuro. Además, se realiza la calibración precisa de parámetros como la temperatura, velocidad y flujo de agua y vapor, asegurando un control preciso del proceso de extrusión. La implementación rigurosa de un plan de mantenimiento adecuado contribuirá a prolongar la vida útil del extrusor, minimizar tiempos de inactividad, maximizar la eficiencia y garantizar la calidad consistente de los pellets en entornos industriales. En la Figura 18 se muestra una imagen del extrusor de la línea 5, donde se puede apreciar el tamaño y los distintos componentes y accesorios que conforman este equipo.



Figura 18. Extrusor línea 5.

5.2.1 Cuerpo extrusor

Este plan tiene como objetivo garantizar el óptimo rendimiento y prolongar la vida útil del equipo, asegurando la producción eficiente de materiales extrudidos con alta calidad y precisión. El mantenimiento se debe llevar a cabo de forma regular y planificada, respetando los intervalos de tiempo recomendados por el fabricante y siguiendo las pautas de seguridad y buenas prácticas industriales. El plan contempla limpieza y lubricación de los componentes, inspección visual y dimensional para detectar desgastes o daños, así como la aplicación de técnicas de diagnóstico avanzado, como análisis de vibraciones y de temperatura, para evaluar el desempeño del extrusor.

Tabla 19. Programa de mantenimiento cuerpo extrusor L5.

Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Tipo de mant.	Responsable
Realizar una inspección visual de su tornillo y camisas	1 D	Preventivo	Operador

Inspeccionar buje centrador para ver el desgaste. (Ver Anexo G)	1 S	Preventivo	Operador
Inspeccionar y lubricar sellos de producto	1 D	Preventivo	Operador
Análisis de vibraciones	1 M	Predictivo	Mecánico
Inspección acoplamiento	6 M	Preventivo	Mecánico
Engrasar pines	1 D	Preventivo	Ayudante
Chequeo desgaste de Extrusor y deflexión del eje	4 M	Preventivo	Operador
Limpieza interna	1 S	Preventivo	Operador
Cambio de repuesto lubricador automático	1 M	Preventivo	Mecánico
Inspección y limpieza a manómetro camisa extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista
Realizar aseo en bandejas	1 D	Correctivo	Ayudante

5.2.2 Caja reductora de velocidad

La caja reductora es responsable de reducir la velocidad del motor para alcanzar las velocidades óptimas de extrusión. Un mantenimiento regular permite detectar y corregir desgastes o daños en los engranajes y rodamientos, evitando fallos inesperados que podrían llevar a paradas no programadas y pérdida de producción. Además, la lubricación adecuada de la caja reductora reduce la fricción y el calor generado durante el funcionamiento, previniendo el desgaste prematuro de sus componentes. A continuación, en la Tabla 20, se muestra el programa de mantenimiento indicado para la caja reductora del extrusor.

Tabla 20. Programa de mantenimiento caja reductora de velocidad de extrusor.

Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Tipo de mant.	Responsable
Verificar la temperatura del aceite	1 D	Predictivo	Mecánico
Comprobar los ruidos del reductor para detectar si presentan variaciones	1 D	Preventivo	Operador
Verificar el nivel de aceite	1 S	Preventivo	Mecánico
Comprobar si hay fugas en el reductor	1 M	Preventivo	Mecánico
Comprobar el contenido de agua en el aceite	720 H	Predictivo	Mecánico
Realizar cambio de aceite: Mobilgear SHC XMP 320 (Sintético)	20.000 H	Preventivo	Mecánico
Limpiar filtro de aceite	3 M	Preventivo	Mecánico
Limpiar filtro de aire	3 M	Preventivo	Mecánico
Medición de las vibraciones en los rodamientos	3.000 H	Predictivo	Mecánico

Análisis de vibraciones	1 M	Predictivo	Mecánico
Rellenar junta de taconita con grasa	3.000 H / 6 M	Preventivo	Mecánico
Limpiar la carcasa e inspeccionar exteriormente en busca de corrosión	2 M	Preventivo	Operador
Verificar si hay depósitos en el serpentín de enfriamiento	2 A	Preventivo	Mecánico
Verificar el estado del enfriador agua-aceite	10.000 H / 2 M	Preventivo	Mecánico
Comprobar el apriete de los tornillos de fijación	20.000 H / 4 M	Preventivo	Mecánico
Realizar inspección completa del reductor	2 A	Preventivo	Mecánico
Sustituir las mangueras	6 A	Preventivo	Mecánico
Cambiar del filtro de aire húmedo	O/C	Correctivo	Mecánico
Cambiar los rodamientos	O/C	Correctivo	Mecánico
Comprobar los retenes radiales	720 H	Preventivo	Mecánico
Alinear conjunto motorreductor	6 M	Preventivo	Mecánico
Inspección montaje de eje intermedio	6 M	Preventivo	Mecánico
Verificar co-linealidad de descansos.	6 M	Preventivo	Mecánico
Inspeccionar acoplamiento y cambio de elemento flexible de acuerdo a inspección.	6 M	Preventivo	Mecánico
Purga de sistema de lubricación (con aire y después con aceite) antes de lubricar caja.	6 M	Preventivo	Mecánico
Limpieza de todo el sistema motor-reductor-extrusor (incluir limpieza de manómetros y filtros).	6 M	Preventivo	Mecánico
Realizar actividades de mantenimiento desprendidas de rutinas de mantención y/o análisis de vibraciones).	6 M	Preventivo	Mecánico
Realizar comisionamiento dinámico-estático del sistema.	6 M	Preventivo	Mecánico
Revisión de co-linealidad de agujeros de caja.	O/C	Preventivo	Mecánico
Análisis de aceite	1 M	Preventivo	Mecánico
Medición de deflexión de ejes	O/C	Preventivo	Mecánico

5.2.3 Motor extrusor

A continuación, en la tabla se establecen las tareas de mantenimiento mecánicas requeridas por el motor eléctrico del extrusor de la línea 5.

Tabla 21. Programa de mantenimiento para el motor del extrusor de la línea 5.

Tarea de mantenimiento	Frec.	Tipo de mantenimiento	Responsable
Cambio de rodamientos	3 A	Preventivo	Mantenedor
Lubricar rodamiento delantero	3 M	Preventivo	Mantenedor
Inspección termográfica	1 M	Predictivo	Mantenedor
Análisis de vibraciones: Toma de datos sensor vibración ABB	2 S	Predictivo	Empresa externa

5.2.4 Portacuchillos

Esta pieza es fundamental en el proceso de extrusión, donde el material se forma y moldea. Al realizar limpiezas periódicas y aplicar lubricación apropiada, se previene la acumulación de residuos y evita posibles obstrucciones que podrían afectar la precisión y uniformidad del producto final. Asimismo, la inspección regular de estas partes permite detectar desgastes o daños tempranos, evitando costosas reparaciones o reemplazos. Un mantenimiento adecuado garantiza la durabilidad del extrusor y contribuye a mantener altos estándares de producción, minimizando tiempos de inactividad y maximizando la eficiencia del proceso.

El mantenimiento regular del motor del porta cuchillos de un extrusor es de suma importancia para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina. Al mantener limpio y lubricado el motor, se previene el desgaste prematuro de sus componentes y se evitan posibles averías.

Para las tareas de lubricación en el plan de la Tabla 20, la grasa utilizada es Mobil Grease FM 222.

Tabla 22. Programa de mantenimiento para el porta cuchillos.

Subequipo	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Tipo de mant.	Responsable
PORTA CUCHILLOS	Medir diámetros de los agujeros de la matriz para verificar desgaste.	1 S	Preventivo	Operador
	Limpiar y destapar matriz.	1 S	Preventivo	Operador
	Lubricar cardán (Uniones y partes móviles).	1 S	Preventivo	Operador
	Inspeccionar cuchillos, cambiar en caso de desgaste	1 D	Preventivo	Operador
MOTOR	Cambio de rodamientos del motor del porta-cuchillos	30 M	Preventivo	Mantenedor mecánico

VARIADOR DE FRECUENCIA	Limpieza general con pincel, aire seco y paño	1 A	Preventivo	Mantenedor
	Limpieza de tarjetas con alcohol isopropílico	1 A	Preventivo	Mantenedor
	Revisión de conexiones y reaprietes	1 A	Preventivo	Mantenedor
	Montaje de gabinete y pruebas de funcionamiento.	1 A	Preventivo	Mantenedor
VÁLVULA DE CONTROL PROPORCIONAL 4-20 mA	Realizar inspección a actuador neumático, verificando conexiones neumáticas, filtraciones de aire y correcto estado de cable de alimentación eléctrica	1 M	Preventivo	Instrumentista
	Reapriete de conexiones neumáticas, cambio de tubing neumático / conectores si se detectan filtraciones	1 M	Preventivo	Instrumentista
	Verificar la correcta fijación o acoplamiento del actuador neumático al cuerpo de la válvula Si la línea cuenta con sistema FRL, purgar filtro de agua	1 M	Preventivo	Instrumentista
	Desconexión de señal de control y Prueba de funcionamiento para posición de de 0, 25, 50, 75 y 100% con calibrador 4-20mA	1 M	Preventivo	Instrumentista
	Reapriete de conexiones eléctricas	1 M	Preventivo	Instrumentista
	Realizar limpieza exterior de válvula.	1 M	Preventivo	Instrumentista
	Realizar prueba de funcionamiento, solicitar al operador que realice apertura y cierre desde HMI en intervalos de 0, 25, 50, 75 y 100% verificando el correcto funcionamiento en terreno	1 M	Preventivo	Instrumentista
	Indicar en OT anomalías.	1 M	Preventivo	Instrumentista

5.2.5 Sistema de control del extrusor

Este sistema, que incluye controladores electrónicos, sensores y software, regula y monitorea parámetros críticos como la temperatura, la velocidad y la presión durante la operación del extrusor. Un mantenimiento sistemático permite identificar y corregir posibles desviaciones en la calibración de los sensores, así como también actualizar el software para optimizar el rendimiento del proceso.

Además, el mantenimiento asegura la integridad de las conexiones eléctricas y electrónicas, evitando fallas y pérdida de datos.

Tabla 23. Programa de mantenimiento del sistema de control del extrusor.

Subequipo	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Tipo de mant.	Responsable
GENERAL	Asegurar que todos los termopares estén bien insertados y en contacto con la carcasa de acero del barril.	1 M	Preventivo	Instrumentista
TABLERO DE CONTROL	Limpieza profunda de tablero de control	6 M	Preventivo	Operador
	Reposición de tapas de bandejas ranuradas.	6 M	Correctivo	Mantenedor
	Sellado de tablero (hermético).	6 M	Preventivo	Mantenedor
	Verificar prueba de funcionamiento correcto y activación de parada de emergencia.	6 M	Preventivo	Mantenedor
PANEL VIEW	Inspección Visual de componentes	6 M	Preventivo	Operador
	Revisión de signos de puntos calientes	6 M	Predictivo	Eléctrico
	Realizar reapriete de conexiones	6 M	Preventivo	Eléctrico
	Instalar tapas, grillas, protectores faltantes y realizar ordenamiento de cables	6 M	Preventivo	Eléctrico
	Realizar limpieza general, externa e interna, aspirado	6 M	Preventivo	Operador
	Verificar estado y cierre de la puerta principal de acceso	6 M	Preventivo	Mantenedor
	Corroborar que no exista posibilidad de filtración de agua	6 M	Preventivo	Mantenedor
	Limpieza de pantalla, prueba de sistema táctil. Si se detectan anomalías se deberá informar y corregir.	6 M	Preventivo	Mantenedor

5.2.6 Línea de vapor extrusor

Esta línea es la encargada de proporcionar el vapor necesario para calentar y fundir el material, por lo cual desempeña un papel crítico en el proceso de extrusión. En este enfoque, se establece un plan de mantenimiento sistemático y periódico, que comprende la limpieza y revisión regular de los conductos, válvulas y conexiones para prevenir obstrucciones y fugas. Además, se aplica una

calibración precisa de la presión y temperatura del vapor para garantizar un control óptimo del proceso. La implementación rigurosa del plan mostrado en la Tabla 24 permitirá prolongar la vida útil del extrusor, maximizar la productividad y asegurar la calidad del producto final en el ámbito industrial.

Tabla 24. Programa de mantenimiento para línea de vapor del extrusor.

Tarea de mantenimiento	Frec.	Tipo de mantenimiento	Responsable
Inspección y mantenimiento Flujómetro línea de vapor extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista
Calibración (Externa) Flujómetro línea de vapor extrusor	1 A	Preventivo	Instrumentista
Inspección dinámica a válvula moduladora vapor de extrusor	1 M	Preventivo	Instrumentista
Inspección y mantenimiento a Válvula moduladora vapor de extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista
Inspección y mantenimiento a válvula ON/OFF vapor extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista
Inspección y limpieza a manómetro vapor entrada reguladora de extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista
Inspección dinámica a válvula moduladora	1 M	Preventivo	Instrumentista

5.2.7 Línea de agua extrusor

Esta línea, que comprende el sistema de enfriamiento y calibración del material extruido, desempeña un papel esencial en el proceso de extrusión. Se propone un plan de mantenimiento sistemático y planificado, que abarca desde la limpieza y revisión periódica de los componentes, hasta la calibración precisa de la temperatura y el flujo de agua. Además, se explorarán técnicas avanzadas de inspección, como pruebas de flujo y análisis de la eficiencia de enfriamiento, para evaluar el desempeño del sistema. La aplicación rigurosa del plan mostrado en la Tabla 25 permitirá mantener la consistencia en la producción de materiales extruidos.

Tabla 25. Programa de mantenimiento para la línea de agua del extrusor.

Tarea de mantenimiento	Frec.	Tipo de mantenimiento	Responsable
Inspección y mantenimiento a flujómetro línea de agua extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista
Calibración (Externa) del flujómetro de la línea de agua del extrusor	1 A	Preventivo	Instrumentista

Inspección y mantenimiento a válvula moduladora agua extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista
Inspección dinámica a válvula moduladora agua extrusor	1 M	Preventivo	Instrumentista
Inspección y limpieza a Válvula ON/OFF agua extrusor	6 M	Preventivo	Instrumentista

CAPÍTULO 6: Conclusiones

La implementación de la metodología de análisis de criticidad cualitativo basado en el riesgo de los activos en Cargill Coronel ha demostrado ser una estrategia efectiva para establecer una jerarquización y desarrollar planes de mantenimiento para los equipos más críticos, ya que proporciona una base sólida para la toma de decisiones, optimiza la gestión del mantenimiento y asegura la asignación eficiente de recursos en los procesos de operación y mantenimiento de los activos industriales. Esta metodología se ha consolidado como un enfoque fundamental para mantener la confiabilidad y la eficiencia de los equipos críticos en la organización [25].

En primer lugar, se llevó a cabo una tarea exhaustiva de recopilación y análisis de información de los activos instalados, donde la implementación de estructuras taxonómicas permitió ordenar y representar de manera documentada la información recopilada, abarcando los emplazamientos y equipos que conforman las instalaciones de la organización. Se encontró que el listado de equipos existente en la compañía contaba con un total aproximado de 4.000 equipos nivel VI, VII Y VII, de los cuales muchos se encontraban fuera de servicio. Luego de realizar el ordenamiento taxonómico, se logró identificar cuáles eran los equipos principales y mandatorios por evaluar.

Se realiza un análisis de criticidad aplicado a los 796 equipos principales y mandatorios, donde se vuelve crucial contar con la participación de personal de todas las áreas y establecer criterios claros y consensuados, para minimizar la subjetividad y asegurar una evaluación coherente y precisa.

En relación con los resultados obtenidos, se ha establecido una jerarquía clara y fundamentada de los equipos en términos de criticidad. Se identificó 8 equipos con una alta criticidad, los cuales requieren una atención prioritaria en términos de mantenimiento y gestión de riesgos. Esta jerarquización permitirá a la organización centrar sus esfuerzos y recursos económicos, tecnológicos y humanos en aquellos equipos que poseen un impacto más significativo en áreas críticas como seguridad y medio ambiente, garantizando así una mayor efectividad en la gestión de riesgos y la prevención de incidentes.

En línea con los objetivos planteados, se procedió a la selección de dos clases de equipos que demostraron ser los más críticos dentro del análisis de criticidad. Estos equipos seleccionados representan un punto focal en la estrategia de mantenimiento, ya que su correcto funcionamiento tiene un impacto directo en la seguridad de los trabajadores, la protección del medio ambiente y la integridad de los procesos productivos. Para estos equipos críticos, se elaboraron planes de mantenimiento detallados que abarcan aspectos preventivos, predictivos y correctivos. Estos planes servirán como guía para asegurar que los equipos operen de manera óptima y segura a lo largo del tiempo, minimizando el riesgo de fallas inesperadas, alargando la vida útil del activo y reduciendo los tiempos de inactividad no programados.

Finalmente, es necesario mencionar que un mantenimiento excesivo puede resultar en costos innecesarios y una mayor utilización de recursos. Si se llevan a cabo revisiones y sustituciones de componentes antes de que sea realmente necesario, se estaría desperdiciando la vida útil de esos

elementos y gastando recursos en acciones que no proporcionan un beneficio real. Por lo tanto, se concluye que es importante llevar a cabo un análisis adecuado de los equipos o sistemas para determinar cuándo es el momento óptimo para realizar el mantenimiento y cuándo reemplazar repuestos.

Trabajos Futuros

El estudio realizado y las conclusiones obtenidas abren el camino a diversas oportunidades y perspectivas futuras en el ámbito de la gestión industrial y la ingeniería. Algunas de estas posibilidades incluyen:

- Realizar un estudio económico de los planes propuestos y presentarlo a gerencia de manera que pueda incorporarse tanto en la planificación anual de la fábrica como en los costos mensuales que posee el departamento de mantenimiento.
- Desarrollo de Software y Herramientas de Gestión: La creación de software y herramientas específicas para el análisis de criticidad y la gestión de equipos críticos podría simplificar y agilizar el proceso para las organizaciones. Estas herramientas podrían incorporar algoritmos de análisis, bases de datos de equipos y mejores prácticas de mantenimiento.
- Desarrollo de Sistemas de Automatización y Robótica: La gestión de equipos críticos puede beneficiarse de la automatización y la robótica en términos de mantenimiento y operación. El diseño y la implementación de sistemas automatizados para tareas de inspección, lubricación y reparación en equipos críticos pueden aumentar la seguridad y la precisión, al tiempo que reducen la exposición de los trabajadores a situaciones de riesgo.
- Es importante establecer un sistema de seguimiento y control para asegurarse de que se están cumpliendo los planes de mantenimiento y detectar posibles desviaciones o problemas. De esta forma, se pueden tomar medidas correctivas a tiempo y evitar costosas averías o paradas no programadas.

Los resultados y conclusiones de esta investigación abren un abanico de oportunidades en la gestión industrial, la ingeniería y la mejora continua de procesos. La aplicación de los conocimientos obtenidos tiene el potencial de generar eficiencias, reducir riesgos, mejorar la sostenibilidad y fortalecer la competitividad de las organizaciones en un entorno empresarial cada vez más complejo y demandante.

Referencias

- [1] International Organization for Standardization, *ISO 14224:2016 Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. <https://www.iso.org/standard/64076.html>, 2016.
- [2] E. Medina, “Análisis de Fallas Mecánicas en Turbocargadores”, <http://ojs.urbe.edu/index.php/revecitec/article/view/3022/4131>.
- [3] R. Alvarado, “Sistemática, taxonomía, clasificación y nomenclatura”, *Col-Pa: Coloquios de la Cátedra de Paleontología*, vol. 9, pp. 3–8, 1966.
- [4] EG Conocimiento Aplicado, “Purgas de caldera: La importancia de un buen control.”, <https://www.quimicaeg.com.ar/post/purgas-de-caldera-la-importancia-de-un-buen-control>.
- [5] BBC News Mundo, “El gigante de la alimentación Cargill vende alimentos a Coca-Cola y McDonald’s que causan deforestación en América Latina”, <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48967797>, 19 de julio de 2019.
- [6] Consejo del Salmón de Chile, “Historia de la industria en Chile”, <https://www.consejodelsalmon.cl/informacion-de-la-industria/principales-datos-de-la-industria/>, 9 de noviembre de 2020.
- [7] APESeg, “Mantenimiento, riesgos de no realizarlo”, <https://www.apeseg.org.pe/2022/02/autos-mantenimiento-riesgos-de-no-realizarlo/>, 22 de febrero de 2022.
- [8] S. Hansen, “Tiempo de inactividad: planificado, no planificado y su impacto en los convertidores de tisú”, <https://blog.koerber-tissue.com/es/tiempo-de-inactividad-planificado-no-planificado-y-su-impacto-en-los-convertidores-de-tis%C3%BA>, 7 de enero de 2021.
- [9] DISETE, “¿Qué pasa si tu empresa no hace mantenimiento preventivo de los sistemas?”, <https://disete.com/que-pasa-si-tu-empresa-no-hace-mantenimiento-preventivo-de-los-sistemas/>, 17 de febrero de 2020.
- [10] Cargill, “Acerca de Cargill en Chile”, <https://www.cargill.cl/es/sobre-cargill>.
- [11] E. Castro, “El estado actual de la Acuicultura en Chile y perfiles de Nutrición y Alimentación”, <https://www.fao.org/3/AB487S/AB487S04.htm>.
- [12] G. Guevara, “Aplicación de mejora a equipo mixer utilizado en proceso de inyección de policap a pellets alimenticios”, Universidad Técnica Federico Santa María sede Concepción Rey Balduino de Bélgica, Concepción, 2018.
- [13] Cargill, “Muestrario Calibres”, https://www.learningtofeed.cl/calibres-mobile/CALIBRES_DESKTOP_V6/CALIBRES_DESKTOP_V6.html, 26 de agosto de 2022.

- [14] R. López, “Desarrollo de los procesos de mantenimiento en base a las normas UNE-EN 17007, UNE-EN 15341 y UNE-EN 13460 para la empresa Proalim en la ciudad de Riobamba”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2022.
- [15] O. Campos-López, G. Tolentino-Eslava, M. Toledo-Velázquez, y R. Tolentino-Eslava, “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos”, https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/#redalyc_61458265006_ref11, 2019.
- [16] ReliabilityWeb, “El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional.”, <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>.
- [17] B. Christiansen, “How to Perform Criticality Analysis to Prioritize Asset Maintenance”, <https://limblecmms.com/blog/how-to-perform-criticality-analysis/>, 5 de mayo de 2022.
- [18] S. Duffuaa, A. Raouf, y J. Dixon, *Sistemas de mantenimiento: Planeación y Control*. 1999.
- [19] Centro Tecnológico ITCL, “Hacia el mantenimiento 4.0”, <https://itcl.es/blog/hacia-el-mantenimiento-40/>, ago. 2020.
- [20] V. Sinchi, “Tipos de Mantenimiento”, https://www.academia.edu/26387889/CAP_2_TIPOS_DE_MANTENIMIENTO.
- [21] F. J. Martínez M., “Diseño de un plan de mantenimiento para un equipo de alta fiabilidad”, *Revista Técnica Industrial*, 2013.
- [22] Ministerio de Salud y Subsecretaría de Salud Pública, “Reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua”, mar. 2012.
- [23] IQR Ingeniería Química, “¿Qué son las calderas pirotubulares?”, <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/12/calderas-pirotubulares.html>, 15 de diciembre de 2021.
- [24] Johnston Boiler Company, “Johnston Burner Maintenance”, <https://www.johnstonboiler.com/resources/product-knowledge-base/johnston-burner-maintenance/>.
- [25] C. Parra y A. Crespo Marquez, “Modelo Integral de Confiabilidad y Mantenimiento, Alineado a la Industria 4.0”, 2020.

Anexo A: Tabla evaluación criticidad.

Clasificación de Items-Análisis de Criticidad de Máquinas				<i>Criticidad=PF*(PRO+MAN+SEG+MAM)</i>	
	Probabilidad de Falla	CONSECUENCIAS			
		Producción/Calidad	Mantenimiento	Seguridad	Medio Ambiente
	Representa la probabilidad de que cualquier componente del sistema a evaluar (máquina, área, planta, etc.) produzca la pérdida de su función sea temporal o permanentemente.	Representa la capacidad e impacto que se deja de producir cuando ocurre la falla. Contempla además conceptos de operación, negocio y gestión, lo que se traduce en alteraciones en las utilidades proyectadas de una empresa.	Este análisis tiene como fin, evaluar la severidad de una posible falla de un ítem o componente crítico que pueda presentar una máquina. Considerando tiempos de respuestas y costos de mantenimiento asociados ante una eventualidad.	Representa la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas al momento de producirse una falla en el ítem analizado y los riesgos de las actividades de mantenimiento relacionadas.	Representa la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente, al producirse una falla en el ítem analizado. Se evalúa el riesgo asociado y las medidas de control relacionadas.
Calif.					
1	-La máquina es robusta y no se espera que falle. -Se encuentra en buenas condiciones (Generalmente estanques o elementos estructurales)	- La detención de la máquina no afecta en la generación de ningún tipo de producto. (0% a 5%).	- El tiempo de reparación de la máquina es bajo y los costos asociados son despreciables.	Impacto en las personas es mínimo o ninguno. (Posibles heridas leves, contusiones) Personal en mantenimiento no tiene ningún riesgo (posibles heridas leves o contusiones)	Impacto en el ambiente es mínimo o ninguno (la recuperación es inmediata y fácil) No se requiere un despliegue que permita asegurar el área.
	-La máquina es robusta y es poco probable que falle. -El ítem ha presentado muy pocas fallas. (Condición Media)	- La máquina opera producto secundario o terciario y al detenerse impacta en menor medida la producción (5% a 30%).	- El tiempo de reparación de la máquina es menor a 1 Turno y los costos asociados son bajos y no afectan mayormente.	Impacto en las personas es mínimo o ninguno. Personal en mantenimiento requiere de medidas preventivas adicionales pero se controlan riesgos.	Impacto en el ambiente es mínimo pero se deben implementar diversas medidas para poder contener el riesgo ambiental.
2	- Presenta fallas perceptibles correspondientes a desgaste o rasgaduras. (Máquinas rotatorias generalmente caen dentro de esta categoría). -El ítem ha presentado pocas fallas. (Condición Media)	- La máquina opera producto secundario o terciario y al detenerse impacta en forma considerable la producción (30% a 60%).	- El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 1 Turno y los costos asociados son bajos y no afectan mayormente.	Impacto en las personas es medio (Implica lesiones con pérdida de jornada) Personal en mantenimiento debe implementar diversas medidas de seguridad para poder contener el riesgo.	Impacto en el ambiente asociado es relevante pero al implementar diversas medidas para poder contener se tiene una recuperación sin relevancia en el medio externo.
	- La máquina ha fallado en forma frecuente. -La condición es media. Actualmente se encuentra en condición aceptable.	- La máquina opera producto secundario o terciario y al detenerse impacta mayormente o completamente la línea (60% a 100%). - La máquina opera producto primario y al detenerse impacta en menor medida la producción (5% a 30%).	- El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 2 Turnos y los costos asociados son considerables.	Impacto en las personas es medio-Alto (implica lesiones mayores) Personal en mantenimiento debe implementar medidas de apoyo especiales (Debe realizar PST en rigor con apoyo, arnes o trabajo en caliente)	El impacto asociado requiere de un plan de restauración del recurso - es visible tanto internamente como la comunidad se deben solicitar recursos a para poder contener
3	- La máquina ha fallado en forma frecuente -La condición de la máquina es pobre o vieja , pero es de fácil monitoreo	- La máquina opera producto primario y su detención impacta en forma considerable la producción (30% a 70%).	- El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 1 día y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.	Impacto en las personas grave. (amputaciones, incapacidad permanente, etc) Personal en mantenimiento debe utilizar medidas previas y durante de alta preocupación(Espacios Confinados, etc)	El impacto ambiental es significativo internamente y la comunidad y se requiere de la presencia de especialistas que indiquen los pasos a seguir bajo programas de descontaminación y recuperación.
	- La máquina ha fallado en forma frecuente y se puede presentar en cualquier momento -La condición de la máquina es pobre o vieja y es de monitoreo complejo (Sistemas de varias componentes rotatorios o hidráulicos).	- La máquina opera producto primario y su detención impacta mayormente o completamente la producción. (70% a 100%).	- El tiempo de reparación de la máquina es posible solo en un revestimiento y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.	Impacto en las personas extremadamente grave. Muerte o varias muertes en el entorno, daño catastrófico. Personal en mantenimiento debe asegurar la zona ya que existe un riesgo latente en las personas que circulan cerca del área.(gases o líquidos inflamables, corrosivos o reactivos)	El impacto ambiental daña tanto a recursos naturales como a la imagen de la empresa. Acarrea problemas legales de consideración. Se da aviso a la comunidad y a entidades públicas con el fin de no desencadenar una catástrofe peor, etc.

Anexo B: Encuesta para evaluar criticidad de activos.



REGISTRO DE CAPACITACIÓN

Departamento: Mantenimiento		Tema: Análisis de criticidad	
Capacitación	Fecha	Hora inicio	Hora término
T1	06-05-2023	14:00 hrs.	15:00 hrs.
T2	07-05-2023	15:00 hrs.	16:00 hrs.
T3	14-05-2023	14:00 hrs.	15:00 hrs.



Ítem	Nombre	
1.	Gonzalo Alexis Fernández Medina	Gonzalo Alexis Fernandez Medina@cargill.com
2.	Gustavo Paredes	Gustavo Paredes@cargill.com
3.	Christian Ulloa Rosales	Christianjavier Ulloarosales@cargill.com
4.	Cristian Araneda Ulloa	Cristian Araneda Ulloa@cargill.com
5.	Francisco Araya Álvarez	Francisco Arayaalvarez@cargill.com
6.	Marcos Otárola Sanzana	Marcosricardo Otarolasanzana@cargill.com
7.	Javier Arévalo Matamala	Javierleandro Arevalomatamala@cargill.com
8.	Sergio Mella Carrasco	Sergio Mella Carrasco@cargill.com
9.	Esteban Nova	Esteban Nova@cargill.com
10.	Gabriel Sierra Vivanco	Sierra Vivanco Gabriel Felix@cargill.com
11.	Ignacio Soto Mella	Ignacioeduardo Sotomella@cargill.com
12.	Víctor Palacios	Victoralfonso Palaciosaravena@cargill.com
13.	Marco González	M Gonzalez@cargill.com
14.	Jaime Hernández	Jaimegonzalo Hernandezvillar@cargill.com
15.	Alexis Meriño	Alexis Merino Cancino@cargill.com
16.	Diego Cisterna	Diego Cisterna@cargill.com
17.	Álvaro Suazo	Alvaroeloy Suazoosorio@cargill.com
18.	Héctor Santana	Hector Santana@cargill.com
19.	Raúl López	Raul lopez@cargill.com

Anexo C: Formato encuesta para evaluar criticidad de activos. ([Enlace a encuesta](#))

Evaluación de criticidad: Nombre equipo - Guardado ▾

Evaluación de criticidad: Nombre equipo

TAG:
Zona:

Considere una falla en el equipo como caso extremo (Catastrófico).
Al final del formulario puede dejar una observación de sus respuestas (opcional).

1. ¿Cuál es la probabilidad de falla del activo? *

- 1) La máquina es robusta y no se espera que falle / Se encuentra en buenas condiciones (Generalmente estanques o elementos estructurales)
- 2) La máquina es robusta y es poco probable que falle / El activo ha presentado muy pocas fallas.
- 3) Presenta fallas perceptibles correspondientes a desgaste o rasgaduras. (Máquinas rotatorias generalmente caen dentro de esta categoría) / El activo ha presentado pocas fallas.
- 4) La condición es media. Actualmente se encuentra en condición aceptable / La máquina ha fallado en forma frecuente.
- 5) La condición de la máquina es deteriorada o antigua, pero es de fácil monitoreo / La máquina ha fallado casi siempre.
- 6) La condición de la máquina es deteriorada o antigua y es de monitoreo complejo (Sistemas de varios componentes rotatorios o hidráulicos) / La máquina ha fallado en forma frecuente y se puede presentar en cualquier momento.

2. Desde el punto de vista de las áreas de producción y calidad, ¿Cuál es la consecuencia de que el equipo falle? *

- 1) 0% a 5%: La detención de la máquina no afecta en la generación de ningún tipo de producto.
- 2) 5% a 30%: La máquina opera producto que puede fabricarse en otra línea y al detenerse impacta en menor medida la producción.
- 3) 30% a 60%: La máquina opera producto que puede fabricarse en otra línea, pero impacta en forma considerable la producción
- 4) 60% a 100%: La máquina opera producto que puede fabricarse en otra línea y al detenerse impacta mayormente la línea.
- 5) 5% a 30%: La máquina opera producto que no se fabrica en otra línea y al detenerse impacta en menor medida la producción
- 6) 30% a 70%: La máquina opera producto que no se fabrica en otra línea y su detención impacta en forma considerable la producción
- 7) 70% a 100%: La máquina opera producto que no se fabrica en otra línea y su detención impacta mayormente o completamente la producción
- 8) Desconozco las consecuencias en el área de producción y calidad.

3. Desde el punto de vista de Mantenimiento, ¿Cuál es la consecuencia de que el equipo falle? *

- 1) El tiempo de reparación de la máquina es bajo y los costos asociados son despreciables.
- 2) El tiempo de reparación de la máquina es menor a 1 turno y los costos asociados son bajos y no afectan mayormente.
- 3) El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 1 turno y los costos asociados son bajos y no afectan mayormente.
- 4) El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 2 turnos y los costos asociados son considerables.
- 5) El tiempo de reparación de la máquina es mayor a 1 día y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.
- 6) El tiempo de reparación de la máquina es posible solo en un mantenimiento general completo y los costos asociados son altos y afectan considerablemente.
- 7) Desconozco las consecuencias en el área de mantenimiento.

4. Desde el punto de vista de la seguridad de las personas, ¿Cuál es la consecuencia de que el equipo falle? *

- 1) Impacto en las personas es mínimo o ninguno. (Posibles heridas leves, contusiones) / Personal en mantenimiento no tiene ningún riesgo (posibles heridas leves o contusiones)
- 2) Impacto en las personas es mínimo o ninguno / Personal en mantenimiento requiere de medidas preventivas adicionales, pero se controlan riesgos
- 3) Impacto en las personas es medio (Implica lesiones con pérdida de jornada) / Personal en mantenimiento debe implementar diversas medidas de seguridad para poder contener el riesgo
- 4) Impacto en las personas es medio - alto (Implica lesiones mayores) / Personal en mantenimiento debe implementar medidas de apoyo especiales (Debe realizar PST en rigor con apoyo, arnés o trabajo en caliente)
- 5) Impacto en las personas grave (amputaciones, incapacidad permanente, quemaduras severas, etc.) / Personal en mantenimiento debe utilizar medidas previas y durante de alta preocupación (Espacios Confinados, etc.)
- 6) Impacto en las personas extremadamente grave. Muerte o varias muertes en el entorno, daño catastrófico / Personal en mantenimiento debe asegurar la zona ya que existe un riesgo latente en las personas que circulan cerca del área (Gases o líquidos inflamables, corrosivos o reactivos)
- 7) Desconozco las consecuencias en el área de seguridad.

5. Desde el punto de vista del impacto en el medio ambiente, ¿Cuál es la consecuencia de que el equipo falle? *

- 1) Impacto en el ambiente es mínimo o ninguno (la recuperación es inmediata y fácil) / No se requiere un despliegue que permita asegurar el área.
- 2) Impacto en el ambiente es mínimo, pero se deben implementar diversas medidas para poder contener el riesgo ambiental.
- 3) Impacto en el ambiente es relevante, pero al implementar diversas medidas para poder contener se tiene una recuperación sin relevancia en el medio externo.
- 4) El impacto asociado requiere de un plan de restauración del recurso, es visible tanto internamente como la comunidad se deben solicitar recursos a para poder contener.
- 5) El impacto ambiental es significativo internamente y en la comunidad, por lo que se requiere de la presencia de especialistas que indiquen los pasos a seguir bajo programas de descontaminación y recuperación.
- 6) El impacto ambiental daña tanto a recursos naturales como a la imagen de la empresa. Acarrea problemas legales de consideración / Se da aviso a la comunidad y a entidades públicas con el fin de no desencadenar una catástrofe peor, etc.
- 7) Desconozco las consecuencias en el área de medio ambiente.

6. Observación o comentario (Opcional)

Escriba su respuesta

Anexo D: Mantenimiento recomendado por fabricante reductor de extrusor.

FLENDER

Maintenance and repair

Note: Observe the "Safety instructions" in section 3.

General notes on maintenance

Note: Maintenance and repair work must be done with care by trained and qualified personnel only.

Caution!

The periods indicated in table 10.1 depend on the conditions under which the gear unit is operated. Only average periods can therefore be stated here. These refer to:

a daily operating time of	24 hours
a duty factor of	100%
an input-drive speed of	1500 1/min
a maximum oil temperature of	90 °C (mineral oil only) 100 °C (synthetic oil only)

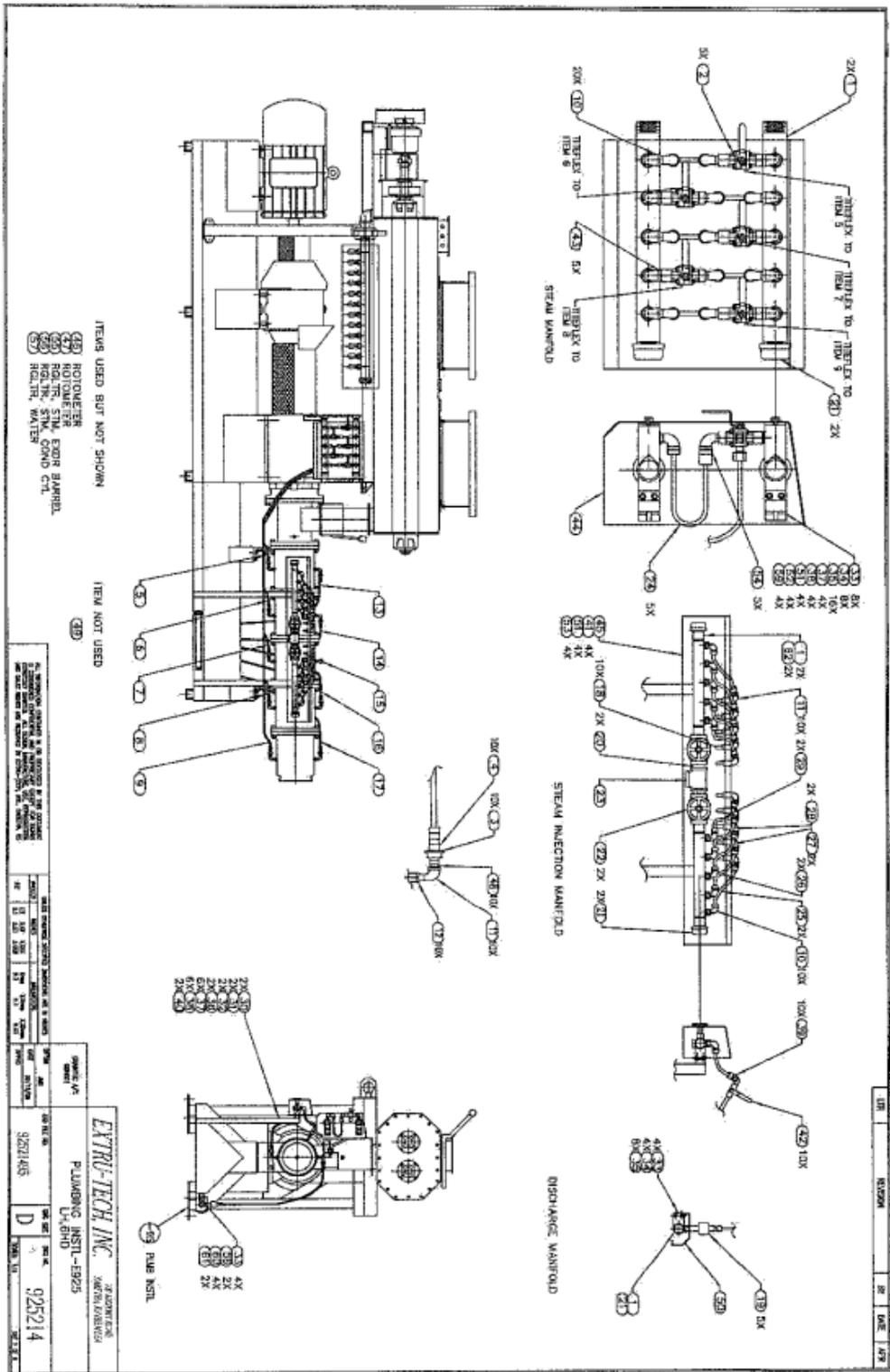
Note: Under different operating conditions the periods indicated below must be adjusted accordingly.

Measures	Periods	Remarks
Check oil temperature	daily	
Check for unusual gear-unit noise	daily	
Check oil level	monthly	
Check gear unit for leaks	monthly	
Test oil for water content	after approx. 400 operating hours once per year at least	see item 10.2.1
First oil change	400 operating hours following start-up	see item 10.2.2
Subsequent oil changes	every 2 months or 10 000 operating hours ¹⁾	see item 10.2.2
Clean the oil filter	every 3 months	see item 10.2.3
Clean air filter	every 3 months	see item 10.2.4
Refill Taconite seals with grease	every 3000 operating hours or every 6 months at least	see item 10.2.5
Clean gear-unit housing	simultaneously with oil change	see item 10.2.6
Check cooling coil for deposits	approx. every 2 years along with oil change	see item 10.2.7
Check condition of water oil-cooler	simultaneously with oil change	see item 10.2.8
Check tightness of fastening bolts	after first oil change, thereafter after every second oil change	see item 10.2.11
Carry out complete inspection of gear unit	approx. every 2 years along with oil change	see item 10.2.12

Table 10.1: Maintenance and repair work

1) When using synthetic oils, the periods can be doubled.

Anexo E: Plano de extrusor línea 5.



Anexo G: Plano buje centrador tornillo extrusor.

Diámetro de buje nuevo: 73,03 [mm]

Diámetro mínimo exterior: 70,49 [mm] (Medición menor o igual a 70,49 mm requiere cambio de repuesto)

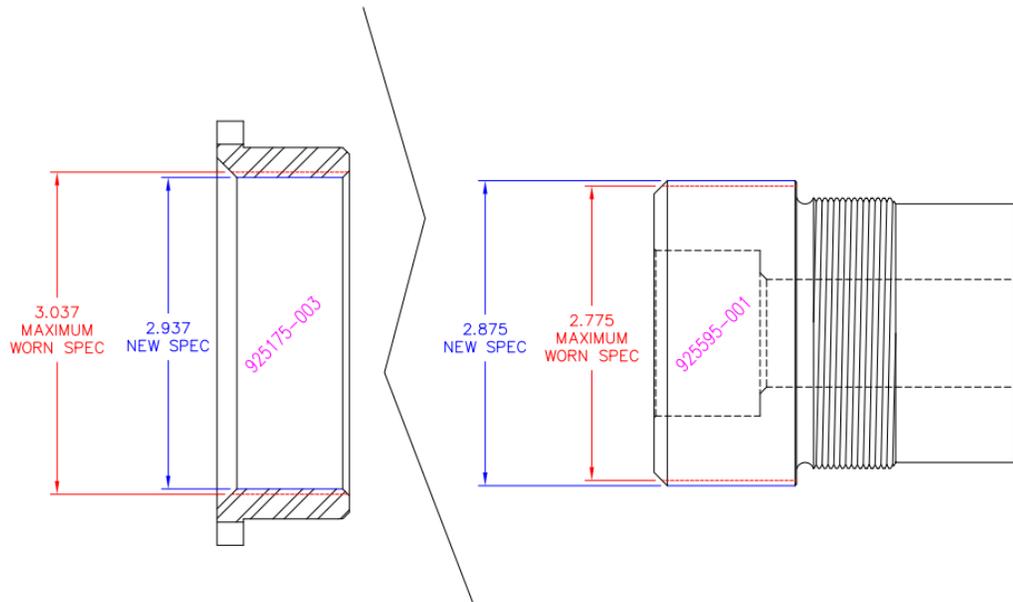


Figura 19. Plano buje centrador.