

Estudio de caso – Proyecto de Ingeniería Aplicada

# Plan de inspección basado en matriz de criticidad y frecuencia de fallos para equipos en la producción de lácteos

Inspection Plan Based on Criticality Matrix and Failure Frequency for Dairy Production Equipment

 Abel Benjamín Humacata Castrillo

Ing. Mecatrónico. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia.  
[Abel.humacata@ucb.edu.bo](mailto:Abel.humacata@ucb.edu.bo)

## RESUMEN

El presente artículo se enfocó en el diseño de un plan de inspección para la “Planta 1” de una empresa de productos lácteos en Santa Cruz. El mantenimiento industrial es esencial para la eficiencia y calidad en esta industria. Para evitar interrupciones costosas, es crucial mantener operativos los equipos. Sin embargo, se identificó una alta proporción de mantenimientos correctivos, dificultando la implementación de acciones preventivas.

El objetivo de la investigación fue desarrollar un plan de inspección basado en la matriz de criticidad y frecuencia de fallos para los equipos críticos de la “Planta 1”. Se aplicaron metodologías como RCM y Optimización con Mantenimiento Proactivo, con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento.

Los resultados incluyeron un plan detallado para los 10 equipos críticos más propensos a fallos. Se definieron actividades, equipos, personal y se estimaron tiempos. Se utilizaron las metodologías DMAIC y PDCA para la planificación y ejecución.

La matriz de criticidad y el análisis de frecuencias permitieron una identificación precisa de los equipos críticos, priorizando según su importancia operativa. El diseño del plan consideró los modos de fallo históricos, asegurando una detección efectiva de problemas. El plan fue validado para garantizar su viabilidad y adaptación a las necesidades del área de mantenimiento.

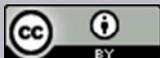
Este estudio proporciona un enfoque integral y riguroso para el desarrollo de un plan de inspección efectivo en la Planta 1 de la empresa de productos lácteos en Santa Cruz, contribuyendo a la eficiencia y calidad en la producción. Este proyecto destaca la importancia de una gestión proactiva del mantenimiento en la industria láctea.

**Palabras clave:** Gestión, Mantenimiento, Industrial, Inspección, Criticidad, Frecuencia de fallas.

**Citar como:** Humacata Castrillo, A. B. (2023). Plan de Inspección Basado en Matriz de Criticidad y Frecuencia de Fallos para Equipos en la Producción de Lácteos *Journal Boliviano De Ciencias*, 19(54), 41-61 <https://doi.org/10.52428/20758944.v19iEspecial.973>

**Revisado:** 17/07/2023  
**Aceptado:** 20/09/2023  
**Publicado:** 20/12/23

**Declaración:** Derechos de autor 2023 Abel Benjamin Humacata Castrillo, Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



---

## ABSTRACT

The present article focused on the design of an inspection plan for “Plant 1” of a dairy products company in Santa Cruz. Industrial maintenance is crucial for efficiency and quality in this industry. To avoid costly disruptions, it is crucial to keep the equipment operational. However, a high proportion of corrective maintenance was identified, making the implementation of preventive actions challenging.

The research objective was to develop an inspection plan based on the criticality matrix and failure frequency for the critical equipment of “Plant 1”. Methodologies such as RCM and Proactive Maintenance Optimization were applied to enhance maintenance management.

The results included a detailed plan for the 10 most failure-prone critical equipment. Activities, equipment, personnel, and estimated times were defined. DMAIC and PDCA methodologies were used for planning and execution.

The criticality matrix and frequency analysis allowed for precise identification of critical equipment, prioritizing based on operational importance. The plan’s design took into account historical failure modes, ensuring effective problem detection. The plan underwent validation to ensure its feasibility and adaptation to maintenance area needs.

This study provides a comprehensive and rigorous approach to developing an effective inspection plan in Plant 1 of the dairy products company in Santa Cruz, contributing to efficiency and quality in production. This project underscores the importance of proactive maintenance management in the dairy industry.

**Keywords:** Management, Maintenance, Industrial, Inspection, Criticality, Failure frequency.

## 1. INTRODUCCIÓN

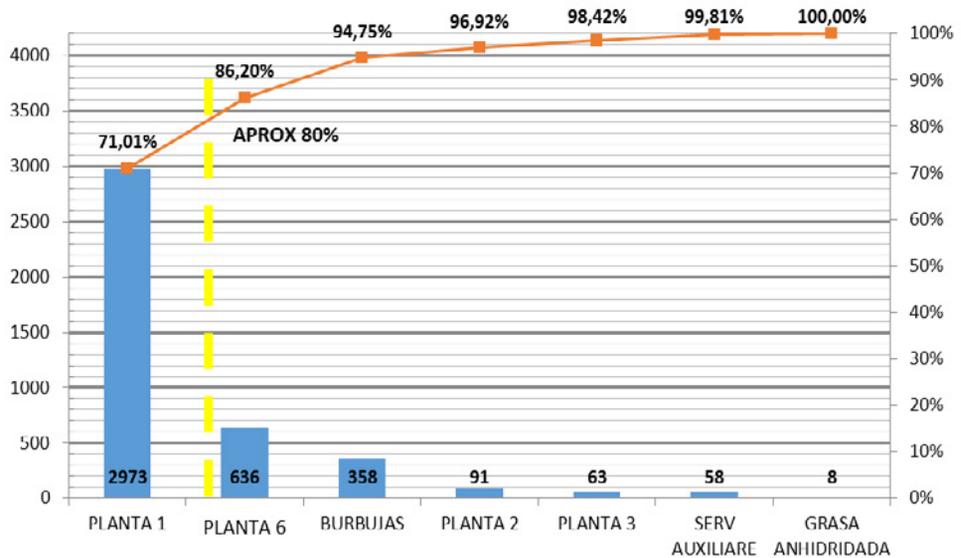
El mantenimiento industrial juega un papel crucial en la eficiencia operativa, la seguridad y la calidad de los productos en la industria láctea. Es de suma importancia garantizar que las máquinas y equipos no se detengan, ya que la capacidad de almacenamiento en la planta de producción es limitada y la parada de un equipo representa un impacto económico para la empresa. Además, las averías en equipos de alto impacto pueden generar retrasos significativos, afectando tanto la eficiencia operativa como la seguridad de los operadores y la calidad de los productos lácteos. (Pilataxi, 2020)

Uno de los inconvenientes específicos que enfrenta la empresa interesada es que la mayoría de los avisos generados durante el último año han sido del tipo correctivo, incluso aquellos clasificados como programados. En su mayoría, estos avisos se presentan en el área de la empresa conocida como Planta 1, que se ha determinado a través de un análisis de Pareto y la recopilación de datos del periodo 2022 a 2023. Esta alta proporción de avisos correctivos deja poco espacio para realizar actividades de mantenimiento preventivo, lo que impide una gestión más proactiva y eficiente del mantenimiento.

En el presente documento, da una propuesta para el desarrollo de un plan de inspección basado en las metodologías de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (en adelante referida como RCM) y Optimización con Mantenimiento Proactivo, con el objetivo de mejorar la gestión de mantenimiento en la empresa interesada. Este plan de inspección tiene como propósito abordar de manera más efectiva los modos de falla, reducir los tiempos de parada no planificados y optimizar los recursos de mantenimiento, contribuyendo así a la eficiencia operativa, la seguridad y la calidad de los productos lácteos.

Por medio de una entrevista a los supervisores de mantenimiento de la empresa productora de lácteos interesada, se comprende que los interesados reconocen contratiempos al momento de implementar técnicas de mantenimiento preventivo, la falta de una metodología estructurada para identificar y priorizar los puntos críticos de inspección ha llevado a una asignación no apropiado de recursos y a una falta de enfoque, en áreas de mayor riesgo.

La empresa reconoce que no cuenta con una herramienta efectiva para determinar los problemas más significativos que requieran de atención inmediata. Ante esta problemática, la dirección de mantenimiento de la empresa interesada en Santa Cruz cuenta con la necesidad de desarrollar un plan de inspección basada en un enfoque más estratégico.

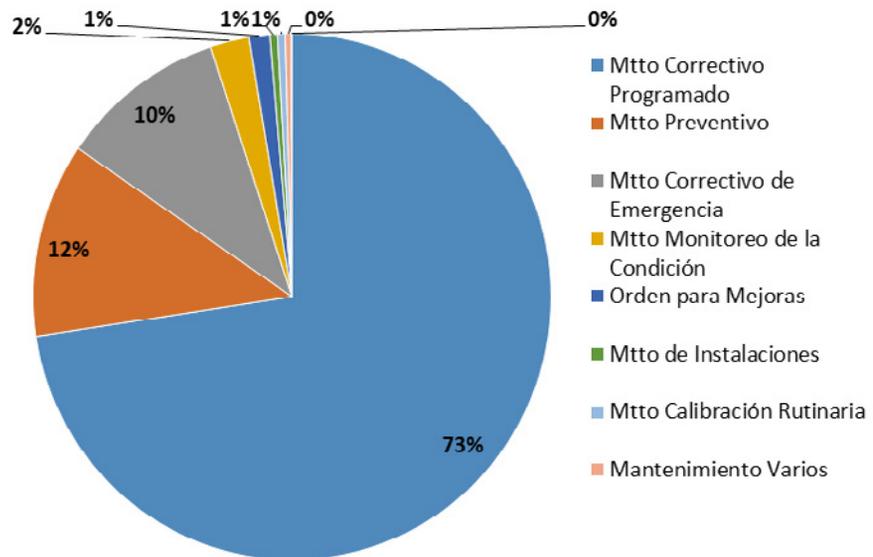


**Figura N°1.** Análisis de Pareto por áreas según el número de avisos

**Fuente:** Adaptado de la empresa interesada (2023)

En la Figura N°1 se aprecia que la “Planta 1” de la empresa interesada en su centro operativo de Santa Cruz presenta una serie de dificultades con el alto porcentaje de avisos generados en comparación con otras áreas de la empresa. De acuerdo con el análisis de Pareto realizado por la empresa del periodo 2022 a 2023, se ha identificado que esta planta representa más del 70% de los avisos anuales, lo cual ha generado preocupación en cuanto a la eficiencia operativa, la seguridad de los operadores y la calidad de los productos lácteos.

Se puede observar en la Figura N°2 que la mayoría de las órdenes de trabajo generadas durante el periodo 2022-2023 son de naturaleza correctiva programada, y que las órdenes de trabajo son creadas después de detectar una falla o avería. Esto implica que algunos equipos presentan fallas o averías que requieren una reparación programada e incluso provocan la interrupción de la línea de producción. Esta situación no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también representa un riesgo para la seguridad de los operadores y puede comprometer la calidad de los productos lácteos según los datos proporcionados por la empresa.



**Figura N°2.** Porcentajes de tipos de órdenes de trabajo de mantenimiento

**Fuente:** Adaptado de la empresa interesada (2023)

## 2. METODOLOGÍA

Por medio del trabajo de García y otros (2019), se puede inferir que las metodologías de mantenimiento se refieren a enfoques estructurados y sistemáticos que se utilizan para mejorar y gestionar el mantenimiento en el sector industrial tales como el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), el mantenimiento productivo total (TPM) entre otros, estas metodologías tienen como objetivo mejorar la disponibilidad, eficiencia y productividad de los equipos, así como el identificar y prevenir fallos o modos de fallo.

Ardila y Otros (2016) menciona que entre las metodologías aplicadas a la gerencia del mantenimiento se pueden encontrar evaluaciones a estados del arte, uso de encuestas y diferentes técnicas de recopilación de datos, así como el uso de técnicas estadísticas para el tratamiento y análisis de los datos obtenidos. De esta forma las metodologías de mantenimiento se refieren a los enfoques, técnicas y procesos utilizados para gestionar y mejorar la eficiencia del mantenimiento en una organización.

**Matriz y análisis de criticidad**

Por Parra y otros (2012), se reconoce que la matriz de criticidad es una herramienta utilizada para identificar y jerarquizar la importancia de los activos de una instalación. Según los autores, la matriz ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los posibles eventos de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el que se encuentran. Esta matriz permite subdividir los elementos en secciones que pueden ser manejadas de manera controlada y auditable, y ayuda a dirigir los recursos (humanos, económicos y tecnológicos) hacia los activos más críticos.

A su vez por Ramírez y otros (2017) puede llegar a decir que una matriz de criticidad es una herramienta que permite identificar y evaluar el nivel de riesgo asociado a la importancia de un sistema, equipo o instalación. Se utiliza para determinar la prioridad de atención y la necesidad de acciones de mantenimiento. Además, se menciona que la matriz de criticidad utiliza un código de colores para identificar la intensidad de riesgo relacionado con el valor de criticidad.

CRITICIDAD																						
FRECUENCIA (FF)	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CONSECUENCIAS (CO)																						
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	

**Figura N°3.** Matriz de Criticidad

**Fuente:** Ramírez *et al.* (2017)

Como se observa en la Figura N°3. Ramírez y otros, se basan en la frecuencia y las consecuencias de los fallos registrados. Es importante recalcar que ambos autores mencionan más criterios que pueden ser evaluados al realizar el análisis de criticidad de los equipos de una instalación, y que los mencionados son los más destacados por cada autor.

**Frecuencia de fallos**

Para Flores *et al.* (2020) la frecuencia de fallas se refiere a la cantidad de veces que ocurre una falla en un equipo en un periodo de tiempo determinado. Es importante conocer este dato porque nos permite evaluar la frecuencia con la que se presentan problemas en un equipo y nos ayuda a determinar la criticidad del mismo. Conocer la frecuencia de fallas permite tomar decisiones informadas sobre el tipo de mantenimiento que se debe aplicar, ya que equipos con una alta frecuencia de fallas requerirán un mantenimiento más frecuente y riguroso para evitar interrupciones en la operación. (Flores, Medina, Vargas, & Remache, 2020)

A través de Nuno y Otros (2020) se puede entender que la frecuencia de fallos se refiere a la cantidad de veces que ocurre un fallo en un componente o sistema durante un período de tiempo determinado. Es un indicador importante en la gestión de mantenimiento, ya que permite identificar patrones de fallos y determinar la necesidad de realizar acciones de mantenimiento preventivo o predictivo. Conociendo la frecuencia de fallos, se pueden establecer estrategias de mantenimiento más eficientes y optimizar los recursos disponibles. De igual forma, la frecuencia de fallos también puede utilizarse para calcular la confiabilidad de un componente o sistema y evaluar su desempeño en términos de disponibilidad y tiempo de inactividad. (Nuno, Lopes, & Braga, 2020)

### **Planificación de inspecciones**

La norma UNE- EN 13306:2018 define inspección como: “examen de la conformidad mediante medición, observación o ensayos de las características relevantes de un elemento” (UNE - Asociación Española de Normalización, 2018)

La norma DIN 31051 define la inspección “como todas las tareas para determinar y evaluar el estado real de un objeto técnico, incluida la identificación de la causa del desgaste y la deducción de las tareas necesarias para garantizar su uso futuro.” (DIN - Deutsches Institut für Normung, 2019)

Liebstücke (2011) menciona las siguientes tareas como parte del mantenimiento después de realizar las inspecciones:

- ◆ Ajustar
- ◆ Reemplazar
- ◆ Suplemento
- ◆ Lubricar
- ◆ Preservar
- ◆ Limpio
- ◆ Pruebas de función

### **SAP PM**

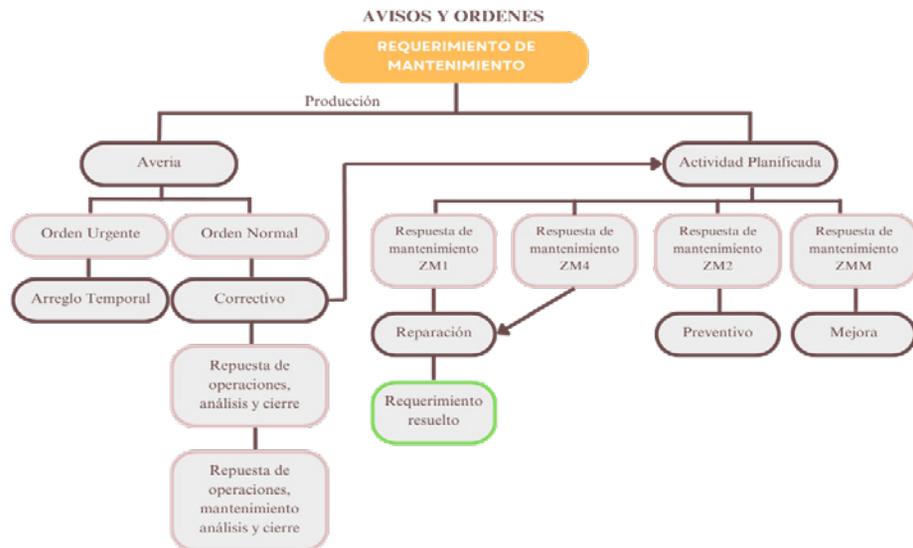
Desde la perspectiva de Sulca (2021), se genera la siguiente idea de (Figura 4), es un módulo de Mantenimiento de Planta dentro del sistema ERP SAP. Tiene como objetivo maximizar los tiempos de producción y mantener la disponibilidad de los equipos mediante un mantenimiento efectivo de la planta. Este se utiliza para gestionar y planificar los procesos de mantenimiento, mejorar el diagnóstico de problemas eléctricos, mecánicos o de instrumentación, y optimizar la vida útil de los activos.



**Figura N°4.** SAP Plant Maintenance

**Fuente:** Optimizer (2023)

Para entender de mejor manera el flujo de órdenes y avisos se muestra la Figura N°5. donde se puede observar cómo funcionan los avisos y órdenes en función de los requerimientos de mantenimiento, y cómo se relacionan con los diferentes tipos de actividades en SAP PM.



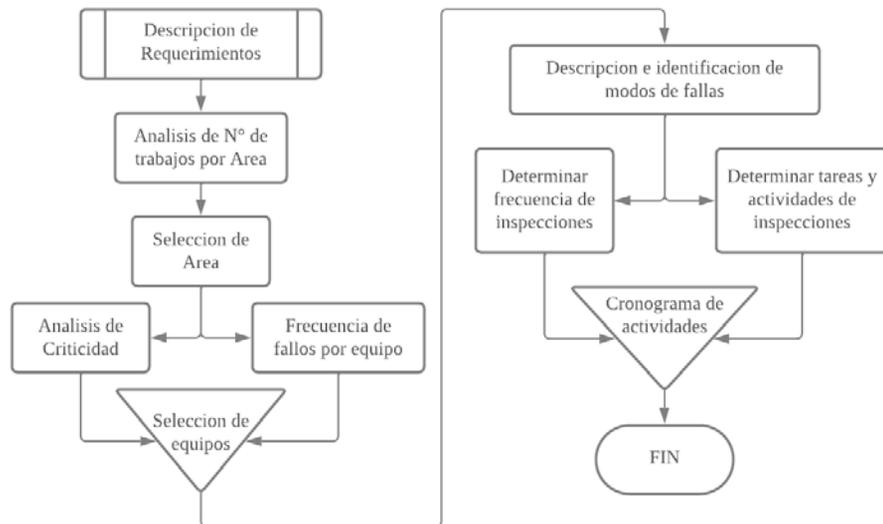
**Figura N°5.** Avisos y tipos de órdenes

**Fuente:** Adaptado de Orekait (2018)

### 3. DESARROLLO

Para el desarrollo del plan de inspección se usan como base la metodología DMAIC, mencionada por Lynch y otros (2003), que se basa en principios Six Sigma y Lean, tomando un enfoque basado en datos para definir, medir, analizar mejorar y controlar problemas en un proceso; y la metodología PDCA o conocida también como el ciclo de Deming mencionada por Dudin y otros, basado en cuatro etapas Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, ambas metodologías contribuyen a la

metodología final que se usa en el presente proyecto con el fin de encaminar el desarrollo del proyecto al cumplimiento de los objetivos formulados. En la Figura N°6 se observa el flujograma que describe el desarrollo del plan de inspección, basándose en la interpretación de las metodologías mencionadas



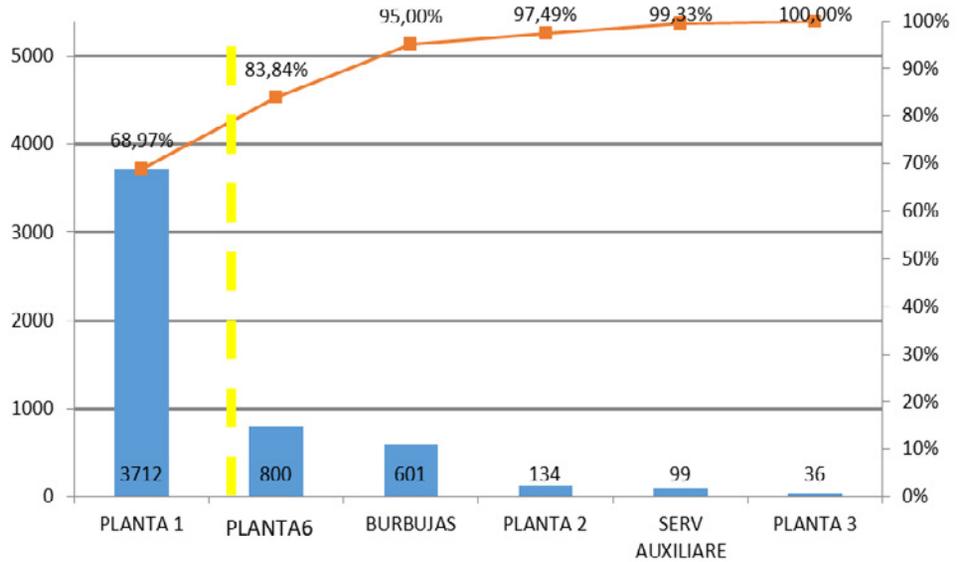
**Figura N° 6.** Flujograma del desarrollo del plan de inspección

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

### 3.1 Selección de Área

Como se muestra en la Figura N° 7, la mayor parte de las órdenes realizadas durante el periodo 2022 a 2023 se refieren a actividades de mantenimiento correctivo, siendo este el 73% de las actividades realizadas por el departamento de mantenimiento. El análisis de Pareto ayuda a determinar la planta la cual se debe dar prioridad al momento de implementar técnicas y metodologías de mantenimiento preventivo, esto debido al gran número de equipos que existen en las instalaciones.

A continuación, se muestra un gráfico de Pareto que a diferencia de la Figura N°1, se basa en el número de órdenes realizadas por áreas del periodo especificado, este grafico basa su importancia en que las órdenes están directamente relacionadas a las actividades realizadas en los equipos.



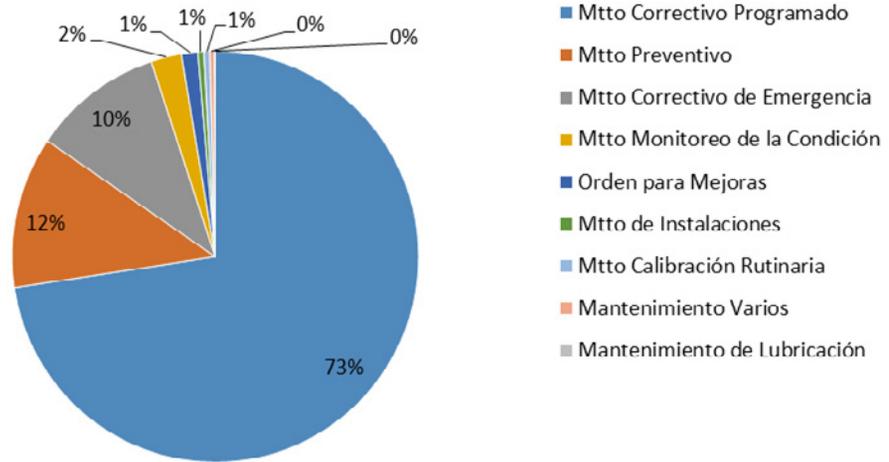
**Figura N° 7.** Análisis de Pareto en base al número de órdenes por área

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos recopilados de la empresa interesada (2023)

Como se aprecia en la Figura N° 7, “Planta 1” representa cerca del 70% de todas las órdenes generadas, debido a esto se establece “Planta 1” como prioridad al momento de diseñar el plan de inspección de equipos.

De esta forma, enfocándose en la “Planta 1” referida en adelante como P1, se puede conocer los tipos de tipos de actividades de mantenimiento que se realizan en el área.

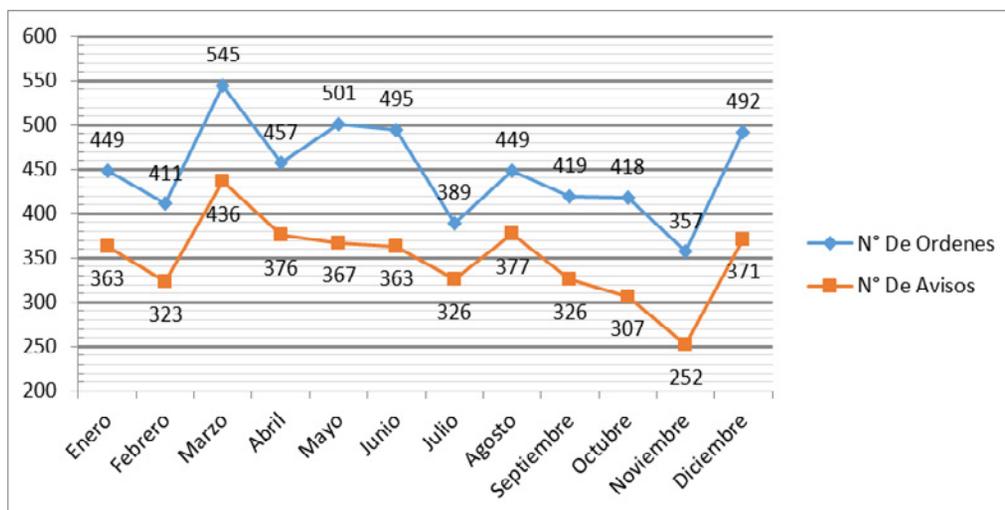
En la Figura N° 8 se puede apreciar que en P1 el 73% de las actividades realizadas por el departamento de mantenimiento son de carácter correctivo programado, el 12% de mantenimiento preventivo, el 10% en correctivos de emergencia y el restante se subdivide en varios más. Por ello se confirma la importancia y la necesidad de desarrollar un plan de inspección en esta área específica de las instalaciones.



**Figura N° 8.** Actividades de mantenimiento en Planta 1

**Fuente:** Elaboración Propia en base a datos recopilados de la empresa interesada(2023)

Para comprender de mejor manera el comportamiento de las órdenes y avisos en el transcurso de los meses se plantea la Figura N° 9, donde se puede ver como la generación de órdenes y avisos varían según los meses, identificando el pico más alto durante el mes de marzo, y el mes con menos actividad ha sido noviembre, de igual forma se puede verificar cierta relación entre el número de órdenes y avisos generados cada mismo, llegando a parecerse en forma, pero no iguales.



**Figura N° 9.** Comportamiento de órdenes y avisos durante el periodo 2022-2023

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos recopilados de la empresa interesada (2023)

### 3.2 Matriz de Criticidad

A continuación, se muestra el procedimiento que se aplica para realizar la matriz de criticidad de cada uno de los equipos de la empresa en Santa Cruz. En la Figura N°10 se pueden ver cada uno de los criterios evaluados en los equipos.

FF		IO		FCNV		FO		CM		SST		MA		CA	
Factor de frecuencia #Avisos		Impacto Operacional Parada Correc(dias)		Factor capacidad no vendida TTD		Flexibilidad Operacional Unico/StandB y		Costos de Mantenimiento Bs.		Seguridad y Salud en el Trabajo		Medio Ambiente PTE y Residuos		Calidad e inocuidad	
>91 fallos/año	4	>72	4	Alto 0-10	5	Unico	3	>=100K	3	Muy Alto	5	Significativa	3	PCCs afectados	5
61-91	3	48-72	3	Medio 10-30	3	By Pass	2	<100K	1	Alto	3	Menor	2	Afecta calidad	3
30-61	2	24-48	2	Bajo 30-50	1	Stand By	1	-	-	Medio	2	No significativa	1	No afecta, solo costos	1
0-30	1	0-24	1	Muy Bajo 50-100	0	-	-	-	-	Bajo	1	-	-	-	-
Peso relativo 4	Impacto	Peso relativo 4	Impacto	Peso relativo 5	Impacto	Peso relativo 3	Impacto	Peso relativo 3	Impacto	Peso relativo 5	Impacto	Peso relativo 3	Impacto	Peso relativo 5	Impacto

**Figura N°10.** Criterios de evaluación en la matriz de criticidad

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Como se observa en la anterior figura los criterios se basan en:

- ◆ Factor de frecuencia de avisos: relacionada principalmente al número de fallos que tiene un equipo en un año
- ◆ Impacto operacional: o en este caso el número de paradas correctivas que afectan las operaciones durante un año.
- ◆ Factor de capacidad no vendida: evalúa el impacto potencial de la falla de un equipo en la capacidad de producción de la empresa.
- ◆ Flexibilidad Operacional: evalúa si el equipo es único, by-pass o stand-by.
- ◆ Costos de Mantenimiento: mano de obra, repuestos, materiales y otros.
- ◆ Seguridad y salud en el trabajo: se refiere a los riesgos asociados a la salud y seguridad de los trabajadores.
- ◆ Medio Ambiente PTE y residuos: se refiere a la evaluación del impacto ambiental de un elemento o componente en particular.
- ◆ Calidad e inocuidad: se refiere a la evaluación del impacto que tiene la falla o deterioro de un equipo en la calidad y seguridad de los productos o servicios ofrecidos.

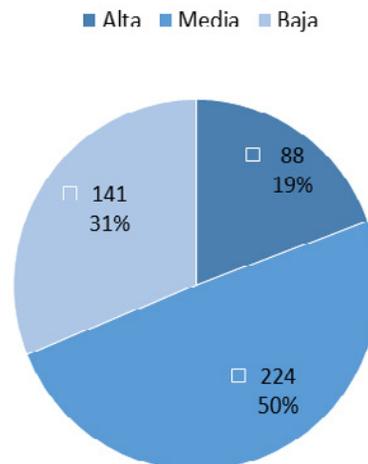
Los resultados obtenidos luego de la evaluación de cada uno de los criterios se pueden clasificar en 3:

- ◆ Criticidad alta (A): cuando el puntaje resultante sea mayor a 99 puntos .
- ◆ Criticidad media(B): cuando el puntaje obtenido este en los rangos de 67 a 99 puntos.
- ◆ Criticidad baja(C): cuando el puntaje obtenido sea menor a 67 puntos.

### 3.2.1 Criticidad de equipos en “Planta 1”

La matriz completa de los equipos no es presentada debido a la sensibilidad de los datos que esta puede representar y al extenso número de equipos que se tienen evaluados.

De esta forma al evaluar los equipos de P1 con los criterios mencionados se puede conocer por medio de la Figura N° 11 que: de 453 equipos evaluados el 19% son de criticidad alta, el 50% son catalogados como equipos de criticidad media, y el 31 % son de criticidad baja.



**Figura N° 11.** Porcentaje de equipos en “Planta 1” por criticidad

**Fuente:** Elaboración Propia (2023)

### 3.3 Selección de Equipos

Por medio del uso de los históricos de mantenimiento se puede observar que 223 equipos fueron atendidos bajo órdenes de mantenimiento correctivo programado durante el periodo analizado, y que, por medio de análisis de criticidad y frecuencia de órdenes de trabajo de cada uno de los equipos, los siguientes equipos son postulados para realizar en base a estos el plan de inspección. En otras palabras, los equipos que presentan mayor número de órdenes de trabajo y son de criticidad alta (A) dentro de la “Planta 1” son listados en la Tabla N° 1.

**Tabla N°1.** Equipos calificados para el plan de inspección por número de órdenes y criticidad alta.

NOMBRE DEL EQUIPO	Nº de órdenes	Criticidad
ENVASADORA UHT THIMONNIER 1	225	A
ENVASADORA UHT THIMONNIER 9	216	A
ENVASADORA UHT THIMONNIER 3	200	A
ENVASADORA UHT THIMONNIER 4	193	A
ENVASADORA UHT THIMONNIER 7	168	A
ENVASADORA UHT THIMONNIER 5	116	A
PROCESADOR UHT TETRAFLEX	87	A
ERCA - TERMOFORMADORA DE YOGURT BATIDITO	85	A
TRANSPORTES FILA 1 + CONTADOR	54	A
PROCESADOR UHT REDA 2	52	A
EMPAQUETADORA MANTEQUILLA 200 GR	50	A
TRANSPORTES FILA 2 + CONTADOR	46	A
TRANSPORTES FILA 3 + CONTADOR	44	A
LAVADORA AUTOMATICA DE CAJAS (NUEVA)	43	A
TRANSPORTES FILA 5 + CONTADOR	39	A
HOMOGENIZADOR DE BEBIDA LACTEA	30	A
PASTEURIZADOR DE JUGOS	19	A
ENVASADORA VOLPAK II	18	A
PASTEURIZADOR DE YOGURT 10000	18	A
TRANSPORTES FILA 4 + CONTADOR	18	A
PASTEURIZADOR DE LECHE TRETRE PAK 40000	17	A

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Como se aprecia en la Tabla N°1, se identificaron 21 equipos de “Planta 1” que han sido calificados como seleccionables debido a su historial de fallos y su alta criticidad. Sin embargo, debido a los límites que representa el tipo de documento que se realiza, se decide tomar en cuenta un subconjunto de los primeros 10 equipos para el desarrollo del plan de inspección. Es importante destacar que, aunque este documento presenta el plan de inspección para 10 equipos, se reconoce la importancia de incluir los 21 equipos en un plan de inspección completo para abordar de manera integral los aspectos de mantenimiento y gestión de riesgos en la “Planta 1”.

A continuación, se describen los equipos seleccionados para la realización del plan de inspección, es importante aclarar que las envasadoras UHT THIMONNIER son un grupo de máquinas con características similares por lo que su análisis se llevara a cabo como un grupo.

### 3.3.1 Envasadoras Thimonnier M4200 AS

Este grupo de equipos son los encargados de envasar los productos UHT (ultra pasteurización), consiste de diversos subsistemas, como la alimentación de film que es el envase de los productos, alimentación de producto, sistemas de limpieza y otros que son detallados en la siguiente lista obtenida a través del manual presente en la empresa. (Thimonnier, 2004)

- ◆ Desenrollado. - subsistema donde se cargan las bobinas de film y se va desenrollando conforme se envase el producto.
- ◆ Impresión film & Guía de orillo del film. – encargado de imprimir la fecha de vencimiento y el lote de los productos envasados.
- ◆ Esterilización del Film. - depósito de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> interno por donde se sumerge el film para esterilizarlo.
- ◆ Escurrimiento y Secado. - conjunto de raspares y ligero suministro de aire cálido que escurren y secan el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> del film antes de envasar el producto.
- ◆ Sistema de tensión constante del film. – un conjunto de rodillo y batidor que suministran y mantienen una tensión constante del film antes de ser envasado.
- ◆ Conformador. – permite formar una funda de film a lo largo del tubo de la cánula de dosificación.
- ◆ Soldadura longitudinal. - permite formar un tubo de film soldando los bordes de este.
- ◆ Tirado del film. - rodillos que tiran el film hacia la soldadura transversal.
- ◆ Dosificación. - Cánula de dosificación que llena de producto UHT de manera continua a la funda del film.
- ◆ Célula estéril. - es realizada por un flujo luminoso de aire puro caliente y presión positiva en el armario, de reconocer zona estéril y semi estéril.
- ◆ Soldadura Transversal. – se realiza en el área semi estéril y entrega el producto ya envasado.

Entre las fallas más comunes detectadas según los históricos se encuentran la siguiente lista, en la cual se basan las tareas de inspección junto a los subsistemas mencionados anteriormente:

- ◆ Sistema de Soldadura, tanto longitudinal como transversal presentan fallas de mal sellado, relacionados con el mecanismo de apriete de las mordazas como el estado de las resistencias de las mismas.
- ◆ Rodillos, tanto del desenrollado como de tensión constante del film presentan fallas relacionadas con los rodamientos, arandelas y el desgaste de los mismos.

- ◆ Fugas, se presentan fallas en fugas de aire en el sistema neumático, vapor y el suministro de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.
- ◆ Raspadores, el mayor si no el único desperfecto que tienen se relaciona con el desgaste de los mismos
- ◆ Fallas eléctricas y electrónicas, de distintos tipos relacionados con la respuesta de los equipos, alarmas y las paradas inesperadas.
- ◆ Fallas mecánicas, en su mayoría notificadas como “ruidos extraños” se catalogan como fallas mecánicas hasta conocer su origen.

Como las órdenes de mantenimiento correctivo programado tienen relación directa con las fallas detectadas en los equipos se puede conocer la frecuencia de fallos de cada uno de los equipos siendo para el grupo Thimonnier los siguientes:

- ◆ **Envasadora UHT Thimonnier 1:** 225 Fallas al año.
- ◆ **Envasadora UHT Thimonnier 9:** 216 Fallas al año.
- ◆ **Envasadora UHT Thimonnier 3:** 200 Fallas al año.
- ◆ **Envasadora UHT Thimonnier 4:** 193 Fallas al año.
- ◆ **Envasadora UHT Thimonnier 7:** 168 Fallas al año.
- ◆ **Envasadora UHT Thimonnier 5:** 116 Fallas al año.

Debido a la alta frecuencia de fallos registrados por estos equipos, y la consulta con el encargado del departamento de mantenimiento se llega a la frecuencia de inspección semanal de cada uno de los equipos mencionados.

### 3.3.2 Procesador UHT Tetraflex

Basado en el manual de Tetra pak (2004), la función principal del procesador UHT es realizar la ultra pasteurización de los productos lácteos, lo que implica calentar rápidamente el producto a altas temperaturas para eliminar los microorganismos y prolongar la vida útil de los productos, manteniendo la calidad nutricional de los mismos. A continuación, se muestra de manera general los subsistemas que conforman este equipo y las fallas comunes que se puede presentar en estos.

- ◆ **Sistema de precalentamiento**, se detectan obstrucciones o depósitos del producto en el intercambiador de calor como fugas y sobre calentamientos en la caldera.
- ◆ **Sistema de homogeneización**, obstrucciones, fugas y problemas de sellado, en los tubos y válvulas.
- ◆ **Sistema de procesamiento UHT**, bloqueos, incrustaciones, obstrucciones en el intercambiador de calor, y problemas de suministro y en pocos casos contaminación, en el sistema de enfriamiento.

- ◆ **Sistema de control y monitoreo**, descalibraciones, daños, lecturas incorrectas, mal funcionamiento y fluctuaciones inadecuadas en los sensores y controladores de presión y temperatura.
- ◆ **Sistema de limpieza y esterilización**, Se pueden presentar problemas del flujo de los químicos, mal sellado entre las válvulas.

La frecuencia de fallos del equipo determinada según el histórico es de 87 fallos por año.

### 3.3.3 ERCA - Termo formadora de yogurt

En el manual de ERCA (2004) se describe la función principal del equipo, producir los envases plásticos para el yogurt en vasos pequeños a partir de láminas de material plástico, calentando las láminas y dándoles la forma requerida usando multes, cortar los vasitos, dosificar el producto y sellarlo. A continuación, se mencionan los subsistemas del equipo y las fallas por las que se pueden ver afectados.

- ◆ **Sistema de alimentación de lámina**, el subsistema se puede ver afectado por atascos, y problemas de tensión que causan arrugas o deformaciones a las laminas
- ◆ **Sistema de termoformado**, puede ser afectado por calentamiento desigual o insuficiente, al igual que el desgaste o daño de los moldes que ocasiona mal formaciones en los vasos.
- ◆ **Sistema de llenado**, válvulas de dosificación dañadas o defectuosas que pueden ocasionar una mala dosificación.
- ◆ **Sistema de sellado**, sellado incompleto, generado por temperatura o presión incorrectas.
- ◆ **Sistema de expulsión y recolección**, bloques o errores en el transportador de salida.
- ◆ **Sistema de control y monitoreo**, descalibraciones, daños, lecturas incorrectas, mal funcionamiento y fluctuaciones inadecuadas en los sensores y controladores de temperatura.

La frecuencia de fallos del equipo es de 85 fallas por año, dato que se relaciona directamente con la frecuencia de inspecciones que se propone.

### 3.3.4 Transportes Fila 1 + Contador

En la empresa este equipo consiste en una cinta transportadora que cuenta y lleva los productos recién envasados al área de empaquetado para su posterior almacenaje, en base al manual de cintas transportadoras de Javu (2016), y el historial de fallas del equipo se pueden reconocer los siguientes componentes y las fallas en las que se basa el plan de inspección.

- ◆ **Rodillos:** Desgaste o daño en los rodillos y rodamientos.
- ◆ **Correa transportadora:** Roturas, desgaste y desalineaciones.
- ◆ **Sensor de conteo:** Fallas o sensibilidad alterada

- ◆ **Contador: problemas de alimentación:** conectividad o controladores.
- ◆ **Controlador de velocidad de cinta:** Desajuste de controlador, velocidades irregulares, fallas electrónicas.
- ◆ **Motor eléctrico:** sobrecalentamientos, fallas eléctricas, reductores y otros.

La frecuencia de fallos atendidos en el presente equipo es de 54 fallos al año.

### 3.3.5 Procesador UHT REDA 2

Basado también en el manual de Tetra Pak (2004) cumple la misma función que el procesador UHT mencionado anteriormente y cuentan con sistemas similares entre sí, y a su vez los tipos de fallas que se presentan, diferenciándose en la frecuencia de fallos que tiene cada equipo, para este equipo la frecuencia de fallos es de 52 fallos al año.

## 3.4 Frecuencia de inspecciones

Como lo sugieren los conocimientos generales respecto a la determinación de las frecuencias de inspección, estas se ven definidas por distintas pautas, como la criticidad que ya fue evaluada en el documento, el tipo de equipo, los recursos disponibles y la frecuencia de fallas halladas a partir de los históricos de cada equipo. Por ello a pesar que la frecuencia de fallas puede indicar realizar varias inspecciones semanales al mismo equipo, se procedió a validar la frecuencia de inspección de los equipos seleccionados con el supervisor encargado de planificación en el área de mantenimiento, resultando en inspecciones semanales para cada uno de los equipos seleccionados debido a los recursos disponibles de la empresa y el gran porcentaje de mantenimiento correctivo presente.

### 3.4.1 Tareas y actividades de inspección

En esta sección se debe describir cada una de las tareas de inspección que se debe realizar en cada equipo, las actividades que las tareas suponen, que personal estará a cargo dependiendo de la actividad realizada y los equipos mínimos necesarios para realizar inspecciones en los equipos.

Las tareas son propuestas en función a los sistemas o componentes que pueden verse afectadas por posibles fallas, el personal consiste en técnicos mecánicos, electricistas y según los recursos de la empresa se sugiere personal especializado para algunos equipos, los equipos señalados pueden ser: lupas, linternas, multímetros, termómetros, calibradores, cámaras de inspección y las herramientas más específicas como cámaras termograficas, sensores de vibración y ultrasonido están sujetas a la disponibilidad técnica de la empresa.

**Tabla N° 2.** Tareas, Asignación de Personal, Herramientas y Actividades de Inspección Propuestas para las Envasadoras Thimonnier.

Equipo	Tarea	Encargado y herramientas	Actividades
<b>Envasadoras Thimonnier</b>	Inspección en los sistemas de sellado	Tec. Mecánico y Tec. Electricista; Lupa, Cámara de inspección; Multímetro	Verificar la calidad de sellado y Medir resistencias de las mordazas
	Inspección de Rodillos y elementos relacionados	Tec. Mecánico; Linterna, lupa y estetoscopio o detector de vibraciones	Evaluar visualmente desgaste de rodamientos y arandelas, verificar condición de rodamientos con estetoscopio u otro
	Inspección de fugas, en tuberías y válvulas	Tec. Mecánico o Electricista; Linterna y detector de fugas	Inspección Visual, identificar y localizar posibles fugas, de vapor, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> o el sistema neumático
	Inspección de desgaste en raspadores	Tec. Mecánico; Linterna y Lupa	Examinar visualmente el estado de los raspadores
	Inspección de conexiones Electrónicas y control	Tec. Electricista; Multímetro y Cámara Termograficas(según disponibilidad)	Verificar conexiones, buscando posibles conexiones inadecuadas o dañadas, buscar puntos de calor
	Inspección Mecánica general, para ruidos y vibraciones	Tec. Mecánico; Linterna y herramientas de diagnóstico de vibraciones	Evaluación auditiva y visual, de ruidos y vibraciones inusuales

**Fuente:** Elaboración propia en base a los análisis realizados (2023)

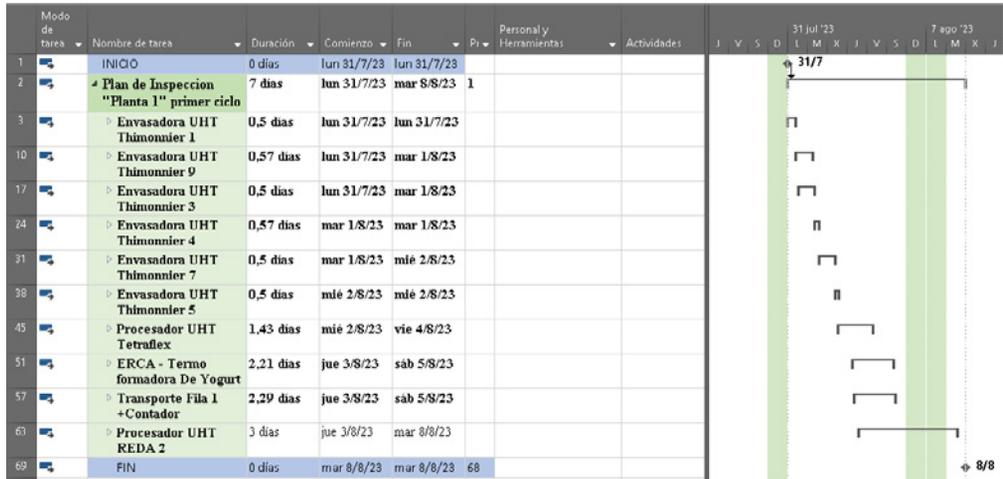
En la Tabla N° 2 se puede ver la asignación de tareas y actividades de inspección para las envasadoras Thimonnier, relacionadas con las herramientas y el personal recomendado. La tabla completa con los equipos restantes se encuentra adjunta en los apéndices.

### 3.5 Plan de Inspección

A continuación, se presenta parte del plan de inspección propuesto donde se puede observar las tareas y actividades de inspección para cada uno de los equipos seleccionados, a la vez con los recursos sugeridos para cada una de las actividades y tareas.

El cronograma para el plan de inspección se basa en los horarios de trabajo conocido por los técnicos, que marcan 8 horas, pero 7 son de trabajo, de lunes a sábado durante el turno de la mañana, en la Figura N°12 se puede observar el plan de inspección contraído.

En la Figura N°12 se aprecia la vista general del plan de inspección viendo su fecha inicial propuesto el lunes 31 de julio, suponiendo que se destinan dos técnicos para realizar las tareas de inspección, se puede apreciar que el primer ciclo de inspección toma siete días de trabajo de siete horas laborales por día, por lo que las tareas de inspección del primer ciclo concluyen el 8 de agosto.



**Figura N°12.** Vista general del primer ciclo de inspección para los equipos seleccionados en “Planta 1”

**Fuente:** Elaboración Propia (2023)

#### 4. CONCLUSIONES

En conclusión, el proyecto ha logrado cumplir con los objetivos planteados. A través del análisis de la matriz de criticidad y la frecuencia de fallos, se ha identificado de manera precisa los equipos críticos de la planta productiva de la empresa interesada en Santa Cruz, esta identificación se basó en un minucioso examen de los registros históricos de mantenimiento, lo que proporcionó una comprensión profunda de los modos de fallo y sus respectivas frecuencias, enfocándose principalmente en la “Planta 1” gracias a los resultados obtenidos, se ha logrado establecer los modos de fallo y sus respectivas frecuencias mediante el análisis exhaustivo de los registros históricos de mantenimiento.

Esta identificación se basó en un minucioso examen de los registros históricos de mantenimiento, lo que proporcionó una comprensión profunda de los modos de fallo y sus respectivas frecuencias.

La definición de los criterios de criticidad ha permitido clasificar y priorizar de forma adecuada los equipos en función de su importancia operativa y el impacto que generan sus fallos en el proceso de producción. Esto ha facilitado la toma de decisiones estratégicas en cuanto a las actividades de mantenimiento y la asignación de recursos.

El diseño del plan de inspección detallado ha sido realizado de manera minuciosa, considerando la frecuencia, las tareas y los procedimientos de inspección específicos para cada equipo crítico. Se tuvo en cuenta la información recopilada en los registros históricos de fallos, garantizando así una cobertura exhaustiva y eficaz en la detección de posibles problemas.

Finalmente, el plan de inspección propuesto ha sido validado mediante una revisión exhaustiva para asegurar su viabilidad y ajuste a los requerimientos del área de mantenimiento en la empresa interesada. Esto ha garantizado que el plan se adecue de manera óptima a las necesidades y recursos disponibles, asegurando su implementación exitosa.

## 5. RECOMENDACIONES

Como resultado a los resultados del proyecto y en base a la experiencia obtenida a lo largo de su desarrollo, se realizan las siguientes recomendaciones relacionadas al plan de inspección presentado a la empresa interesada:

1. Establecer capacitaciones para el personal encargado de llevar a cabo las tareas de inspección, asegurando que cuenten con los conocimientos y habilidades necesarios para realizar las actividades de manera eficiente y segura. Esto contribuirá a garantizar la correcta ejecución del plan de inspección y la optimización de los recursos humanos.
2. Establecer un sistema de monitoreo y seguimiento continuo del plan de inspección, para evaluar regularmente su efectividad y realizando los ajustes necesarios en función de los resultados obtenidos. Esto permitirá mantener la mejora continua y la actualización del plan de inspección en respuesta a posibles cambios en los equipos, tecnologías o condiciones operativas.
3. Fomentar una cultura de prevención y seguridad en la empresa, promoviendo la participación activa y el compromiso de todos los empleados en la implementación del plan de inspección.
4. Realizar evaluaciones periódicas del desempeño del plan de inspección, mediante indicadores clave de rendimiento y métricas establecidas previamente. Esto permitirá medir el impacto del plan en la eficiencia operativa, la reducción de fallas y averías, y los costos asociados al mantenimiento.
5. Realizar una revisión exhaustiva de la propuesta del plan de inspección, verificando su viabilidad y adaptabilidad a los recursos disponibles y a las necesidades específicas de la “Planta 1”. Además, se sugiere el añadir los equipos seleccionables que fueron excluidos.

## 5. REFERENCIAS

DIN - Deutsches Institut für Normung. (2019). *DIN 31051:2019-06: Fundamentals of maintenance*.

Flores, M., Medina, D., Vargas, D., & Remache, B. (2020). *Asignación de Modelos de Mantenimiento Basada en la Criticidad y Disponibilidad del Equipo*. Quito: Ciencia America.

Marrero, R., Martinez, E., Vilalta, J., Garcia, V., & Basile, M. (2022). *La planificación del mantenimiento, su importancia en la gestión de los activos*. La Habana, Artemisa, Cuba: Ingeniería Industrial.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Gran Bretaña: Aladon ltda.

Muganyi, P., & Mbohwa, C. (2018). *Proactive Maintenance Strategic Application to Advance Equipment Reliability*. Paris: IEOM society International.

Mulford, E., Carrasquilla, J., & Moreno, G. (2019). *Mantenimiento proactivo en la propulsión naval-minimiza costos maximiza la confiabilidad*. Colombia: CIDIN.

Nuno, H., Lopes, I., & Braga, A. (2020). *Condition-based maintenance implementation: a literature review*. Guimarães: Procedia Manufacturing.

Pesántez, A., & Rodrigo, S. (2009). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empaedora de camarón*. Guayaquil.

Pilataxi, D. (2020). *Gestión del Mantenimiento y su relación con la eficiencia en las líneas de producción de las empresas lácteas de guayaquil*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

Sulca, V. (2021). *Implantación del sistema ERP SAP R/3 modulo PM (mantenimiento de planta) en centrales hidroeléctricas*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.

Thimonnier. (2004). *Manual de Instrucciones M4200AS*. Francia.

UNE - Asociación Española de Normalización. (2018). *Mantenimiento. Terminología del Mantenimiento*. Madrid: EN 13306:2018.

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2012). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*,.