

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Subdirección de Estudios de Posgrado

Escuela de Graduados en Administración e Ingeniería Industrial



Diseño e Implementación de un Programa de Mantenimiento
en Planta de Dulces Regionales

Por

Fernando Isaac Velazco Marroquin

Matricula: 2222149

Como requisito para obtener
el Grado de

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ORIENTACIÓN
EN SISTEMAS DE MANUFACTURA

Febrero, 2026

Resumen

Fernando Isaac Velazco Marroquín

Candidato para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Industrial con Orientación en Sistemas de Manufactura.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ciencias Químicas.

Título del estudio: Diseño e implementación de un programa de mantenimiento en una planta de dulces regionales.

Número de páginas: 90?

Objetivos y métodos de estudio:

La presente investigación propone el diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo en una planta de dulces regionales, mediante un enfoque descriptivo–aplicado basado en el análisis de la operación y la identificación de los equipos, con el fin de estructurar un sistema que contribuya a la confiabilidad, la inocuidad y la continuidad operativa de la planta.

Objetivos específicos:

Diseñar un plan anual de mantenimiento preventivo.

Identificar y clasificar los equipos de la planta.

Determinar el presupuesto de mantenimiento.

Describir la implementación del programa de mantenimiento.

Contribuciones y conclusiones:

La investigación presenta una propuesta de mantenimiento preventivo aplicable a una planta de dulces regionales, orientada a mejorar la confiabilidad de los equipos, optimizar recursos y reducir la probabilidad de fallas asociadas a errores de mantenimiento.

Firma del director de tesis: _____

Dra. Nury Margarita Leal Rendón

Abstract

In the food industry, hygienic maintenance plays a critical role in ensuring operational continuity, food safety, and regulatory compliance. However, maintenance activities are frequently managed through reactive or poorly coordinated approaches, generating operational disruptions, unplanned costs, and increased hygienic risk. This study presents the design and implementation of a structured hygienic maintenance program for a food processing plant, based on a preventive and systematic approach integrating maintenance, production, and quality management.

The methodology involved the identification of critical equipment, definition of maintenance frequencies based on risk analysis, development of an annual maintenance schedule, and economic evaluation of the program through cost projection and resource planning. The proposed model incorporates workload balancing, service time analysis, cost forecasting, and coordination with food safety requirements, including prerequisites associated with HACCP systems.

The results demonstrate that the implementation of the program enabled a transition from a reactive maintenance approach to a structured information-based system, improving coordination between departments, enhancing schedule compliance, and increasing predictability of maintenance costs. Additionally, the program contributed to the early identification of hygienic and operational risks, strengthened preventive control measures, and supported continuous improvement practices within the organization.

The study concludes that a structured hygienic maintenance program represents a viable and effective tool for improving operational reliability, food safety performance, and strategic maintenance management in food industry environments, with potential applicability to other plants and industrial context.

Agradecimientos y Dedicatoria

Agradezco a mi familia por el apoyo brindado durante mi formación y el desarrollo de este trabajo. También expreso mi reconocimiento a mis profesores por los conocimientos y orientación académica aportados, y de manera particular a la directora de esta tesis por su acompañamiento y retroalimentación a lo largo del proceso.

Este trabajo se dedica a los profesionistas involucrados en la operación, gestión y mantenimiento de plantas de alimentos, que promueven la correcta ejecución de los procesos, la gestión del riesgo y el cumplimiento de los principios de seguridad e inocuidad como base para una operación confiable y sostenible.

Tabla de Contenido

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Agradecimientos y Dedicatoria.....	iii
Tabla de Contenido	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas.....	vii
Capítulo 1 Introducción.....	1
Capítulo 2 Antecedentes	2
Planteamiento del Problema.....	5
Capítulo 3 Marco Teórico	8
Conceptos esenciales del mantenimiento industrial.....	9
Consideraciones de los tipos de mantenimiento.....	12
Programa de Mantenimiento Preventivo.....	18
Dinámica entre área de producción, mantenimiento y calidad.....	22
Capítulo 4 Metodología.....	25
Limitaciones de la Investigación.....	28
Capítulo 5 Desarrollo	30
Marco legal, Códigos y Reglamentos.....	30
Enfoque de Seguridad	32
Enfoque Económico	34
Enfoque Energético	38
Fallos, Costos y Continuidad Operativa.....	42
Diseño de Programa de Mantenimiento	45
Mapa de documentos definidos en el diseño.....	48

Elaboración del programa	51
Herramientas operativas del programa.....	74
Capítulo 6 Implementación del programa.....	77
Ejecución de la implementación	77
Ajustes Operativos Previos a la implementación	79
Herramientas Operativas Utilizadas en la Implementación	79
Capítulo 7 Resultados	83
Resultados del Diseño y Elaboración del programa.....	83
Resultado de las herramientas creadas	85
Resultados de la aplicación del programa de mantenimiento	86
Capítulo 8 Conclusiones y Recomendaciones	90
Conclusiones Generales del Proyecto	90
Recomendaciones Operativas	93
Líneas Futuras de Investigación.....	94
Referencias bibliográficas.....	95
Apéndices. A) Marco Normativo del Proyecto	97

Índice de Figuras

Figura 1	Factores del Enfoque de Mantenimiento	23
Figura 2	Elementos de la cultura de seguridad	33
Figura 3	Elementos de costo planeado en mantenimiento preventivo	35
Figura 4	Elementos de costo no planeado en mantenimiento correctivo	37
Figura 5	Visualización de pérdidas en proceso productivo.....	40
Figura 6	Propuesta de análisis causa–efecto a Causas de fallas por errores de mantenimiento.....	43
Figura 7	Propuesta del programa de Mantenimiento	46
Figura 8	Módulo uno del programa “Planeación y Definiciones”	48
Figura 9	Módulo dos del programa “Investigación”	49
Figura 10	Módulo tres del programa “Análisis y Documentación”	49
Figura 11	Módulo cuatro del programa “Comunicación”	50
Figura 12	Módulo cinco del programa “Verificaciones”	50
Figura 13	Símbolo para identificar categorías de mantenimiento.....	51
Figura 14	Calendario anual del programa de mantenimiento sin ajustar	65
Figura 15	Gráfica de barras del tiempo requerido de mantenimiento sin ajustar.....	66
Figura 16	Calendario anual del programa de mantenimiento ajustado	67
Figura 17	Gráfica de barras del tiempo requerido de mantenimiento ajustado.....	69
Figura 18	Costeo del Programa de mantenimiento	70
Figura 19	Proyección del costo del programa de mantenimiento sin ajustar	71
Figura 20	Proyección del costo del programa de mantenimiento ajustado	72
Figura 21	Flujo de operación normal e interrupciones.....	80
Figura 22	Proceso para solucionar reportes de desviaciones	81

Índice de Tablas

Tabla 1 Normativa, estándares y códigos relacionados con el mantenimiento	31
Tabla 2 Pérdidas en la utilización de energía	41
Tabla 3 Tipos de pérdidas en proceso	42
Tabla 4 Lista base para análisis de peligros	53
Tabla 5 Rúbrica para calificar riesgos	54
Tabla 6 Resultado de Análisis de Peligros y Riesgos.....	56
Tabla 7 Resultado de Análisis de Peligros y Riesgos, por relevancia.....	57
Tabla 8 Fallas potenciales en elementos del programa de mantenimiento.....	58
Tabla 9 Hoja de mantenimiento de Amasadora	60
Tabla 10 Hoja de mantenimiento de Caldera de Vapor	60
Tabla 11 Hoja de mantenimiento de loteadora.....	61
Tabla 12 Columnas auxiliares para programa de mantenimiento	62
Tabla 13 Calendario de actividades anuales por ítem Nota. Elaboración propia.	75
Tabla 14 Calendario de actividades por semana	76

Capítulo 1

Introducción

En la industria de alimentos, la confiabilidad operativa de los equipos y la preservación de condiciones higiénicas adecuadas constituyen factores críticos para garantizar la inocuidad de los productos. En este contexto, el mantenimiento industrial adquiere un papel estratégico, ya que su correcta gestión impacta de manera directa en la prevención de fallas, la reducción de riesgos de contaminación y la estabilidad de la operación productiva.

No obstante, en muchas plantas de procesamiento de alimentos, las actividades de mantenimiento continúan gestionándose bajo enfoques predominantemente reactivos o con una planeación limitada, lo que genera paros no programados, interferencias con la producción, costos imprevistos y una débil integración con los sistemas de gestión de la inocuidad.

El mantenimiento higiénico, entendido como el conjunto de actividades orientadas a preservar las condiciones sanitarias de los equipos y las instalaciones, no puede abordarse únicamente desde una perspectiva técnica aislada. Su correcta implementación requiere de un enfoque que considere el análisis de riesgos, la planeación de actividades y la alineación con programas como el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP).

Debido a esto, es necesario desarrollar modelos de mantenimiento que pasen de esquemas reactivos a estructuras planificadas y diseñadas con base en las necesidades reales y capaces de adaptarse a cambios en la operación. El presente trabajo tiene como objetivo exponer el diseño y la implementación de un programa de mantenimiento higiénico en una planta de dulces regionales, con un enfoque preventivo. El desarrollo de la propuesta consiste en la identificación de equipos críticos, la definición de frecuencias de intervención, la elaboración de un cronograma anual considerando la carga de trabajo y la evaluación económica del programa. Como parte del enfoque propuesto se integra el mantenimiento con las áreas de producción y calidad, facilitando la comunicación, el control y la seguridad.

Capítulo 2

Antecedentes

Los dulces regionales en el norte de México, en específico en el estado de Nuevo León, se caracterizan por su alta concentración de azúcar, ser estables en el anaquel y contar con una baja actividad de agua. La fabricación de estos dulces se realiza tradicionalmente de forma artesanal en establecimientos con relativamente poco volumen de producción, donde esta depende de la materia prima disponible.

En contraste, en una planta donde se producen toneladas de producto por semana, es imprescindible tener una cadena de suministro que permita la operación constante y segura para poder satisfacer la demanda. Detener la producción por unos segundos no causa problemas mayores como lo sería detener una línea, o toda una planta, por unas horas. El flujo de *materia prima* está coordinado para cumplir con una demanda o plan de producción; por lo tanto, la inhabilidad de producir, bloquea el movimiento y ocasiona una desviación del plan original de producción. Los factores que perjudican a la producción, deben identificarse y buscar controlarse, ya que, en la industria de alimentos, los *procesos continuos* son comunes y establecen las reglas del juego para realizar un producto, dado que los procesos pueden ser sensibles a concentraciones diluidas, temperatura o tiempo.

Las glorias, un dulce de leche de cabra color caramelo y de sabor dulce; y el ate, un dulce a base de pulpa de guayaba cocinado con azúcar, tienen un proceso similar para su producción. En un principio, la materia prima mantiene una *cadena de frío* y el producto contiene un alto porcentaje de agua, leche fresca o pulpa de guayaba; esta materia prima se somete a calor, mientras se agregan ingredientes y se mezcla; al evaporar la cantidad deseada de agua y alcanzar la especificación de *grados Brix*, el producto se retira, se deja reposar para su proceso de formado y empaque.

La fábrica, las acometidas, equipos y las herramientas de trabajo son los medios que hacen posible la producción; cada uno de estos medios puede presentar fallas que perjudiquen, contaminen o detengan la producción. En las fábricas de dulces regionales comúnmente se utilizan calderas para generar vapor, con esta energía se realiza el proceso de cocción. En el caso de que una caldera se detenga, y no se cuente con otra de respaldo,

esencialmente la planta está detenida. Las calderas son equipos que mantienen agua caliente y vapor a alta presión; por su complejidad y nivel de riesgo, las reparaciones tienden a tomar días o semanas. Por lo que, sus mantenimientos deben ser coordinados con el plan de producción para no interferir con su respectiva operación.

En la industria caprina, la cantidad de producción de leche históricamente ha descendido, lo que hace que este recurso sea escaso y valioso. Las producciones no son muy grandes y los proveedores centralizan el producto para poderlo distribuir de forma consistente a la industria. Las cabras producen leche por día, esta leche 'bronca' se puede conservar hasta 72 horas con agitación en frío sin perder calidad; esta es la ventana de tiempo de utilización de la leche; fuera de este rango de tiempo, el producto está fuera de especificación (calidad, acidez, bacterias) para utilizarse. En otras palabras, la leche se tiene que procesar el día que se recibe y congelarla no es una opción si se pretende tener un producto de alta calidad y no desfazar la producción.

En la industria de dulces regionales, la limitante de producto que resulta viable fabricar, y finalmente vender, se reduce a la cantidad de litros de leche que se pueden conseguir. Resulta evidente que es menos que ideal en la situación de recibir leche y no tener cómo procesarla por averías en los medios de producción. Un programa de mantenimiento correctamente diseñado e implementado es la base para tener una operación planeada y predecible, donde, si bien no se puede reducir a cero la probabilidad de que ocurra una avería en algún elemento del sistema de producción, sí se pueden tomar acciones para darle la más alta probabilidad al elemento para que no falle.

Asimismo, un proceso de reemplazo del elemento en el momento es una opción viable para continuar con la producción, siempre y cuando estas *acciones correctivas* no perjudiquen la inocuidad del proceso; se da por hecho que la *eficiencia del proceso* ya fue afectada si hay una reparación durante el proceso de producción.

Las plantas de alimentos tienen un desafío para el mantenimiento que es ignorado por la mayor parte de la industria, el factor de la inocuidad es la espina central para la fabricación de los productos alimenticios. Por lo tanto, el enfoque siempre tiene que ser centrado en la promoción de la seguridad en la producción de alimentos, es decir, el diseño de los equipos,

la superficie del suelo y de trabajo, los uniformes, los materiales, herramientas y el material de mantenimiento es seleccionado con el enfoque de grado alimenticio.

El diseño del programa de mantenimiento en una planta de alimentos no solo tiene el enfoque y objetivo de regular los factores preventivos, correctivos y predictivos, sino que debe considerar el enfoque higiénico para cada intervención, por ejemplo, una pieza de tractor puede ser soldada y lubricada en sitio para mantenerla operacional y el trabajo de mantenimiento está terminado; en contraste, una planta de alimentos, los cordones de soldadura, las grasas, empaques, aceites, entre otros utensilios, deben ser seleccionados según su proximidad a los alimentos y su probabilidad de poder contaminarlos.

Del mismo modo, en esta industria el personal de mantenimiento debe tener una conciencia especial para el trabajo pues un fragmento, pieza, herramienta o rebaba de metal, aunque sea grado alimenticio, representa un riesgo físico y microbiológico para los productos, por lo que, el área de calidad, mantenimiento y producción deben tener una coordinación y visión compartida.

Planteamiento del Problema

La planta dedicada a la fabricación industrial de dulces regionales presentaba, en un principio, una condición operativa que comprometía de forma significativa la continuidad del proceso, la inocuidad del producto y la eficiencia. La operación utilizaba marmitas para la cocción, motores para la agitación y equipos de transporte de materia prima, aun así, la planta no contaba con un Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo formalmente diseñado, documentado e implementado. En consecuencia, los mantenimientos de los equipos se realizaban de forma reactiva, sin una estructura metodológica basada en criticidad, sin frecuencias definidas, sin calendarización y sin lineamientos higiénicos específicos para la industria alimentaria.

Esta situación generaba un descontrol progresivo sobre los equipos asociados a los Puntos Críticos de Control (PCC), ya que los procesos dependían de equipos que no siempre estaban en condiciones óptimas. La ausencia de controles preventivos aumentaba la probabilidad de desviaciones en los PCC, impactando en la capacidad de garantizar procesos confiables o de cumplir con especificaciones microbiológicas y fisicoquímicas del producto final, así como los requisitos para la certificación de Global Markets Food y la normativa nacional.

Además, el mantenimiento no planificado, o correctivo, producía costos ocultos que no eran visibles para la gerencia, por ende, su impacto representaba una amenaza a la operación: fallas inesperadas, paros no programados, pérdida de producto, necesidad de reparaciones urgentes, horas extras, sustituciones prematuras de piezas y variabilidad en los procesos. Estas “sorpresas” operativas no sólo generaban costos directos del mantenimiento, sino que afectan también la eficiencia general de la planta.

Por añadidura, la problemática también tenía un componente regulatorio. La planta estaba en proceso de certificarse con el esquema de IFS Global Markets, el cual establece criterios específicos para el mantenimiento higiénico, y requería de evidencia documental de intervenciones, el control de equipos críticos y la verificación posterior a cada servicio. En este caso, la falta de procedimientos estandarizados y un programa de mantenimiento incrementaban la probabilidad de que hubiera accidentes en condiciones inseguras. Los equipos que operan con vapor, presión o altas temperaturas requieren intervenciones

programadas y cuidadosas con métodos aprobados por el área de mantenimiento y calidad; y sin técnicas estandarizadas, el personal estaba expuesto a riesgos dentro de la operación, especialmente durante intervenciones rápidas realizadas en respuesta a fallas inesperadas. Esta condición reducía la fiabilidad de la operación e ignoraba aspectos fundamentales de seguridad industrial.

Otro elemento crítico del problema consistía en la falta de coordinación entre las áreas de producción y mantenimiento. Sin una programación que estableciera fechas, tiempos, actividades y prioridades, las intervenciones sucedían en momentos inoportunos, interrumpiendo la producción y generando tensiones entre las diferentes áreas. En la perspectiva de producción se veía el mantenimiento como una barrera para cumplir con el plan de producción, mientras que el área de administración carecía de información suficiente para planificar recursos y anticipar demandas del mantenimiento. Esta falta de sincronización contribuía a un ciclo de intervenciones reactivas, afectando la capacidad operativa general de la planta.

La suma de estos factores exponía un problema sistémico: la planta operaba sin un programa de mantenimiento capaz de asegurar la disponibilidad de los equipos, la inocuidad del proceso, la seguridad del personal y la eficiencia económica. En cambio, la ausencia de un programa preventivo adecuado, generaba vulnerabilidades en cuatro dimensiones esenciales:

Tecnológico: Probabilidad de fallas sin atender y poca confiabilidad en equipos esenciales.

Inocuidad: Falta de controles higiénicos y posibilidad alta de desviaciones en los PCC.

Económica: Costos ocultos, paros no programados y gastos reactivos.

Operativa: Descoordinación, improvisación y dificultad para planear la operación

Esta combinación de factores justificó la necesidad de desarrollar e implementar un Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo diseñado con un enfoque integral; este

debía considerar elementos de ingeniería de confiabilidad, mantenimiento higiénico, gestión documental, planeación operativa y cumplimiento normativo. Asimismo, se requería un análisis técnico base que permitiera construir matrices, definir frecuencias, estimar tiempos, calcular costos, nivelar cargas y generar un calendario operativo confiable. Todo ello, con el objetivo de transformar la operación del mantenimiento reactivo y no documentado en un sistema preventivo, controlado y alineado con los estándares modernos de la industria alimentaria.

En síntesis, el problema central identificado fue la ausencia de un sistema formal de mantenimiento preventivo que permitiera garantizar la continuidad operativa, la inocuidad del producto, la seguridad del personal, el cumplimiento normativo y la eficiencia del proceso. Resolver este problema era indispensable para asegurar la estabilidad en la producción de la planta, proteger los alimentos y materias primas, así como tener la habilidad de responder de manera confiable los requisitos de calidad e inocuidad exigidos por el mercado.

Capítulo 3

Marco Teórico

En la actualidad, el mantenimiento industrial forma parte de las funciones clave dentro de una organización productiva, ya que influye directamente en la disponibilidad y el desempeño de los equipos que sostienen la operación. En entornos donde la calidad, la seguridad y la continuidad de los procesos son requisitos constantes, el mantenimiento deja de considerarse una actividad reactiva y adquiere un papel activo dentro de la gestión operativa.

Su aplicación permite anticipar fallas, reducir paros no programados y extender la vida útil de la maquinaria, aspectos que impactan de manera directa en la estabilidad de los procesos productivos. Asimismo, el mantenimiento no se limita a la atención de averías, sino que integra prácticas preventivas y predictivas apoyadas en el seguimiento de condiciones operativas y en el análisis de información técnica, lo que facilita una toma de decisiones más oportuna.

Desde esta perspectiva, el mantenimiento industrial se relaciona de forma directa con la productividad, la seguridad laboral y la sostenibilidad de la operación, contribuyendo al desempeño general de las organizaciones.

En sus primeras etapas, el mantenimiento se enfocaba principalmente en la corrección de fallas una vez que estas se presentaban. Con el avance tecnológico y la necesidad de optimizar recursos, se desarrollaron enfoques como el mantenimiento preventivo y el predictivo, orientados a anticipar problemas y asegurar la continuidad operativa (Olarte et al., 2010). En este sentido, el mantenimiento industrial resulta esencial debido a que:

Garantiza la calidad del producto: Un equipo en buen estado asegura procesos estandarizados y resultados consistentes.

Protege la seguridad laboral: Minimiza riesgos de accidentes derivados de fallas técnicas.

Optimiza costos: Reduce gastos por reparaciones mayores y pérdidas por interrupciones.

Cumple con normativas: La mayoría de las industrias están reguladas por estándares de seguridad y calidad que exigen planes de mantenimiento

Introducción a tipos de mantenimiento

Mantenimiento correctivo: Es la acción o acciones que se realiza posteriormente de una avería para corregirla (Kelly, 1989). En el contexto alimenticio el área de calidad debe controlar estos procedimientos, asegurando la limpieza y validando las reparaciones antes de reanudar el uso del equipo.

Mantenimiento preventivo: Son las acciones que se realizan de forma anticipada y planeada para prevenir fallas o paros en la producción (Wireman, 2004). En la industria de alimentos, se utiliza para prevenir la contaminación física o microbiológica.

Mantenimiento predictivo: Se realizan acciones preventivas, con base en la detección de parámetros fuera del rango óptimo de funcionamiento y parámetros que ocurren antes de presentarse una falla (Mobley, 2002).

Mantenimiento autónomo (TPM): Fomenta la filosofía y cultura de participación del personal en aspectos como la reducción de desperdicios e inocuidad; consiste en inspecciones, acciones básicas de lubricación y limpieza que realiza el operador como parte de su trabajo diario. (Nakajima, 1988) buscando cero fallas y máxima eficiencia (repositorio.usam.ac.cr).

Conceptos esenciales del mantenimiento industrial

Mantenimiento: Se refiere a las acciones que garantizan la disponibilidad de los equipos y áreas, mediante acciones correctivas o preventivas. manteniendo una eficiencia global constante en los procesos (Kelly, 1997).

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un elemento realice su función como está planeada, sin presentar fallas (Dhillon, 2002). En la industria de alimentos, se enfoca con el control de puntos críticos de control (temperatura, humedad, presión, tiempo)

Disponibilidad: Indica la fracción de tiempo que un equipo se encuentra en condiciones operativas (Moubray, 1997). Un nivel bajo de disponibilidad reduce la productividad y aumenta los riesgos microbiológicos en el proceso.

Mantenibilidad: Es el nivel con el que un equipo puede ser reparado, se toma en cuenta su facilidad y rapidez, diseño higiénico, accesibilidad y tiempo en realizar las correcciones (Dhillon, 2002; ISO 20815:2018).

Gestión del mantenimiento: Se relaciona con las actividades de planificar, controlar y evaluar las actividades de mantenimiento, medidas por indicadores de desempeño constantemente. (Kelly, 1997; ISO 55001:2014).

Plan maestro de Mantenimiento: Es un documento que proporciona la dirección sobre las políticas, estrategias, y frecuencias del mantenimiento, donde se alinea la estrategia organizacional con la administración del mantenimiento (Wireman, 2005).

Análisis de modos y efectos de falla (AMEF / FMEA): Se trata de una metodología sistemática que identifica y prioriza las fallas potenciales, para tomar una jerarquía en la importancia de los mantenimientos (Stamatis, 2003; SAE J1739:2010).

Gestión de Activos: Enfoque de administración centrado en maximizar el valor y desempeño de los equipos, así como su ciclo de vida, manteniendo una productividad constante y planeación financiera (ISO 55000:2014; Hastings, 2010).

Programa de mantenimiento: Se refiere al plan documentado que proporciona información y procedimientos, para realizar las acciones correctivas en una empresa, incluye responsables, eficiencias, cronograma y otras herramientas para gestionar las acciones correctivas y predictivas (Kelly, 1997; ISO 14224:2016).

Validación y verificación: Procesos que garantizan que las actividades de mantenimiento se cumplan con los requisitos preestablecidos y mantengan un control operativo (ISO 22000:2018; Montgomery, 2012).

Fórmula General De Eficiencia Global de Equipos (Mobley, 2002)

$$OEE = (Disponibilidad) \times (Tasa de Rendimiento) \times (Tasa de Calidad)$$

Donde:

Disponibilidad = Porcentaje de tiempo que el equipo estuvo realmente disponible para producir en relación con el tiempo planificado. Mide las pérdidas por paros no planificados o tiempos muertos.

Tasa de Rendimiento = Relación entre la velocidad real de producción y la velocidad teórica de diseño. Mide las pérdidas por operación a velocidad reducida o micro paros.

Tasa de Calidad = Porcentaje de unidades que cumplen con las especificaciones de calidad respecto a la producción total. Mide las pérdidas por reprocesos, rechazos o desperdicio.

Fórmulas complementarias

$$Disponibilidad = \{[Tiempo Requerido - Tiempo de Paro] / Tiempo Requerido\} \times 100$$

Tiempo requerido: tiempo planificado de operación (excluye descansos, o mantenimientos programados).

Tiempo de paro: tiempo en que el equipo no produce por fallas, ajustes, cambios de formato y mantenimientos no programados.

$$Tasa de Rendimiento = \{[Tiempo de Ciclo Ideal \times Producción Real] / Tiempo Operativo\} \times 100$$

Tiempo de ciclo ideal: tiempo teórico para producir una unidad (segundos/pieza).

Producción real: cantidad efectivamente fabricada.

Tiempo operativo: Tiempo Requerido – Tiempo de Paro

$$Tasa de Calidad = \{[Producción Total - Defectos] / Producción Total\} \times 100$$

Producción total: número total de unidades procesadas.

Defectos: productos no conformes.

Consideraciones de los tipos de mantenimiento

Mantenimiento higiénico

La literatura reciente señala que el mantenimiento higiénico en plantas de alimentos debe entenderse como un componente estructural del sistema de inocuidad y no únicamente como una actividad aislada de limpieza o saneamiento. Chandimali et al. (2021, 2023) indican que un control higiénico efectivo requiere la integración de las condiciones del entorno, el estado de los equipos y la verificación sistemática durante la operación, ya que las desviaciones asociadas al mantenimiento pueden convertirse en fuentes directas de riesgo para la seguridad del producto.

Diversos autores señalan que el diseño higiénico de los equipos y la verificación preoperativa constituyen mecanismos efectivos para reducir riesgos antes del inicio de la producción. Izquierdo (2022) enfatiza que los sistemas de inocuidad más eficaces combinan diseño higiénico, saneamiento y control operativo mediante herramientas simples y aplicables en planta, evitando esquemas excesivamente complejos que dificulten su ejecución. Este planteamiento prioriza la viabilidad operativa de los programas de mantenimiento e inspección, al reconocer que la efectividad del control higiénico depende en gran medida de su adaptación a la dinámica real de la operación diaria y a las capacidades del personal involucrado.

Desde una perspectiva organizacional, la literatura reciente señala que el mantenimiento higiénico no depende únicamente de procedimientos técnicos, sino también de la estandarización de prácticas y del comportamiento humano. Nelson-Jameson (2021) indica que los programas de mantenimiento y saneamiento más consistentes incorporan rutinas claras, formatos repetibles y capacitación continua, lo que reduce la dependencia del criterio individual del operador. Además, la generación de registros verificables se reconoce como un elemento central para la trazabilidad y la evaluación del desempeño del sistema.

En el ámbito aplicado, se reconoce que el mantenimiento preventivo en plantas de alimentos cumple una función dual: asegurar la confiabilidad de los equipos y proteger la inocuidad del producto. Enfoques recientes de mantenimiento industrial aplicado señalan que la estructuración de actividades, frecuencias y responsables permite anticipar fallas y reducir la recurrencia de acciones correctivas no planificadas, fortaleciendo la continuidad operativa.

En este contexto, el mantenimiento higiénico se consolida como una herramienta técnica y operativa que vincula la gestión de activos con los sistemas de seguridad alimentaria, aportando orden, evidencia y control a la operación.

Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es una de las estrategias tradicionales dentro de la gestión de activos industriales y continúa presente en la operación de numerosos sistemas productivos. Aunque en la actualidad se promueven enfoques preventivos y predictivos, el mantenimiento correctivo sigue cumpliendo una función operativa en aquellos contextos donde la falla no representa un riesgo prioritario o donde los costos relacionados a la prevención superan los costos de reparación.

El mantenimiento correctivo se define como el conjunto de acciones orientadas a reparar un equipo o sistema después de que ha fallado o ha dejado de cumplir con la función para la que fue diseñado (García Garrido, 2012). Se trata de un enfoque reactivo, ya que su ejecución ocurre únicamente tras la aparición de una avería y, en la práctica, suele considerarse la última opción de intervención cuando no fue posible anticipar la falla. Su propósito es restablecer las condiciones operativas en el menor tiempo posible; sin embargo, su aplicación se encuentra limitada por factores externos, como la disponibilidad y agenda de los proveedores de servicio, lo que puede generar tiempos de espera y afectar la continuidad de la operación.

Las principales características del mantenimiento correctivo se relacionan con su naturaleza no planificada, su dependencia directa de la ocurrencia de fallas y su impacto sobre la disponibilidad operativa. Kelly y Harris (1978) señalan que este enfoque es inherentemente impredecible.

Dentro del mantenimiento correctivo es posible distinguir dos modalidades: el correctivo no planificado, que se ejecuta de forma emergente ante una falla repentina, y el correctivo planificado o diferido, que se aplica cuando la falla no compromete de manera inmediata la operación y la reparación puede programarse.

Aunque suele asociarse con ineficiencia o improvisación, el mantenimiento correctivo presenta ventajas que lo hacen aplicable en contextos específicos. Su uso resulta adecuado en equipos cuya función no es crítica o donde el impacto económico de una falla es limitado, como en sistemas redundantes o en activos cuyo reemplazo es más económico que su inspección frecuente, lo que puede convertirlo en una opción racional desde la perspectiva financiera (Mobley, 2002).

Adicionalmente, la intervención posterior a una avería permite identificar modos de falla, condiciones reales de desgaste o factores ambientales que no siempre son detectados mediante programas preventivos. Esta información constituye una fuente relevante de retroalimentación para el desarrollo de políticas de mantenimiento más eficientes y para la alimentación de bases de datos empleadas en análisis de confiabilidad, como el RCM (Reliability-Centered Maintenance).

A pesar de sus ventajas, el mantenimiento correctivo presenta desventajas relevantes, principalmente el incremento del tiempo de inactividad no programado. Las paradas inesperadas generan pérdidas económicas y afectan la continuidad de la producción y el cumplimiento de los tiempos de entrega. Moubray (1997) señala que este tipo de mantenimiento concentra los costos ocultos más elevados dentro del mantenimiento industrial.

Otra desventaja del mantenimiento correctivo es la carga operativa que genera en los departamentos de mantenimiento. Las fallas inesperadas obligan al personal a responder de manera urgente, en muchos casos fuera del horario regular, lo que incrementa los costos laborales y el riesgo de errores. Adicionalmente, el mantenimiento correctivo puede acortar la vida útil de los activos, ya que las fallas catastróficas suelen provocar daños secundarios que podrían haberse evitado mediante una detección anticipada.

Dentro de enfoques como el TPM (Total Productive Maintenance) y el RCM, el mantenimiento correctivo continúa siendo necesario para determinados modos de falla no predecibles o para equipos no críticos (Smith & Hinchcliffe, 2004). Lo crítico es que su aplicación sea viable y esté respaldada por un análisis de criticidad, que permita definir en qué casos una estrategia reactiva resulta económicamente justificable.

La incorporación de sistemas de gestión computarizada del mantenimiento (CMMS) ha contribuido a reducir el impacto negativo del mantenimiento correctivo, al facilitar el registro histórico de fallas, la programación de intervenciones diferidas y la evaluación del desempeño de los equipos. De esta manera, el mantenimiento correctivo se convierte en una fuente de información útil para el análisis y la mejora continua de la gestión del mantenimiento.

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se ha consolidado como una práctica común dentro de la gestión moderna de activos, al orientarse a la intervención de los equipos antes de que ocurra una falla. Su finalidad es reducir riesgos operativos, costos no planificados y paros en la producción

De acuerdo con García Garrido (2012), el mantenimiento preventivo se define como el conjunto de acciones sistemáticas y planificadas destinadas a conservar los equipos en condiciones adecuadas de funcionamiento antes de que se presente una avería. Este enfoque parte de la premisa de que una proporción significativa de las fallas puede mitigarse mediante actividades programadas

Mobley (2002) señala que el mantenimiento preventivo actúa como una primera línea de defensa frente a las fallas, al limitar la degradación de los equipos y generar información útil para anticipar su comportamiento. Al tratarse de un enfoque programado, permite una mejor asignación de recursos y la coordinación de tiempos de paro, reduciendo la necesidad de intervenciones de emergencia.

Las actividades de mantenimiento preventivo suelen clasificarse en dos enfoques principales: el mantenimiento basado en tiempo, en el que las intervenciones se programan a intervalos definidos, y el mantenimiento basado en uso, donde las acciones se ejecutan al alcanzar determinados niveles de operación, como horas de servicio o ciclos de trabajo.

Una de las principales ventajas del mantenimiento preventivo es la reducción del tiempo de inactividad no programado. Kelly y Harris (1978) señalan que las fallas

inesperadas pueden resultar entre cinco y diez veces más costosas que las intervenciones planificadas, debido al efecto en cadena que generan sobre la producción.

Asimismo, el mantenimiento preventivo aporta beneficios directos en materia de seguridad industrial. La degradación no detectada de los equipos puede representar riesgos para los operadores y para la infraestructura, razón por la cual diversas normativas internacionales relacionadas con la seguridad de maquinaria y la prevención de riesgos recomiendan su implementación como parte de los sistemas de gestión.

Otro beneficio del mantenimiento preventivo es la optimización del ciclo de vida de los activos, ya que las intervenciones programadas permiten reducir daños acumulativos, controlar el desgaste y prolongar la vida útil de los equipos. Moubray (1997) señala que este enfoque favorece un balance adecuado entre costos operativos y de capital, al evitar reemplazos prematuros e inversiones innecesarias.

No obstante, el mantenimiento preventivo presenta limitaciones cuando las actividades se programan exclusivamente con base en intervalos de tiempo, sin considerar el estado real del equipo. En estos casos, puede generarse sobre-mantenimiento, lo que incrementa costos y conduce al reemplazo anticipado de componentes que aún conservan vida útil.

Otra limitación del mantenimiento preventivo es la necesidad de una planificación rigurosa y de un sistema de gestión del mantenimiento eficiente. La implementación de un programa preventivo requiere información confiable sobre el historial de fallas. Asimismo, no todas las fallas pueden prevenirse mediante mantenimiento preventivo. Smith y Hinchcliffe (2004) explican que algunos modos de falla son de carácter aleatorio y no presentan una relación directa con el tiempo o el uso operativo. En estos casos, incluso programas preventivos bien estructurados resultan insuficientes, por lo que es necesario complementar el enfoque con otras estrategias de mantenimiento, como lo es el correctivo.

Incluso con la incorporación de tecnologías avanzadas, el mantenimiento preventivo continúa siendo indispensable. La digitalización no sustituye actividades básicas como la

lubricación, la limpieza o los ajustes mecánicos, que siguen formando parte del cuidado cotidiano de los equipos.

Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se ha posicionado como una estrategia avanzada dentro de la gestión del mantenimiento industrial, al orientarse a la anticipación de fallas a partir del análisis de la condición real de los equipos. En contextos donde la disponibilidad, la continuidad operativa y el control de costos son factores determinantes, las organizaciones recurren a herramientas de monitoreo y análisis para reducir paros no programados y optimizar la toma de decisiones.

De acuerdo con Mobley (2002), el mantenimiento predictivo se basa en el seguimiento continuo o periódico de variables físicas representativas del estado del equipo, como vibraciones, temperatura o señales eléctricas. A diferencia del mantenimiento preventivo, que se ejecuta en intervalos definidos, este enfoque interviene cuando los datos indican la proximidad de una falla, lo que permite un uso más eficiente de los recursos y una mejor gestión de la vida útil de los activos.

Este enfoque se apoya en técnicas de análisis como la termografía infrarroja, el análisis de vibraciones, el ultrasonido industrial y la tribología, las cuales permiten identificar anomalías en etapas tempranas del deterioro del equipo. Moubray (1997) señala que la adopción del mantenimiento predictivo surge como respuesta a la necesidad de las industrias de evitar tanto el sobre mantenimiento propio de esquemas preventivos.

En los últimos años, el mantenimiento predictivo ha evolucionado de forma significativa como resultado de la digitalización industrial. El uso de sensores, sistemas de monitoreo y herramientas de análisis de datos ha permitido conocer con mayor precisión el estado real de los equipos y anticipar fallas antes de que estas impacten la operación.

Desde el punto de vista técnico y económico, uno de los principales beneficios del mantenimiento predictivo es la optimización del ciclo de vida de los activos. Al intervenir únicamente cuando las condiciones del equipo lo requieren, se evita el reemplazo prematuro de componentes y se aprovecha su vida útil real, lo que se traduce en ahorros en refacciones

y en un uso más eficiente del capital invertido (Smith & Hinchcliffe, 2004). De manera complementaria, la detección temprana de condiciones anómalas contribuye a mejorar la seguridad industrial, al reducir la probabilidad de fallas mecánicas o eléctricas que puedan representar riesgos para el personal o las instalaciones.

La aplicación del mantenimiento predictivo presenta limitaciones que deben considerarse dentro de una estrategia realista de mantenimiento. Su implementación implica costos iniciales elevados, por la adquisición de sensores, sistemas de análisis y capacitación especializada. Además, requiere personal con competencias técnicas suficientes para interpretar correctamente la información generada. Como señala Moubray (1997), incluso los sistemas predictivos más avanzados pueden perder efectividad si no se cuenta con la formación adecuada o si los datos no se gestionan de manera correcta.

Adicionalmente, es importante reconocer que no todas las fallas pueden anticiparse mediante técnicas de monitoreo de condición. Existen modos de falla aleatorios o dependientes de factores externos que obligan a complementar el mantenimiento predictivo con enfoques preventivos y correctivos.

Programa de Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se ha convertido en un eje central de la gestión industrial moderna, incluso para pequeñas empresas que operan con procesos artesanales. En la industria de alimentos, el mantenimiento no solo garantiza la continuidad operativa, sino que además impacta directamente en la calidad, la inocuidad, la vida útil de los equipos y la seguridad del personal. En el caso de una empresa de dulces artesanales, donde la precisión en la cocción, el mezclado y el manejo de temperaturas es esencial, un programa de mantenimiento preventivo constituye una herramienta estratégica para asegurar la estabilidad productiva. Como señalan Dhillon (2002) y Moubray (1997), el mantenimiento ha dejado de ser exclusivamente una función técnica para convertirse en un elemento clave de competitividad, confiabilidad y sostenibilidad empresarial.

Las empresas de producción artesanal suelen operar con un conjunto limitado de equipos: mezcladoras, moldes, cocinas industriales, mesas de enfriamiento, cortadoras y

hornos. Según Smith & Hinchcliffe (2004), las fallas en equipos críticos ocasionan pérdidas significativamente mayores en operaciones pequeñas que en grandes industrias, ya que existe menor redundancia y menores capacidades de sustitución inmediata. En una dulcería artesanal, una falla en una mezcladora, o un quemador, puede generar la detención total del proceso, pérdida de materia prima y retrasos en pedidos. De esto se deduce que el mantenimiento preventivo es indispensable para minimizar los tiempos de inactividad y garantizar un flujo continuo de producción.

El mantenimiento preventivo, como explican Kelly (2006) y Wireman (2013), se basa en inspecciones sistemáticas, lubricación adecuada, ajuste rutinario de piezas y sustitución programada de componentes antes de que fallen. Este enfoque permite anticipar problemas y reduce la probabilidad de que las fallas ocurran durante momentos críticos de la producción.

En una empresa de dulces artesanales, la calidad depende de la consistencia en el proceso. Parámetros como la temperatura, el tiempo de cocción, la homogeneidad de la mezcla y la precisión del corte deben mantenerse dentro de rangos definidos. Moubray (1997) plantea que la calidad del producto está directamente vinculada a la estabilidad de los equipos que participan en su elaboración. Un horno que no alcanza la temperatura adecuada puede alterar la cristalización del azúcar; una mezcladora desajustada puede generar dulces con texturas irregulares. Por lo tanto, la relación entre mantenimiento y calidad es evidente.

Además, la inspección continua de equipos permite identificar problemas que afectan la repetitividad del proceso, evitando variaciones que comprometan la identidad artesanal del producto. Como indican Juran y Godfrey (1998), la variabilidad es el principal enemigo de la calidad, y el mantenimiento preventivo es una de las herramientas más efectivas para controlarla en sistemas productivos.

La inocuidad alimentaria cobra una importancia especial en la industria de dulces, debido a que el producto final es consumido mayormente por niños y sectores vulnerables. La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2016) señala que el mantenimiento deficiente de equipos es una de las principales causas de contaminación en la industria alimentaria. Las fallas en equipos pueden generar condiciones insalubres, acumulación de

residuos, filtraciones de lubricantes, desprendimiento de partículas metálicas o la proliferación microbiana en áreas difíciles de limpiar por defectos mecánicos.

Los equipos utilizados en la elaboración de dulces manejan calor, presión, cuchillas, mecanismos de corte y sistemas eléctricos. De acuerdo con la Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2021), una proporción significativa de accidentes laborales en la industria alimentaria se asocia con fallas mecánicas y falta de mantenimiento. El mantenimiento preventivo reduce riesgos al verificar periódicamente protecciones, sistemas de bloqueo, sensores de seguridad y condiciones de operación.

Además, la implementación de mantenimiento preventivo promueve una cultura de seguridad, ya que genera rutinas, protocolos y documentación que ordena la operación. Kelly (2006) sugiere que la seguridad debe ser vista como un resultado directo de una buena gestión del mantenimiento, no como un elemento aislado.

Aunque algunas empresas artesanales consideran el mantenimiento preventivo como un gasto, la evidencia demuestra lo contrario. Según Smith & Mobley (2008), las intervenciones preventivas reducen entre un 30 % y 50 % los costos asociados a reparaciones mayores e incrementan la vida útil de los equipos. La reducción de fallas, el ahorro energético, la disminución de desperdicios y la mayor eficiencia del proceso generan beneficios económicos que superan ampliamente los costos del programa preventivo.

Razones para implementar un programa de mantenimiento son:

Seguridad alimentaria: Un buen mantenimiento evita contaminaciones cruzadas y asegura que los equipos funcionen bajo condiciones higiénicas, protegiendo la salud del consumidor.

Calidad del producto: Mantener maquinaria en óptimas condiciones garantiza que los alimentos sean procesados con estándares de calidad consistentes.

Eficiencia productiva: El mantenimiento preventivo reduce tiempos muertos y mejora la productividad, lo que es crítico en un sector con alta demanda.

Ahorro económico: Prevenir fallas evita reparaciones costosas y pérdidas por interrupciones en la cadena de producción.

Cumplimiento normativo: La industria alimentaria está regulada por estrictas normas de higiene y seguridad; el mantenimiento asegura el cumplimiento de estas leyes.

Innovación y competitividad: La incorporación de nuevas tecnologías en mantenimiento (sensores, monitoreo predictivo) permite a las empresas ser más competitivas y adaptarse a las exigencias del mercado.

Un programa de mantenimiento exitoso debe incluir:

Inventario de activos: Registro detallado de equipos, instalaciones y herramientas.

Planificación de actividades: Cronogramas de inspección, lubricación, calibración y reemplazo de piezas.

Gestión documental: Manuales, registros de mantenimiento y reportes de fallas.

Indicadores de desempeño: KPI como MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time To Repair).

Capacitación del personal: Formación continua en técnicas de mantenimiento y seguridad.

La implementación de un programa de mantenimiento requiere un proceso estructurado:

Diagnóstico inicial: Evaluación del estado actual de los equipos y procesos.

Definición de objetivos: Establecer metas claras como reducción de paradas o incremento de disponibilidad.

Selección de estrategias: Determinar qué tipo de mantenimiento aplicar según la criticidad de los equipos

Asignación de recursos: Presupuesto, personal y herramientas necesarias.

Monitoreo y mejora continua: Evaluar resultados y ajustar el programa conforme a los indicadores.

Dinámica entre área de producción, mantenimiento y calidad

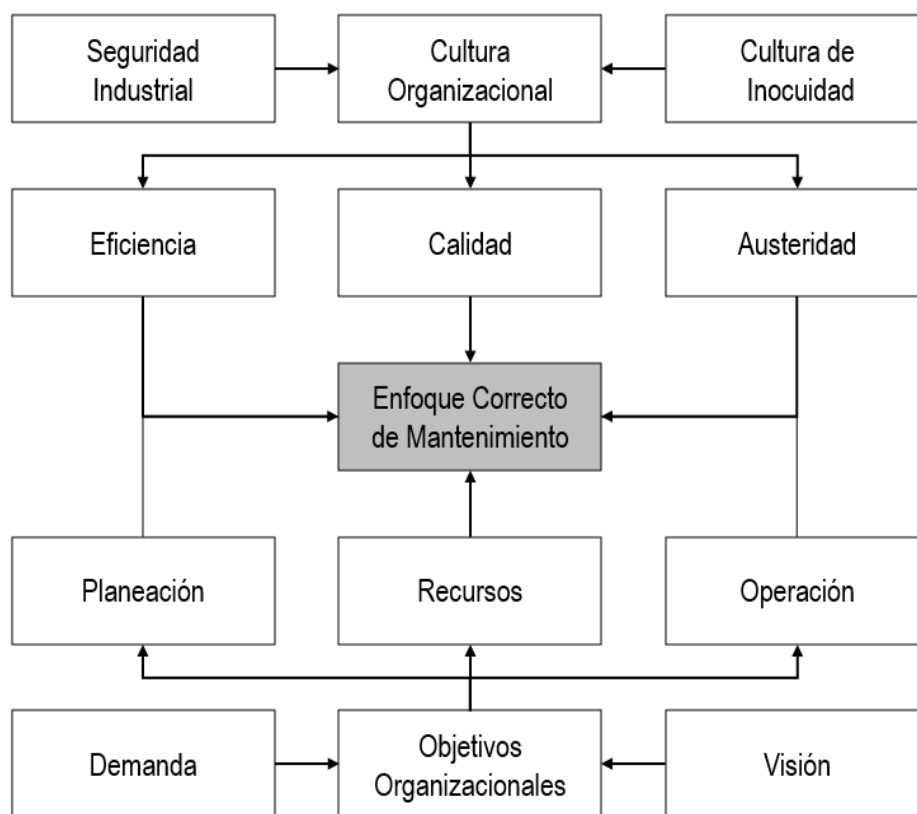
Los objetivos que comparten las plantas de producción de alimentos orbitan sobre realizar sus operaciones de una forma coordinada, eficiente y segura: llevando a cabo el plan de producción establecido en tiempo y forma óptima, como una sola unidad entre todos los departamentos. Debido a la naturaleza del trabajo entre los diferentes departamentos, el trabajo de uno puede limitar la utilización de equipos, o áreas de trabajo, para otros departamentos de la planta o representar trabajo adicional.

A pesar de que hay una misión y visión común en una empresa, en la realidad, las dinámicas sociales y de grupos tienen un peso relevante para cómo se desarrollan las operaciones en el día a día. Las responsabilidades individuales e indicadores de desempeño son diferentes según la posición que ocupen las personas; por ejemplo, la persona responsable de producción, puede ser evaluada por cumplir el pronóstico de ventas, mientras que la persona responsable del área de calidad, puede ser evaluada por los resultados en los niveles de limpieza y el cumplimiento de registros relacionados con la producción, (o la materia prima); por último, la persona responsable de mantenimiento, puede ser evaluada por el porcentaje de tiempo que se encuentran las líneas en paro programado y no programado.

El factor común entre los departamentos consiste en utilizar el tiempo y los recursos limitados para realizar su trabajo específico dentro de un área compartida en la planta. Contar con procesos claros y ampliamente comunicados que especifiquen cómo llevar a cabo la operación de una forma ordenada, es la base para una óptima administración. El objetivo central marca una máxima que se pretende cumplir; los departamentos de calidad mantenimiento y producción, al estar bien coordinados, deben llegar a una simbiosis, creando una cultura de participación entre ellos, donde el trabajo individual incluye tareas relacionadas con otras áreas. Todo lo anterior, dará los mejores resultados si se integran en la producción acciones de limpieza con un enfoque a la inocuidad del producto, así como una acción preventiva de mantenimiento rutinario al equipo durante el tiempo de producción.

A pesar de tener un enfoque diferente, cada área contribuye directamente a los objetivos de la organización, y el éxito de un departamento individual, depende de las otras áreas para llegar a sus objetivos. Lo que llama a una cultura de cooperación, disciplina y empoderamiento entre las áreas funcionales y la administración.

Figura 1 Factores del Enfoque de Mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

El diagrama anterior sintetiza la relación sistémica entre los distintos factores que influyen en el enfoque correcto de mantenimiento dentro de una planta de alimentos. En este, se representa de qué manera la seguridad industrial, la cultura organizacional y la cultura de inocuidad actúan como pilares institucionales que orientan la forma en que se utilizan los recursos, se planifica la operación y se realizan las actividades de mantenimiento. Cada componente no opera de forma aislada, estos influyen y se retroalimentan con la eficiencia, calidad y políticas, generando un marco que determina prioridades para la asignación de recursos y decisiones estratégicas.

En la industria de alimentos el mantenimiento en sitio no siempre es posible, o puede ser necesario que se requiera una limpieza del equipo o área después del mantenimiento. Estos procesos pueden detener la producción o reducir el ritmo de trabajo, por lo que, los

procesos de mantenimiento aceptables durante la producción deben ser previamente identificados y su proceso ser aprobado por el área de calidad.

La Limpieza y el mantenimiento diario son acciones que llevan a una alta productividad, ya que, se mantienen los equipos y herramientas de la planta en su estado óptimo para producir, se evitan paros no programados en la producción por falta de mantenimiento y rechazos de producto por motivos de calidad o seguridad alimentaria.

El costo en la ausencia de las buenas prácticas de manufactura y falta de mantenimiento se manifiesta en la baja eficiencia, poco control en los procesos y variación en el peso del producto, así como comprometer la seguridad del alimento, por no cumplir con los puntos críticos de control. En la industria de alimentos los riesgos en un producto dependen de su proceso y su naturaleza específica; sin embargo, hay dos consideraciones imprescindibles a cumplir.

La *seguridad alimentaria*, que se refiere a la necesidad de eliminar organismos microbiológicos, o reducirlos a un nivel aceptable, para mantener la inocuidad y evitar enfermedades.

La *defensa alimentaria*, que resalta los esfuerzos para proteger y prevenir ataques conscientes que tienen como fin adulterar los alimentos o causar un daño a quienes los consumen.

Concluyendo lo anterior, el mantenimiento en la industria de alimentos tiene una complejidad extra. Los riesgos y el enfoque de seguridad se deben mantener como en toda la industria, sin embargo, adicionalmente se deben anticipar los riesgos, físicos, químicos y microbiológicos hacia el producto que se fabrica. Lo que llama a un interés común de todos los departamentos involucrados, creando una cultura de eficiencia y planeación que integra el mantenimiento como un pilar esencial a los objetivos organizacionales.

Capítulo 4

Metodología

La metodología utilizada para este estudio fue el resultado de una combinación del enfoque académico y una aplicación práctica, orientada al diseño e implementación de un Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo. Dada la relevancia que tiene el mantenimiento sobre la seguridad operativa, la inocuidad del alimento y la confiabilidad del proceso (García Garrido, 2012); (Dhillon, 2002).

En este caso, se tomó una metodología basada en principios de ingeniería de mantenimiento y elementos metodológicos propios de una investigación aplicada. Este proyecto se desarrolló mediante un proceso sistemático que integró; la recolección de información, un análisis técnico, el desarrollo de documentos operativos, la planificación de recursos, la implementación del programa y la validación de sus resultados dentro de la planta.

La ejecución del programa después de su diseño inició con la recopilación exhaustiva de información técnica suministrada por los fabricantes, derivado de un levantamiento físico de los equipos presentes en la planta. Se revisaron manuales de usuario, procedimientos de diagnóstico de problemas, hojas de mantenimiento y registros históricos de fallas. El análisis documental e inspección directa en planta, permitieron definir y verificar la condición de los equipos existentes, evaluar su importancia en relación con el proceso de fabricación. Esta fase fue indispensable para identificar los componentes críticos de cada máquina; su principio de funcionamiento, sus modos de falla y las consecuencias potenciales para la operación en relación con la seguridad del personal y la inocuidad del producto, aspectos ampliamente discutidos en la literatura de confiabilidad Jardine et al., (2006); Moubray, (1997); Smith & Hinchcliffe, (2004).

Posteriormente, se construyó una matriz técnica que integró el análisis de modos y efectos de falla con información operativa relevante. Esta matriz hizo posible organizar de forma sistemática y estandarizada la información relevante de los equipos, la frecuencia recomendada de intervención, la severidad operativa asociada y la necesidad de acciones complementarias como limpieza, desinfección, calibraciones o pruebas operativas, siguiendo

los lineamientos de buenas prácticas de manufactura e inocuidad establecidos por la FAO (2011) y la OPS (2016). La matriz también integró el tiempo estimado para cada intervención, y los costos de las pólizas vigentes, Smith & Mobley (2008) y Wireman (2013).

Determinado por los resultados de la operación de años anteriores, se hizo una proyección de costos de refacciones de los equipos cuya póliza de mantenimiento no incluía; dicho costo se calculó utilizando un factor del cincuenta por ciento adicional del costo de la póliza.

Con la matriz consolidada, se elaboró el calendario maestro de mantenimiento preventivo preliminar, distribuyendo cada actividad en función de su frecuencia técnica. Este calendario representó el comportamiento natural del programa antes de su redistribución, y facilitó observar la concentración de cargas de mantenimiento en algunos meses. Para evaluar su viabilidad operativa, se comparó el tiempo mensual requerido para realizar las actividades con el total de horas laborales disponibles. Este análisis reveló periodos con cargas excesivas y periodos con cargas mínimas, una situación común en calendarios diseñados sin considerar restricciones operativas Kelly (1997) y Hastings (2010). Este calendario inicial fue fundamental para exponer la necesidad de balanceo de actividades o distribución de intervenciones del programa.

A partir de este resultado se procedió a nivelar el calendario, reacomodando las fechas de intervención sin alterar las frecuencias técnicas definidas en la etapa analítica. Este proceso se realizó siguiendo los Principios de Balance de Carga sugeridos en el TPM (Nakajima, 1988) y en la Gestión Moderna del Mantenimiento (Kelly, 2006), buscando una distribución uniforme de la carga mensual y evitando afectaciones a la operación. El calendario ajustado especificó un conjunto de intervenciones más estables, con variaciones controladas a lo largo del año, y aportó una mayor previsibilidad, en las áreas de administración, mantenimiento, producción y calidad. Esta estabilidad también redujo la probabilidad de saturación de carga de trabajo de mantenimientos y aumentar la disponibilidad del tiempo útil, un aspecto crítico para minimizar riesgos humanos y operacionales, como lo expresa OSHA (2021) e INSAG (2002) en sus Lineamientos de Cultura de Seguridad.

Posteriormente, se realizó un análisis económico del programa, integrando el costo de mano de obra, las pólizas de servicio y el costo estimado de refacciones y consumibles. Las proyecciones financieras permitieron estimar el costo anual del programa preventivo y evaluar su comportamiento antes y después del ajuste, siguiendo criterios de gestión de activos descritos en ISO 55000 (ISO, 2014) y en los modelos contemporáneos de administración de activos físicos (Hastings, 2010). El análisis comparativo entre el programa no ajustado y el programa ajustado expuso beneficios financieros al distribuir o balancear las actividades de mantenimiento, mejorando la capacidad de planeación presupuestaria y reduciendo la variabilidad en los gastos anuales.

Finalmente, el programa fue implementado en planta mediante la elaboración de herramientas que concentran las actividades operativas por equipo y por tiempo. Estas herramientas facilitaron la comunicación y operación entre las áreas de mantenimiento, producción y calidad, facilitando ejecutar y verificar las actividades programadas. Durante la implementación se generaron capacitaciones, registros de cumplimiento, observaciones técnicas y retroalimentación del personal, los cuales confirmaron la viabilidad operativa del programa y su alineación con las necesidades reales de la planta. Esta fase de implementación favoreció a validar el modelo dentro del entorno industrial, coherente con las Recomendaciones de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (Nowlan & Heap, 1978) y de Mejora Continua documentadas por Juran y Godfrey (1998) e Ishikawa (1968).

La metodología utilizada integró principios académicos de investigación con procedimientos de la ingeniería de mantenimiento con un enfoque en la industria de alimentos. El resultado fue un sistema preventivo técnicamente sólido, metodológicamente justificado y operativamente viable, cuya implementación contribuyó directamente a fortalecer la confiabilidad de los equipos en la operación, la inocuidad del alimento, la seguridad del personal y la eficiencia del proceso productivo.

Limitaciones de la Investigación

Si bien, el proyecto logró construir e implementar un programa preventivo integral, presentó algunas limitaciones inherentes al entorno operativo y a la naturaleza aplicada del estudio. Una primera limitación estuvo relacionada con la disponibilidad de información técnica de los equipos y registros históricos. Algunos equipos no contaban con registros completos de fallas o servicios previos o documentación formal, lo cual requirió utilizar criterios conservadores de frecuencia basados en la literatura y en la experiencia técnica del personal. Esta situación es común en plantas con historial documental incompleto y, aunque se mitigó mediante inspecciones físicas y entrevistas, pudo influir en la precisión inicial de algunas frecuencias recomendadas.

Otra limitación estuvo asociada con el periodo de implementación. La estabilización del programa se realizó en un lapso de un mes, un tiempo adecuado para validar la funcionalidad del calendario, pero relativamente corto para observar tendencias estacionales o variaciones más amplias del comportamiento del equipo. A pesar de ello, el periodo fue suficiente para verificar su operatividad inmediata y la respuesta del personal.

También debe considerarse que la redistribución del calendario se realizó con base en criterios técnicos y operativos específicos de la planta, de manera que su implementación en otras instalaciones requeriría ajustes adicionales según los procesos, capacidades técnicas, niveles de automatización y consideración de la estacionalidad del producto. Es decir, en qué momento del año el producto es más demandado y el área de producción requiere más tiempo de operación, minimizando el tiempo para intervenciones de mantenimiento. Finalmente, si bien se elaboró una proyección económica completa, la incertidumbre inherente a los precios futuros de refacciones, o a cambios en la carga operativa, representan factores externos que pueden modificar el costo anual estimado del programa.

Validación de Resultados

La validación del programa se realizó durante la etapa de implementación y observación en los primeros meses de trabajo después de esta, lo que permitió evaluar el impacto del programa entre la ejecución en un estado inicial, que no contaba con un plan de mantenimiento y la operación después de la implementación. Los resultados observados

durante la validación fueron positivos y confirmaron la efectividad del programa en varios aspectos clave.

En primer lugar, se verificó que las actividades de mantenimiento programadas se realizaran conforme al calendario establecido, lo que controló la periodicidad de las intervenciones y facilitó dar atención oportuna de los equipos. La ejecución del programa redujo los paros por fallas en los equipos y los retrasos en las intervenciones preventivas. Estos son aspectos críticos en la literatura para aumentar la confiabilidad (Moubray, 1997; Nowlan & Heap, 1978) ya que, generan una mejora directa en la operación de todos los equipos.

La estabilidad operativa se considera uno de los indicadores más adecuados para validar un programa preventivo dentro de un entorno industrial. De manera complementaria, en este caso, no se registraron accidentes ni incidentes relacionados con mantenimiento, lo que presume que la metodología integró adecuadamente los requisitos de seguridad y cultura organizacional, de los lineamientos de OSHA (2021) e INSAG (2002).

Otro resultado relevante fue el comportamiento del personal gerencial y operativo ante situaciones en las que el plan pudo haber fallado o requerido ajustes. En estos casos, se observó que los operadores actuaron correctamente, siguiendo los procedimientos establecidos y comunicando desviaciones de manera oportuna al área de calidad. Este comportamiento demuestra que el programa no solo se integró a nivel operativo, sino también a nivel cultural, promoviendo disciplina, orden y responsabilidad en el equipo humano, principios consistentes con la Mejora Continua descrita por Juran y Godfrey (1998) e Ishikawa (1968).

Finalmente, el análisis económico posterior a la implementación confirmó que la proyección presupuestaria elaborada durante el diseño fue apropiada y consistente con los gastos reales. La estabilidad financiera lograda permite anticipar los recursos necesarios para los siguientes ciclos de mantenimiento, fortaleciendo la gestión de activos conforme a los principios de ISO 55000 (ISO, 2014).

Capítulo 5

Desarrollo

Marco legal, Códigos y Reglamentos

En la industria formal, la existencia de un programa de mantenimiento no trata de una novedad que las empresas comienzan a adoptar por popularidad. El programa de mantenimiento y su gestión tiene, entre sus objetivos, el propósito específico de cumplir con la normativa aplicable y garantizar las condiciones de seguridad para la operación.

En este proyecto se explorarán los beneficios del Programa de Mantenimiento que son tangibles, sin embargo, un objetivo indispensable que no se logra percibir de forma inmediata, es el resultado de operar dentro del marco legal. Estos lineamientos son las reglas del juego para poder operar de forma segura, ética y consciente. Para el desarrollo de esta investigación, se realizó una búsqueda exhaustiva de la normativa aplicable en estos casos que se tomó como esquema base para desarrollar el programa de mantenimiento. Adicionalmente, se utilizó el apoyo de certificaciones que superan el nivel de exigencias del marco legal.

El Programa de Mantenimiento debe diseñarse tomando en cuenta las consideraciones y obligaciones legales según sean los procesos dentro de la planta y así mismo la naturaleza de cada proceso (condiciones de humedad, exposición a frío o calor, nivel de ruido y vibración). En este caso la operación incluye: fabricación de alimentos para consumo humano, tanque de gas, línea de gas, caldera, línea de vapor, marmitas de cocción y motores trifásicos. Para cumplir con los requerimientos de estos equipos fue necesario realizar una investigación y consultas sobre las normas y códigos vigentes.

En la **Tabla 1**: *Normativa, estándares y códigos relacionados con el mantenimiento* se pueden observar los elementos que dieron base a la estructuración del desarrollo del proyecto. Estos aportan un enfoque robusto y correcto para su ejecución.

Tabla 1 Normativa, estándares y códigos relacionados con el mantenimiento

Norma / Estándar	Asociación / Organismo	Ámbito	Requisitos vinculados al mantenimiento	Evidencia documental requerida
NOM-251-SSA1-2009 Prácticas de higiene para alimentos	Secretaría de Salud / COFEPRIS	Inocuidad	Mantenimiento higiénico de equipos e instalaciones; evitar contaminación por equipos deteriorados; diseño sanitario; control de agua.	Programa de mantenimiento, registros de mantenimiento, bitácoras de limpieza y sanitización, análisis de agua.
NOM-120-SSA1-1994 Buenas Prácticas de Manufactura	Secretaría de Salud / COFEPRIS	Inocuidad	Buenas prácticas de fabricación; mantenimiento preventivo documentado; evitar presencia de lubricantes, virutas, óxido, etc.	Plan maestro de mantenimiento + formatos.
IFS Global Markets – Food (Nivel Avanzado)	International Featured Standards (IFS)	Inocuidad (certificación internacional)	Mantenimiento preventivo documentado; control de plagas; control de calidad de agua; calibración y validación de equipos; mantenimiento para evitar contaminación física, química y microbiológica; gestión de proveedores externos de mantenimiento.	Programas documentados, órdenes de trabajo, certificados de calibración, bitácoras de agua, registros de control de plagas (con proveedor certificado).
HACCP Codex Alimentarius	FAO / OMS	Inocuidad	El mantenimiento preventivo es medida de control dentro de prerrequisitos; debe evitar fallas que afecten el producto.	Plan HACCP, planes PRP, procedimientos de mantenimiento, registros.
ISO 22000:2018 Sistemas de Inocuidad Alimentaria	ISO	Inocuidad / gestión	Mantenimiento de equipos críticos que afecten inocuidad; verificar condiciones operativas; calibración.	Programas documentados, análisis de criticidad.
ISO/TS 22002-1 Prerrequisitos para alimentos	ISO	Inocuidad	Mantenimiento higiénico, control de plagas, mantenimiento para evitar contaminación del alimento.	Registros de mantenimiento, permisos de trabajo.
NOM-001-STPS-2008 Instalaciones eléctricas	STPS	Seguridad Industrial	Mantenimiento eléctrico seguro, evitar sobrecalentamientos, descargas, cortos, accidentes.	Plan de mantenimiento eléctrico, pruebas de termografía, certificados de instalación.
NOM-002-STPS-2010 Prevención y protección contra incendios	STPS	Seguridad Industrial	Mantenimiento de extintores y sistemas contra incendio; señalización; inspecciones periódicas.	Bitácoras de inspección, pólizas de mantenimiento.
NOM-004-STPS-2021 Protección en maquinaria	STPS	Seguridad Industrial	Guardas, sensores, resguardos; procedimientos para trabajos de mantenimiento.	Certificados de resguardos, análisis de riesgo de máquina.
NOM-005-STPS-1998 Manejo de sustancias químicas	STPS	Seguridad Industrial	Mantenimiento en entornos con sustancias químicas; manejo seguro de lubricantes, solventes.	Procedimientos y bitácoras.
NOM-017-STPS-2008 Selección y uso de EPP	STPS	Seguridad Industrial	Uso de equipo de protección personal en mantenimiento.	Registros de entrega y capacitación.
NOM-019-STPS-2011 Comisión de Seguridad e Higiene	STPS	Seguridad Industrial	Revisión del cumplimiento de los programas de mantenimiento.	Actas de comisión.
NOM-026-STPS-2008 Señales y colores de seguridad	STPS	Seguridad Industrial	Señalización de áreas de mantenimiento.	Plano y registros.

Continuación

NOM-029-STPS-2011 Mantenimiento de instalaciones eléctricas	STPS	Seguridad Industrial	Procedimiento LOTO (bloqueo-etiquetado), permisos de trabajo, análisis de riesgos.	Procedimiento LOTO, permisos, registros.
ISO 55001 Gestión de activos	ISO	Gestión / Estrategia	Optimización del ciclo de vida del activo; indicadores de desempeño del mantenimiento (MTBF, OEE).	Inventario de activos, registros de mantenimiento.
CONUEE / NOM-ENER Eficiencia energética	CONUEE	Energía	Mantenimiento en HVAC, iluminación, refrigeración para eficiencia energética.	Registros de consumo energético.
Código de Red	CFE / CRE	Energía	Condiciones del suministro eléctrico, protecciones, mantenimiento preventivo para evitar fallas eléctricas.	Reportes de pruebas y verificación.
ASHRAE (HVAC y refrigeración)	ASHRAE (USA)	Energía / instalaciones	Mantenimiento preventivo para eficiencia energética y condiciones ambientales.	Plan preventivo documentado.

Nota. Elaboración propia

En la **Tabla 1** se expone una lista de diferentes normativas, códigos y estándares relacionados con el mantenimiento que fueron relevantes para este proyecto. En la primera columna se definen las normas, y estándares oficiales a considerar; en la segunda, se expresa el organismo que lo emite, seguido del ámbito general del contenido; en la cuarta se mencionan los requisitos de mantenimiento necesarios y finalmente en la última columna se muestra la evidencia documental física requerida para cumplir lo estipulado.

Enfoque de Seguridad

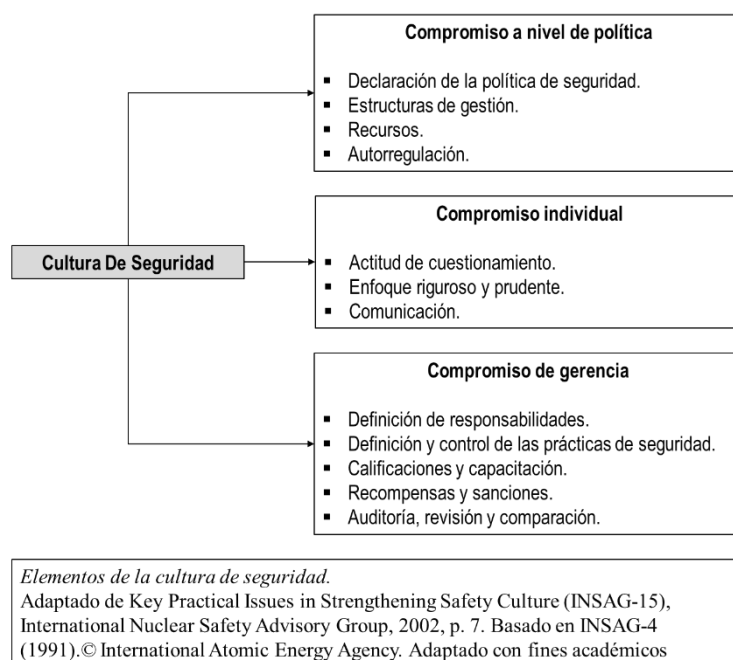
Con el fin de proteger a las personas que laboran en la planta, y por ende, a la empresa, de consecuencias potenciales por incurrir en incumplimientos en los códigos y regulaciones, es necesario generar un Plan de Seguridad que deberá ser incluido en el Programa Maestro de Mantenimiento. Si bien, es una realidad que México tiene muchas áreas de oportunidad de desarrollo en el aspecto de la formalidad legal, es responsabilidad de la administración de la organización estipular, cumplir y respetar los parámetros legales.

Adicionalmente, las empresas proveedoras de servicios de mantenimiento, las agencias certificadoras y compañías aseguradoras, exigen este tipo de documentación y condiciones como requisito para poder hacer negocio con ellos. Dado que la operación interna de la planta influye potencialmente en sus resultados, una compañía aseguradora está

en su derecho de negar una reclamación por daños si el cliente no cumplió oportunamente con los requisitos acordados.

Un ejemplo a seguir con la gestión de la seguridad es la industria nuclear, dado que es una de las que tiene menor índice de mortalidad en sus estadísticas. En esta, se promueve un ‘entorno de trabajo consciente de la seguridad’ o SCWE por sus siglas en inglés (Safety Conscious Work Environment). La política consiste en *dar la libertad a los empleados para expresar inquietudes sobre seguridad sin temor a las represalias* (INSAG, 2002). Este sistema crea una base sólida y robusta para gestionar la seguridad, así como proporciona el enfoque correcto por parte de la administración. Estas son prácticas que se recomienda llevar a cabo en las empresas.

Figura 2 Elementos de la cultura de seguridad



De acuerdo con el organismo internacional INSAG, hay tres fases que se pueden observar en las empresas que desarrollan una cultura de seguridad. En primer lugar, se busca cumplir con el nivel de política (la normativa y legislación), ya que son los máximos y mínimos establecidos para poder operar; en segundo lugar, el compromiso individual que se ve como un objetivo organizacional, brindando metas e indicadores para evaluar el desempeño de las personas; y en tercer lugar, la seguridad se percibe por el compromiso de

la gerencia como un proceso de mejora continua, donde todas las personas pueden aportar para crear un entorno de trabajo más seguro.

Enfoque Económico

Uno de los fines de todo negocio es conservarse a flote y mantener la competitividad en el mercado, consiguiendo la liquidez necesaria para cubrir todas las responsabilidades, preservar la operación y conseguir utilidades. Las formas éticas de reducir los costos son opciones viables para la industria y son oportunidades para poder realizar un producto con un costo unitario menor, aumentando el margen de rendimiento por unidad vendida o la posibilidad de ofrecer un precio más competitivo.

Contando con el apoyo y enfoque correcto de la dirección o administración, la seguridad y el mantenimiento tienen una función económica relevante. Los recursos dedicados a estos conceptos, no se perciben como un gasto, sino como una inversión para mantener un estado óptimo de producción y evitar costos causados por falta de anticipación. De este modo, los recursos dedicados al mantenimiento se pueden dividir en dos categorías generales; una son los costos planeados del mantenimiento, los cuales están presupuestados y se esperan dedicar, asociados con el mantenimiento preventivo y correctivo, así como sus prácticas; y en segundo lugar están los costos no planeados, los cuales ocurren de una forma reactiva por falta de anticipación o causas no atribuibles.

En la industria, la relación entre los costos planeados y los costos no planeados se considera saludable cuando mantienen una proporción de ochenta a veinte, donde el veinte por ciento del costo total de mantenimiento se atribuye a los costos no planeados. De lo contrario, el sistema de mantenimiento tiene un enfoque reactivo, lo que causa incurrir en gastos no presupuestados, y realizar reparaciones costosas por no tener una alternativa.

El siguiente diagrama muestra algunas actividades del mantenimiento preventivo y los costos que se le asocian; estos gastos, mientras estén dentro del presupuesto, fueron considerados para el costeo y se consideran saludables, ya que mantienen la seguridad de los colaboradores, los alimentos, y preservan las instalaciones, los equipos y la productividad en un estado adecuado.

Figura 3 *Elementos de costo planeado en mantenimiento preventivo*



Nota. Elaboración propia.

Se propone el modelo de Elementos de Costo Planeado que proporciona un mapa claro de cómo los recursos económicos que se asignan en los asientos de diario con relación al mantenimiento preventivo tienen un fin específico, el cual ayuda a reducir y anticipar la siniestralidad relacionada con los equipos, instalaciones, productos fabricados y los colaboradores. Un plan de mantenimiento puede representar un gasto innecesario para una persona inexperta en la materia al no considerar todos los beneficios y ahorros que este conlleva.

Es importante para los profesionales en la industria de alimentos que destinar un recurso a un fin no es sinónimo de que este se alcanzará. Por ejemplo, considerar que el costo anual de una póliza de control de plagas, realizar las visitas técnicas, inspecciones, y control de bitácoras no es garantía absoluta de la posible entrada de un roedor a la planta. La infraestructura totalmente sellada, espacios mínimos bajo las puertas con barre polvos y contar con dos estaciones de seguridad para roedores con trampas adhesivas en cada lado de

la puerta principal son prácticas recomendadas como primera línea de defensa física para prevenir el ingreso de roedores o plagas.

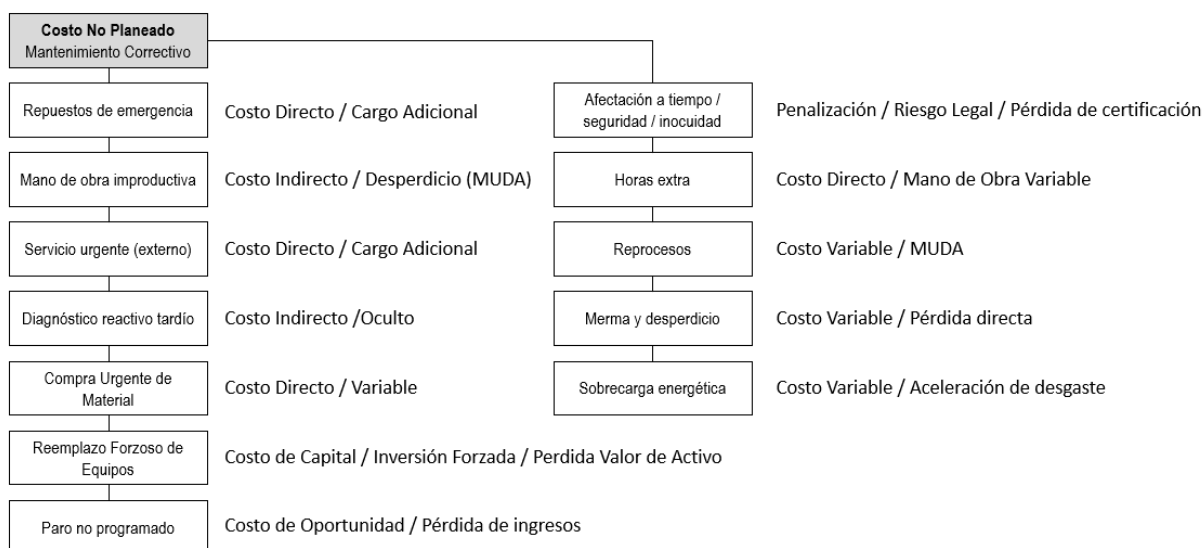
Aunque no sea probable, asumiendo que la primera defensa es vencida, hay acciones previas y posteriores que respaldan la defensa principal y mantienen la operación en estado normal y un producto inocuo. Para este caso, la limpieza diaria, contar con estaciones de seguridad para roedores en todas las áreas interiores, revisarlas diariamente; mantener la planta sin acumulación de residuos orgánicos en los contenedores de basura, tener una buena gestión para su recolección, situar todo producto entarimado o en racks, adecuadamente tapado o sellado y en reposo a no menos de treinta centímetros de proximidad a las paredes u otras tarimas y nunca en el suelo o realizar inspecciones visuales a los contenedores y dentro de las máquinas grandes, son algunas buenas prácticas para defender el proceso.

El objetivo de los recursos asignados al mantenimiento y a la inocuidad es reducir la probabilidad de riesgos y aumentar la viabilidad de que el trabajo se lleve a cabo de forma óptima. Si llega a suceder una desviación, el resto de las acciones y condiciones deben estar pensadas para reducir el impacto causado por esta desviación. Hasta este momento se han considerado los recursos que son asignados de forma planeada y controlada, para anticipar, prevenir y controlar afectaciones impredecibles.

En cambio, la ausencia de actividades de prevención o falta de asignación de recursos suficientes provoca que, al suceder cualquier fallo que represente algún riesgo, se tendrá que incurrir en costos no planificados, los cuales crecen fuera de proporción al no ser controlados efectivamente. Lo anterior afecta el margen de utilidad, la seguridad, la productividad de la planta y genera “sorpresas” para la administración que tendrá que dedicar recursos no considerados previamente para mitigar de forma reactiva la condición.

El siguiente modelo representa la contraparte de los gastos planificados al no ser atendidos oportunamente, y en consecuencia, gastos adicionales que se derivan de los mantenimientos correctivos.

Figura 4 Elementos de costo no planeado en mantenimiento correctivo



Nota. Elaboración propia.

En la **Figura 4** se observa cómo los costos planeados relacionados al mantenimiento preventivo tienen una contraparte y peso mayor si son atendidos de una forma reactiva mediante mantenimientos correctivos.

Al actuar después de una desviación se encuentra la operación en desventaja dado que es de forma reactiva; en algunas ocasiones, los materiales programados se vuelven tarea de conseguir repuestos de emergencia; la mano de obra pensada para realizar la producción se convierte en mano de obra improductiva; los costos de pólizas anuales esperados, cambian por la necesidad de servicios urgentes; los diagnósticos o inspecciones preventivas se tienen que atender como un diagnóstico de avería, la falta de previsión de refacciones genera una necesidad de compra urgente de material; la falta de atención a los equipos lleva a un reemplazo prematuro y forzado de estos y el tiempo total de paro aumenta por el tiempo de paros no programados.

Adicionalmente a los costos no planeados expuestos, se incurre potencialmente en costos por no cumplir con los acuerdos comerciales de clientes, costos adicionales por el pago de horas extra y necesidades de reprocesar producto, así como un aumento al factor de costo por desperdicio o merma y consumo energético.

Al comprender que el mantenimiento preventivo, no representa realmente un gasto, sino una oportunidad para ahorrar costos, resulta viable adoptar una filosofía adecuada para la administración de los recursos, y llevar una operación estratégica con un enfoque precautorio, gestionando y utilizando los equipos e instalaciones de modo que maximice su vida útil, mantenga su estado y evitar gastos no deseados o planeados.

Enfoque Energético

Uno de los elementos principales que contribuye al gasto total de la operación es el consumo de energía eléctrica. Este recurso es indispensable y puede representar un riesgo si no es bien administrado; las instalaciones eléctricas, si no están en condiciones óptimas representan una condición insegura para todos los colaboradores de la planta. Al administrar la energía de forma adecuada, además de ser segura, esta puede ser percibida como una oportunidad de ahorro de recursos, tanto económicos como energéticos.

En la literatura de Thumann & Younger (2008) se establecen los consumos de energía, nominales o esperados, según la industria; el consumo de energía en las empresas que se dedican a la preparación de alimentos se distribuye de la siguiente forma:

Preparación de alimentos	45%
HVAC	32%
Sanitización	12%
Iluminación	8%
Refrigeración	2%
Otros	1%
Total	100%

Esta distribución expresa el promedio de consumo por concepto. Cada uno de estos sistemas cuenta con un factor de eficiencia y pérdidas de energía, lo que se traduce en un gasto. Al utilizar más energía y producir la misma cantidad de producto, o una cantidad menor, se obtiene como consecuencia un margen menor o la necesidad de encarecer el precio final del artículo por una gestión inadecuada de la energía.

Al gestionar la energía correctamente, se incrementa el aprovechamiento de los recursos disponibles mediante una planeación sistemática y basada en datos (Doty & Turner, 2009), lo que genera una ventaja económica y apoya una operación más sostenible. De acuerdo con el Energy Management Handbook, las mejoras catalogadas como “no-cost or very low-cost operational changes” es decir sin costo o bajo costo, pueden reducir entre un 10% y 20% los costos energéticos, mientras que los programas de inversión con tiempos de recuperación menores a dos años pueden generar un ahorro adicional del 20% al 30% al recibo de luz. (Doty & Turner, 2009, cap. 3).

Si se consideran ambos tipos de estrategias —operativas y de inversión— es posible alcanzar reducciones acumuladas significativas en el consumo energético total de una planta. Aunque Doty no presenta estos valores como una suma directa, la combinación de medidas sin costo y mejoras de capital sugiere un potencial de ahorro considerable que puede transformar la eficiencia energética global de la planta y además reducir las emisiones de carbono al ambiente de la planta generadora de electricidad.

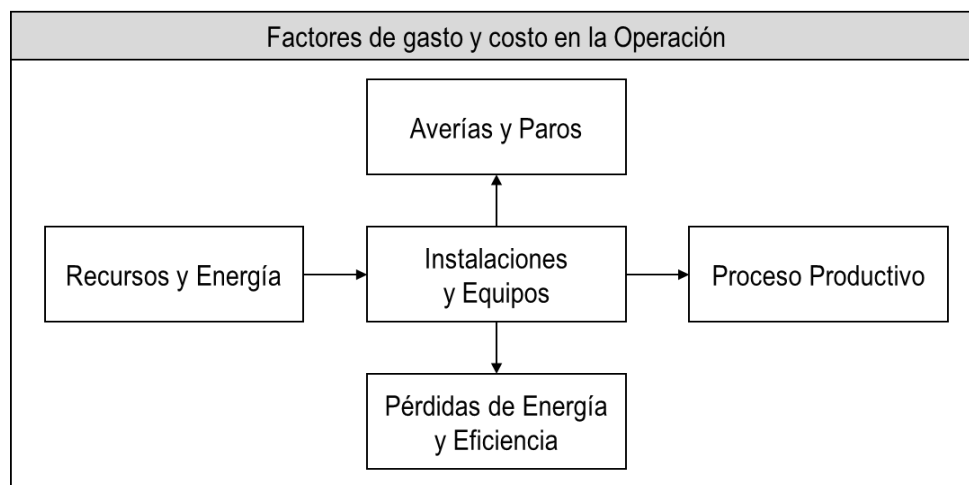
En la **Figura 5:** *Visualización de pérdidas energéticas en proceso productivo* se muestra un diagrama con una entrada, un punto común de conexión y tres salidas. Como entrada al proceso se encuentran los recursos y la energía, este elemento da la posibilidad de realizar trabajo, al entrar la energía a las instalaciones y los equipos, se derivan tres diferentes salidas: de forma directa y principal, se realiza trabajo mediante algún proceso productivo, el cual genera recursos, las otras dos salidas son consecuencia de la operación.

Las pérdidas de energía y eficiencia se encuentran en cada equipo e instalación, por la naturaleza del diseño cada elemento tiene un consumo y factor de potencia específico para su funcionamiento ideal, el cual por el mismo diseño incluye pérdidas. Estas pérdidas pueden ser en forma de calor, fricción o eficiencia del motor; por ejemplo, para la distribución de energía en las redes y el consumo de energía de los motores, se pueden observar pérdidas térmicas. Adicionalmente existe un consumo extra en los motores causado por la fricción al interactuar con el producto que procesa.

Al utilizar los equipos al 100% de su capacidad de diseño, el trabajo se va a realizar, sin embargo, se incurre involuntariamente en un consumo mayor de energía y un menor rendimiento de eficiencia de los equipos, reducción de calidad y un desgaste acelerado de los

componentes. Lo que lleva a la última salida del diagrama conformado por averías y paros, lugar a donde se llega al reducir la eficiencia de los equipos a cero, siendo por un plan consciente de apagar una máquina o esta lo hizo como defensa automática para proteger sus componentes.

Figura 5 Visualización de pérdidas en proceso productivo



Nota. Elaboración propia.

Con un enfoque sistemático al consumo de energía de toda la operación (entrada, proceso, salida) se pueden acreditar los gastos y su proporción a una razón específica, proporcionando una visión clara de la distribución de los recursos y sus costos derivados. Al contar con este desglose se consigue priorizar, controlar y reducir el gasto según su impacto en el consumo total.

El diagrama de la **Figura 5** pretende visualizar el destino de los recursos desde una perspectiva general. En este sentido, si no hay recursos o energía o equipos, no hay paros, pérdidas o un proceso productivo. Si las averías y paros no son controlados, la energía, los equipos, la eficiencia y el proceso productivo se ven afectados de forma negativa. Al implementar medidas que reduzcan el costo de la energía, se traduce como mayor eficiencia energética y un proceso productivo con menor costo y al invertir en mantenimientos preventivos de los equipos e instalaciones se prolonga el tiempo entre averías, aumenta la eficiencia y aumenta el trabajo total del proceso productivo.

Considerando los consumos estándares en las plantas de producción de alimentos presentados por Thumann & Younger, podemos contrastar el consumo actual con el consumo

esperado; así mismo se pueden acreditar las causas conocidas de pérdidas a los diferentes elementos del sistema.

Las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos se enlistan en la **Tabla 2** con la intención de señalar y dar a conocer los factores que están ocasionando un mayor consumo de energía al requerido.

Tabla 2 *Pérdidas en la utilización de energía*

Concepto	Principales tipos de pérdidas de energía asociadas
Preparación de alimentos	Pérdidas térmicas por ineficiencia en equipos
	Tiempo muerto en equipos encendidos sin carga
	Mala transferencia de calor
	Ciclos de cocción no optimizados
	Arranques y apagados frecuentes
HVAC	Filtración de aire no controlada
	Motores y ventiladores sobredimensionados o sin variadores
	Falta de balanceo de caudal
	Filtros saturados
	Pérdidas térmicas por mala aislación de ductos
Sanitización	Calentamiento excesivo de agua
	Fugas en líneas de vapor, agua caliente o mangueras
	Bombas trabajando fuera de punto de eficiencia (BEP)
	Químicos o ciclos de lavado sobrados
Iluminación	Luminarias obsoletas (fluorescente/halógeno vs LED)
	Falta de sensores de presencia o fotoceldas
	Iluminación encendida en áreas sin uso
	Balastos ineficientes o degradados
Refrigeración	Sellos de puertas y cámaras defectuosos
	Deshielos mal programados
	Condensadores sucios (alta presión de trabajo)
	Fugas de refrigerante
	Expansión mal ajustada
Otros	Transformadores sobredimensionados o con baja carga
	Harmónicos eléctricos
	Fugas de aire comprimido
	Pérdidas en cableado, conexiones o mala calidad de energía

Nota. Elaboración propia.

Una vez identificadas las pérdidas energéticas asociadas a cada proceso, es útil clasificarlas según su tipo y relacionarlas con los equipos que las causan. De este modo, se consigue un mapa objetivo de los tipos de pérdidas y los equipos que contribuyen a cada factor, facilitando comprender el origen, comportamiento e impacto de cada una dentro del sistema. Estas acciones vuelven más sencillo el diagnóstico y la priorización de acciones correctivas.

La siguiente tabla resume la clasificación de los tipos de pérdida y muestra en los elementos que la conforman.

Tabla 3 *Tipos de pérdidas en proceso*

Tipo de pérdida	Se presenta principalmente en
Térmicas	Preparación, Sanitización, HVAC, Refrigeración
Tiempos muertos	Preparación, Iluminación, HVAC
Transferencia de calor deficiente	Preparación, Refrigeración
Infiltración de aire	HVAC, Refrigeración
Fricción / Eficiencia de motor	HVAC, Sanitización (bombas), Refrigeración
Fugas	Sanitización (agua/vapor), Refrigeración (gas), Aire comprimido
Obsolescencia tecnológica	Iluminación, Motores HVAC, Equipos térmicos

Nota. Elaboración propia.

El presente análisis permite visualizar dónde se concentra el consumo de energía en la actividad diaria. El consumo eléctrico no se puede eliminar al cien por ciento, sin embargo, es factible gestionarse de forma estratégica para que dicho consumo, y sus pérdidas asociadas, se reduzcan de forma que el gasto por este concepto sea controlado.

El consumo energético no es un fenómeno lineal, si bien está estrechamente ligado al tiempo que los equipos están en funcionamiento, el factor de eficiencia de cada equipo y sus pérdidas tienen un impacto significativo en el consumo total. Al reducir el consumo de energía de la planta y realizar la misma cantidad de trabajo, se generan ahorros económicos y se aumenta la eficiencia general, en el caso opuesto, consumir una mayor cantidad de energía y realizar la misma cantidad de trabajo, encarece la operación y disminuye la eficiencia. Adicionalmente los proveedores de energía estiman la cantidad de que será demandada por sus clientes, al consumir más de la contemplada originalmente, y cruzar el límite de tolerancia, el costo por cada kilowatt tendrá una tarifa más elevada que la original, generando un costo a toda la operación de la planta.

Fallos, Costos y Continuidad Operativa

Cuando los equipos trabajan con ineficiencia energética, presentan desgaste prematuro o requieren ser intervenidos de manera reactiva. Este hecho no solo aumenta los costos de energía, en paralelo, incrementa la probabilidad de fallos y paros no planificados. Estos eventos generan costos significativamente mayores que los asociados a un programa preventivo, afectando la continuidad, la productividad y, en el caso de plantas de alimentos, la inocuidad del producto.

Para entender las causas raíz de estos inconvenientes, es necesario analizar los factores que intervienen en la generación de errores de mantenimiento. En la siguiente figura se muestra un diagrama causa–efecto de Ishikawa, en el que se agrupan los principales factores que originan fallos en los equipos y paros en la operación.

Figura 6 *Propuesta de análisis causa–efecto a Causas de fallas por errores de mantenimiento*

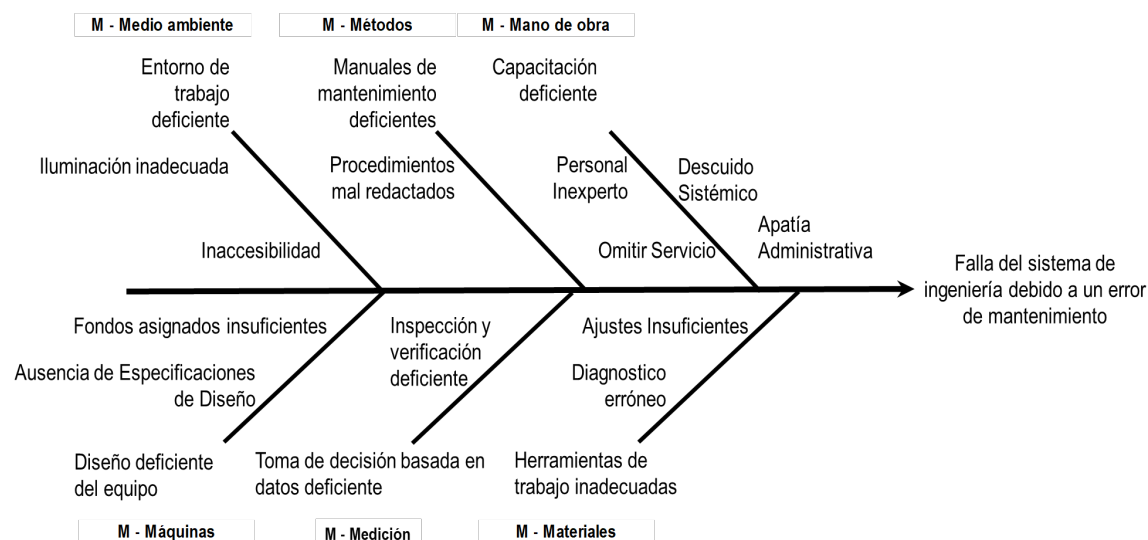


Diagrama de causa y efecto de errores de mantenimiento.
Adaptado de Dhillon (2002), *Engineering Maintenance: A Modern Approach*, y principios del método Ishikawa (1968).

Nota: La figura fue traducida al español y complementada con factores adicionales relevantes al contexto de Mantenimiento Industrial en plantas de alimentos

Entender las causas raíz de los fallos permite visualizar que la mayoría de los problemas no provienen del equipo en sí, sino de decisiones de gestión y de la forma en que trabajan las instalaciones. Factores como la falta de procedimientos claros, equipos inaccesibles, ausencia de especificaciones técnicas, herramientas inadecuadas, capacitación deficiente o intervenciones reactivas aumentan, la probabilidad de errores y paros no planificados, generando costos elevados y pérdida de eficiencia. Cuando estas causas no se atienden sistemáticamente, el mantenimiento se vuelve correctivo en lugar de preventivo, incrementando el riesgo de reprocesos, desperdicio e interrupciones del flujo productivo. En síntesis, la falla del equipo es solamente el síntoma visible de problemas administrativos, técnicos y organizacionales que no fueron gestionados oportunamente.

Una vez identificadas las causas raíz y su impacto económico, el siguiente paso es evaluar el papel que tienen las instalaciones y los equipos dentro de la estructura de costos

operativos. La manera en que una planta está diseñada, instalada y mantenida determina directamente su eficiencia energética, la productividad y los costos asociados al mantenimiento. Por ello, el análisis del diseño de instalaciones no es solamente una cuestión técnica: es una decisión económica, ya que una distribución ineficiente incrementa recorridos, tiempos muertos, consumo de energía y costos de intervención. Según Muther (2015), la planificación sistemática de la distribución busca optimizar el flujo de materiales, personas e información; cuando las áreas relacionadas están agrupadas, los servicios (como tuberías, cableado o ventilación) se vuelven más cortos y eficientes, lo cual reduce tanto los costos de instalación como los futuros costos de mantenimiento.

Desde la perspectiva del mantenimiento, Dhillon (2002) señala que un programa moderno debe integrar actividades como calibraciones, ajustes, inspecciones, alineaciones y pruebas, ya que estas acciones prolongan la vida útil de los equipos y reducen los costos no planeados. Para que estas actividades sean efectivas, los equipos deben estar instalados de forma accesible, evitando interferencias con la operación diaria y generando intervenciones rápidas, seguras y su limpieza posterior. En las plantas de alimentos, además del costo, existen riesgos asociados a la inocuidad y seguridad: las instalaciones deben considerar mantenimiento para la calidad del agua, control de plagas, seguridad eléctrica y software con un control documental para evitar contaminación o desviaciones del proceso en los puntos críticos de control.

Es necesario que el mantenimiento cuente con un espacio físico dentro de la planta, aislado de áreas de producción y con acceso directo desde el exterior cuando sea posible. Esto evita que la entrada de herramientas o refacciones comprometa la inocuidad del producto y permita almacenar lubricantes, piezas y residuos sin riesgo de contaminación cruzada. El mantenimiento debe programarse en momentos en los que afecte lo menos posible la operación, idealmente en horarios valle o durante paros planificados, y únicamente iniciarse cuando los usuarios estén informados (NFPA 70 B, 2019)

Robison (s. f.) destaca la importancia de inspeccionar techos, estructuras y superficies expuestas, ya que elementos como la dilatación térmica o la corrosión pueden provocar fallas mayores si no se detectan a tiempo. En materia eléctrica, la National Fire Protection Association (2019) señala que un programa de mantenimiento preventivo no solo mejora la

seguridad del personal, sino que reduce la probabilidad de fallas y prolonga la vida útil de los activos eléctricos.

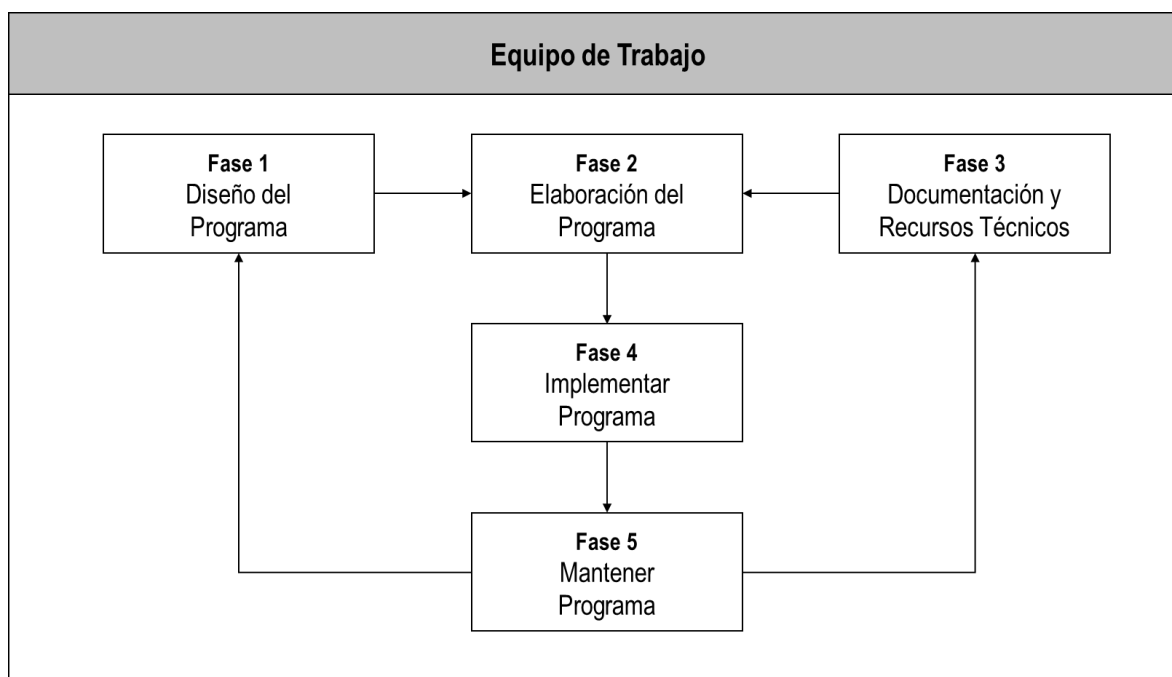
Finalmente, un componente crítico es contar con un plan de recuperación ante desastres (Disaster Recovery Plan). Este plan contempla procedimientos para restaurar operaciones tras fallas mayores o eventos inesperados (incendios, inundaciones, siniestros eléctricos o paros prolongados). Una recuperación planificada permite restablecer servicios esenciales con rapidez, minimizando pérdidas económicas y reduciendo el tiempo fuera de operación, lo que protege la continuidad del negocio.

Diseño de Programa de Mantenimiento

Para desarrollar el Programa de Mantenimiento fue necesario crear una serie de etapas dentro de la misma fase de diseño, con el fin de dar una estructura a todo el proceso y medir el progreso del desarrollo. Hay cinco aspectos que se definen en la parte del Diseño del Plan de Acción: diseño del programa, documentos y recursos técnicos, elaboración del programa, implementación del programa y mantenimiento del programa.

La etapa de diseño es diferente al desarrollo del programa; pues en el diseño, exclusivamente se define el trabajo, los objetivos y la información necesaria para completar cada módulo del programa de mantenimiento. Lo anterior es útil para comprender, visualizar y difundir los objetivos de cada fase del programa con los colaboradores y personas involucradas en el desarrollo. El siguiente diagrama muestra la relación entre los módulos del diseño:

Figura 7 *Propuesta del programa de Mantenimiento*



Nota. Elaboración propia.

La primera fase es la base para el resto del programa: entre más robusta y precisa sea, aumentan las probabilidades de que tenga un desarrollo constante y un efecto óptimo. El objetivo consiste en establecer el alcance del programa, su fin y las responsabilidades derivadas. Esta información se recauda para establecer parámetros que garanticen la viabilidad del programa. El propósito de las definiciones y planeación es reducir la ambigüedad entre las personas que ejecutarán el proyecto, así como fijar un objetivo concreto y proporcionar las herramientas para poder realizarlo.

Los elementos a definir en esta sección son: definición de responsabilidades generales y niveles de autoridad, el alcance del programa, los recursos dedicados a este, el cronograma de trabajo, el plano arquitectónico de la fábrica, el diagrama de flujo del proceso o VSM, el organigrama organizacional y la matriz de escalación de problemas. Recolectando esta información y documentos, se proporciona una estructura para realizar el programa y se mantiene el enfoque correcto.

El segundo paso del desarrollo del programa consiste en recabar la información para su análisis y documentación. Creando una base de información o recursos que serán útiles

durante todo el proyecto, así como el cumplimiento de la documentación requerida por instituciones gubernamentales.

Al recolectar la información se debe considerar todas las instalaciones, herramientas, equipos y utensilios; sus respectivos, manuales de usuario, fichas de mantenimiento, contacto de los proveedores, contacto de las autoridades gubernamentales relacionadas, contactos de emergencias y contactos de emergencia de los colaboradores.

La tercera parte del diseño del programa consiste en el análisis y la documentación. En este paso se estudia el proceso de producción de forma holística con un enfoque en la inocuidad, los riesgos y los equipos utilizados. En esta sección se definen los documentos de soporte que serán necesarios para desarrollar el Programa de Mantenimiento. Con estos se elaborarán plantillas, que formarán parte del diseño del programa en donde se especificará lo que se realizará, como resultado final. Con lo anterior, se debe conseguir mapear y tener los elementos a desarrollar: resumen de programa de mantenimiento, programa de mantenimiento, formato de registro de verificación, cronograma de mantenimiento, matriz de análisis de peligros, check list diario, formato de solicitud de mantenimiento, formato de paro de maquinaria, formato de liberación de máquinas.

Dentro de la cuarta parte del diseño se consideran aspectos relacionados con las personas y la comunicación. En este paso se debe definir quién es la persona que comunicará la información, qué información y el medio en que lo hará; así como el tiempo que se reservará para las capacitaciones relacionadas con el Programa de Mantenimiento.

Documentos útiles para esta etapa son los diagramas de flujo, material de capacitación en procesos, seguridad y limpieza, así como un cronograma de trabajo y un enfoque especial en el mantenimiento diario, antes, durante y después de la operación, fomentando una cultura o disciplina de seguridad, limpieza y eficiencia.

La etapa final del proceso de diseño se enfoca en la verificación y mantenimiento del programa. En esta última fase, el objetivo debe entenderse como la formación de un hábito: generar reportes de mantenimiento, definir cómo gestionar esta información, comparar el presupuesto con el gasto real del mantenimiento, así como medir el cumplimiento del programa y verificar listas de chequeo y controles.

El enfoque también puede aplicarse a la sucesión y al flujo natural de salida de las personas en la planta. La información debe estar disponible y comunicada, y debe existir un gestor de esta información, con consciencia de las habilidades y el conocimiento de cada persona, así como de las actividades que dejan de realizarse o del conocimiento que se pierde cuando una persona deja de participar en la operación.

Diseño de programa: Resultado del diseño

Al concluir con el Proceso de Diseño, se forma un mapa de documentos e información que se tiene que desarrollar para cada uno de los cinco módulos de la fase de diseño, de acuerdo con el tiempo, forma y responsable preestablecido.

El Calendario Maestro de Trabajo será el documento base para controlar todo el programa en su elaboración y seguimiento. Para efecto de este trabajo se presentará una base de registros como ejemplo del mapa; esta base, idealmente es exhaustiva y se adapta para el proceso y su naturaleza en específico. Además, se crea un archivo adicional para codificar y enlistar los nombres de los documentos, así como un membrete para estandarizarlos, identificarlos y registrar las actualizaciones que se realicen en el futuro.

Mapa de documentos definidos en el diseño

Figura 8 *Módulo uno del programa “Planeación y Definiciones”*

Planeación y Definiciones
Objetivo: Establecer el alcance, responsabilidades, recursos y estructura base del programa. ▪ Alcance del Programa de Mantenimiento. ▪ Objetivos y política de mantenimiento. ▪ Matriz de responsabilidades y niveles de autoridad. ▪ Organigrama organizacional. ▪ Matriz de escalación de problemas. ▪ Cronograma maestro de trabajo. ▪ Plano arquitectónico de la Planta. ▪ Diagrama de flujo del proceso o VSM. ▪ Listado general de recursos asignados al programa. ▪ Política o procedimiento interno de comunicación interdepartamental. ▪ Formato de aprobación y revisión del programa.

Nota. Elaboración propia.

Figura 9 Módulo dos del programa “Investigación”

Recaudar Información Objetivo: Reunir toda la información técnica, operativa y de contacto relevante. ▪ Inventario de equipos, instalaciones, herramientas y utensilios. ▪ Fichas técnicas de mantenimiento de cada equipo. ▪ Manuales de usuario y servicio de fabricantes. ▪ Hoja /Bitácora de vida del equipo. ▪ Listado de proveedores y contratistas autorizados. ▪ Contactos de autoridades gubernamentales relacionadas. ▪ Contactos de emergencia externos (bomberos, hospitales, servicios técnicos). ▪ Contactos de emergencia internos (responsables de turno, jefes de mantenimiento). ▪ Planos eléctricos, hidráulicos, de vapor y aire comprimido. ▪ Listado de repuestos críticos y proveedores asociados. ▪ Formatos de inspección inicial del estado del equipo. ▪ Registro fotográfico o visual de los equipos.
--

Nota. Elaboración propia.

Figura 10 Módulo tres del programa “Análisis y Documentación”

Análisis y Documentación Objetivo: Estructurar el programa técnico y documental de mantenimiento. ▪ Resumen del programa de mantenimiento. ▪ Programa de mantenimiento preventivo y correctivo. ▪ Cronograma de mantenimiento. ▪ Matriz de análisis de peligros o criticidad de equipos. ▪ Check list diario de verificación operativa y limpieza de equipos. ▪ Formato de solicitud de mantenimiento. ▪ Formato de paro de maquinaria. ▪ Formato de liberación de máquinas. ▪ Formato de registro de verificación. ▪ Procedimientos operativos estandarizados de mantenimiento. ▪ Instructivos de limpieza y desinfección post-mantenimiento. ▪ Indicadores cumplimiento de plan, reincidencia de fallas. ▪ Formato de validación post-mantenimiento. ▪ Control de Plagas.*

Nota. Elaboración propia.

Figura 11 *Módulo cuatro del programa “Comunicación”*

Informar y Capacitar Objetivo: Comunicar, entrenar y establecer canales de información efectivos. ▪ Plan de comunicación interna del programa. ▪ Cronograma de capacitaciones. ▪ Materiales de capacitación. ▪ Registros de asistencia y evaluación de capacitación. ▪ Diagramas de flujo de comunicación. ▪ Procedimiento de comunicación de mantenimiento programado y no programado. ▪ Carteles o instructivas visuales en área. ▪ Formato de inducción para nuevo personal sobre mantenimiento e inocuidad.
--

Nota. Elaboración propia.

Figura 12 *Módulo cinco del programa “Verificaciones”*

Verificar y Mantener Objetivo: Evaluar, auditar y mejorar continuamente la eficacia del programa. ▪ Reporte de mantenimiento. ▪ Registro de gastos de mantenimiento. ▪ Indicadores de desempeño y análisis de tendencias mensuales. ▪ Lista de chequeo de auditoría interna del programa de mantenimiento. ▪ Plan de acción de mejora continua. ▪ Registro de verificación de cumplimiento de programa. ▪ Control de documentos y versiones actualizadas. ▪ Evaluación de proveedores de servicio externo. ▪ Procedimiento para actualización del programa de mantenimiento. ▪ Matriz de transferencia de conocimiento. ▪ Registro de verificación de limpieza e inocuidad post-mantenimiento.

Nota. Elaboración propia.

Elaboración del programa

Para empezar a desarrollar el programa de mantenimiento el primer paso fue identificar y catalogar todos los elementos que se encuentren dentro de la fábrica y que son relacionados a la operación, estos se pueden dividir en tres categorías principales: infraestructura, equipamiento general y equipos de manejo de materiales. Es importante mantener una estructura consistente durante el proceso de desarrollo y revisiones para conseguir un programa sólido. Las categorías principales se definen de la siguiente forma:

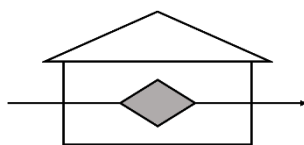
Infraestructura: Se refiere a los elementos físicos y estructurales instalados de forma permanente en el edificio, como muros, pisos, techos, sistemas eléctricos, hidráulicos y sanitarios.

Equipamiento General: Son los elementos, máquinas o dispositivos que intervienen directamente en la operación o en los procesos productivos.

Equipos de manejo de materiales: Se refiere a los elementos diseñados para el transporte, movimiento o manipulación de materiales dentro de la planta o área de trabajo.

El siguiente diagrama representa visualmente las definiciones anteriores para una comprensión más simple; la fábrica es representada por una forma de casa, esto incluye, paredes, drenaje, suelo, acometidas y techo (acceso desde el interior de la fábrica y desde el exterior), el rombo gris representa el equipamiento general, siendo utensilios, herramientas de trabajo, mesas, estanterías, equipo de cómputo y la flecha horizontal representa los equipos de manejo de materiales, como lo son los vehículos de transporte, plataformas móviles, diablos, patines hidráulicos, bandas transportadoras y montacargas.

Figura 13 Símbolo para identificar categorías de mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

Estructurar todos los elementos en estas tres categorías facilita el proceso para la elaboración del análisis de peligro y ofrece una base objetiva para realizar estadística sobre el mantenimiento; en donde se incluyen los recursos dedicados al mantenimiento de cada categoría, el número de reparaciones en estas, o el tiempo total de productividad perdido en función a cada categoría. Lo anterior, son datos útiles para entender la distribución de las fallas y dónde se focalizan.

Una vez identificados todos los elementos de infraestructura, equipamiento general y equipos de manejo de materiales, se concentra la información en una lista exhaustiva y se enumera cada ítem, a continuación, se asigna el área donde se encuentra el elemento, y se enumera la cantidad.

Para efectos de este análisis, se utilizará un fragmento de los equipos e instalaciones más relevantes. El objetivo es representar la metodología empleada y la lógica utilizada en el desarrollo del programa de mantenimiento. En caso de replicar la metodología, se debe realizar una lista exhaustiva y representar paredes, techo y suelo para cada área funcional de la fábrica.

A continuación, se presenta un fragmento de la tabla; en la primera columna se identifica el grupo al que pertenece el ítem; en la segunda, se enumera cada ítem, en la tercera, se expresa el equipo o instalación, en la cuarta, se especifica el área donde se encuentra el ítem físicamente y en la quinta, se expresa la cantidad de elementos iguales en la planta.

La siguiente tabla es la base para el desarrollo del programa, los siguientes pasos se realizan con referencia a los ítems enlistados de la tabla. Los equipos o instalaciones que no sean considerados no son exentos de su probabilidad de fallar. El desarrollo de la tabla tiene un enfoque preventivo y controlado, por lo tanto, lo que no sea acotado o definido, representa un gasto no controlado ni planeado.

Tabla 4 Lista base para análisis de peligros

Grupo	#	Ítem	Area	Cantidad
 Infraestructura	1	Techo Producción	Acceso Exterior	-
	2	Techo Producción	Acceso Interior	-
	3	Paredes Producción	Acceso Exterior	-
	4	Paredes Producción	Acceso Interior	-
	5	Piso	Andén	-
	6	Trampa de Grasa	Andén	1
	7	Tanque de Gas	Andén	1
	8	Caja de Pastillas General	Andén	1
	9	Linea de Gas	Anden / Producción	1
	10	Linea de Agua	Anden / Producción	1
	11	Piso	Producción	-
	12	Drenaje de Proceso	Producción	-
	13	Sistema de Filtrado de Agua	Producción	1
	14	Bóilers de Agua	Producción	2
	15	Lava Manos de Pedal	Producción	3
	16	Tarja de Utencilios	Producción	1
	17	Mangera de Servicio	Producción	2
	18	Caja de Pastillas Producción	Producción	1
	19	Compresor	Cuarto Frio	2
	20	Condensador	Cuarto Frio	2
	21	Caldera	Caldera	1
	22	Linea de Vapor	Caldera/Producción	-
 Equipamiento General	1	Loteadora	Producción	2
	2	Codificadora	Producción	1
	3	Marmita	Producción	4
	4	Motor de Marmita	Producción	3
	5	Campana	Producción	1
	6	Motor de Campana	Producción	1
	7	Empacadora	Producción	1
	8	Batidora	Producción	1
	9	Estufa	Producción	1
	10	Flejadora	Producto Terminado	1
 Equipos de Manejo de Materiales	1	Patin hidraulico	Producción	1
	2	Diablito	Producto Terminado	2
	3	Carrito Transportador	Producción	1
	4	Banda transportadora	Producción	1
	5	Estribador Manual	Producto Terminado	1
	6	Unidad de 1.5 Toneladas	Andén	1

Nota. Elaboración propia.

Esta base representa los equipos que serán considerados en el programa. En caso de haber cambios en la cantidad de equipos, nuevas adquisiciones, o decomiso, esta tabla debe actualizarse para representar la realidad del trabajo y mantener un enfoque preciso.

Teniendo definidos los equipos e instalaciones que participan en el programa de mantenimiento, en una hoja de cálculo de Excel se realiza el análisis de peligros y riesgos. Este consiste en asignar una calificación al equipo en relación con cuatro aspectos que son:

seguridad industrial, severidad potencial, proceso y probabilidad de ocurrencia; de acuerdo con la siguiente escala:

Tabla 5 *Rúbrica para calificar riesgos*

Escala	Seguridad Industrial	Severidad Potencial	Proceso	Historial de Falla
10	Hay Riesgo de Vida	Afecta la Inocuidad	Detiene Producción	Frecuentemente >3/año
5	Accidente No Fatal	Afecta la Calidad	Se Puede Reemplazar	Poco frecuente <3/año
1	No hay Riesgo	No hay Riesgo	No Afecta Productividad	Nunca

Nota. Elaboración propia.

En la primera columna se evalúa la seguridad industrial. Para el análisis, se debe preguntarse lo siguiente: “En caso de fallar catastróficamente ‘n’ equipo o instalación, esto representa un riesgo ‘x’, ‘y’ o ‘z’ para los colaboradores” En esta escala se utiliza un 10, si hay riesgo de perder la vida; un 5, para accidentes que no pongan en riesgo la vida del trabajador; y 1, para cuando no hay ningún riesgo. Es relevante distinguir que para el análisis se considera el fallo como un accidente aislado en la operación, y no se interpreta como continuar la operación después del fallo de ‘n’ equipo. Al ocurrir un fallo se debe realizar el proceso definido reacción a contingencias establecido. Priorizando siempre la seguridad del personal, después la seguridad de instalaciones y equipos, luego la seguridad del producto alimenticio y por último, la eficiencia del proceso.

Para la columna dos se evalúa la severidad potencial con respecto a la seguridad del producto, para el análisis se considera “En caso de fallar catastróficamente ‘n’ equipo o instalación, esto representa un riesgo ‘x’, ‘y’ o ‘z’ para la seguridad del producto.” En casos donde la inocuidad se ve comprometida se considera diez el factor de riesgo (considerando el producto desde su reposo en materia prima, producto en proceso y producto terminado) para casos donde la inocuidad se mantiene, pero el producto presenta defectos de calidad o cambios en las especificaciones, se considera cinco. Cuando la falla no afecta en lo absoluto la inocuidad del producto o su calidad se pondera con uno como un riesgo bajo.

En la columna tres se evalúa el efecto de la falla desde la perspectiva de la productividad y eficiencia del proceso. Para el análisis se debe contestar la pregunta, “En caso de fallar catastróficamente ‘n’ equipo o instalación, esto influye en la productividad de

forma 'x', 'y' o 'z'. Se califica como 10, cuando es necesario detener o se detiene por completo la producción. Se califica con 5, cuando disminuye la productividad o es factible reemplazar el equipo, pero es factible mantener la operación. Por último, se califica el riesgo con, 1 cuando la falla no influye en la productividad del proceso.

La cuarta columna hace referencia a la probabilidad de que ocurra una falla. Este factor se calcula con base en el historial de fallas de la máquina. Cuando una máquina presenta fallas más de tres veces al año, se califica como una probabilidad alta con el número 10. Cuando un equipo tiene tres, o menos fallas al año, se categoriza con un riesgo medio con 5. Finalmente, se califica con un 1, si es esencialmente nula la posibilidad de fallo. Es importante considerar que la ausencia histórica de fallas no elimina la probabilidad de que pueda ocurrir una en algún momento, así como un equipo recién adquirido que no tiene un historial de fallas. Para estos casos se consigue asignar una calificación al riesgo de incertidumbre, dependiendo la criticidad del equipo o instalación para el proceso; donde se asigna 10 a equipos críticos y 5, a equipos no críticos, considerando su calificación de impacto a la seguridad, la inocuidad y la eficiencia del proceso.

Al contar con las calificaciones o ponderaciones de las cuatro columnas para todos los ítems del programa de mantenimiento, se procede a multiplicar los cuatro factores para calcular el número de prioridad de riesgo, o RPN, por sus siglas en inglés (Risk Priority Number), donde los valores altos tienen mayor prioridad e impacto que los valores menores. Por ejemplo, para un equipo de máximo riesgo, y otro de riesgo nulo, se ponderarán de la siguiente manera:

$$(\text{Seguridad Industrial}) (\text{Severidad Potencial}) (\text{Proceso}) (\text{Historial de Fallas}) = \text{RPN}$$

$$(10) (10) (10) (10) = 10,000 = \text{RPN (Máximo)}$$

$$(1) (1) (1) (1) = 1 = \text{RPN (Mínimo)}$$

A continuación, se presenta el análisis de peligros y riesgos de los ítems considerados para el programa según su orden de aparición, con su puntaje RPN etiquetado por color para remarcar su nivel de prioridad.

Tabla 6 Resultado de Análisis de Peligros y Riesgos

Código	Ítem y Área	Seguridad	Producto	Proceso	Historia	Puntaje		
I.1	Techo Producción : Acceso Exterior	5	5	5	5	625		
2	Techo Producción : Acceso Interior	5	10	5	1	250		
3	Paredes Producción : Acceso Exterior	5	10	5	1	250		
4	Paredes Producción : Acceso Interior	5	10	5	1	250		
5	Piso : Andén	5	5	5	1	125		
6	Trampa de Grasa : Andén	5	1	10	5	250		
7	Tanque de Gas : Andén	10	1	10	1	100		
8	Caja de Pastillas General : Andén	10	1	10	1	100		
9	Línea de Gas : Andén / Producción	10	1	10	1	100		
10	Línea de Agua : Andén / Producción	5	5	5	1	125		
11	Piso : Producción	5	10	10	1	500		
12	Drenaje de Proceso : Producción	5	10	10	1	500		
13	Sistema de Filtrado de Agua : Producción	1	10	10	5	500		
14	Bóiler de Agua : Producción	10	10	10	1	1000		
15	Lava Manos de Pedal : Producción	1	10	10	1	100		
16	Tarja de Utensilios : Producción	1	10	10	1	100		
17	Manguera de Servicio : Producción	5	5	5	1	125		
18	Caja de Pastillas Producción : Producción	10	1	10	1	100		
19	Compresor : Cuarto Frío	5	10	10	1	500		
20	Condensador : Cuarto Frío	5	10	10	1	500		
21	Caldera : Caldera	10	5	10	5	2500		
22	Línea de Vapor : Caldera / Producción	10	10	10	1	1000	9600	44%
1	Loteadora : Producción	5	10	10	5	2500		
2	Codificadora : Producción	1	5	5	5	125		
3	Marmita : Producción	10	10	10	1	1000		
4	Motor de Marmita : Producción	5	5	10	1	250		
5	Campana : Producción	10	5	10	1	500		
6	Motor de Campana : Producción	5	5	5	1	125		
7	Empacadora : Producción	5	10	10	5	2500		
8	Batidora : Producción	5	10	5	1	250		
9	Estufa : Producción	10	10	10	1	1000		
10	Flejadora : Producto Terminado	5	1	5	1	25	8275	38%
1	Patín hidráulico : Producción	5	1	5	1	25		
2	Diablito : Producto Terminado	5	1	5	1	25		
3	Carrito Transportador : Producción	5	5	5	1	125		
4	Banda transportadora : Producción	5	10	10	5	2500		
5	Estribador Manual : Producto Terminado	10	5	5	5	1250		
6	Unidad de 1.5 Toneladas : Andén	10	1	10	1	100	4025	18%
							21900	100%

Nota. Elaboración propia.

Al calcular el producto de cada ítem, se identifica claramente cuáles son los equipos o instalaciones más críticas para el proceso general, y de igual forma, es posible identificar cuáles son los elementos más prioritarios por cada categoría o grupo. La sumatoria de todos los productos es 21,900 en total. El 44% del puntaje está relacionado con la infraestructura, el 38% del puntaje está relacionado por el equipamiento de la planta y el 18% restante está relacionado con los equipos de manejo de materiales.

La suma de los tres ítems con mayor calificación dentro de cada categoría representa el siguiente porcentaje del valor total de dicha categoría: 46% en infraestructura, 72% en

equipamiento general y 95% en equipo de manejo de materiales. De este modo resulta viable entender el impacto o relevancia de cada categoría y cada equipo en el programa.

Al organizar los puntajes de mayor a menor, se expone la jerarquía de relevancia de cada ítem. En este caso los primeros catorce ítems del programa contienen el 80% del puntaje total. Este análisis brinda un mapa claro para priorizar los recursos disponibles entre los equipos e instalaciones más críticos para el proceso.

Tabla 7 Resultado de Análisis de Peligros y Riesgos, por relevancia

Código	Ítem y Área	Seguridad	Producto	Proceso	Historia	Puntaje		
I.21	Caldera : Caldera	10	5	10	5	2500	10000	46%
EMM.4	Banda transportadora : Producción	5	10	10	5	2500		
EG.7	Empacadora : Producción	5	10	10	5	2500		
EG.1	Loteadora : Producción	5	10	10	5	2500		
EMM.5	Estribador Manual : Producto Terminado	10	5	5	5	1250	9625	44%
I.22	Línea de Vapor : Caldera / Producción	10	10	10	1	1000		
I.14	Bóiler de Agua : Producción	10	10	10	1	1000		
EG.9	Estufa : Producción	10	10	10	1	1000		
EG.3	Marmita : Producción	10	10	10	1	1000		
I.1	Techo Producción : Acceso Exterior	5	5	5	5	625		
I.20	Condensador : Cuarto Frío	5	10	10	1	500		
I.19	Compresor : Cuarto Frío	5	10	10	1	500		
I.13	Sistema de Filtrado de Agua : Producción	1	10	10	5	500		
I.12	Drenaje de Proceso : Producción	5	10	10	1	500		
I.11	Piso : Producción	5	10	10	1	500		
EG.5	Campana : Producción	10	5	10	1	500		
I.6	Trampa de Grasa : Andén	5	1	10	5	250		
I.4	Paredes Producción : Acceso Interior	5	10	5	1	250		
I.3	Paredes Producción : Acceso Exterior	5	10	5	1	250		
I.2	Techo Producción : Acceso Interior	5	10	5	1	250	2275	10%
EG.8	Batidora : Producción	5	10	5	1	250		
EG.4	Motor de Marmita : Producción	5	5	10	1	250		
I.5	Piso : Andén	5	5	5	1	125		
I.17	Manguera de Servicio : Producción	5	5	5	1	125		
I.10	Línea de Agua : Andén / Producción	5	5	5	1	125		
EMM.3	Carrito Transportador : Producción	5	5	5	1	125		
EG.6	Motor de Campana : Producción	5	5	5	1	125		
EG.2	Codificadora : Producción	1	5	5	5	125		
I.9	Línea de Gas : Andén / Producción	10	1	10	1	100		
I.8	Caja de Pastillas General : Andén	10	1	10	1	100		
I.7	Tanque de Gas : Andén	10	1	10	1	100		
I.18	Caja de Pastillas Producción : Producción	10	1	10	1	100		
I.16	Tarja de Utensilios : Producción	1	10	10	1	100		
I.15	Lava Manos de Pedal : Producción	1	10	10	1	100		
EMM.6	Unidad de 1.5 Toneladas : Andén	10	1	10	1	100		
EMM.2	Diablito : Producto Terminado	5	1	5	1	25		
EMM.1	Patín hidráulico : Producción	5	1	5	1	25		
EG.10	Flejadora : Producto Terminado	5	1	5	1	25		
						21900	100%	

Nota. Elaboración propia.

Al concluir el análisis de peligros y conocer el número de prioridad de riesgo de cada ítem, se continúa el desarrollo del programa, completando en una columna auxiliar, o en otra hoja de cálculo, las fallas potenciales para cada elemento de cada categoría.

Tabla 8 *Fallas potenciales en elementos del programa de mantenimiento*

Infraestructura	1	Techo Producción (Interior)	Acumulación de polvo, grasa o condensación por deficiente ventilación; desprendimiento de pintura o recubrimientos no sanitarios; filtraciones desde el exterior que provocan goteo o contaminación cruzada; presencia de moho; ingreso de partículas o plagas a través de luminarias o ductos.
	2	Techo Producción (Exterior)	Fugas por juntas o sellos deteriorados; corrosión/óxido en lámina o estructura; fisuras por dilatación térmica; deformación por impacto o tormentas; deterioro de pintura o impermeabilizante.
	3	Paredes Producción (Interior)	Desprendimiento o fisuras del recubrimiento sanitario; humedad por condensación o fugas; daños por impacto de carros o utensilios; sellado inadecuado en penetraciones de tubería o cableado.
	4	Paredes Producción (Exterior)	Grietas estructurales; filtraciones de agua o humedad capilar hacia el interior; corrosión en paneles metálicos; pérdida de aislamiento; suciedad o vegetación acumulada que favorece la presencia de plagas.
	5	Piso (Producción)	Zonas con estanqueidad deficiente; grietas que acumulan suciedad; pendientes incorrectas que impiden el drenaje; desprendimiento del recubrimiento.
	6	Trampa de Grasa	Obstrucción por residuos; flujo insuficiente; olor/atracción de plagas; fugas; corrosión de la cámara.
	7	Tanque de Gas	Fugas en conexiones y válvulas; corrosión externa; válvula de seguridad defectuosa; regulador/presión fuera de rango; montaje estructural deficiente.
	8	Caja de Pastillas General	Fallas en tablero por humedad; contactos sueltos; fusibles quemados; aislamiento dañado; etiquetado incorrecto.
	9	Línea de Gas	Fugas por juntas; corrosión interna; obstrucciones; regulación de presión inestable; válvulas atascadas.
	10	Línea de Agua	Fugas, rotura de tubería; incrustaciones/escala; pérdida de presión; contaminación microbiológica; válvulas que gotean.
	11	Piso (Andén)	Zonas con estanqueidad deficiente; grietas que acumulan suciedad; pendientes incorrectas que impiden el drenaje; desprendimiento del recubrimiento.
	12	Drenaje de Proceso	Obstrucciones; reflujo por diseño deficiente; olores; infiltración de plagas; rotura de tubería o rejillas colapsadas.
	13	Sistema de Filtrado de Agua	Filtros saturados; falla de bombas; bypass no detectado; contaminación microbiana; pérdida de caudal.
	14	Bóiler de Agua	Fugas, corrosión en serpentines; sobrecalentamiento; válvulas de seguridad defectuosas; control de nivel fallando; incrustaciones y baja eficiencia.
	15	Lava Manos de Pedal	Drenaje obstruido; contaminación por salpicaduras; pedal atascado; golpes.
	16	Tarja de Utensilios	Obstrucción de desagüe; corrosión de superficie; fugas en conexiones.
	17	Manguera de Servicio	Fugas por desgaste; acoplamientos dañados; obstrucciones; roturas por abrasión; contaminación interna.
	18	Caja de Pastillas Producción	Fallas eléctricas por humedad; protecciones disparadas; conexiones sueltas.
	19	Compresor	Fugas; pérdida de presión; sobrecalentamiento; fallo de correas/corrosión; contaminación por aceite; vibraciones excesivas.
	20	Condensador	Obstrucción por suciedad; flujo de aire reducido; sobrepresión; fugas de refrigerante; corrosión en aletas.
	21	Caldera	Contaminación por incrustaciones; fugas en juntas; fallo de controles de nivel/presión; corrosión interna; fallos en quemador.
	22	Línea de Vapor	Fugas por juntas; condensado o retorno mal gestionado; válvulas defectuosas; pérdida de aislamiento térmico.
Equipamiento General	1	Loteadora	Fallas de motor/accionamiento; desajuste de tolva; calibración fuera de rango.
	2	Codificadora	Problemas de impresión; obstrucción mecánica; sincronización fuera de fase; comunicación con PLC.
	3	Marmita	Pérdida de calor; termostato averiado; agitador atascado; corrosión interna; juntas que gotean.
	4	Motor de Marmita	Sobrecarga térmica; fallos en rodamientos; desbalance; aislamiento dañado; acoplamiento desgastado.
	5	Campana	Extracción insuficiente; filtros saturados; grasa incrustada; ruido/vibración; fugas de humos.
	6	Motor de Campana	Sobrecalentamiento; fallos en rodamientos; falla eléctrica; desalineación; infiltración de plagas.
	7	Empacadora	Atascos en alimentador; sellado térmico inconsistente; fallas en correas; errores de formato.
	8	Batidora	Motores quemados; palas dañadas; desequilibrio; controles de velocidad defectuosos.
	9	Estufa	Fallo de quemador; termopar/piloto fuera de servicio; aislamiento deteriorado; corrosión.
	10	Flejadora	Mal corte o tensión irregular; atascos de cinta.

Continuación

Equipamiento General	1	Loteadora	Fallas de motor/accionamiento; desajuste de tolva; calibración fuera de rango.
	2	Codificadora	Problemas de impresión; obstrucción mecánica; sincronización fuera de fase; comunicación con PLC.
	3	Marmita	Pérdida de calor; termostato averiado; agitador atascado; corrosión interna; juntas que gotean.
	4	Motor de Marmita	Sobrecarga térmica; fallos en rodamientos; desbalance; aislamiento dañado; acoplamiento desgastado.
	5	Campana	Extracción insuficiente; filtros saturados; grasa incrustada ; ruido/vibración; fugas de humos.
	6	Motor de Campana	Sobrecalentamiento; fallos en rodamientos; falla eléctrica; desalineación; infiltración de plagas.
	7	Empacadora	Atascos en alimentador; sellado térmico inconsistente; fallas en correas; errores de formato.
	8	Batidora	Motores quemados; palas dañadas; desequilibrio; controles de velocidad defectuosos.
	9	Estufa	Fallo de quemador; termopar/piloto fuera de servicio; aislamiento deteriorado; corrosión.
	10	Flejadora	Mal corte o tensión irregular; atascos de cinta.

Nota. Elaboración propia.

La información sobre las fallas potenciales puede tener diferente origen: problemas potenciales descritos en la sección de 'troubleshooting' o solución de problemas del manual de usuario, fallas presentadas previamente y documentadas en la bitácora de mantenimiento de cada máquina, fallas por conocidas por experiencia previa de trabajo con los equipos, o instalaciones, o por metodologías completas como lo es el Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA). La intención de esta parte del desarrollo es prever y anticipar todas las fallas potenciales que puede presentar un equipo, para contemplar los escenarios que pueden interrumpir la producción y generar la lista de tareas para verificar los componentes relevantes de cada ítem como parte del plan de mantenimiento preventivo.

Al conocer las fallas potenciales de los equipos, se concentran en una matriz los puntos a verificar de cada equipo y su frecuencia. Normalmente el fabricante de los equipos proporciona esta información en el manual de usuario o de mantenimiento, también es posible solicitarla al fabricante o en casos donde no está disponible la información, una opción es tener el checklist de verificación internamente, con información de fuentes confiables y consultas a expertos en los equipos.

Es esencial garantizar el cumplimiento de todas las normativas y reglamentos aplicables para poder definir las verificaciones correctamente y llevar a cabo el trabajo de una forma segura por una persona calificada y competente. Además, todos los departamentos involucrados y la administración deben estar de acuerdo con las acciones a verificar, su frecuencia, los requisitos de seguridad y las responsabilidades derivadas de estas verificaciones. A continuación, se presentan tres ejemplos de hojas de mantenimiento que incluyen los componentes a verificar, su frecuencia y el responsable de la intervención.

Tabla 9 Hoja de mantenimiento de Amasadora

Hoja de Mantenimiento		Equipo: Amasadora			
Descripción		Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Limpieza	 Limpiar el tazón, la espiral, la rejilla, los rodillos o guías deslizantes.				
	 Limpiar la estructura externa con paño húmedo y detergente neutro.				
Verificaciones	 Revisar todos los contactos de seguridad (guardas, sensores, tapas).				
	 Verificar la tensión y alineación de las correas.				
	 Revisar el accionamiento del tazón.				
	 Revisar el estado del cableado eléctrico y conectores.				
	 Revisar que el gancho esté firmemente asegurado.				
Lubricar	 Lubricar el sistema de enganche (modelos con tazón extraíble).				
	 Lubricar rodamientos principales y secundarios.				
	Operaciones Realizadas por el Usuario	Notas	Asegurar bloqueo de energía (LOTO).		
	Operaciones Realizadas por Técnico Calificado de Mantenimiento		No lavar con agua a presión ni usar detergentes abrasivos o metálicos.		
N. Serie: ### ### ###			Usar aspiradora con punta plástica para limpiar residuos.		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10 Hoja de mantenimiento de Caldera de Vapor

Hoja de Mantenimiento		Equipo: Caldera 15 HP				
Descripción		Diario	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
Limpieza	 Limpiar zona alrededor de la caldera (sin obstrucciones).					
	 Purga del fondo del tanque / blowdown para eliminar sólidos.					
	 Limpiar filtro de aire del quemador.					
	 Limpieza del separador de humedad / trampa de vapor.					
	 Lavado químico del intercambiador / tubería de agua tratada.					
	 Limpieza interna de cámara de combustión (depósitos de hollín).					
	 Limpieza general de aislamiento / lubricación de bisagras del quemador.					
Verificaciones	 Verificar nivel de agua y funcionamiento de indicadores.					
	 Revisar presión de operación y temperatura en panel de control.					
	 Verificar fugas visibles (agua, vapor o gas).					
	 Probar válvula de purga inferior (drain/blowdown).					
	 Probar funcionamiento de la válvula de seguridad.					
	 Revisar electrodos, fotocelda, piloto y encendido.					
	 Analizar combustión: O2 – CO – eficiencia y calibración del quemador.					
	 Inspección interna con boroscopio (corrosión en tubos / incrustaciones).					
	 Prueba de estanqueidad en líneas de gas (NFPA).					
	 Reemplazo de empaques, juntas, válvulas o trampas desgastadas.					
	Operaciones Realizadas por el Usuario	Notas	Asegurar bloqueo de energía (LOTO).			
	Operaciones Realizadas por Técnico Calificado de Mantenimiento		Cerrar válvula de gas y vapor.			
N. Serie: ### ### ###			Esperar despresurización completa.			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11 Hoja de mantenimiento de loteadora

Hoja de Mantenimiento		Equipo: Loteadora				
Descripción		Diario	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
Limpieza	 Limpiar la superficie exterior del equipo con paño seco o ligeramente humedecido (no usar solventes).					
	 Limpiar el cabezal de impresión con ballita sin pelusa y solvente aprobado					
	 Revisar y limpiar las boquillas del inyector de tinta para evitar obstrucciones.					
	 Retirar polvo o residuos de tinta del área de ventilación y ventiladores.					
	 Limpieza profunda del módulo de tinta y del sistema de recuperación de solvente.					
	 Desmontar y limpiar el soporte del cabezal y la cinta transportadora.					
Verificaciones	 Verificar estado del cabezal y la calidad del lote impreso.					
	 Comprobar nivel de tinta y solvente.					
	 Verificar la comunicación con el PLC.					
	 Comprobar integridad de cables, conectores y sensores ópticos.					
	 Revisar el sistema de enfriamiento interno.					
	 Verificar alineación del cabezal con la banda transportadora.					
	 Comprobar calibración del sensor de producto y temporizador de disparo.					
Lubricar	 Lubricar guías del sistema de soporte del cabezal.					
	 Revisar engranajes del sistema de avance de la banda.					
	Operaciones Realizadas por el Usuario	Notas	Asegurar bloqueo de energía (LOTO).			
	Operaciones Realizadas por Técnico Calificado de Mantenimiento		Mantener cubierta del cabezal cerrada cuando no esté en uso.			
N. Serie: ### ### ###			No utilizar aire comprimido directamente sobre el cabezal o componentes electrónicos.			

Nota. Elaboración propia.

Cada columna que compone las hojas de mantenimiento revela información clave sobre el equipo:

- *Componente o ítem a verificar:* Identifica el punto específico dentro del equipo.
- *Categoría o sistema funcional:* Agrupa los puntos de inspección según su función.
- *Componentes de verificación:* Define puntualmente el parámetro a revisar.
- *Frecuencia recomendada:* Determina cada cuánto debe revisarse el componente.
- *Observaciones técnicas:* Son notas relevantes detectadas durante la revisión inicial.

Contando con toda la documentación de verificaciones por equipo en físico en la bitácora individual de mantenimiento de cada equipo, y su respaldo en digital en una carpeta con todos los concentrados, se crea una estructura que permite establecer una base analítica para el programa del mantenimiento, brindando información verificable, estandarizada y técnicamente sólida.

Estas tablas permiten visualizar rápidamente las partes de los equipos que requieren intervención, sus frecuencias y el responsable de dicha intervención. Además, aportan una base robusta para la trazabilidad del sistema de mantenimiento, ya que, cada intervención o verificación debe ser documentada. Esta práctica, resulta ser de mucha utilidad para los procesos de auditorías internas y externas, ya que permite demostrar que la planta cuenta con un sistema de análisis e inspección estable y demuestran que las inspecciones se realizan con un fundamento técnico y con una frecuencia estandarizada con un soporte documental.

Al tener las tablas de verificaciones completas se logra avanzar a la siguiente etapa de la elaboración del programa de mantenimiento. A la tabla original de los ítems y sus categorías, con su respectiva ponderación RPN, sus fallas potenciales y frecuencia de componentes a verificar, se agregarán una serie de columnas auxiliares para poder realizar el calendario maestro de mantenimiento.

El objetivo de las columnas auxiliares, o una segunda matriz, consiste en facilitar la transformación de información de los análisis técnicos en un instrumento operativo para la administración y gestión del programa de mantenimiento preventivo. La **Tabla 12** constituye un elemento clave para el desarrollo de la lógica del programa, ya que integra los aspectos de inocuidad alimentaria, seguridad del personal, gestión documental, tiempos de ejecución y costos asociados.

Tabla 12 Columnas auxiliares para programa de mantenimiento

#	Equipo / Instalación	Marca / Proveedor	Frecuencia	Lugar de Realización Mto	# Frec.	Tiempo Estimado Hrs.	Tiempo Estimado Total	En Poliza	Piezas en Poliza	Tarifa Servicio (TS)	Total # Frec. * TS	Estimado Refacciones # Frec. * (TS * 5)	Requiere Limpieza Después de Mto?	Requiere Desinfección Después de Mto?	Requiere Pruebas Operativas Posteriores?	Requiere Registro de Calibración?	Mto Excluye Producción?
1	Caldera	Reservado	Mensual	En Sitio	12	2	24	Si	Si	\$ 1,600	\$ 19,200	-	Si	No	Si	Si	Si
			Semestral	En Sitio	2	2	4	Si	No	\$ 6,000	\$ 12,000	\$ 6,000	Si	No	Si	Si	Si
			Anual	En Sitio	1	4	4	Si	No	\$ 22,000	\$ 22,000	\$ 11,000	Si	No	Si	Si	Si
2	Loteadora	Reservado	Mensual	Area Mto	12	1	12	Si	Si	\$ 800	\$ 9,600	-	Si	Si	Si	No	No
			Semestral	Area Mto	2	2	4	Si	Si	\$ 1,000	\$ 2,000	-	Si	Si	Si	No	No
			Anual	Area Mto	1	4	4	Si	No	\$ 1,500	\$ 1,500	\$ 750	Si	Si	Si	No	No
3	Amasadora	Reservado	Mensual	Area Mto	12	1	12	Si	No	\$ 1,000	\$ 12,000	\$ 6,000	Si	Si	No	No	No
			Semestral	Area Mto	2	3	6	Si	No	\$ 2,000	\$ 4,000	\$ 2,000	Si	Si	No	No	No
4	Sistema de Filtrado	Reservado	Bimestral	En Sitio	6	1	6	Si	Si	\$ 7,000	\$ 42,000	-	Si	No	Si	Si	Si
			Semestral	En Sitio	2	2	4	Si	Si	\$ 12,000	\$ 24,000	-	Si	No	Si	Si	Si
5	Empacadora	Reservado	Bimestral	Area Mto	6	3	18	Si	No	\$ 1,100	\$ 6,600	\$ 3,300	Si	Si	Si	No	No
6	Banda T.	Reservado	Bimestral	En Sitio	6	1	6	Si	No	\$ 900	\$ 5,400	\$ 2,700	Si	Si	No	No	No
7	Linea de Vapor	Reservado	Bimestral	En Sitio	6	1	6	Si	No	\$ 600	\$ 3,600	\$ 1,800	Si	No	Si	No	Si
8	Marmita 1	Reservado	Bimestral	En Sitio	6	1	6	Si	No	\$ 600	\$ 3,600	\$ 1,800	Si	Si	Si	No	Si
9	Marmita 2	Reservado	Bimestral	En Sitio	6	1	6	Si	No	\$ 600	\$ 3,600	\$ 1,800	Si	Si	Si	No	Si
10	Marmita 3	Reservado	Bimestral	En Sitio	6	1	6	Si	No	\$ 600	\$ 3,600	\$ 1,800	Si	Si	Si	No	Si
11	Marmita 4	Reservado	Bimestral	En Sitio	6	1	6	Si	No	\$ 600	\$ 3,600	\$ 1,800	Si	Si	Si	No	Si
12	Estufa	Reservado	Mensual	Area Mto	12	2	24	Si	No	\$ 2,000	\$ 24,000	\$ 12,000	Si	No	Si	No	Si
13	Techo Interior	Reservado	Mensual	En Sitio	12	1	12	Si	No	\$ 800	\$ 9,600	\$ 4,800	Si	No	No	No	Si
					Σ		170			Σ \$ 211,900		\$ 57,550					

Nota. Elaboración propia.

Las columnas auxiliares contienen información valiosa para la administración del mantenimiento, así como los parámetros claros para ejecutar las intervenciones. Se omitieron del fragmento de la matriz las marcas de los equipos con que se trabaja, sin embargo, al

definir la marca, o el proveedor, se entiende que se debe contar con los contactos de emergencia para cada ítem.

La frecuencia del mantenimiento se especifica a un lado del equipo, siendo sensible a los componentes a verificar en cada servicio. Así mismo, en colaboración con el área de calidad, se especifica el lugar donde se realizará el mantenimiento y se definen otros aspectos relevantes como:

- Requisito de limpiar el equipo después del mantenimiento
- Requisito de desinfectar el equipo después del mantenimiento
- Requisito de pruebas operativas posteriores al mantenimiento
- Requisito de registro de calibración posterior al mantenimiento
- Requisito de parar la producción durante el mantenimiento

Capturando la información previa en la matriz, se forma un mapa claro sobre el procedimiento estándar para realizar los mantenimientos, con el enfoque de promover y garantizar la seguridad e inocuidad en la planta. Al concentrar esta información y compartirla ampliamente dentro del personal operativo, mantenimiento y calidad, se genera un conocimiento común sobre las prácticas y procedimientos adecuados, evitando desperdicios y errores de la operación, así como se garantiza el cumplimiento de las especificaciones de proceso y normativas.

Adicionalmente, dentro de esta matriz se define el tiempo aproximado para realizar cada servicio, esta información es proporcionada por la parte responsable del mantenimiento o con datos recolectados de servicios pasados. Esta información es relevante dado que brinda información útil para la planeación y programación de la producción, evitando que se sobrelleven actividades o se modifique el plan de producción por razones de mantenimientos.

Complementando la información del tiempo de servicio y el total de horas, se registra la existencia y el costo de la póliza de mantenimiento (en este caso todos los servicios son externos) y se define si la póliza incluye piezas de recambio o consumibles. Con fórmulas en la hoja de cálculo, se estima el tiempo total del servicio y el costo total de todos los servicios, estimando el costo anual del mantenimiento preventivo. Asimismo, se prevé, de una forma aproximada, el costo total de las refacciones y consumibles, multiplicando el costo de la

mano de obra por un factor del cincuenta por ciento para los casos donde la póliza no cubre estos componentes. Este factor fue calculado por el promedio de los costos de refacciones del año pasado, y representa una proyección del costo no controlado del mantenimiento preventivo. El presente modelo considera exclusivamente los mantenimientos preventivos, sin embargo, hay que enfatizar que existirán costos adicionales derivados de mantenimientos correctivos.

La importancia de las columnas auxiliares para el programa de mantenimiento se constata en los siguientes puntos:

- Estandariza el procedimiento de mantenimiento en toda la planta.
- Minimiza errores operativos al definir qué debe hacerse y en qué condiciones.
- Garantiza la inocuidad del producto, evitando riesgos de contaminación.
- Permite planear el uso del tiempo y recursos.
- Facilita auditorías internas y externas, al documentar cumplimiento regulatorio.
- Fomenta la comunicación entre áreas de Mantenimiento, Producción y Calidad.

La información recaudada dentro de esta fase del desarrollo es la suficiente para crear un mapa operativo que permita la ejecución ordenada del Programa de Mantenimiento. Con las frecuencias y componentes de verificación establecidos y las columnas auxiliares permite hacer la transición técnica al cronograma preliminar del programa. Considerando el equipo, la frecuencia y el tiempo que toma el mantenimiento, se proyectan las fechas en las que corresponde un servicio. Para iniciar el acomodo de la programación se establecen los mantenimientos de cada máquina junto con su frecuencia desde inicio del año, como se muestra a continuación.

Figura 14 *Calendario anual del programa de mantenimiento sin ajustar*

[illegible]

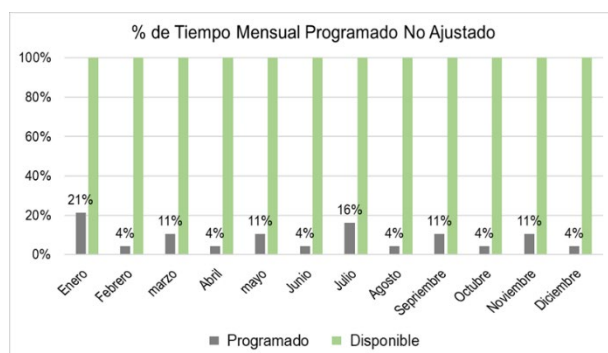
Nota. Elaboración propia.

La figura 14 presenta la primera versión del calendario maestro de mantenimiento preventivo, donde se expresa dentro del calendario la semana cuando el equipo debe ser atendido y el tiempo de intervención. Este calendario es construido a partir de la información técnica en las secciones anteriores, concentrando en un solo documento:

- Ítems considerados en el programa de mantenimiento.
- Frecuencia de intervención por ítem.
- Fallas potenciales de cada ítem.
- Componentes a verificar por ítem.
- Tiempo requerido para las verificaciones.
- Costo relacionado a cada ítem.

Con la primera versión del programa, conduce a calcular la cantidad total de horas de servicio de mantenimiento preventivo por mes y el número de actividades programadas. En este caso se estima tener 170 horas de servicio en todo el año. Considerando un total de 160 horas disponibles de trabajo por cada mes (20 días de 8 horas), con esta información, es factible calcular el porcentaje de tiempo de mantenimiento respecto al total de horas disponibles del mes. Sin balancear o ajustar las horas del mantenimiento preventivo, el porcentaje de tiempo bloqueado por servicios se distribuye de la siguiente forma.

Figura 15 *Gráfica de barras del tiempo requerido de mantenimiento sin ajustar*



Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la distribución original, el mes de enero y julio necesitarán 21% y 16% respectivamente del tiempo para realizar actividades de mantenimiento preventivo, mientras que seis meses serían cuatro por ciento del tiempo. La intención del programa es mantener un porcentaje de tiempo constante entre todos los meses, dando espacio para una producción estable, nivelar la carga de trabajo para el personal de mantenimiento y distribuir los costos de una forma mayormente homogénea entre todo el año. Evitando picos de trabajo y tiempos muertos, se promueve un mejor aprovechamiento de los recursos.

Con la información recolectada de las **Figuras 14 y 15** y su análisis, se genera información valiosa para calibrar este instrumento, a partir de estas tablas, se revela carga natural del mantenimiento, permite detectar incompatibilidades operativas, muestra concentración de servicios, identifica riesgos operativos por saturación y permite visualizar relación entre las frecuencias y la disponibilidad del equipo.

Con estos resultados, es factible concluir que el acomodo inicial de las actividades no es adecuado para una distribución de actividades y recursos uniformes, sin ajustar, hay meses que tienen un tiempo bloqueado para actividades del mantenimiento del 16% y 21% del tiempo disponible, mientras que algunos meses tienen cargas muy bajas, generando una carga de trabajo desbalanceada causada por picos y valles con la distribución actual.

Por esta razón, las intervenciones de mantenimiento se pueden reorganizar, con el fin de hacer un mejor aprovechamiento del tiempo útil y disminuir la carga de trabajo o picos de trabajo mensuales. El resultado de la **Figura 15**, funciona como diagnóstico que justifica

la siguiente etapa del desarrollo del calendario de mantenimiento: nivelar y balancear las cargas mensuales de intervenciones de mantenimiento.

Figura 16 *Calendario anual del programa de mantenimiento ajustado*

Nota. Elaboración propia.

- Equilibrar la carga mensual
- Agrupar servicios compatibles
- Evitar interferencias con la producción
- Proteger los equipos críticos
- Mantener coherencia operacional

fue balanceado en una escala mensual conscientemente. De acuerdo con el pronóstico de ventas, el área de producción tiene una diferente carga de trabajo y de operación diaria. La información valiosa del calendario consiste en identificar las intervenciones que se tienen que hacer a principios y finales de cada mes.

Con esta información disponible, en reuniones mensuales y semanales con las áreas de calidad y producción, se establece el horario específico para las actividades de mantenimiento y su correspondiente atención y procedimientos realizados en paralelo por el área de calidad. Sin embargo, en la práctica operativa no es inusual que el programa de mantenimiento preventivo reciba una prioridad menor frente al programa de producción. Por esta razón, el programa de mantenimiento, además de ser técnicamente sólido, debe poseer la flexibilidad necesaria para adaptarse a cambios en la carga operativa. Es importante aclarar que esta flexibilidad se refiere únicamente a la reorganización de horarios o secuencias de trabajo previamente planificadas, y no a omitir servicios o ejecutarlos de forma incompleta, ya que esto comprometería la confiabilidad del sistema y aumentaría el riesgo de fallas.

La producción es, por definición, el área que genera valor dentro de la planta al transformar los insumos en productos terminados. Desde la perspectiva del cliente, se paga por un producto y se espera que sea inocuo y de calidad. Las actividades de mantenimiento, como inspecciones, ajustes e intervenciones, y las actividades del área de calidad, como limpieza, sanitización y verificaciones microbiológicas, constituyen funciones auxiliares, aunque esenciales, que el cliente final no percibe directamente, pero que permiten asegurar que el producto cumpla con los estándares establecidos.

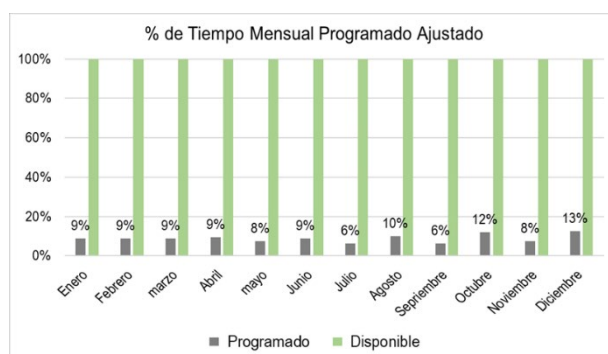
Si bien estas actividades no representan la función principal de la operación, existen situaciones en las que mantenimiento o calidad deben asumir una prioridad superior a la eficiencia de la producción o la producción en su totalidad. Esto ocurre cuando:

- Existe una condición que pone en riesgo la seguridad de los colaboradores.
- Existe una condición que pone en riesgo la integridad de los equipos o instalaciones.
- Existe una condición que compromete la inocuidad del producto.
- Existe una condición que afecta la calidad del producto.

En tales casos, detener la operación o intervenir el equipo de inmediato es indispensable para evitar consecuencias mayores, garantizar la seguridad y proteger la integridad del proceso, así como la continuidad de la operación.

Tomando en cuenta la flexibilidad que ofrece el programa de mantenimiento, se vuelve a realizar el análisis comparativo de tiempo realizado en la **Figura 15** tomando en cuenta las modificaciones estratégicas en la programación mencionadas.

Figura 17 *Gráfica de barras del tiempo requerido de mantenimiento ajustado*



Nota. Elaboración propia.

Al analizar el porcentaje de tiempo útil programado para actividades de mantenimiento preventivo, después de su acomodo; que consistió en distribuir las intervenciones de una forma homogénea; se muestran mejoras significativas en el aprovechamiento del tiempo. En este estado, el programa se encuentra en una versión madura y operacionalmente viable. El nuevo acomodo de actividades, no solo transforma el análisis técnico previo en un plan práctico y viable, además:

- Mejora la disponibilidad del personal
- Reduce interferencias con producción
- Disminuye el riesgo de errores
- Optimiza recursos
- Aumenta la viabilidad en un entorno real de planta

La **Figura 17** permite evidenciar el impacto del proceso de reorganización. Mientras que el calendario inicial mostraba variabilidad importante, el ajuste demuestra cómo una programación estratégica puede transformar un programa técnicamente correcto, pero

operativamente inestable, en uno completamente funcional. En este nuevo estado, desde ahora llamado *estado actual*, el porcentaje de tiempo programado no es en ningún mes superior al 13% del tiempo, promediando catorce horas de servicio al mes.

Figura 18 Costeo del Programa de mantenimiento

Nota. Elaboración propia.

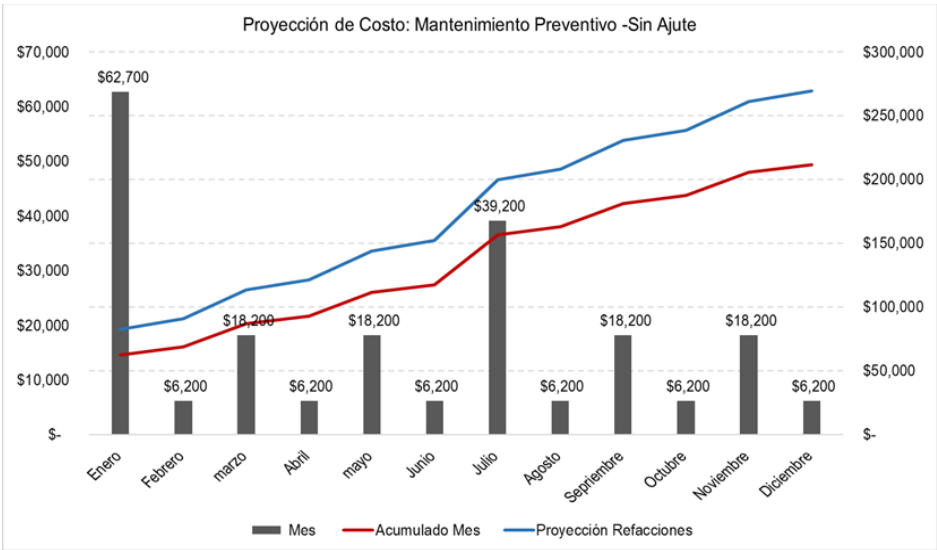
En el análisis del porcentaje de tiempo programado ajustado de la **Figura 17** se percibe que el mes de septiembre tiene un 6% del tiempo programado (10 horas de servicio) y octubre tiene un 12% del tiempo útil programado (19 horas de servicio); lo que representa

una diferencia de tiempo alta, considerando que se realizó un balance de actividades. Tomando en cuenta, que los servicios menos frecuentes tienen comúnmente un costo mayor, por la naturaleza de las actividades realizadas, que tienen mayor profundidad, conduce a visualizar cómo el mes de septiembre, a pesar de tener un 6% programado, tiene proyectado un costo de \$18,200 por servicios, mientras que el mes de octubre, con un 12% del tiempo programado, tiene proyectado un presupuesto de \$6,200. Este hecho fundamenta la razón de considerar diferentes sumas de cargas económicas dentro del balance y nivelación de las actividades programadas.

Para visualizar la relevancia de los costos de los servicios, se presentan dos gráficas; inicialmente se presentará la suma de los montos por concepto de servicio preventivo en el estado preliminar del programa, es decir, sin ajustar; y posteriormente se mostrará la misma gráfica con los valores de las sumas del estado actual del mantenimiento.

Para las **Figuras 19 y 20**, en el lado izquierdo está la graduación por el monto total mensual de los servicios; en contraparte, en el lado derecho, está la graduación del monto total acumulado de servicios preventivos en el año. Este valor, está representado por una línea roja en el gráfico, adicionalmente se incluye una línea azul, que está considerado el valor estimado de las posibles refacciones a utilizar que no fueron incluidas por las condiciones de las pólizas. La lógica de factor fue descrita en las columnas auxiliares vistas en la **Tabla 12**.

Figura 19 *Proyección del costo del programa de mantenimiento sin ajustar*

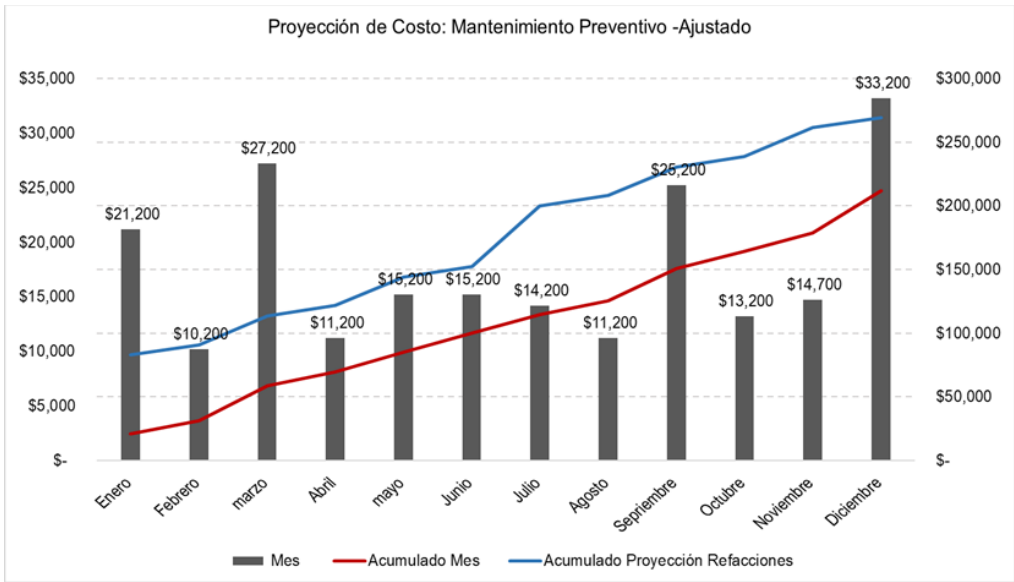


Nota. Elaboración propia.

En la primera gráfica se ilustra el comportamiento económico del programa de mantenimiento antes del ajuste de calendario. En ella se observa la variabilidad del gasto mensual, la cual refleja directamente la carga desbalanceada del calendario inicial. Esto representa un riesgo financiero porque produce variaciones importantes en los flujos e incrementa la probabilidad de saturación operativa cuando los costos coinciden con los picos de carga de trabajo.

Al realizar el balanceo y volver a graficar las sumatorias, se muestra el comportamiento económico después de distribuir los servicios de forma equilibrada. En este caso, los costos mantienen una tendencia más estable, con una variación considerablemente menor que el resultado de la **Figura 19**. Los beneficios percibidos de la nivelación generan una estabilidad presupuestaria, ya que los costos se distribuyen de manera más uniforme, reducen el pico financiero del mes de enero de, \$62,700 a \$21,200, y adicionalmente genera un impacto positivo en la operación, debido a que la carga de trabajo generada para la calidad, en relación con la supervisión de proveedores de servicios, es reducida, así como el tiempo bloqueado para producción.

Figura 20 *Proyección del costo del programa de mantenimiento ajustado*



Nota. Elaboración propia.

Al analizar la gráfica de presupuesto del estado actual del programa de mantenimiento, se observan diferencias importantes en la distribución de los flujos

mensuales. Es relevante señalar que esta distribución no es exactamente homogénea, esto se debe a la presencia de factores que influyen en el balanceo. En este caso, el mes de diciembre es mayor que el resto de los meses, la razón de esto es el mantenimiento anual de la caldera de vapor, con un costo de \$22,000, que representa más de la mitad del presupuesto total de diciembre de \$33,200. Existen diferentes motivos por los cuales el servicio anual se decidió realizar en este mes. Como se documenta en la **Tabla 10**, el servicio anual de la caldera tiene operaciones técnicamente complejas, y requieren tiempo adicional.

Para esta fábrica, existen dos factores estacionales que influyen directamente en la operación: La disponibilidad de leche de cabra y la demanda del producto. La disponibilidad de leche está relacionada linealmente con el desempeño de la producción caprina; dado que esta operación, por motivos de calidad, utiliza exclusivamente leche fresca de cabra para la elaboración del producto; se excluyen métodos utilizados en la industria, como lo es utilizar leche congelada, leche de vaca, o leche en polvo y aditivos. Como consecuencia, para mantener un producto de alta calidad, y respetando el proceso tradicional, solo se puede producir la cantidad de leche que hay disponible en el mercado y que cumple con los requisitos de calidad. En los meses más fríos del año, las cabras consumen menos agua y como consecuencia producen menos leche, mientras que, en verano la producción de leche es mucho mayor. Así mismo, la demanda del dulce de leche tiene una relación inversa con su disponibilidad durante el año, es decir la demanda del dulce de leche aumenta con los meses más fríos del año.

Estos factores, como consecuencia, influyen en la producción y los servicios de mantenimiento. Para este balance, se definieron estratégicamente los servicios de mantenimiento preventivo, para que las máquinas estén en mejor estado durante su tiempo de mayor utilización. Un fallo o paro, si bien en cualquier mes del año tiene consecuencias para la producción, es preferible que no suceda en los momentos del año en los que la demanda es mayor. Por esta razón, los meses de abril a agosto tienen un menor monto dedicado a los servicios, ya que, son los meses cuando serán más utilizados. El balance de las cargas de trabajo y el presupuesto asignado a las actividades de mantenimiento, no son análisis aislados, se tienen que integrar y hacer consideraciones adicionales para mantener los servicios de mantenimiento sin influencia negativa en la producción.

Un factor relevante para la gestión del presupuesto del programa de mantenimiento es considerar la variable del aspecto comercial de cada proveedor. La distribución de ambas grafías asume que el flujo ocurre en el mes en que se realizó el servicio, lo que es la responsabilidad real. En la práctica, es común que exista una negociación con los proveedores para definir opciones de crédito, plazos de pagos y otros acuerdos comerciales que favorezcan la liquidez y viabilidad financiera.

Herramientas operativas del programa

Para aumentar las probabilidades de éxito del programa de mantenimiento y generar una resistencia menor al implementarlo, se desarrollaron dos herramientas adicionales para facilitar su seguimiento, ejecución y verificación. La **Figura 16** representa el calendario del programa de mantenimiento en su estado actual, este calendario anual es una herramienta que resulta viable para ejecutar el programa de mantenimiento y llevar su seguimiento, como se practica en la industria.

Para complementar el calendario, se realizaron dos calendarios alternativos para el área de calidad y producción, con el fin de optimizar la integración de las actividades de mantenimiento con las áreas mencionadas. Para el área de calidad, se expresó el calendario anual de mantenimiento en una matriz de equipos, donde resume la información con un enfoque al equipo; esta estructura representa un instrumento para la gestión de las intervenciones de los equipos, especialmente para aquellos que tienen impacto directo en la inocuidad o en la continuidad de la operación.

Tabla 13 *Calendario de actividades anuales por ítem*

		Serv. 1	Serv. 2	Serv. 3	Serv. 4	Serv. 5	Serv. 6	Serv. 7	Serv. 8	Serv. 9	Serv. 10	Serv. 11	Serv. 12	
Frecuencia	Equipo	Semana de Servicio												Total
Mensual	Caldera	1	6	10	14	18	23	27	31	36	40	45	49	12
Semestral	Caldera	1	23											2
Anual	Caldera	52												1
Mensual	Loteadora	1	6	10	14	18	23	27	31	36	40	45	49	12
Semestral	Loteadora	6	28											2
Anual	Loteadora	48												1
Mensual	Amasadora	1	6	10	14	18	23	27	31	36	40	45	49	12
Semestral	Amasadora	17	40											2
Bimestral	S. Filtrado	1	10	18	27	36	45							6
Semestral	S. Filtrado	13	36											2
Bimestral	Empacadora	5	13	22	31	40	49							6
Bimestral	Banda T.	5	13	22	31	40	49							6
Bimestral	L. Vapor	6	14	23	32	41	50							6
Bimestral	Marmita 1	6	14	23	32	41	50							6
Bimestral	Marmita 2	6	14	23	32	41	50							6
Bimestral	Marmita 3	6	14	23	32	41	50							6
Bimestral	Marmita 4	6	14	23	32	41	50							6
Mensual	Estufa	1	6	10	14	18	23	27	31	36	40	45	49	12
Mensual	Techo I.	1	6	10	14	18	23	27	31	36	40	45	49	12

Nota. Elaboración propia.

La organización del calendario por equipo aporta un nivel de control específico que permite mejorar la anticipación de recursos y la verificación del cumplimiento de los requisitos previos y posteriores a cada intervención. La **Tabla 13** crea un enfoque para el área de calidad que facilita la preparación de actividades relacionadas con el mantenimiento; por ejemplo, limpieza, desinfección, liberación higiénica y evaluaciones microbiológicas. Adicionalmente, este calendario mejora la trazabilidad del programa y la consistencia operativa, al permitir asegurar, por un área independiente, qué ítem sea intervenido según su registro, frecuencia y función dentro del proceso.

Complementariamente, se desarrolló un calendario consolidado por semanas para la visualización de las actividades de mantenimiento programadas desde la perspectiva del área de producción. A diferencia de la **Tabla 13**, esta herramienta prioriza la visión operativa del flujo semanal de trabajo. La utilidad principal de esta herramienta es facilitar la programación y coordinación de la producción considerando las actividades de mantenimiento, de forma anticipada, sin comprometer la inocuidad ni la continuidad de la operación.

Tabla 14 Calendario de actividades por semana

Semana	Serv. 1	Serv. 2	Serv. 3	Serv. 4	Serv. 5	Serv. 6	Serv. 7	Serv. 8	Serv. 9	Serv. 10	Serv. 11
1	SM - Caldera	SS - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - S. Filtrado	SM - Estufa	SM - Techo I.				
5	SB - Empacadora	SB - Banda T.									
6	SM - Caldera	SM - Loteadora	SS - Loteadora	SM - Amasadora	SB - L. Vapor	SB - Marmita 1	SB - Marmita 2	SB - Marmita 3	SB - Marmita 4	SM - Estufa	SM - Techo I.
10	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - S. Filtrado	SM - Estufa	SM - Techo I.					
13	SS - S. Filtrado	SB - Empacadora	SB - Banda T.								
14	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - L. Vapor	SB - Marmita 1	SB - Marmita 2	SB - Marmita 3	SB - Marmita 4	SM - Estufa	SM - Techo I.	
17	SS - Amasadora										
18	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - S. Filtrado	SM - Estufa	SM - Techo I.					
22	SB - Empacadora	SB - Banda T.									
23	SM - Caldera	SS - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - L. Vapor	SB - Marmita 1	SB - Marmita 2	SB - Marmita 3	SB - Marmita 4	SM - Estufa	SM - Techo I.
27	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - S. Filtrado	SM - Estufa	SM - Techo I.					
28	SS - Loteadora										
31	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - Empacadora	SB - Banda T.	SM - Estufa	SM - Techo I.				
32	SB - L. Vapor	SB - Marmita 1	SB - Marmita 2	SB - Marmita 3	SB - Marmita 4						
36	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - S. Filtrado	SS - S. Filtrado	SM - Estufa	SM - Techo I.				
40	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - Empacadora	SB - Banda T.	SM - Estufa	SM - Techo I.				
41	SB - L. Vapor	SB - Marmita 1	SB - Marmita 2	SB - Marmita 3	SB - Marmita 4						
45	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - S. Filtrado	SM - Estufa	SM - Techo I.					
48	SA - Loteadora										
49	SM - Caldera	SM - Loteadora	SM - Amasadora	SB - Empacadora	SB - Banda T.	SM - Estufa	SM - Techo I.				
50	SB - L. Vapor	SB - Marmita 1	SB - Marmita 2	SB - Marmita 3	SB - Marmita 4						
52	SA - Caldera										

Nota: Las primeras dos letras representan el tipo de servicio. Ej. "SM": Servicio Mensual. Elaboración propia.

En conjunto, el calendario anual, la vista por ítem y el calendario por semanas, conforman un sistema de apoyo operativo claro, que mejora la ejecución y control del programa de mantenimiento. Cada calendario tiene una función específica que justifica su uso: el calendario anual establece la estructura global del programa, la vista por ítem permite la verificación puntual de cada equipo, y el calendario por semanas facilita la coordinación transversal entre producción, calidad y mantenimiento. De este modo, el programa, además de ser técnicamente sólido, también es práctico ya que alinea las dinámicas reales de la operación y es flexible ante cambios que ocurren en la operación, reduciendo la probabilidad de errores y aumentando la confiabilidad total del programa.

Tomando como base el esquema del programa de mantenimiento expresado en la **Figura 7**, y las herramientas elaboradas dentro del desarrollo, el programa de mantenimiento en el estado actual está terminado. En la *fase de diseño* se expusieron los requisitos y objetivos del programa; en la sección de *investigación*, se recaudó la información técnica y la documentación esencial para poder realizar el programa; en el *módulo tres del programa*, se realizaron los análisis y se desarrollaron las herramientas prácticas del programa, considerando su viabilidad operacional, técnica y financiera. En la siguiente sección se describió el proceso de comunicación del programa, es decir, su implementación.

Capítulo 6

Implementación del programa

Ejecución de la implementación

La implementación formal del programa de mantenimiento tuvo como objetivo traducir el diseño técnico en acciones específicas, programadas y verificables dentro de la práctica operativa, así como con el personal de mantenimiento y la gerencia. Para conseguir esto, se buscó una integración del programa en la estructura organizacional y se formó un esquema de trabajo consistente.

El mantenimiento en la planta originalmente se llevaba a cabo de forma fragmentada y sin una estructura central que agrupara a los diferentes proveedores, equipos y actividades. El primer paso de la implementación consistió en realizar una revisión del estado inicial, tanto de la planta como del personal, con el objetivo de definir un plan de acción para las instalaciones físicas. Para ello, se comprobó la accesibilidad a los equipos, se diagnosticó la necesidad de una limpieza exhaustiva en los ya existentes y se realizó un contraste entre la documentación pendiente y la que ya se tenía disponible.

Adicionalmente, con el fin de conocer las funciones y acciones que realizaba el personal gerencial, se llevó a cabo un grupo de estudio en el que se expusieron las actividades que cada departamento estaba desarrollando bajo el enfoque del mantenimiento, así como la forma en que estas se estaban ejecutando.

El área de dirección expresó formalmente a las gerencias la intención de implementar el Plan de Mantenimiento a las áreas de producción y calidad estuvieron presentes en el diseño y la elaboración del programa, por lo que, las herramientas preparadas, matrices, procedimientos y formatos ya eran conocidos por los departamentos. Esta etapa fue necesaria para garantizar la comunicación organizacional del programa de forma coherente: al estar alineada la visión de dirección y las diferentes gerencias, y al comprender la relevancia del programa para cumplir con las normativas y los requisitos necesarios para la certificación con IFS Global Markets, causaron que, la acción de transmitir la información al área de operación tuviera un enfoque interdepartamental y consistente.

El área operacional tiene funciones esenciales para mantener el programa de

mantenimiento, sin embargo, las gerencias tienen funciones con un carácter de responsabilidad diferente, por ello, se especificaron las responsabilidades exclusivas para cada área gerencial: Producción, calidad y mantenimiento.

La gerencia del área de producción realizó el compromiso de notificar las fallas o condiciones fuera de su estado nominal, al área de calidad, en el momento que estas sean detectadas, además de, realizar una evaluación de la desviación detectada y continuar o detener la producción (según la criticidad) y respetar los bloqueos de equipos o áreas. La gerencia de calidad reforzó el compromiso de la supervisión y aseguramiento de la inocuidad con respecto a las intervenciones de mantenimiento, la gestión documental y las revisiones de equipos después de los servicios y consecuente liberación; y finalmente, la gerencia del área de mantenimiento se comprometió en cumplir con el calendario, el llenado completo de reportes para las bitácoras de mantenimiento de los equipos, la ejecución segura de las intervenciones y realizar las limpiezas correspondientes.

Adicionalmente, al área de mantenimiento y producción fue capacitada formalmente por capacitadores certificados, en el área técnica y operativa para el procesamiento de alimentos, en específico en materia de HACCP e inocuidad en intervenciones técnicas. En esta etapa se otorgaron los formatos expuestos en este trabajo, como el calendario anual y listas de verificación. Las capacitaciones semanales entre los equipos de producción, mantenimiento, calidad y asesoría técnica brindaron la oportunidad de practicar el llenado y familiarización con los formatos de la operación que incluían aspectos como: retención de equipos, notificación de falla, listas de verificación y liberación por servicio, entre otros.

Las capacitaciones fueron registradas mediante listas de asistencia físicas para evidenciar los requisitos de la certificación y normativa. En ellos se expusieron procedimientos estándar (SOP) de limpieza para intervenciones, protocolos de inocuidad durante mantenimiento, flujo de notificaciones y avisos. Para el área de calidad en específico, se reforzaron tolerancias de desviaciones, criterios de aceptación y verificaciones de inocuidad post-intervención para liberación.

Ajustes Operativos Previos a la implementación

Se establecieron y realizaron actividades complementarias al programa de mantenimiento para realizar antes de su ejecución. Estas actividades consistieron en la limpieza profunda de equipos y áreas previamente identificadas, se reorganizaron los espacios entre las máquinas, mesas y paredes para permitir un flujo libre, así como la eliminación de obstrucciones para la operación, el paso o intervenciones a los equipos. Adicionalmente, se actualizaron y completaron las señalizaciones correspondientes dentro del área.

Los horarios de mantenimiento se establecieron de forma que no interactúan con las actividades de producción, y dado el caso, de que esta coordinación no fuera posible, se planearon los horarios de las intervenciones de forma que minimicen el impacto en la producción. Esta acción permitió un establecimiento de horarios adecuados y ventanas para actividades de mantenimiento que permitieran flexibilidad sin omitir servicios por la carga de producción.

Adicionalmente se formalizó la gestión con proveedores externos, notificando los horarios disponibles para las intervenciones, así como los requisitos previos para el acceso a planta. Se definió con los proveedores de servicio un tiempo de respuesta compromiso ante emergencias, y en paralelo se capturaron contactos alternos de emergencias.

Herramientas Operativas Utilizadas en la Implementación

El aspecto de la gestión documental fue un factor relevante para la implementación, en este punto se especificó cuáles herramientas deben utilizarse de forma electrónica y su responsable de actualización. Para el caso de las herramientas las cuales debían llenarse estrictamente de forma física, se estableció el lugar de la bitácora para el archivo histórico físico, y el lugar físico de la tabla dentro de la planta para rellenar los datos durante la operación, así como su responsable.

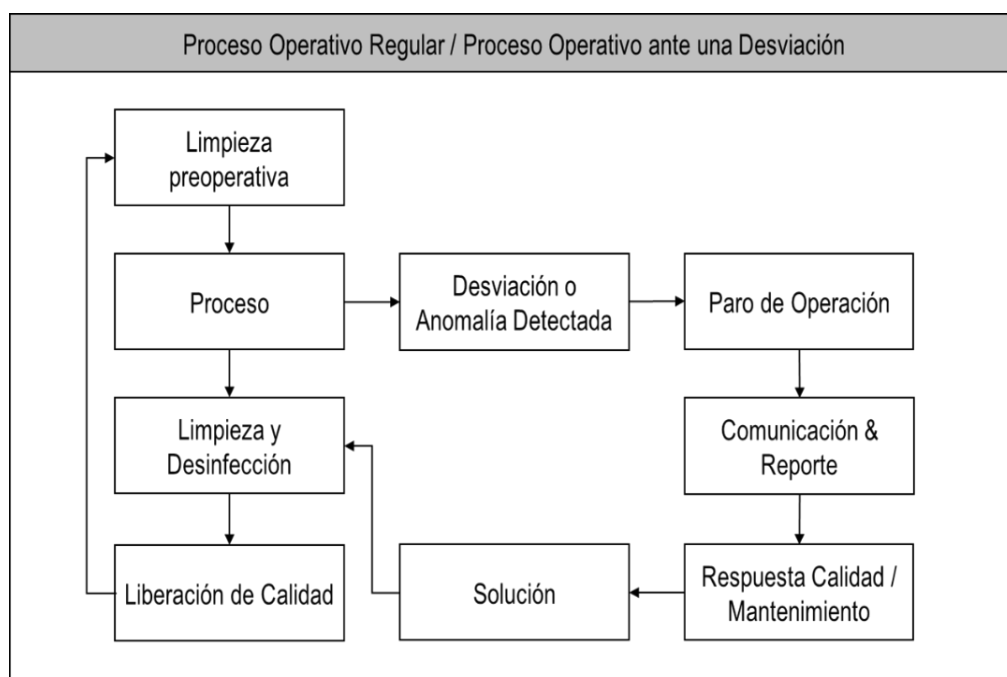
Las tablas y los bolígrafos tuvieron consideraciones para ser seleccionados, por tratarse de la operación con alimentos, se prohibió el uso de lápices dentro de la planta y el uso de tablas de corcho, como resultado, se definió trabajar con los formatos en tablas de

aluminio con un bolígrafo sujetado para eliminar la necesidad de que las personas tuvieran bolígrafos o sus tapas en los bolsillos y la posibilidad de contaminación física causada por la caída accidental de bolígrafos desde los bolsillos, así como aspectos relacionados a la defensa alimentaria.

Las herramientas utilizadas durante la implementación fueron aquellas diseñadas como parte del programa, entre ellas las tablas auxiliares, empleadas para conocer los requisitos de la operación; las hojas individuales de mantenimiento; y los tres calendarios definidos: el calendario principal y los calendarios ajustados por semana y por equipo.

Adicionalmente, se entregaron los diagramas de flujo de las operaciones estandarizadas para las áreas de producción y calidad. A continuación, se presenta el proceso para notificar una desviación en la operación.

Figura 21 *Flujo de operación normal e interrupciones*

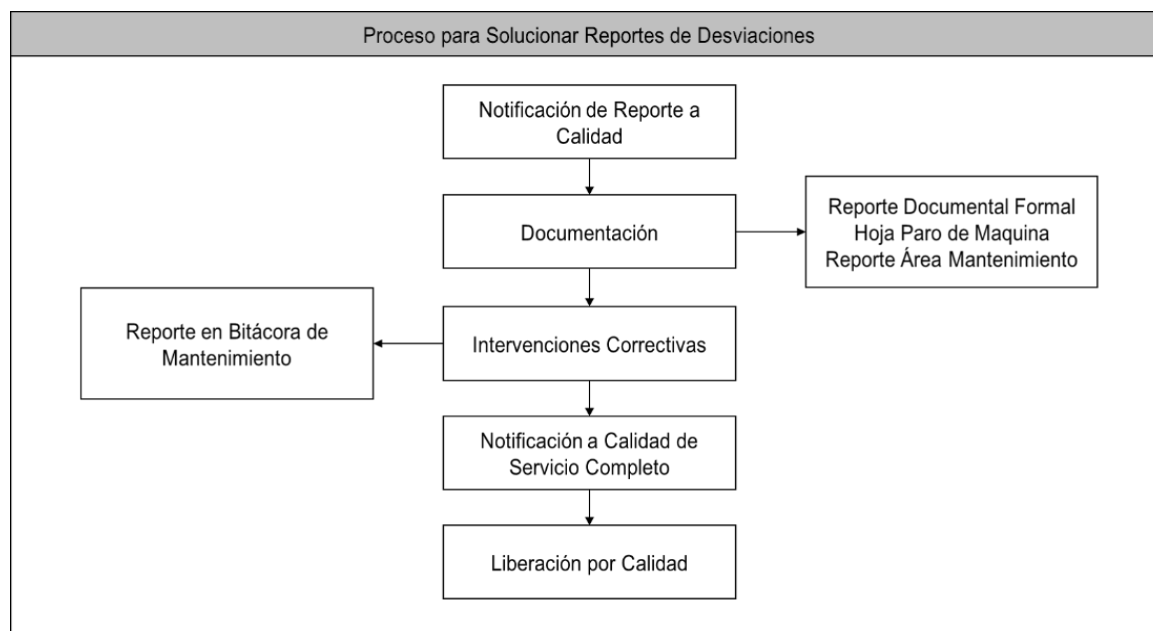


Nota. Elaboración propia.

Esta herramienta fue físicamente colocada en un muro de la aduana sanitaria como guía visual para los operadores de la planta, así mismo se presentó durante una capacitación formal con el fin de reforzar los pasos para realizar la operación e interrupción de equipamiento de forma segura.

Para el área gerencial de producción y calidad se presentó un mapa alternativo de las actividades que especificaba la secuencia de pasos al presentarse una desviación, con el fin de estandarizar el proceso de reacción y documentación.

Figura 22 *Proceso para solucionar reportes de desviaciones*



Nota. Elaboración propia.

Al presentar las herramientas y explicar su propósito dentro de la operación, se formalizó la forma correcta de realizar las acciones posteriores a una desviación, eliminando la incertidumbre y la ambigüedad sobre los responsables y las acciones consecuentes ante la ocurrencia de un paro no programado.

Se solicitó el apoyo de todos los niveles de la organización para notificar defectos en el programa y en sus componentes, así como ajustes al sistema, con el fin de que estos fueran atendidos e implementados durante la etapa de implementación y en las fases posteriores del programa.

La gestión y alineación de expectativas fue un factor que estuvo presente a lo largo de la etapa de la implementación, manejando de forma oportuna las diferentes dudas que surgían de los departamentos principales, para este caso, producción y calidad, generando acuerdos operativos para poder sobrellevar barreras que se encontraron o se pudieran

presentar. Las dos problemáticas principales encontradas fueron, la gestión y reorganización de servicios por falta de cumplimiento de horarios de proveedores externos y la comunicación entre los departamentos y los paros no programados.

La etapa de implementación fue crítica para el programa del mantenimiento y su seguimiento óptimo, durante esta fase, se realizaron ajustes adicionales dentro de la forma de llenado de las herramientas y los formatos, se reevaluar también la forma de expresar y notificar las prioridades semanales y mejorar la coordinación interdepartamental, formando una estructura sólida para delegar, medir y ejecutar las acciones necesarias para el programa, gestionando de forma oportuna y estandarizada los servicios realizados por proveedores externos y las acciones del área operativa.

Capítulo 7

Resultados

Resultados del Diseño y Elaboración del programa

La etapa inicial del programa comenzó formalmente con el diseño de las cinco partes que integran la propuesta del programa (**Figura 7**), así como sus contenidos por módulos o fase (**Figura 8-12**), esta parte formo una base, ya que integró dentro de los cinco módulos los aspectos requeridos para el cumplimiento de la normativa y requisitos de la certificadora IFS, además, integró buenas prácticas y conceptos de la literatura y estándares de la industria.

El programa al considerar los puntos definidos, presento una estructura completa en su contenido y proporcionó una base documentada para su desarrollo y uso como herramienta en la fábrica, mediante los formatos, matrices, registros elaborados y hojas de mantenimiento elaboradas. El mismo proceso de diseño y elaboración mostró información importante para identificar y mitigar fallas potenciales de los equipos e instalaciones, específicamente al conocer y exponer los modos de falla y el análisis de riesgo realizado.

El conocimiento de la normativa y el cumplimiento de ella es la parte fundamental de todo el programa, al recaudar la información documental exigida, y al desarrollar los requisitos exigidos, se generó una estructura que protege a los colaboradores de la empresa, así como a la misma empresa en materia legal. Proporcionando un resultado de evidencia documental relevante para el cumplimiento de los requerimientos del programa certificador, el cual evaluó de forma satisfactoria las condiciones de la planta y su documentación, dando lugar a obtener la certificación deseada.

En materia de la seguridad, el diseño y elaboración del programa generaron un sentido de responsabilidad entre las personas involucradas en su elaboración e implementación. Las adecuaciones realizadas previas a la implementación funcionaron como una mejora al estado de la planta, contribuyendo a disminuir accidentes. Este ejercicio funcionó para reevaluar el estado físico y documental de la planta por parte de la administración, donde se detectó la ausencia de notificación al Instituto Mexicano del Seguro Social y a la compañía aseguradora de la planta, la integración de equipos nuevos que formaban parte de la operación, los cuales deben ser reportados. Generar el esquema del programa facilitó la identificación este aspecto,

así como su consecuente solución. De este mismo modo, se identificaron áreas donde era necesario agregar extintores y áreas donde era requerido reemplazar extintores existentes por extintores adecuados para su tipo de fuego, ambos aspectos fueron atendidos y solucionados de forma oportuna.

En el ámbito energético, el conocimiento generado a partir de la información del programa, resultó útil para identificar condiciones inseguras (contactos eléctricos sin tapa jardinera propensos a salpicaduras de agua) y falta de formalidad como la señalización e identificación correcta de los tableros y pastillas eléctricas, así como la identificación de señales de riesgo. También, el análisis de los aspectos energéticos, permitieron un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, al identificar sobrecarga y uso innecesario de los motores del cuarto frío, seemplazó el cableado original por uno del calibre adecuado, para la distancia y carga demandada, así como la instalación y cambio, en su caso, de capacitores de trabajo y de arranque, reduciendo los picos de consumo al arrancar el compresor.

Sobre las causas y tipo de fallas, el programa dio paso a la detección y anticipación de problemas potenciales y su debida atención antes de causar efectos importantes, aumentando la disponibilidad de la planta, bajo este mismo esquema se identificó un riesgo no considerado por el método de análisis de riesgos: el sistema de análisis de riesgo identifica a los equipos, en este caso las marmitas de cocción y sus motores, estos equipos se incluyen en el análisis de riesgo y se evalúan, sin embargo, no se anticipó la forma en que los motores mantienen su posición de trabajo de forma vertical sobre la marmita, que es mediante tornillos y tuercas, estos tornillos y tuercas fueron reemplazados por tornillos de acero inoxidable, dado que tornillos galvanizados no son adecuados para el trabajo con alimentos, de forma complementaria, se contaron los tornillos y tuercas que el sistema integra, se documentaron y se estableció el prerequisite de contar los tornillos y verificar que estos estuvieran en su posición correcta (por medio de una marca física), reduciendo la posibilidad baja de que alguno se aflojara por completo por vibración y pudiera caer dentro del tanque de cocción.

Resultado de las herramientas creadas

El diseño y la elaboración del programa generó como resultado, en conjunto, una serie de herramientas útiles para realizar la operación diaria y la planeación estratégica. Estas herramientas cumplieron con su función planeada al ser implementadas.

Después de realizar el análisis de riesgos, se formaron los Resultado de Análisis de Peligros y Riesgos (**Tabla 6**), estos resultados proporcionaron información muy valiosa para identificar los elementos del sistema que requieren de mayor atención y consideraciones, al concluir que la falla en los sistemas con mayor puntaje RPN causaría impactos relevantes en el proceso, la seguridad del personal y la inocuidad del producto. Esta observación dio base y justificó la importancia del calendario de mantenimiento.

Con el calendario del programa de mantenimiento en su estado actual (**Figura 16**), se solucionó la incertidumbre sobre la frecuencia en que los elementos del sistema debían ser atendidos, junto con el soporte de las hojas de mantenimiento (**Tabla 9-11**), lo que facilitó la programación con tiempo anticipado de los servicios con los proveedores de servicio externo y estabilizó los puntos a verificar. Anteriormente, era necesario revisar las pólizas individuales para identificar la frecuencia de las intervenciones, donde muchas veces se programaba el servicio en la semana que se debía realizar, como consecuencia, se desfasaba la fecha del servicio o se omitía completamente el servicio. Al contar con el calendario, esta deficiencia fue atendida de modo que las intervenciones se realizaban en el momento correcto y sin influir con la producción.

Calendario de actividades anuales por ítem y Calendario de actividades por semana (**Tabla 13 y 14**) se presenta la estructura de actividades, responsabilidades y flujos de información asociados al programa de mantenimiento higiénico propuesto, lo que permite visualizar de manera ordenada la interacción entre los distintos departamentos involucrados en la operación. A partir de esta organización, es posible identificar cómo la definición clara de roles, conexiones y frecuencias que contribuyen a reducir la ambigüedad operativa y a fortalecer el control del mantenimiento desde una perspectiva sistemática. Estas tablas reflejan como resultado la estandarización de las actividades críticas del mantenimiento, facilitando la trazabilidad de las acciones ejecutadas, así como la identificación de puntos de control relevantes para la higiene y la continuidad operativa. De esta forma, el modelo

propuesto no solo estructura las tareas, sino que también establece un marco de referencia que permite evaluar el cumplimiento del programa y su impacto en la gestión integral del mantenimiento dentro de la organización.

El costeo del programa de mantenimiento, visto en la **Figura 18**, junto con las columnas auxiliares de la **Tabla 12**, generaron información crítica para la creación de la **Figura 20**, donde se expresó la proyección del costo del programa de mantenimiento. Este presupuesto dio una imagen clara para la administración sobre el gasto total por concepto de mantenimiento preventivo, lo que facilitó la agilidad de flujos designados para los servicios y la aprobación de gastos, además, contribuyó a realizar un costeo más sensible del valor unitario de las piezas producidas de producto. Por añadidura, este esquema de costos facilitó el análisis las pólizas, Referente con el tiempo, y el desempeño de los proveedores y los costos de sus servicios, brindando un historial e información útil para el futuro, donde es posible considerar el reemplazo de un proveedor por algún otro en el mercado, con un mejor costo o servicio. La segmentación de elementos, infraestructura, equipamiento general y equipo de manejo de materiales, realizada con el símbolo para identificar categorías de mantenimiento (**Figura 13**) dio forma de conocer el porcentaje en la cual el presupuesto de mantenimiento se distribuye entre los diferentes grupos que conforman el programa de mantenimiento.

Resultados de la aplicación del programa de mantenimiento

Durante un periodo de tres semanas, se monitoreo la aplicación de los formatos preoperativos como parte del requisito previo al inicio de la operación y de las actividades de mantenimiento en la planta. La aplicación se realizó considerando los dos turnos activos de la planta, correspondientes al horario regular de producción (07:00–16:00 h) y a los turnos de cocción fuera de horario (a partir de las 18:00 h). Si bien la aplicación de los formatos forma parte de una regla interna permanente de la empresa, durante el periodo evaluado se presentaron omisiones controladas, asociadas a la carga de trabajo del equipo y priorización de otras actividades requeridas para el proceso de certificación, sin que esto implicara la eliminación del esquema de control.

Los formatos para el día a día en la operación se aplicaron en las áreas de producción (cocción humedad) y forjado (armado seco), cubriendo la totalidad de los equipos esenciales

previamente identificados durante el análisis de riesgos. Para su implementación se utilizaron herramientas distintas por área, adaptados a las condiciones operativas y a los requerimientos específicos de cada proceso. El llenado de los documentos fue realizado principalmente por personal de producción y aseguramiento de calidad, incluyendo registros generados por proveedores de mantenimiento cuando correspondía. En la mayoría de los casos, los registros fueron completados antes del inicio de las actividades diarias, y la evidencia generada se conservó tanto en formato físico como digital, siendo utilizada como respaldo durante procesos de auditoría y supervisión interna.

Las áreas evaluadas mediante el uso de checklist preoperativo incluyeron cocción, caldera, cuarto frío, almacenes, producción, andén, exteriores, paredes, aduana sanitaria, suelos y el área de forjado (armado seco), las cuales fueron revisadas durante el mismo periodo de tres semanas. La evaluación se realizó a partir de un checklist base con ajustes por área, lo que permitió adaptar los criterios de verificación a las condiciones específicas de cada proceso. En todos los casos, la verificación preoperativa consideró de manera consistente las condiciones del área, del equipo y de los utensilios, así como del entorno, incluyendo superficies, paredes, suelos y zonas exteriores. El objetivo del checklist en esta etapa se limitó a la verificación de condiciones previas al arranque, sin extenderse a evaluaciones durante la operación.

Los formatos utilizados fueron diseñados específicamente para el programa, incorporando también elementos adaptados de formatos previamente existentes en la planta. Todos los formatos fueron elaborados en Excel, impresos y llenados de forma manual durante la el día. Posteriormente, los registros se almacenaron en bitácoras físicas, con un proceso de digitalización posterior para respaldo documental. El llenado de los formatos fue realizado por personal de producción en operación, aseguramiento de calidad, mantenimiento, operarios de forjado y encargados de área, incluyendo datos e información de proveedores de mantenimiento. Cada formato incluyó el nombre o firma del responsable, y la validación fue realizada en todos los casos por un auditor de calidad certificado y por el supervisor correspondiente, como parte del esquema de control definido de pre requisitos.

A partir de la revisión de los formatos preoperativos y del checklist de auditoría, se observó que la mayoría de los criterios evaluados fueron cumplidos durante el periodo de análisis. Si bien se registraron desviaciones, estas fueron clasificadas como desviaciones menores. En al menos un caso, una desviación detectada impidió el inicio de la operación, manteniéndose el proceso detenido hasta que la condición fue atendida. No se identificó la repetición de desviaciones entre los distintos formatos aplicados en las áreas evaluadas. Con base en el total de ítems verificados, el nivel de cumplimiento del sistema se ubicó en un rango aproximado del 80 al 85 %, valor que se considera representativo del estado real de las condiciones preoperativas durante el periodo observado.

Las desviaciones detectadas quedaron documentadas mediante observaciones escritas en los formatos correspondientes y dieron lugar a acciones correctivas inmediatas. Entre las acciones implementadas se incluyeron actividades de limpieza, ajustes de equipo, mantenimiento o reparación, así como acciones de capacitación, según la naturaleza de la desviación. El seguimiento de estas acciones cuenta con evidencia documental verificable, respaldada por bitácoras firmadas con registro de hora de inicio y término, registros de mantenimiento y documentación asociada a los procesos de certificación, lo que permitió asegurar la trazabilidad entre la detección de la desviación y su atención

Los hallazgos derivados del checklist preoperativo se vincularon directamente con actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, incluyendo, en casos específicos, el reemplazo de equipos. Se identificó trazabilidad entre los hallazgos registrados y las actividades de mantenimiento ejecutadas. Como ejemplos representativos, se documentó la presencia de charcos de agua asociada a grietas en el suelo, humedad en paredes relacionada con pintura incompleta, así como la detección de ruidos, olores o vibraciones vinculados a condiciones de combustión incompleta o fallas mecánicas. El checklist se utiliza de forma diaria por operación, complementándose con inspecciones diarias y revisiones mensuales, como parte del esquema de control establecido.

En relación con la estandarización del sistema, se observó que el personal involucrado comprende el uso y el llenado de los formatos preoperativos. No obstante, durante el periodo evaluado se detectaron formatos llenados después de la operación, así como formatos sin firma e incompletos, los cuales fueron atendidos posteriormente conforme al procedimiento

definido. El uso sistemático del formato permitió identificar situaciones que previamente no se registraban de manera formal, tales como solicitudes de mantenimiento, reportes de desviaciones y la retención temporal de equipos, fortaleciendo el control y la trazabilidad del sistema.

En conjunto, los resultados de la aplicación del programa muestran que el uso de formatos preoperativos, en integración con el sistema de mantenimiento, permite contar con evidencia documental verificable sobre el estado preoperativo de las áreas evaluadas. Esta información respalda de manera objetiva la toma de decisiones para el inicio de la operación y facilita el seguimiento de las actividades ejecutadas. Con base en el periodo evaluado, el sistema se considera suficiente para el tamaño actual de la planta; sin embargo, se reconoce que, ante un crecimiento en la producción o un aumento en la complejidad del proceso, será necesario realizar ajustes al esquema de control y seguimiento, a fin de mantener su efectividad y trazabilidad.

Capítulo 8

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones Generales del Proyecto

El desarrollo de la presente investigación permitió concluir que el diseño del programa de mantenimiento higiénico cumple con los requerimientos técnicos y normativos aplicables a una planta de alimentos, al integrar de manera estructurada los aspectos de mantenimiento, inocuidad y operación. La construcción del programa partió de los elementos críticos exigidos por la normativa de certificación y de los prerequisites operativos, lo que dio lugar a una base documental verificable y consistente. La integración de los distintos módulos mediante códigos y vínculos entre documentos facilitó la trazabilidad interna del sistema, reduciendo la dispersión de la información y favoreciendo su consulta y uso dentro del entorno operativo.

Desde el punto de vista del diseño, el programa se estructuró para que pudiera ser comprendido y aplicado por el personal operativo sin requerir interpretaciones adicionales. La definición explícita de prioridades —seguridad, inocuidad y producción, en ese orden— estableció un marco claro para la toma de decisiones dentro del sistema. Asimismo, el enfoque sistémico adoptado permitió que el mantenimiento dejara de entenderse como una actividad aislada y se integrara de forma natural a la operación diaria y al control de los riesgos necesarios.

En relación con la implementación en planta, se concluye que el programa pudo aplicarse de manera consistente en las áreas evaluadas, sin interrumpir de forma sistemática la operación. Si bien se presentaron excepciones puntuales, estas no afectaron el funcionamiento general del sistema; por el contrario, permitieron evidenciar su carácter dinámico y adaptable. Las brechas identificadas entre el diseño teórico y la realidad operativa no provocaron el colapso del programa, sino que confirmaron que el sistema está orientado a medir desviaciones de cumplimiento, compararlas contra el estado esperado y generar información objetiva para su gestión, sin depender de un cumplimiento idealizado.

Los ajustes realizados durante la implementación no modificaron la estructura base del programa y se limitaron a mejoras operativas y de comunicación entre áreas. Esta flexibilidad facilitó la aplicación del sistema sin comprometer su diseño original, lo que permitió adaptarlo a las condiciones reales de la planta sin perder coherencia ni trazabilidad. En conjunto, la implementación validó la viabilidad operativa del modelo propuesto bajo las condiciones actuales de la empresa.

En términos de cumplimiento y control, se concluye que el sistema permite verificar de forma objetiva las condiciones preoperativas de las áreas y de los equipos, así como respaldar la toma de decisiones respecto al inicio de la producción. El nivel de cumplimiento observado se considera representativo del estado real de la planta, ya que refleja tanto los aciertos como las desviaciones presentes en la operación durante el periodo evaluado. La capacidad del sistema para identificar desviaciones antes del arranque de la producción y generar evidencia documental verificable constituye un elemento clave para su utilidad operativa y para su evaluación en contextos de auditoría.

Sobre la prevención y la gestión del riesgo, el programa permitió anticipar fallas potenciales asociadas a la inocuidad, la seguridad y la producción, reforzando un enfoque preventivo por encima de uno exclusivamente correctivo. Las desviaciones detectadas se vincularon con riesgos reales del proceso, y su atención contribuyó a reducir la dependencia de acciones no planificadas. No obstante, el sistema conserva la capacidad de reaccionar ante desviaciones cuando estas se presentan, manteniendo como prioridad permanente la seguridad y la inocuidad, consideradas condiciones no negociables dentro de la operación.

La integración del checklist preoperativo con el sistema de mantenimiento permitió traducir los hallazgos identificados en acciones documentadas de mantenimiento preventivo y correctivo, estableciendo una trazabilidad clara entre la detección, la acción ejecutada y el registro correspondiente. Este vínculo facilitó la priorización de actividades en función del riesgo y consolidó al mantenimiento como un componente activo del sistema de inocuidad, más allá de su función técnica tradicional. En este sentido, el mantenimiento se posiciona como un elemento clave para el control de las condiciones previas al inicio de la producción.

En el ámbito organizacional, el uso de formatos estandarizados contribuyó a uniformar la forma de inspeccionar y verificar las condiciones operativas, reduciendo la

dependencia del criterio individual del operador. La aplicación del sistema proporcionó herramientas visibles para identificar fallas humanas y de disciplina operativa, así como para mejorar el orden y la trazabilidad de la información generada. Este ordenamiento facilita la continuidad operativa en escenarios de rotación de personal y fortalece la gestión documental asociada al mantenimiento higiénico.

En cuanto a la viabilidad del sistema, se concluye que el programa es compatible con los recursos actuales de la planta y con la dinámica de la operación diaria, sin generar una carga administrativa excesiva. Su diseño resulta adecuado para el tamaño actual de la empresa y puede mantenerse en el tiempo, siempre que exista un seguimiento continuo por parte de la administración. No obstante, se identifican límites claros en su aplicación, particularmente en lo relacionado con la supervisión transversal del sistema y la necesidad de verificar que los formatos no solo existan, sino que se utilicen y se llenen de manera correcta y consistente.

Finalmente, en términos de escalabilidad, se concluye que el sistema requeriría ajustes ante un incremento en el volumen de producción o en la complejidad operativa, especialmente en aspectos como el calendario de mantenimiento, la asignación de recursos y la frecuencia de las actividades. El diseño del programa no persigue una complejidad máxima, ya que la medición y el análisis detallado de los datos operativos constituyen por sí mismos un campo de estudio independiente. En su lugar, el modelo prioriza la intuición operativa y la facilidad de uso, evitando complicaciones innecesarias en la operación diaria. Bajo estas condiciones, el programa desarrollado cumple con el objetivo general de la investigación y se consolida como una herramienta técnica y operativa que facilita la comunicación con la administración y fortalece la gestión del mantenimiento higiénico en la planta.

Recomendaciones Operativas

Se recomienda mantener revisiones periódicas del programa de mantenimiento, preferentemente de forma trimestral, una vez que el sistema se encuentre implementado y en práctica diaria, con el objetivo de evaluar su desempeño y realizar ajustes en función del comportamiento real de los equipos. Dichas revisiones deben enfocarse principalmente en el ajuste de frecuencias de intervención, horarios de mantenimiento y actualización de formatos, incorporando consideraciones operativas que no hayan sido contempladas durante el diseño inicial, a fin de asegurar que el programa se mantenga actualizado y alineado a las condiciones reales de la planta.

Asimismo, se recomienda documentar de manera sistemática las desviaciones detectadas durante la ejecución del programa y utilizar esta información como un insumo para la retroalimentación hacia las áreas de producción y calidad, fortaleciendo el enfoque de mejora continua. Esta retroalimentación resulta relevante para reducir la repetición de desviaciones, mejorar la visibilidad del estado del sistema y asegurar la permanencia del programa dentro de la actividad diaria. Adicionalmente, se sugiere robustecer el esquema de proveedores alternos para actividades críticas de mantenimiento y suministro de refacciones, con el fin de reducir riesgos.

Desde el punto de vista tecnológico, la adopción futura de herramientas digitales, como sistemas CMMS, puede contribuir a mejorar el control, la trazabilidad y el análisis de la información generada por el programa, complementando el uso actual de herramientas de registro y programación. Finalmente, se recomienda fomentar una cultura organizacional orientada al mantenimiento y la seguridad, en la que las actividades preventivas se comprendan como una inversión para la estabilidad operativa. El fortalecimiento del programa de mantenimiento higiénico y de las buenas prácticas de manufactura puede servir, además, como soporte para avanzar hacia niveles superiores de certificación IFS, al demostrar control, trazabilidad y un enfoque preventivo en la gestión de los equipos.

Líneas Futuras de Investigación

Como línea futura de investigación, se propone la incorporación de técnicas de mantenimiento predictivo que permitan anticipar fallas a partir del análisis de datos operativos. Realizar una evaluación comparativa antes–después del programa, considerando un periodo de al menos doce meses, que permita cuantificar con mayor precisión su impacto en la operación.

Otra línea de interés es la medición del impacto energético como consecuencia de las mejoras en el mantenimiento, considerando enfoques como los propuestos por Doty y Turner, así como la aplicación del modelo desarrollado en otras plantas o sectores industriales. Estas líneas de investigación permitirán ampliar el alcance del trabajo y validar la adaptabilidad del modelo a distintos contextos productivos.

Referencias bibliográficas

- Chandimali, N., Kaur, M., & Singh, A. (2021). Hygiene control and environmental monitoring strategies in food manufacturing systems. *Journal of Food Safety*, 41(6), e12965.
- Chandimali, N., Singh, A., & Kaur, M. (2023). Integrated hygiene management approaches for food processing environments. *Food Control*, 147, 109604.
- Doty, S., & Turner, W. C. (2009). *Energy management handbook* (7th ed.). The Fairmont Press.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: A modern approach*. CRC Press.
- Food and Agriculture Organization. (2011). *Manual on food safety practices in food processing plants*. FAO.
- García Garrido, J. (2012). *Gestión del mantenimiento industrial*. Ediciones Díaz de Santos.
- Hastings, N. (2010). *Physical asset management*. Springer.
- International Nuclear Safety Advisory Group. (2002). *Key practical issues in strengthening safety culture* (INSAG Series No. 15). International Atomic Energy Agency.
- Ishikawa, K. (1968). *Guide to quality control*. Asian Productivity Organization.
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224:2016 – Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 22000:2018 – Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55000:2014 – Asset management — Overview, principles and terminology*. ISO.
- Izquierdo, J. (2022). Hygienic design and operational control in food processing facilities. *Food Engineering Magazine*.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's quality handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Kelly, A. (1997). *Maintenance and its management*. Butterworth-Heinemann.
- Kelly, A. (2006). *Maintenance strategy: Business-centred maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Kelly, A., & Harris, M. J. (1978). *Management of industrial maintenance*. Butterworth-Heinemann.

- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance II (RCM II)*. Industrial Press.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Nelson-Jameson. (2021). Preventive maintenance and sanitation programs as pillars of food safety culture. *Food Manufacturing*.
- Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability-centered maintenance*. U.S. Department of Defense.
- Occupational Safety and Health Administration. (2021). *Safety and health in food manufacturing*. U.S. Department of Labor.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia Et Technica*, 16(44), 354–356.
- Organización Panamericana de la Salud. (2016). *Higiene y manipulación de alimentos*. OPS.
- Society for Maintenance & Reliability Professionals. (2019). *Body of Knowledge (BoK)*. SMRP.
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. (2004). *RCM: Gateway to world class maintenance*. Elsevier.
- Smith, R., & Mobley, K. (2008). *Rules of thumb for maintenance and reliability engineers*. Butterworth-Heinemann.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. ASQ Press.
- Thumann, A., & Younger, W. J. (2008). *Handbook of energy audits* (7th ed.). The Fairmont Press.
- Trigueros Fallas, G. (2021). *Mantenimiento industrial*. Universidad San Marcos.
- Wireman, T. (2004). *Developing performance indicators for maintenance*. Industrial Press.
- Wireman, T. (2013). *Preventive maintenance*. Industrial Press.

Apéndices.

A) Marco Normativo del Proyecto

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (n.d.). ASHRAE standards and guidelines for HVAC and refrigeration systems. ASHRAE.
- Codex Alimentarius Commission. (2003). Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) system and guidelines for its application. FAO/WHO.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (n.d.). Normas de eficiencia energética (NOM-ENER). CONUEE.
- Comisión Reguladora de Energía. (2019). Código de Red — Reglas del mercado eléctrico y requerimientos técnicos para usuarios y centros de carga. CRE.
- International Featured Standards. (2020). IFS Global Markets Food — Version avanzada. IFS Management GmbH.
- International Organization for Standardization. (2009). ISO/TS 22002-1:2009, Prerequisite programmes on food safety — Part 1: Food manufacturing. ISO.
- International Organization for Standardization. (2014). ISO 55001:2014, Asset management — Management systems — Requirements. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 22000:2018, Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. ISO.
- Secretaría de Salud. (1994). NOM-120-SSA1-1994, Bienes y servicios — Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos. Gobierno de México.
- Secretaría de Salud. (2009). NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. Gobierno de México.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (1998). NOM-005-STPS-1998, Manejo y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Gobierno de México.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo — Condiciones de seguridad. Gobierno de México.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal — Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Gobierno de México.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene. Gobierno de México.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2010). NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad — Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Gobierno de México.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2011). NOM-019-STPS-2011, Constitución, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. Gobierno de México.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2011). NOM-029-STPS-2011, Mantenimiento de instalaciones eléctricas en los centros de trabajo. Gobierno de México.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2021). NOM-004-STPS-2021, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en maquinaria y equipo. Gobierno de México.

B) Documentos Utilizados

Ejemplo para documentar verificaciones diarias.

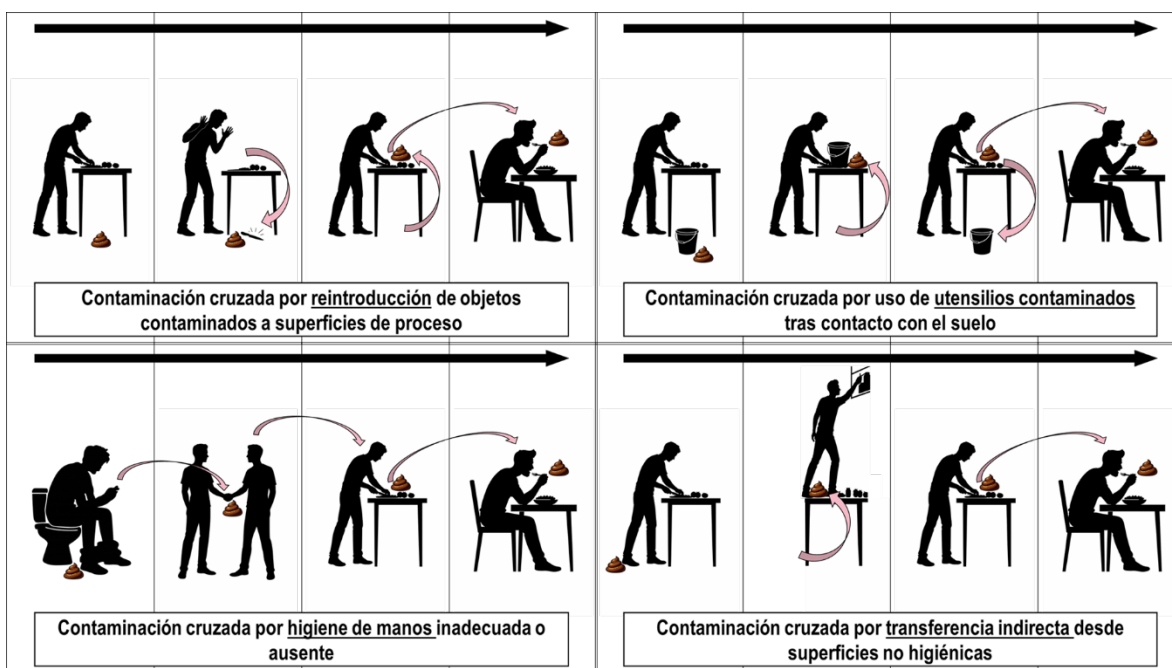
CHECKLIST PREOPERATIVO DEL ÁREA

Área:		Producto:		Fecha:		Turno:	
Responsable:		Supervisor:				Supervisor:	

Sección	Ítem	Descripción	Cumple (Sí/No)		Observaciones
Condiciones del área					
1.1	Condiciones del área	Área libre de residuos visibles	☐	☐	
1.2	Condiciones del área	Pisos limpios y secos	☐	☐	
1.3	Condiciones del área	Paredes y superficies limpias	☐	☐	
1.4	Condiciones del área	Iluminación adecuada	☐	☐	
1.5	Condiciones del área	Ventilación adecuada	☐	☐	
Limpieza y desinfección					
2.1	Limpieza y desinfección	Equipos limpios antes de operación	☐	☐	
2.2	Equipos y herramientas	Guardas y protecciones instaladas	☐	☐	
2.3	Equipos y herramientas	Herramientas en buen estado	☐	☐	
2.4	Equipos y herramientas	Ausencia de restos sueltos o dañados	☐	☐	
Equipos y herramientas					
4.1	Seguridad e inocuidad	No se identifican riesgos físicos evidentes	☐	☐	
4.2	Seguridad e inocuidad	Señalización visible y en buen estado	☐	☐	
4.3	Seguridad e inocuidad	Equipo de protección personal disponible	☐	☐	
5.1	Personal	Personal con uniforme limpio	☐	☐	
6.2	Liberación preoperativa	No existen desviaciones críticas abiertas	☐	☐	

Responsable de verificación: Nombre y firma: _____	Supervisor: Nombre y firma _____	Hora de liberación: _____
--	----------------------------------	---------------------------

Guía visual para capacitación.



Ejemplo Registro de uso de máquinas.

Bitácora de Operación y Limpieza de Equipos													
Operación													
Responsable													
Fecha													
Hora Inicio													
Hora Fin													
Marcar con una paloma													
Equipo	Uso												
Caldera													
Extractor													
Marmita 1													
Marmita 2													
Marmita 3													
Marmita 4													
Lotes Trabajados	Códigos												
Leche													
Pulpa													
Limpieza													
Hora Inicio													
Hora Fin													

Ejemplo de Tarjeta de Bloqueo de Equipos

FUERA DE SERVICIO

-- -- -- -- --

EN MANTENIMIENTO

Responsable

Motivo

Fecha



****No Retirar Etiqueta****

FUERA DE SERVICIO

-- -- -- -- --

RETENIDO

Responsable

Motivo

Fecha



****No Retirar Etiqueta****

FUERA DE SERVICIO

-- -- -- -- --

NO OPERAR

Responsable

Motivo

Fecha



****No Retirar Etiqueta****

Ejemplo de Solicitud para mantenimiento

Solicitud de Mantenimiento	
Solicita:	
Fecha:	
Folio:	
Detalle	Descripción
Mapa del Área: (Dibujo)	
Notas	
Fecha de Solicitud	
Firma de Conformidad	

Ejemplo de auditoría interna para el programa

Sección	No.	Pregunta	Tipo de respuesta	Respuesta	Observaciones
Formatos	1	¿Existe un formato preoperativo definido y estandarizado?	Sí / No	Sí	
	2	¿El formato preoperativo incluye criterios de limpieza?	Sí / No	Sí	
	3	¿El formato preoperativo incluye criterios de seguridad?	Sí / No	Sí	
	4	¿El formato preoperativo incluye criterios de inocuidad?	Sí / No	Sí	
	5	¿El formato identifica claramente área y producto?	Sí / No	Sí	
	6	¿El formato incluye nombre del responsable?	Sí / No	Sí	
	7	¿El formato incluye firma o validación del supervisor?	Sí / No	Sí	
Uso de formatos	8	¿Cuántos formatos preoperativos se utilizaron?	Número	2	Proceso con humedad / Proceso Seco
	9	¿El número de formatos coincide con los días/turnos operados?	Sí / No	Sí	
	10	¿Existen formatos incompletos?	Sí / No	Sí	
	11	¿Se detectaron formatos sin firma?	Sí / No	Sí	
Control y seguimiento	12	¿Las desviaciones registradas generaron una acción correctiva?	Sí / No	Sí	
	13	¿Las acciones correctivas quedaron documentadas?	Sí / No	Sí	
Integración al mantenimiento	14	¿En el estado preoperativo se analizaron desviaciones?	Sí / No	Sí	Bitácoras de plagas
Estandarización	15	¿El formato es el mismo para toda el área evaluada?	Sí / No	No	
	16	¿El personal fue capacitado en el uso del formato?	Sí / No	Sí	
	17	¿El formato es claro y fácil de interpretar?	Sí / No	Sí	
Evaluación del sistema	18	¿El sistema de formatos permite evaluar la validación?	Sí / No	Sí	
	19	¿El sistema de formatos es suficiente para la operación actual?	Sí / No	Sí	