

PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL ASOCIADA A LA  
I4.0 EN UNA COMPAÑÍA DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS

INFANTE VALBUENA DIEGO FERNANDO  
VERTEL PESTANA JUAN SEBASTIAN

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.

2024

PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL ASOCIADA A LA  
I4.0 EN UNA COMPAÑÍA DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS

INFANTE VALBUENA DIEGO FERNANDO  
VERTEL PESTANA JUAN SEBASTIAN

PROYECTO DE GRADO (MONOGRAFÍA) PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
MECATRÓNICO

Director:

ALVAREZ CELY JOHN MONZAIDE

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ D.C.

2024

Nota de Aceptación:

El trabajo de grado, titulado “**PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL ASOCIADA A LA I4.0 EN UNA COMPAÑÍA DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS.**”

elaborado y presentado por los estudiantes **DIEGO INFANTE Y JUAN SEBASTIAN VERTEL**, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecatrónico, fue aprobado por el Jurado Calificador

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá D.C. Fecha de 2024

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han hecho posible la realización de este proyecto.

En primer lugar, agradecemos a Dios, por su guía, fortaleza y bendiciones, que han sido nuestro refugio y apoyo constante en cada paso de este camino. A nuestros padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y su confianza en nuestras capacidades, que han sido la base sobre la cual hemos construido nuestros sueños.

A nuestros profesores y mentores, quienes, con su conocimiento, orientación y paciencia, nos han proporcionado las herramientas necesarias para enfrentar y superar los desafíos académicos y profesionales. Su dedicación y compromiso con nuestra educación han sido fundamentales para nuestro crecimiento.

A nuestras familias, por su comprensión, apoyo emocional y constante ánimo durante los momentos más difíciles. Su paciencia y sacrificio han sido vitales para alcanzar nuestras metas. A nuestros compañeros de estudio y amigos, por su camaradería, apoyo moral y colaboración constante. Su presencia ha hecho de este viaje una experiencia enriquecedora y gratificante.

A las instituciones y empresas que nos brindaron acceso a la información y los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto. Su colaboración y disposición han sido esenciales para el desarrollo de nuestra investigación.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al éxito de este proyecto. Su apoyo y motivación nos han impulsado a esforzarnos y a seguir adelante.

## RESUMEN

El siguiente documento tiene como objetivo proponer una estrategia de mantenimiento industrial aplicando tecnologías emergentes de la Industria 4.0 (I4.0) a la industria de fabricación de empaques plásticos. La finalidad es mejorar indicadores de mantenimiento, reducir costos y aumentar la competitividad de la compañía que se tomó como muestra para esta monografía. Para lograrlo, se consultaron diferentes tecnologías avanzadas y su aplicabilidad en el mantenimiento industrial, tales como el Internet de las Cosas (IoT), el mantenimiento predictivo, y la inteligencia artificial (IA).

Se empleó una metodología mixta que incluyó una revisión de literatura, análisis de indicadores históricos del año 2023, suministrados por empresa del sector de fabricación de empaques plásticos y consultas con involucrados en el proceso de mantenimiento y producción.

Los resultados muestran que la implementación de estas tecnologías puede reducir significativamente los tiempos de inactividad y los costos de mantenimiento, además de optimizar la producción.

Las conclusiones sugieren que, aunque la inversión inicial puede ser alta, el retorno de inversión (ROI) es considerable en un periodo de cinco años, justificando la adopción de tecnologías I4.0 en la compañía.

**Palabras clave:** Industria, mantenimiento, máquina, producción, tecnología.

## ABSTRACT

The following document aims to propose an industrial maintenance strategy applying emerging technologies from Industry 4.0 (I4.0) to the plastic packaging manufacturing industry. The goal is to improve maintenance indicators, reduce costs, and increase the competitiveness of the company chosen as a sample for this monograph. To achieve this, various advanced technologies and their applicability in industrial maintenance were reviewed, such as the Internet of Things (IoT), predictive maintenance, and artificial intelligence (AI).

A mixed methodology was employed, including a literature review, analysis of historical indicators from the year 2023 provided by a company in the plastic packaging manufacturing sector, and consultations with those involved in the maintenance and production process.

The results show that the implementation of these technologies can significantly reduce downtime and maintenance costs, as well as optimize production.

The conclusions suggest that, although the initial investment may be high, the return on investment (ROI) is considerable over a period of five years, justifying the adoption of I4.0 technologies in the company.

**Keywords:** Industry, machine, maintenance, production, technology.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	12
1. PROBLEMA .....	14
1.1. Definición del Problema. ....	14
1.2. Pregunta y/o afirmación de la Investigación. ....	18
2. JUSTIFICACIÓN .....	19
3. OBJETIVOS .....	22
3.1. Objetivo General .....	22
3.2. Objetivos Específicos .....	22
4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	23
4.1. Alcances .....	23
4.2. Limitaciones .....	23
5. MARCO REFERENCIAL .....	24
5.1. Estado del Arte .....	24
5.1.1. Antecedentes Nacionales. ....	24
5.1.2. Antecedentes Internacionales.....	26
5.2. Marco Histórico. ....	27
5.3. Marco Teórico y/o Técnico .....	30
5.4. Marco Conceptual. ....	37
5.5. Marco Geográfico.....	39
5.6 Marco Legal. ....	40
5.6.1 Legislación.....	40
5.6.2. Normas .....	41
6. DISEÑO METODOLÓGICO. ....	42
6.1 Tipo de Investigación .....	42
6.2 Enfoque de Investigación .....	42
6.3 Hipótesis, Variables e Indicadores. ....	42
6.4 Universo y Población .....	43
6.5 Muestra.....	43
6.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. ....	44
6.7 Procedimiento y Fases.....	45

7.	RESULTADOS .....	48
7.1	Objetivo No. 1 .....	48
7.2	Objetivo No. 2 .....	57
7.3	Objetivo No. 3 .....	67
8.	CONCLUSIONES.....	73
9.	RECOMENDACIONES .....	74
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	75
11.	ANEXOS.....	80

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Aumento exportaciones, sectores plásticos .....	15
<b>Figura 2.</b> Aumento Inversión, sectores plásticos. ....	15
<b>Figura 3.</b> Aportes a la economía del sector plástico .....	16
<b>Figura 4.</b> Porcentaje de fallas Mto. ....	17
<b>Figura 5.</b> Revolución industrial .....	28
<b>Figura 6.</b> Línea de tiempo estrategias de mantenimiento. ....	29
<b>Figura 7.</b> Ubicación, Tocancipa-Cundinamarca. ....	39
<b>Figura 8.</b> Metodología DMAIC .....	45
<b>Figura 9.</b> Disponibilidad de equipos acumulado 2023.....	49
<b>Figura 10.</b> MTBF y MTTR del área de mantenimiento acumulado año 2023. ....	51
<b>Figura 11.</b> Metas de confiabilidad de equipos para el año 2023. ....	51
<b>Figura 12.</b> Clasificación de tipos de falla. ....	52
<b>Figura 13.</b> Mantenimiento predictivo motores .....	68
<b>Figura 14.</b> IoT en la industria .....	70
<b>Figura 15.</b> Sistema de control, Termoformadora 70K .....	71

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Hipótesis .....	43
<b>Tabla 2.</b> Datos de disponibilidad de equipos, 2023 .....	49
<b>Tabla 3.</b> Datos de MTBF, 2023 .....	50
<b>Tabla 4.</b> Datos de MTTR, 2023 . .....	50
<b>Tabla 5.</b> Falla por obsolescencia de equipos, mayo 2023 .....	53
<b>Tabla 6.</b> Falla por obsolescencia de equipos, diciembre 2023.....	54
<b>Tabla 7.</b> Falla por daño en motores, noviembre 2023.....	54
<b>Tabla 8.</b> Continuidad daño motor, noviembre 2023.....	55
<b>Tabla 9.</b> Daños colaterales por avería del motor, noviembre 2023. ....	56
<b>Tabla 10.</b> Beneficios potenciales .....	60
<b>Tabla 11.</b> Características técnicas .....	61
<b>Tabla 12.</b> Aplicabilidad .....	62
<b>Tabla 13.</b> Desafíos y limitaciones .....	63
<b>Tabla 14.</b> Retorno de Inversión (ROI) .....	64
<b>Tabla 15.</b> Evaluación de tecnologías .....	65
<b>Tabla 16.</b> Sensores de vibración .....	69
<b>Tabla 17.</b> Cámaras termográficas .....	70
<b>Tabla 18.</b> Check list mantenimiento basado en I4.0.....	72

## LISTA DE ACRONIMOS

PP: Polipropileno

PE: Poliestireno

PET: Tereftalato de polietileno

MM: Millones

COP: Pesos colombianos

USD: dólar estadounidense

Mtto: Mantenimiento

I4.0: Industria 4.0

Ton: Toneladas

HR: Hora

IoT: Internet de las cosas

## INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 ha revolucionado la forma en que las empresas gestionan sus procesos productivos y de mantenimiento. La integración de nuevas tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el mantenimiento predictivo y estrategias de mantenimiento, basados en TPM y RCM, han permitido mejoras significativas en la eficiencia operativa y la reducción de tiempos de inactividad. Este documento se centra en proponer una estrategia de mantenimiento industrial basada en la Industria 4.0 en una compañía de fabricación de empaques plásticos, explorando las tecnologías más adecuadas para este entorno específico.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad del área de mantenimiento para dar cumplimiento a la meta de mantener la operación de la planta en un 95%. La adopción de tecnologías de la Industria 4.0 no solo promueve la eficiencia y la reducción de costos, sino que también facilita la sostenibilidad y la adaptabilidad a las demandas cambiantes del mercado. Por lo tanto, es crucial identificar y evaluar las tecnologías que ofrecen los mayores beneficios y menor complejidad de implementación.

El propósito de esta monografía es comparar diversas tecnología y estrategias de mantenimiento industrial que puedan ser adaptadas en la fabricación de empaques plásticos. Se busca clasificar estas tecnologías según su aplicabilidad y beneficios potenciales, proporcionando un marco de referencia para las empresas del sector que deseen adoptar la Industria 4.0 en sus operaciones de mantenimiento.

Este estudio se basa en un enfoque mixto que combina revisiones bibliográficas de artículos académicos, estudios de caso y análisis de informes industriales. Se utilizarán criterios específicos para la selección y comparación de tecnologías, como la facilidad de implementación, adaptabilidad, complejidad de integración, costo y tiempo de implementación. La metodología

incluye el uso de técnicas de análisis y comparación para evaluar las tecnologías seleccionadas.

Las conceptualizaciones básicas necesarias para el desarrollo del proyecto incluyen definiciones de términos clave como Industria 4.0, mantenimiento predictivo, IoT y automatización. Estos conceptos proporcionan el contexto teórico y práctico para entender la relevancia y el impacto potencial de los procesos evaluados.

El documento está estructurado en varios capítulos. El primer capítulo proporciona una visión general del tema y la importancia de la revisión. El segundo capítulo detalla la metodología utilizada para la selección y comparación de tecnologías. El tercer capítulo presenta las tecnologías emergentes y avanzadas seleccionadas, mientras que el cuarto capítulo se centra en la evaluación de su aplicabilidad y beneficios potenciales. Finalmente, el quinto capítulo discute los resultados y ofrece recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio.

## 1. PROBLEMA

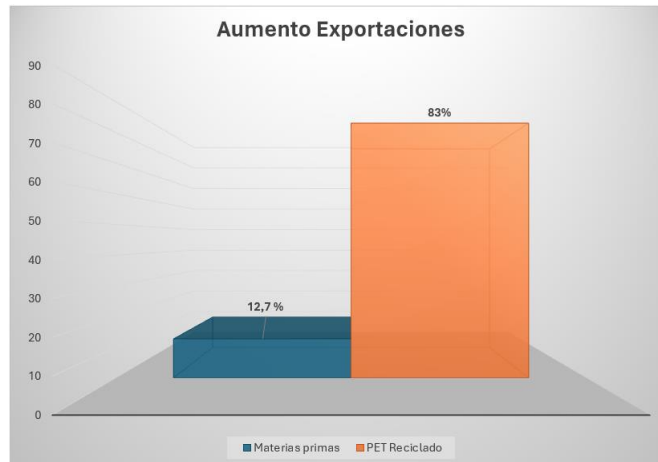
### 1.1. Definición del Problema.

La industria del plástico tuvo un descenso en sus cifras en el primer trimestre del año 2023, debido a un detenimiento de la demanda post pandemia (2021-2022), ya que durante este tiempo la compra de alimentos para consumir en espacios privados era predominante, posterior a esto en el último trimestre del 2022 se dio acumulación de inventarios debido a la finalización del confinamiento que trajo consigo una disminución en cuanto a la demanda de empaques plásticos.

A partir del 2023 este panorama ha vuelto a mejorar para este sector de la industria, tal como lo afirma Daniel Mitchell, presidente de Acoplásticos (2023), "la industria viene creciendo de manera importante en aspectos como la inversión en maquinaria y equipo para ampliar capacidad y modernizar los equipos. Adicional a esto, la generación de empleo se mantiene en una senda positiva, así como los esfuerzos que se vienen realizando por continuar avanzando de manera acelerada en la transformación hacia la economía circular".

A continuación, se observa algunos datos sobre el balance de la industria del plástico en Colombia para el año 2023, los cuales muestran el crecimiento que se está teniendo en este sector.

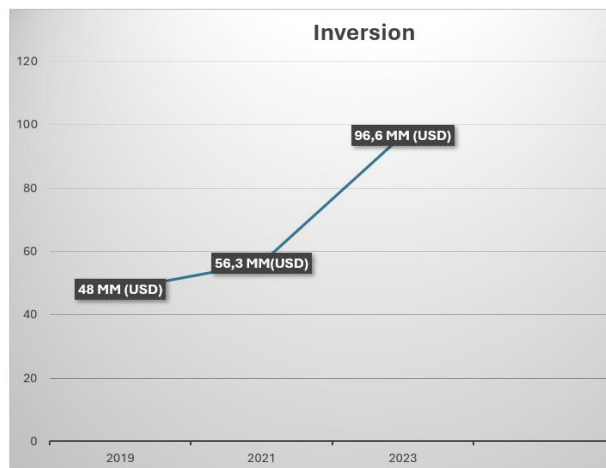
**Figura 1.**  
*Aumento exportaciones, sectores plásticos.*



**Nota.** Datos tomados de, *(Balance Anual de la Industria del Plástico En Colombia: Aporte Sostenible y Desafíos Para el Futuro, 2023)*

En la figura 1. Se observa que para el año 2023 hubo un aumento en las exportaciones de plástico, el material PET reciclado fue el que mayor crecimiento tuvo en un 83% con respecto al 2022.

**Figura 2.**  
*Aumento Inversión, sectores plásticos.*

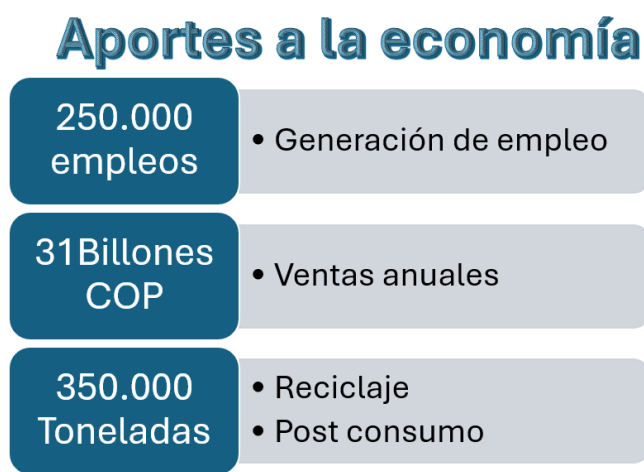


**Nota.** Datos tomados de, *(Balance Anual de la Industria del Plástico En Colombia: Aporte Sostenible y Desafíos Para el Futuro, 2023)*

A pesar de que en los últimos años la inversión en las industrias de plástico había venido en crecimiento, para el año 2023 se vio una inversión que alcanzó 96,6 millones de dólares lo que significa que el sector plástico creció en pasos agigantados tal como se observa en la figura anterior.

Este crecimiento aporta de manera positiva a la economía colombiana, generando empleo para la producción de 350.000 toneladas al año, que generaron 31 Billones de pesos colombianos en ventas para el año 2023.

**Figura 3.**  
*Aportes a la economía del sector plástico.*



**Nota.** Datos tomados de, *(Balance Anual de la Industria del Plástico En Colombia: Aporte Sostenible y Desafíos Para el Futuro, 2023)*

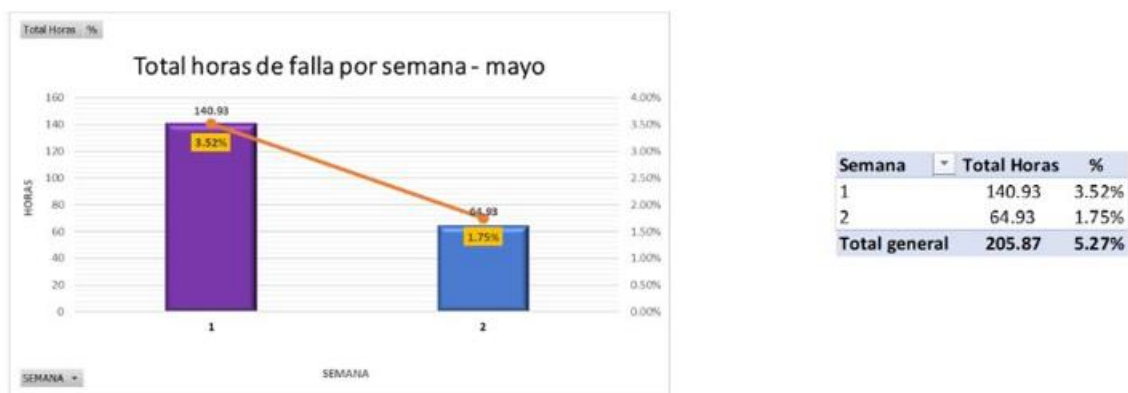
Las empresas dedicadas a la fabricación de empaques plásticos cuentan con maquinaria industrial que permiten generar alto número de toneladas de empaques plásticos, estas empresas cuentan con la maquinaria para la transformación de materia prima, iniciando con extrusoras que producen las láminas de materiales plásticos (PP, PS, PET).

Posterior a esto se utilizan la laminas fabricadas en máquinas termoformadoras o sopladoras para dar forma al plástico, el envase plástico pasa por maquinaria que le da un diseño en específico solicitado por los diferentes clientes y por último en otro de sus procesos también cuentan con maquinaria de molienda para transformar el retal sobrante en nueva lamina para su producción.

Toda esta maquinaria industrial requiere cierto mantenimiento para mantenerlas en buenas condiciones y aptas para generar su respectiva funcionalidad, cada compañía desarrolla estas actividades de mantenimiento utilizando ciertas estrategias, sin embargo tienen dificultades para garantizar la confiabilidad de estos equipos, ya que en sus modelos de mantenimiento no se han integrado con ciertas tecnologías que ofrece la industria 4.0, estas dificultades se evidencian en paradas largas de mantenimiento no planeadas, resultados bajos en sus mantenimientos preventivos, problemas para desarrollar su mantenimiento correctivo y por ultimo un bajo porcentaje de disponibilidad de máquina dentro de la fábrica.

**Figura 4.**  
*Porcentaje de fallas Mto.*

## Reporte de fallas de Mto - Semana 19 2023



*Indicadores de mantenimiento suministrado por la empresa manufacturera de plástico. (2024) [Grafica]*

Como se observa en la figura 4, esta empresa dedicada a la producción de empaques plásticos, ubicada en el departamento de Cundinamarca, Colombia, maneja un indicador de porcentaje (%) de fallas por semana, la meta establecida por la empresa para este indicador es un 2% para fallas de mantenimiento en el mes.

En los datos suministrados por la empresa se observa que para la semana 19 del 2023 este indicador tenía un valor del 5,27%, lo cual muestra una alta desviación e intervenciones erróneas ejecutadas por el área de mantenimiento, generando sobrecostos en la producción, mano de obra, reparaciones y también genera incumplimientos de entrega de producto final a sus clientes, ocasionando pérdidas monetarias a la compañía.

## **1.2. Pregunta y/o afirmación de la Investigación.**

¿Cómo impacta la implementación de una estrategia de mantenimiento industrial asociada a la Industria 4-0, en la confiabilidad y eficiencia de los equipos en una compañía para la fabricación de empaques plásticos?

## 2. JUSTIFICACIÓN

La implementación de una estrategia de mantenimiento industrial asociada a la Industria 4.0 en las empresas dedicadas a la fabricación de empaques plásticos puede producir una transformación significativa tanto en términos operativos como estratégicos. La empresa podrá experimentar una notable reducción en los tiempos muertos y los costos asociados a los mantenimientos correctivos. A nivel operativo, se incrementará la eficiencia y la confiabilidad de los equipos, resultando en una mayor productividad y competitividad en el mercado.

De igual manera, se busca que los tiempos muertos se reduzcan mediante la implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo, lo que implica un ahorro considerable en costos operativos y una mejora en la productividad.

Asimismo, los costos de Mantenimiento correctivos pueden reducirse significativamente, pasando de un enfoque reactivo a uno proactivo. Esto resalta que la productividad logre aumentar y la producción sea más efectiva debido a la mayor disponibilidad y eficiencia de las máquinas.

La implementación de estrategias de mantenimiento basadas en la Industria 4.0 ofrece numerosos beneficios que pueden transformar el desempeño en las industrias de fabricación de empaques plásticos, estos beneficios incluyen:

Mejora en la Eficiencia y Confiabilidad:

- **Monitoreo Continuo:** Los sensores IoT permiten el monitoreo continuo del estado de las máquinas, facilitando la detección temprana de problemas y reduciendo el tiempo de inactividad no planificado.

- **Mantenimiento Predictivo:** La capacidad de predecir fallos antes de que ocurran permite planificar las intervenciones de mantenimiento de manera más eficiente, evitando interrupciones imprevistas.

#### Reducción de Costos:

- **Optimización de Recursos:** El análisis de datos y el mantenimiento predictivo permiten un uso más eficiente de los recursos, reduciendo los costos de mantenimiento y reparaciones.
- **Eficiencia Operativa:** La mayor confiabilidad de los equipos reduce las pérdidas asociadas a los tiempos muertos y aumenta la productividad.

#### Innovación y Competitividad:

- **Tecnologías Avanzadas:** La adopción de tecnologías emergentes posiciona a la industria de la fabricación de empaques plásticos como líder en innovación dentro del sector de manufactura.
- **Mejores Prácticas:** Alinear los procedimientos de mantenimiento con las mejores prácticas globales aumenta la competitividad de la empresa.

#### Desarrollo del Personal:

- **Capacitación:** La implementación de nuevas tecnologías requiere la capacitación del personal, lo que mejora sus habilidades y conocimientos.
- **Retención de Talento:** Trabajar con tecnologías avanzadas y en un entorno innovador aumenta la motivación y retención del personal.

#### Sostenibilidad y Responsabilidad Social:

- **Reducción de Desperdicios:** La optimización de los procedimientos de mantenimiento contribuye a un uso más sostenible de los recursos.

- **Impacto Ambiental:** La reducción de fallos y tiempos muertos disminuye el impacto ambiental de las operaciones industriales.

Esta monografía representa una aplicación directa de los conocimientos y habilidades en un entorno industrial real, permitiendo el trabajo con tecnologías emergentes, como IoT, análisis de datos y mantenimiento predictivo, que son fundamentales en la Industria 4.0.

Esto se suma al hecho de que las habilidades Técnicas adquiridas en el curso de profundización de automatización industrial fortalecen las competencias técnicas en áreas clave de la mecatrónica y la Industria 4.0. Proporcionando nuevas experiencias para la resolución de problemas complejos y la implementación de soluciones tecnológicas. En el mismo sentido, se fomenta una mentalidad de innovación y mejora continua, esencial para el desarrollo profesional en la ingeniería.

La propuesta está en consonancia con las políticas de UNIAGRARIA, que promueven la innovación, la sostenibilidad y el desarrollo tecnológico. Este proyecto refuerza el compromiso de UNIAGRARIA con la educación práctica y aplicada, permitiendo a los estudiantes y profesores participar en proyectos que tienen un impacto real en la industria, contribuyendo específicamente en los siguientes aspectos según (Uniagraria, 2024).

- **Innovación:** Fomenta la adopción de tecnologías avanzadas, alineándose con los objetivos de UNIAGRARIA de promover la innovación y la investigación aplicada.
- **Sostenibilidad:** Al mejorar la eficiencia operativa y reducir los tiempos muertos, contribuye a un uso más sostenible de los recursos.
- **Formación:** Ofrece una oportunidad de formación práctica para estudiantes, preparando a los futuros ingenieros para enfrentar desafíos reales en la industria.

Finalmente, desde los puntos de vista económico, tecnológico, teórico y social demuestra que la implementación de una estrategia de mantenimiento industrial asociada a la Industria 4.0 en las empresas dedicadas a la fabricación de empaques plásticos, no solo mejorará la eficiencia y confiabilidad de los equipos, sino que también tendrá un impacto positivo en la sostenibilidad, competitividad y desarrollo del personal.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Proponer una estrategia de mantenimiento para la fabricación de empaques plásticos, en busca de optimizar la confiabilidad de los equipos, asociada a la industria 4.0.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el estado actual del mantenimiento en la empresa manufacturera de plástico, mediante el análisis de datos históricos de desempeño y confiabilidad de los equipos.
- Comparar tecnologías emergentes y avanzadas pertinentes a la Industria 4.0 que puedan aplicarse al mantenimiento industrial en la fabricación de empaques plásticos, clasificándolas según su aplicabilidad y beneficios potenciales.
- Recomendar una estrategia de mantenimiento industrial basada en los principios de la Industria 4.0, adaptada a las necesidades y capacidades específicas en la industria de la fabricación de empaques plásticos.

## **4. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **4.1. Alcances**

Esta monografía tiene como objetivo analizar el mantenimiento en una empresa dedicada a la fabricación de empaques plásticos, utilizando los datos de indicadores y reportes de fallas del año 2023. Se enfocará en identificar las causas que afectan los indicadores de disponibilidad operativa, con especial atención en las fallas más relevantes.

Además, se exploran tecnologías de la Industria 4.0 para determinar aquellas que puedan integrarse de manera efectiva a las estrategias de mantenimiento existentes en las empresas de fabricación de envases plásticos. Este enfoque busca mejorar la eficiencia operativa y asegurar la confiabilidad en los procesos de mantenimiento.

Posteriormente, se desarrollará una estrategia de mantenimiento específica para el sector de fabricación de envases plásticos. El objetivo principal será mejorar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad en el mantenimiento de equipos, con impactos positivos en los aspectos económicos, de producción y ambientales de las empresas del sector.

Finalmente, se diseñará un plan futuro para la implementación de esta estrategia de mantenimiento, alineada con el método actualmente utilizado por la empresa. Esto permitirá su ejecución efectiva y la consecución de los beneficios previstos.

### **4.2. Limitaciones**

La principal limitación radica en el tamaño de la muestra, debido a la falta de acceso a los métodos de mantenimiento e indicadores de diversas compañías dedicadas a la fabricación de empaques plásticos. Sin embargo, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de la información proporcionada por una compañía ubicada en la ciudad de Tocancipá, Cundinamarca, la cual servirá como muestra representativa.

Además, otra limitación significativa radica en la falta de acceso a datos sobre los resultados de los métodos de mantenimiento, como la producción, los costos y la confiabilidad de los equipos, entre otros aspectos clave. Estos datos se obtendrán de casos de éxito implementados bajo la estrategia de Industria 4.0, con el propósito de evaluar los posibles resultados de la estrategia de mantenimiento propuesta basada en dicha industria.

## **5. MARCO REFERENCIAL**

### **5.1. Estado del Arte**

#### **5.1.1. Antecedentes Nacionales.**

En el artículo de investigación “Industria 4.0: el reto para las pymes manufactureras de Bogotá” aborda la implementación de la Industria 4.0 en pequeñas y medianas empresas manufactureras de Bogotá, Colombia. La pandemia de COVID-19 ha afectado a estas empresas, y la Industria 4.0 se presenta como una oportunidad para enfrentar la crisis. El objetivo es proporcionar un diagnóstico sobre la adopción de tecnologías 4.0 en estas pymes mediante una metodología de tres fases (Ladino, Briceño y Rodríguez, 2022).

Con él se establece una guía sobre estrategias de mantenimiento industrial asociadas a la Industria 4.0. Aunque se centra en las pymes manufactureras de Bogotá, comparte similitudes con el enfoque de este documento. Las conclusiones del estudio, como la falta de capacitación en herramientas de la industria 4.0 y la baja inversión en esta dimensión, proporcionan valiosos recursos para abordar los desafíos en la implementación de estrategias de mantenimiento en el contexto colombiano.

Los estudios de caso de éxito son de gran importancia debido a que son una clara evidencia de como las implementaciones de tecnologías con viables. Este es el caso de artículo

titulado “Casos de éxito en la implementación del mantenimiento predictivo mediante el uso de tecnologías de la industria 4.0 en empresas colombianas”. Este artículo examina cómo las tecnologías 4.0 han transformado el mantenimiento en empresas colombianas. Se han adoptado técnicas de inspección predictiva y sistemas de control en tiempo real a distancia. Los resultados muestran beneficios en términos de tiempo y costos (Marcela et al., 2021).

La trascendencia del estudio otorga una guía que para analizar cómo las tecnologías de la I4.0 se integran en el mantenimiento predictivo, facilitando la comprensión de cómo estas innovaciones han impulsado el reconocimiento y prestigio de las empresas en sus respectivos sectores, sirviendo como punto de referencia para la compañía de fabricación de empaques plásticos. Además, se destaca la necesidad de más investigación y alianzas empresa-academia para facilitar la adopción de estas tecnologías y permitir que los estudiantes adquieran conocimientos a través de la investigación.

En el trabajo de grado realizado por Peñata, A., Bolaños, F., & Chimbí, E. (2021). se propone la integración de la Industria 4.0 en la gestión de mantenimiento de una planta de producción de bebidas. Se evaluaron metodologías y se seleccionó SAP como la mejor opción. El documento expone las etapas para esta integración (Peñata, Bolaños y Chimbí, 2021).

Al explorar cómo la Industria 4.0 mejora la gestión del mantenimiento, se evidencia cómo las nuevas herramientas y metodologías optimizan los procesos y aumentan la productividad. La implementación de SAP como solución ofrece una perspectiva de base para distinguir el estado de los procesos, reduciendo las paradas inesperadas y las fallas repetitivas. Además, se destaca la necesidad de capacitar al personal para enfrentar los retos tecnológicos y aprovechar al máximo las ventajas de la Industria 4.0.

### **5.1.2. Antecedentes Internacionales.**

Mallioris, Aivazidou y Bechtsis (2024), en su artículo de revisión “Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping”. Exploran las aplicaciones del mantenimiento predictivo en la Industria 4.0. El estudio aborda la gestión eficiente de activos y la sostenibilidad en la producción industrial. Se analizan metodologías, variables, algoritmos y herramientas de software utilizadas en el mantenimiento predictivo. (p. 1)

Este artículo es relevante para estrategias de mantenimiento industrial asociadas a la Industria 4.0. Aunque su enfoque es amplio, su investigación ofrece valiosa información sobre cómo el mantenimiento predictivo puede contribuir a la eficiencia y la seguridad en la producción. El marco multisectorial propuesto sirve como guía para desarrollar aplicaciones impulsadas por PdM en industrias basadas en datos.

El artículo “Maintenance optimization in industry 4.0” se centra en la optimización del mantenimiento desde diversas perspectivas dentro del contexto de la Industria 4.0. Analizando de manera sistemática el conocimiento, la información y los datos que pueden aprovecharse para mejorar las prácticas de mantenimiento. En particular, se discute de manera crítica los posibles objetivos de optimización, como los períodos de mantenimiento y los umbrales de degradación. (Pincirolí. L, Baraldi. P, Zio. E, 2023)

Los principales desafíos y tendencias en la optimización del mantenimiento se destacan en este estudio. Reconociendo la necesidad de métodos que no requieran una selección previa de una estrategia de mantenimiento predefinida. Métodos que sean capaces de manejar volúmenes de datos heterogéneos provenientes de diversas fuentes. Además, de abordar adecuadamente las incertidumbres que afectan el comportamiento de los sistemas y el entorno. (Pincirolí. L, Baraldi. P, Zio. E, 2023)

El artículo de investigación “Integration of Industry 4.0 technologies into Total Productive Maintenance practices (TPM)” examina cómo las tecnologías de la Industria 4.0 se integran en las prácticas de Mantenimiento (TPM) en empresas manufactureras grandes. La digitalización impulsada por la I4.0 introduce innovación disruptiva en los entornos de fabricación. Se analizan beneficios y barreras considerando atributos como ventaja real, compatibilidad, complejidad, probabilidad y observabilidad (Tortorella et al., 2021).

La relevancia principal de este artículo de investigación radica en como explora la combinación entre I4.0 y el TPM, el cual se tiene presente en este documento desde el principio como una estrategia de mantenimiento en la I4.0 y permite comprender mejor las dificultades y beneficios prácticos de la digitalización en la gestión del mantenimiento. El artículo proporciona herramientas para identificar estas barreras ayudar a las empresas a adoptar la innovación de manera más efectiva en sus operaciones.

## **5.2. Marco Histórico.**

La evolución del mantenimiento industrial ha experimentado varias etapas significativas a lo largo del tiempo. Según Mancuzo (2020), el mantenimiento correctivo antes de 1950 se limitaba a reparar la maquinaria tras una falla o avería, lo que obligaba a detener la producción. No se implementaban planes o estrategias de mantenimiento, y los sistemas eran robustos con controles básicos que permitían detectar fallos de manera visible sin necesidad de herramientas de diagnóstico.

Posteriormente, entre 1950 y 1980, se introdujo el mantenimiento preventivo. Arroyo Vaca y Obando Quito (2022) lo definen como una revisión de las maquinarias y equipos para evitar fallos antes de que ocurran. Durante la Segunda Guerra Mundial, las maquinarias se volvieron esenciales para la producción militar, lo que llevó al desarrollo de programas de mantenimiento

preventivo enfocados en mantener los equipos aptos para la batalla, ya que el mantenimiento correctivo significaba no poder utilizarlos.

Entre 1980 y 2000, surgió el mantenimiento predictivo como una respuesta a los altos costos de los planes de mantenimiento preventivo. Este tipo de mantenimiento se basaba en monitorear sensores y dispositivos para predecir posibles fallos, permitiendo a las empresas tomar medidas antes de que ocurrieran averías.

**Figura 5.**  
*Revolución industrial.*



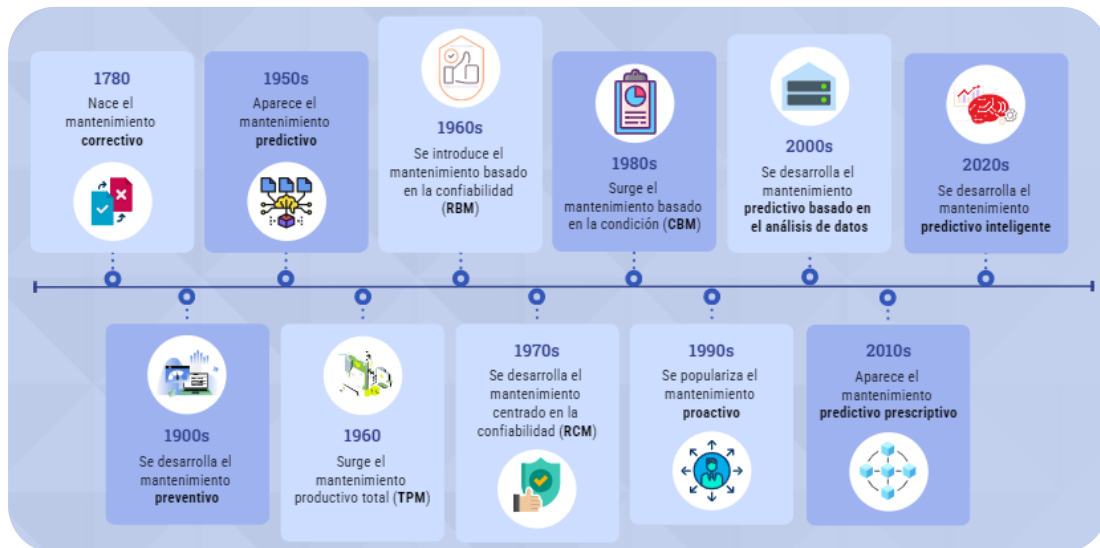
**Nota.** *Qué fue la Revolución Industrial: Causas, consecuencias, características e inventos.* Jose López (2024).

Las revoluciones industriales también han jugado un papel crucial en la evolución del mantenimiento. La Primera Revolución Industrial (1760-1840) transformó la economía de la agricultura a la industria, con la extracción de carbón, máquinas a vapor y forja de metales, cambiando la forma de producir e intercambiar mercancías. La Segunda Revolución Industrial (1870-1914) estuvo impulsada por el descubrimiento de la electricidad, gas, petróleo y la producción en líneas de ensamble. Henry Ford introdujo la producción en masa, revolucionando la fabricación automotriz.

La Tercera Revolución Industrial (1960), también conocida como Revolución Científico-Tecnológica o Revolución Digital, introdujo la tecnología digital en diversos ámbitos, incluyendo la producción y las comunicaciones. Augusto Gayubas (2024) señala que esta revolución fue impulsada por el desarrollo de las primeras computadoras y placas de circuitos integrados.

Finalmente, la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, surgida a finales de los 2000 en Alemania, se fundamenta en tecnologías como IoT, Cloud Computing, robótica, Inteligencia Artificial, Big Data, Impresión 3D, Visión Artificial y Realidad Virtual, Aumentada y Mixta. Vessi (2021) explica que esta etapa de la industria incorpora máquinas que predicen fallos mediante el monitoreo de condiciones y análisis de datos, activando procesos de mantenimiento de manera autónoma. La digitalización del entorno de fabricación permite métodos más flexibles para entregar la información adecuada a la persona adecuada en el momento adecuado, generando intervenciones y decisiones más asertivas.

**Figura 6.**  
*Línea de tiempo estrategias de mantenimiento.*



**Nota.** Fuente propia.

### **5.3. Marco Teórico y/o Técnico**

En las próximas secciones, exploraremos conceptos teóricos fundamentales para comprender la Industria 4.0 y su integración en la gestión del mantenimiento organizacional. Abordaremos temas como la definición de la Industria 4.0, los factores relevantes, estrategias de mantenimiento y conceptos asociados a la disponibilidad y confiabilidad del mantenimiento.

#### **¿Qué es la Industria 4.0?:**

Según Schwab (2016), la industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, se refiere a la profunda transformación del sector manufacturero a través de la integración de tecnologías digitales y físicas. Esta revolución se caracteriza por la hiperconectividad, la autonomía, la toma de decisiones descentralizada y la personalización de los procesos productivos.

Aunque autores como Glaser, Volland y Bauernhansl (2015), destacan que la industria 4.0 no se trata solo de la adopción de nuevas tecnologías, sino de un cambio fundamental en la forma en que se diseñan, operan y gestionan las cadenas de suministros. Los mismos autores destacan que esta transformación tiene un impacto significativo en todos los aspectos del mantenimiento industrial, desde la planificación y la ejecución hasta la optimización y la mejora continua.

#### **Impacto de la Industria 4.0 en el mantenimiento industrial:**

Sokolov y Tsemekhman (2018), indican que la industria 4.0 está impulsando un cambio radical en el paradigma del mantenimiento industrial, pasando de un enfoque reactivo, basado en la reparación de averías después de que ocurren, a un enfoque proactivo, basado en la prevención de fallas antes de que sucedan.

Este cambio se debe a la disponibilidad de grandes cantidades de datos en tiempo real y a las capacidades analíticas avanzadas que permiten predecir cuándo es probable que ocurran fallas en los equipos (Mota et al., 2018).

### **Surgimiento de las estrategias de mantenimiento:**

Según Predictiva (2024), la forma más básica de mantenimiento consiste en localizar fallos o defectos y corregirlos, lo que se denomina mantenimiento correctivo. Hasta la llegada de la Primera Guerra Mundial, este era el único concepto relacionado con el mantenimiento, debido a la simplicidad de las máquinas, equipos e instalaciones de la época. Durante la década de 1950, con la producción en cadena en desarrollo, el objetivo era maximizar la producción y minimizar los costos. El mantenimiento correctivo, también conocido como reactivo, debía realizarse discretamente para no generar gastos excesivos.

No obstante, el mantenimiento en aquella época era más sencillo debido a la simplicidad de la maquinaria, limitándose a reparaciones mecánicas y lubricación. Actualmente, los equipos son más complejos, lo que implica una mayor carga para el mantenimiento correctivo, a veces evitado por los costos comparables a las fallas que podrían afectar la operación. No fue sino hasta la Segunda Guerra Mundial y la crisis energética de 1973 que se empezó a concebir el concepto de fiabilidad, con la aviación y la industria automotriz liderando esta tendencia y desarrollando nuevos métodos de trabajo que avanzaron las técnicas de mantenimiento (Predictiva, 2024).

## **Disponibilidad y confiabilidad en el mantenimiento:**

John Moubray, considerado el “padre del RCM” o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, define esta metodología como un proceso utilizado para asegurar que los activos físicos sigan cumpliendo con las expectativas de los usuarios en su contexto operativo actual. Antes de abordar las acciones específicas, es crucial evaluar el historial de disponibilidad y confiabilidad de nuestros equipos o activos a lo largo del tiempo (Rosales, 2023).

### **¿Qué es la disponibilidad en mantenimiento?**

Según Rosales (2023), la disponibilidad se refiere a la probabilidad de que un sistema, equipo o componente cumpla con su función prevista cuando se le requiere. Esta medida se expresa en porcentaje y considera tanto la confiabilidad como la mantenibilidad del sistema.

Para calcular la disponibilidad de un equipo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Horas totales de funcionamiento} - \textit{Horas en paradas}}{\textit{Horas totales de funcionamiento planeadas}}$$

### **¿Qué es la confiabilidad en mantenimiento?**

Rosales (2023), también indica que la confiabilidad se relaciona con la función específica asignada a un activo. En lugar de enfocarse únicamente en prevenir fallas, es un indicador que garantiza que el equipo pueda cumplir consistentemente su tarea designada durante un período establecido y bajo condiciones predeterminadas. En este sentido, se destaca la capacidad de un equipo o componente para llevar a cabo sus funciones sin interrupciones ni contratiempos, es decir, sin experimentar fallas.

La confiabilidad se puede calcular mediante la función de confiabilidad exponencial, que se basa en la suposición de que las fallas se distribuyen aleatoriamente a lo largo del tiempo. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Confiabilidad (R)} = e^{-\lambda t}$$

Donde:

- *R: representa la confiabilidad del sistema.*
- *$\lambda$ : es la tasa de fallas del sistema, generalmente expresada en fallas por unidad de tiempo.*
- *t: es el período de tiempo para el cual se calcula la confiabilidad.*
- *e: es la base del logaritmo natural.*

Inicialmente, se debe calcular la tasa de fallas para ( $\lambda$ ), y para ello se necesitan datos históricos sobre el rendimiento de la máquina que se desea medir.

$$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de fallas}}{\text{Tiempo total de funcionamiento}}$$

La misión de calcular la disponibilidad de los equipos industriales es esencial para elegir y seguir las estrategias de mantenimiento adecuadas para cada equipo.

### **¿Qué es MTBF y MTTR?**

MTBF significa (Mean Time Between Failures), que significa tiempo medio entre fallas, y MTTR significa (Mean Time To Repair), es decir, el tiempo medio para reparar. Según Alberti (2020), indica que estos datos sirven para medir la confiabilidad de los equipos. Ambos índices se utilizan como punto de referencia para la toma de decisiones en las empresas. Donde, el objetivo es aumentar el MTBF y disminuir el MTTR.

## ¿Cómo aplicar MTBF?

Esta métrica se refiere al tiempo promedio transcurrido entre una falla y la siguiente. Estas fallas deben estar relacionadas con factores de mantenimiento directo. Los factores externos que afectan la producción, no se consideran defectos en este cálculo. Se calcula de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$

Un ejemplo de cómo aplicar el MTBF sería:

Durante un período de tiempo para la operación de una máquina, se tienen los siguientes datos:

- Tiempo total disponible para operar = 24 horas
- Hubo 3 paradas debido a problemas con las máquinas, cada una de las cuales fue: 1 hora, 2 horas y 30 minutos (0,5 horas).

$$MTBF = \frac{\left[24 - \left(1 + 2 + \frac{1}{2}\right)\right]}{3} = 6.83 \text{ horas o } 410 \text{ minutos}$$

## ¿Cómo aplicar MTTR?

Se calcula utilizando el tiempo promedio que lleva realizar una reparación después de que se haya producido la falla.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

Si se toma como referencia el ejemplo anterior, se obtiene el siguiente resultado:

$$MTTR = \frac{[1 + 2 + \frac{1}{2}]}{3} = 1.16 \text{ horas o } 70 \text{ minutos}$$

Este resultado indica el tiempo promedio que la máquina estuvo parada, cuanto mayor sea el MTBF, menor será el número de paradas para este equipo.

### **Efectividad General del Equipo**

El OEE (Efectividad General del Equipo, por sus siglas en inglés), se introdujo por primera vez en 1982 como parte fundamental de la metodología TPM (Mantenimiento Productivo Total), la cual fue concebida en 1971 por el Instituto de Japón de Mantenimiento de Plantas (IJMP) con el objetivo de reducir el tiempo de inactividad de las máquinas (Datalyzer International bv, 2023)

Además, Alberti (2020), destaca que es un indicador crucial que mide la eficiencia global de una máquina. Se utiliza ampliamente en las industrias manufactureras para evaluar cómo se aprovechan los recursos disponibles, incluyendo máquinas, mano de obra y materiales. El OEE desglosa la eficiencia en tres indicadores clave.

### **Disponibilidad**

Es el porcentaje del tiempo que el equipo estuvo funcionando, comparado con el tiempo total disponible para su uso.

$$\text{Disponibilidad \%} = \left( \frac{\text{Tiempo de producción}}{\text{Tiempo programado para producir}} \right) * 100$$

## **Rendimiento**

Relación entre la capacidad real con la capacidad nominal -o deseada- del equipo (importante tener en cuenta que no siempre operamos con la capacidad nominal real del equipo, sino con la capacidad de producción esperada, que debe estar dentro de la capacidad nominal de la máquina).

El tiempo en que la máquina estuvo funcionando por debajo de la capacidad adecuada indica una pérdida de rendimiento, que puede deberse a paradas operativas cortas, o debido a fallas que son inherentes al mantenimiento.

$$\text{Rendimiento \%} = \left( \frac{\text{Cantidad de producción real}}{\text{Cantidad de producción programada}} \right) * 100$$

## **Calidad**

Relación entre el total de las partes conformes y el total de las partes producidas (incluidas las partes no conformes, es decir, que tuvieron que ser reelaboradas o desechadas).

$$\text{Calidad \%} = \left( \frac{\text{Cantidad de artículos conformes}}{\text{Cantidad total producida}} \right) * 100$$

## **Cálculo de OEE**

Dado que los factores de disponibilidad, rendimiento y calidad están disponibles para calcular el OEE, solo resta hallar el producto entre ellos:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad \%} * \text{Rendimiento \%} * \text{Calidad \%}$$

#### **5.4. Marco Conceptual.**

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), según Wireman (2014), es una filosofía de gestión que busca eliminar pérdidas en la producción, tales como averías, ajustes, velocidad de proceso, defectos de calidad y almacenamiento, mediante la participación de todos los empleados. Esta metodología aborda el mantenimiento desde una perspectiva integral, considerando equipos, procesos, personas y cultura organizacional. Además, involucra a todos los niveles de la organización en las actividades de mantenimiento, desde los operadores hasta la alta gerencia.

Por otro lado, el Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RBM) se centra en optimizar la confiabilidad de los equipos a través de análisis estadísticos y gestión de riesgos. Jardine (2016) explica que esta técnica utiliza modelos estadísticos para determinar la probabilidad de falla y planificar el mantenimiento, identificando y evaluando los riesgos asociados a las fallas para tomar medidas preventivas. Así, el RBM se enfoca en los equipos con mayor riesgo, asignando el tiempo y los recursos de mantenimiento de manera eficiente.

En una línea similar, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología proactiva que, según Jardine (2016), se enfoca en identificar y eliminar las causas raíz de las fallas en equipos críticos. Esta técnica se basa en un análisis exhaustivo de los modos de falla y en la implementación de estrategias de mantenimiento específicas para cada uno, permitiendo un enfoque más detallado y preciso.

Además de estas metodologías, es esencial considerar la Optimización de la Gestión del Mantenimiento en fábricas modernas. Ralitsa (2018) menciona que las GMAO 4.0 recopilan y analizan datos mediante sensores, generando algoritmos predictivos que permiten la detección temprana de defectos y la toma de medidas preventivas. El Internet Industrial de las Cosas (IIoT)

juega un papel crucial al conectar máquinas y personas, facilitando un mantenimiento predictivo y optimizando el ciclo de producción.

En este contexto, la Transformación Digital en la Fábrica es fundamental. Las soluciones de mantenimiento de nueva generación, como señala SINCI (2019), impulsan la transformación digital al proporcionar interfaces fáciles de usar para todos los miembros del equipo. Estas GMAO de la Industria 4.0 se integran con el IoT, la nube y la computación cognitiva, conectando departamentos y sistemas para ofrecer análisis poderosos que respaldan la toma de decisiones y la resolución de problemas.

No menos importante, las Auditorías de Mantenimiento son clave para evaluar el estado de los equipos y mejorar su rendimiento. Mancuzo (2020) destaca que, aunque a veces se consideran una inversión secundaria, las auditorías periódicas son esenciales para optimizar la gestión de mantenimiento y comprender la rentabilidad de las inversiones, identificando áreas que requieren mayor atención.

En cuanto al Internet de las Cosas (IoT), el Equipo ESSS (2017) describe que este concepto utiliza sensores y dispositivos conectados en red para permitir la comunicación entre máquinas, productos y componentes, optimizando procesos y tomando decisiones en tiempo real. El IIoT extiende esta capacidad a todos los dispositivos dentro y fuera de la empresa, creando una red interoperable y abierta.

Finalmente, el Big Data juega un papel crucial en la gestión del mantenimiento. El Equipo ESSS (2017) también menciona que el Big Data recopila, analiza y gestiona datos generados por usuarios de Internet para identificar patrones y comportamientos. Este análisis beneficia a sectores específicos al mejorar procesos de almacén, eliminar cuellos de botella y predecir la demanda, optimizando la seguridad, la cadena de suministro y la producción.

## 5.5. Marco Geográfico.

Alineados a nuestro objetivo específico de diagnosticar el estado de mantenimiento de una empresa dedicada a la fabricación de empaques plásticos, se realizará dicho diagnóstico a una empresa ubicada en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca-Colombia.

El municipio de Tocancipá se localiza al norte de Bogotá, sobre la Troncal Central del Norte, a una distancia de 22 km. Altitud: 2.606 m s. n. m. La temperatura media anual es de 13 °C. Tocancipá es también conocida como "La capital Industrial de Colombia" debido a su gran cantidad de empresas y alta competitividad.

**Figura 7.**  
*Ubicación, Tocancipá-Cundinamarca.*



**Nota.** Imagen tomada de Wikipedia (2024).

## **5.6 Marco Legal.**

### **5.6.1 Legislación.**

La Ley 905 de 1999 (Congreso de la República de Colombia, 1999) es la ley general que regula el mantenimiento industrial en Colombia. Esta ley establece los principios generales que deben regir el mantenimiento de las instalaciones industriales, incluyendo la obligación de las empresas de contar con un programa de mantenimiento adecuado.

El Decreto 1507 de 2015 (Ministerio de Minas y Energía, 2015) reglamenta la Ley 905 de 1999 (Congreso de la República de Colombia, 1999) y establece los requisitos específicos que deben cumplir los programas de mantenimiento industrial. Estos requisitos incluyen la elaboración de un plan de mantenimiento, la identificación de los riesgos asociados al mantenimiento, la implementación de medidas de control para mitigar estos riesgos, y la realización de auditorías.

Uno de los principales desafíos del marco legal actual es que no está adaptado a las nuevas tecnologías que se utilizan en la Industria 4.0. Por ejemplo, el marco legal actual no regula el uso de sistemas de mantenimiento predictivo y prescriptivo, que son cada vez más utilizados en la Industria 4.0 (Wiesner et al., 2018).

Sin embargo, el marco legal actual también presenta algunas oportunidades. Por ejemplo, la Ley 1221 de 2019 (Congreso de la República de Colombia, 2019) puede ser utilizada para promover el uso de las TIC en el mantenimiento industrial. Además, el gobierno colombiano está desarrollando una nueva política industrial que incluye el desarrollo de un marco legal para la Industria 4.0 (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2020).

### **5.6.2. Normas.**

El mantenimiento industrial eficaz es crucial para el éxito de las organizaciones. Existen diversas normas que proporcionan pautas para la gestión eficaz del mantenimiento, entre las cuales destacan las desarrolladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y el Instituto Nacional de Normas Americano (ANSI) (Díaz, 2020).

La norma ISO 55000 abarca un conjunto de normas relacionadas con la gestión de activos, la cual se define como la coordinación y optimización de los activos a lo largo de su ciclo de vida, incluyendo su selección, adquisición, utilización, mantenimiento, renovación y desincorporación (Díaz, 2020).

La norma ISO 13374 proporciona pautas para el intercambio eficiente de información en el mantenimiento basado en condición, preventivo y predictivo (International Organization for Standardization, 2004). La interoperabilidad de los datos es fundamental para la interoperabilidad de los sistemas de mantenimiento y su implementación con un mínimo esfuerzo de integración.

La norma ANSI TAPPI TIP 0305-34: 2008 es un protocolo esencial para el mantenimiento industrial, ya que proporciona una guía para crear listas de verificación para el mantenimiento diario, semanal e incluso mensual. El contenido de la norma se basa en la estructura de la lista, personalización de la lista, actualización y mantenimiento de la lista. (Díaz, 2020).

La digitalización del sector industrial ha impulsado la necesidad de aprovechar las tecnologías emergentes del Internet de las Cosas (IoT) y Big Data para optimizar procesos y mejorar la eficiencia (Industrial Internet Consortium, 2018). En este contexto, la arquitectura de referencia IICRA (Industrial Internet Consortium Reference Architecture) surge como una herramienta fundamental para facilitar la interoperabilidad y el desarrollo de sistemas industriales inteligentes.

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO.**

### **6.1 Tipo de Investigación**

Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación aplicada "tiene como finalidad resolver problemas prácticos y concretos. Su propósito es generar conocimientos que permitan intervenir en situaciones específicas". Dado que el objetivo es mejorar los procedimientos de mantenimiento y reducir los fallos recurrentes, este tipo de investigación es el más adecuado.

### **6.2 Enfoque de Investigación**

La presente monografía su enfoque es de tipo mixto. Creswell (2014) señala que el enfoque mixto "permite una comprensión más completa del problema de investigación, combinando la profundidad del análisis cualitativo con la precisión del análisis cuantitativo". En este caso, se busca analizar datos históricos (cuantitativo) y entender las experiencias del personal (cualitativo), por lo que un enfoque mixto es apropiado para esta monografía.

Dado que uno de los objetivos de estudio será comprender la evolución de las nuevas estrategias de mantenimiento industrial asociadas a la 4.0 y su incidencia en la confiabilidad de los equipos industriales, se recurrió a un diseño mixto no experimental que se aplicara de manera transversal, considerando el tema de investigación tiene sustento teórico suficiente para reconocer a detalle la forma en que la cuarta revolución industrial afecta la calidad de diagnóstico y capacidad de respuesta al mantenimiento de maquinaria industrial.

### **6.3 Hipótesis, Variables e Indicadores.**

La hipótesis que a continuación se plantea, se basa en consulta de literatura y experiencias profesionales en el sector, para generar unos resultados esperados de una implementación real de la estrategia de mantenimiento basada en Industria 4.0 recomendada en esta Monografía.

**Tabla 1.**  
Hipótesis

HIPOTESIS		
<p>"La implementación de tecnologías de Industria 4.0 en los procesos de mantenimiento industrial mejora significativamente la eficiencia operativa y reduce los tiempos de inactividad no planificados, aumentando así la productividad y reduciendo los costos operativos."</p> <p>Esta hipótesis se basa en la premisa de que las tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de datos, la inteligencia artificial (IA) y la automatización, pueden optimizar los procesos de mantenimiento al permitir un monitoreo continuo, un análisis predictivo y una respuesta más rápida a las fallas potenciales.</p>		
Variables a considerar	Variables dependientes	Implementación de IoT en equipos industriales.
		Aplicación de IA para la optimización de procesos de mantenimiento.
		Uso de análisis de big data para mantenimiento predictivo.
		Uso de la automatización industrial para mejorar confiabilidad de equipos
	Variables independientes	Tiempos de inactividad no planificados.
		Costos operativos de mantenimiento.
Eficiencia operativa.		
Metodología	Revisión de literatura, Analizar estudios previos y artículos sobre el impacto de Industria 4.0 en el mantenimiento.	
	Análisis de datos, para generar diagnóstico del estado actual de mantenimiento	
	Encuestas y Entrevistas: Recopilar datos de profesionales del sector para evaluar el impacto posible.	
Resultados esperados	Reducción en los tiempos de inactividad no planificados debido a una mejor capacidad de predicción y prevención de fallas.	
	Aumento en la eficiencia operativa gracias a la optimización de las tareas de mantenimiento.	
	Disminución de los costos operativos mediante la reducción de interrupciones y fallas graves.	
	Mejora en la productividad general de la planta o fábrica.	

**Nota.** *Elaboración propia.*

#### 6.4 Universo y Población

Según Daniel (2012), el universo se refiere al conjunto total de elementos que son objeto de estudio, mientras que la población es la parte de ese universo que se va a estudiar. En este caso, se tiene una empresa dedicada a la fabricación de empaques plásticos.

Por otra parte, se van a estudiar artículos de investigación sobre el mantenimiento industrial y la industria 4.0.

#### 6.5 Muestra

Kerlinger y Lee (2002) sugieren que en poblaciones pequeñas es más efectivo realizar un censo, es decir, incluir a todos los miembros de la población en el estudio. Esto asegura que todas las perspectivas sean consideradas, especialmente en un entorno específico, para esta monografía se tomó como muestra son los 4 empleados del área de mantenimiento y 3 operadores de las máquinas.

## **6.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

En este caso las técnicas para la recolección de datos se realizarán en dos bloques, uno de ellos basado en levantamiento de información en campo, que básicamente se encarga de obtener datos de la población para su posterior análisis.

Por otro lado, se realizará revisión bibliográfica, centrada en la identificación, selección y análisis de fuentes relevantes que contengan la temática de la cuarta revolución industrial, el mantenimiento predictivo y la confiabilidad de equipos industriales.

### **Cuantitativo:**

**Análisis de Datos Históricos:** Según Montgomery (2012), el análisis de datos históricos es fundamental en la ingeniería de mantenimiento para identificar patrones de fallos y oportunidades de mejora. Se realizará el análisis del estado actual del mantenimiento de la empresa de fabricación de empaques plásticos.

**Encuestas:** De acuerdo con Malhotra (2010) destaca que las encuestas permiten recopilar datos estructurados de una manera sistemática, proporcionando información cuantitativa precisa sobre las percepciones y experiencias de los empleados. Se aplicarán encuestas a la muestra seleccionada para saber la perspectiva sobre la estrategia de mantenimiento actual en la empresa.

### **Cualitativo:**

**Entrevistas en Profundidad:** Según Yin (2014) argumenta que las entrevistas en profundidad permiten obtener una comprensión detallada de las experiencias y opiniones de los participantes, lo que es crucial para identificar las causas subyacentes de los problemas de mantenimiento, en este caso se tendrá una entrevista con el planeador de mantenimiento para que nos mencione su opinión y experiencias en esta área de la empresa.

Búsqueda en Bases de datos Académicas: Utilizar bases de datos como Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, Scielo, entre otras, para encontrar artículos, libros y otros documentos académicos que tengan relación con estrategias de mantenimiento en casos de éxito.

#### **Instrumentos:**

Cuestionarios: Según Dillman, Smyth, y Christian (2014) señalan que los cuestionarios son herramientas eficientes para recopilar datos cuantitativos, permitiendo obtener respuestas estandarizadas que pueden ser fácilmente analizadas.

Guía de Entrevistas: Kvale (2007) menciona que las guías de entrevistas son esenciales para asegurar que se cubran todos los temas relevantes durante la entrevista, proporcionando una estructura sin limitar la profundidad de las respuestas.

#### **6.7 Procedimiento y Fases**

El procedimiento y fases de esta monografía estarán alineados a la metodología DMAIC, la cual es una estrategia de Lean Six Sigma que se utiliza para mejorar los procesos, en busca de alcanzar un resultado óptimo, recolectando datos para ser posteriormente analizados y proponer soluciones.

**Figura 8.**  
*Metodología DMAIC.*



**Nota.** DMAIC: Qué es y cuáles son sus pasos. Rocha, J. P. (2022)

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) es un enfoque estructurado utilizado en la gestión de la calidad y la mejora continua. Aquí se alinea el procedimiento de la investigación con las fases del DMAIC:

**Definir:**

Definición del problema y objetivos: Identificar claramente el problema de los fallos recurrentes en la empresa manufacturera de empaques plásticos.

Establecer los objetivos del estudio: Proponer una estrategia de mantenimiento industrial asociada a la Industria 4.0 para mejorar la confiabilidad y eficiencia de los equipos.

**Medir:**

Recolección de datos: Recopilar datos históricos de desempeño y confiabilidad de las máquinas dentro de la empresa, según datos suministrados por el área de mantenimiento. Aplicar encuestas estructuradas al personal de mantenimiento y operadores para obtener datos cuantitativos sobre la efectividad de los procedimientos actuales. Realizar entrevistas en profundidad y grupos focales para recoger información cualitativa sobre las experiencias y percepciones del personal.

**Analizar:**

*Análisis de datos:*

Cuantitativo: Realizar un análisis estadístico de los datos históricos del año 2023 para identificar patrones de fallos y problemas recurrentes.

Cualitativo: Realizar un análisis temático de las transcripciones de entrevistas y grupos focales para identificar las causas subyacentes de los problemas y las posibles mejoras.

## **Mejorar**

Desarrollo de la propuesta: Identificar y describir tecnologías emergentes y avanzadas pertinentes a la Industria 4.0 que puedan aplicarse al mantenimiento industrial en la empresa dedicada a la fabricación de empaques plásticos. Recomendar una estrategia de mantenimiento industrial basada en los principios de la Industria 4.0, adaptada a las necesidades y capacidades específicas de empresa.

## **Controlar**

Elaborar un plan de implementación, incluyendo fases y recursos necesarios, para su posible implementación, documentación de los procesos y resultados, en busca de asegurar la sostenibilidad de las mejoras planteadas.

Este enfoque alineado con la metodología DMAIC asegura una estructura clara y sistemática para abordar el problema de los fallos recurrentes en las máquinas y mejorar los procedimientos de mantenimiento en la industria de fabricación de empaques plásticos mediante la integración de tecnologías avanzadas.

## 7. RESULTADOS

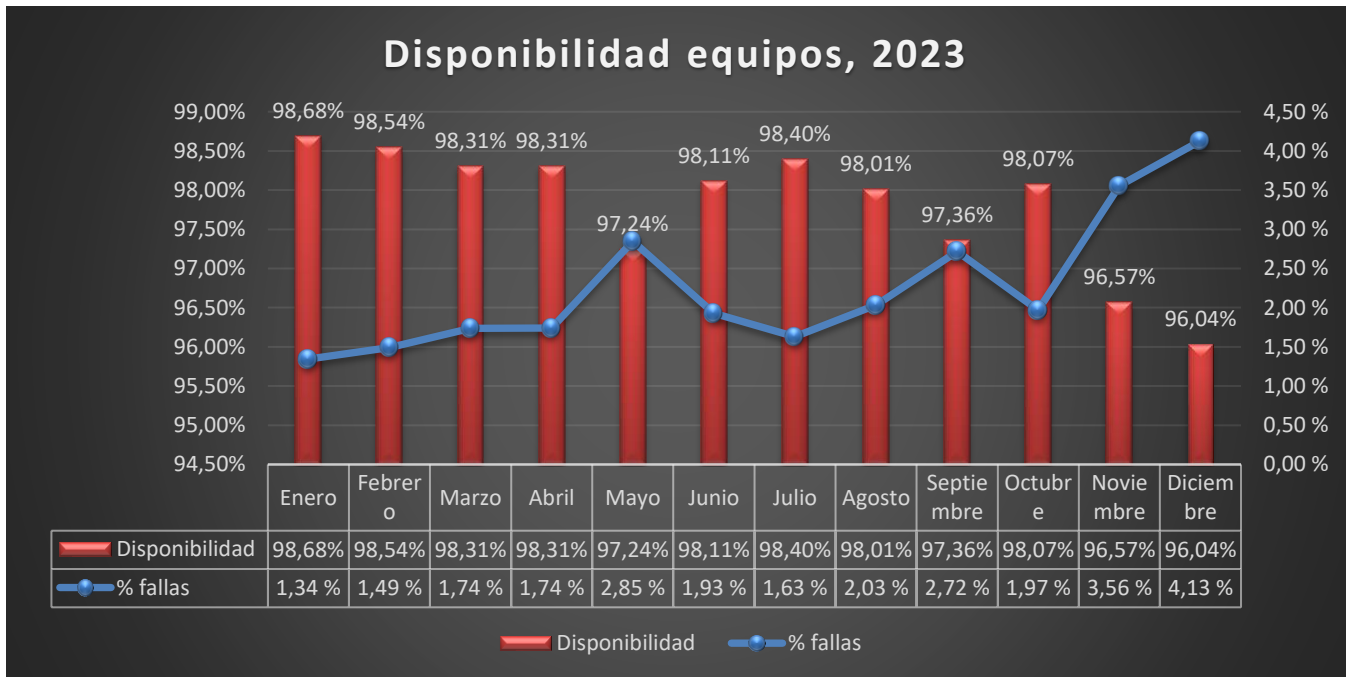
### 7.1 Objetivo No. 1

De acuerdo con John Moubray “El padre del RCM”, se realizó el análisis histórico de disponibilidad en mantenimiento durante todos los meses del año 2023, donde se observó que la compañía no logro su meta disponibilidad la cual estaba pactada en 98%, así mismo no se cumplió con la meta de porcentaje de falla global del año 2023, definida en 2%.

Según el análisis histórico, se identificó que los meses con menor disponibilidad de equipos fueron noviembre y diciembre. Es necesario enfocar los esfuerzos en estos períodos para identificar las causas de la desviación de estos indicadores y desarrollar planes de acción efectivos.

**Figura 9**

*Disponibilidad de equipos acumulado 2023.*



**Nota.** Datos tomados de información comité de operaciones MTTO, suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla]

Para el análisis y cálculo de los indicadores, se utilizaron las ecuaciones mencionadas en el marco teórico de esta monografía, empleando los datos históricos proporcionados por la empresa de manufactura de empaques plásticos.

**Tabla 2**

*Datos de disponibilidad de equipos, 2023.*

<b>Tiempo de producción total año</b>	361234 hr
<b>Tiempo programado para producir</b>	361234 hr

**Nota.** Datos suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla]

$$Disponibilidad (\%) = \left( \frac{361234}{369360} \right) * 100$$

$$\underline{\underline{Disponibilidad (\%) = 97,80}}$$

Aunque el área de mantenimiento industrial estuvo muy cerca de cumplir estas metas, se obtuvo una disponibilidad de equipos del **97,80%** y un **2,26%** de porcentaje de fallas acumulado del año 2023.

Tal como se ha mencionado a lo largo de esta monografía, los datos mostrados en la figura 10 permiten medir la confiabilidad de los equipos, el objetivo es obtener un MTBF cada vez mayor y un MTTR menor. Para realizar el análisis de estas métricas, fue necesario promediar las medidas obtenidas en los diferentes cuadrantes, ya que así se clasifican para el anterior de la empresa.

**Tabla 3**

*Datos de MTBF, 2023*

<b>Tiempo total disponible</b>	361234 hr
<b>Tiempo de inactividad</b>	361234 hr
<b>Numero de paradas</b>	4137

**Nota.** Datos suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla]

$$MTBF = \frac{369360 - 8125}{4137}$$

$$\underline{\underline{MTBF = 87,31 \text{ hr}}}$$

**Tabla 4**

*Datos de MTTR, 2023*

<b>Tiempo total de mantenimiento</b>	7033 hr
<b>Numero de reparaciones</b>	4137

**Nota.** Datos suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla]

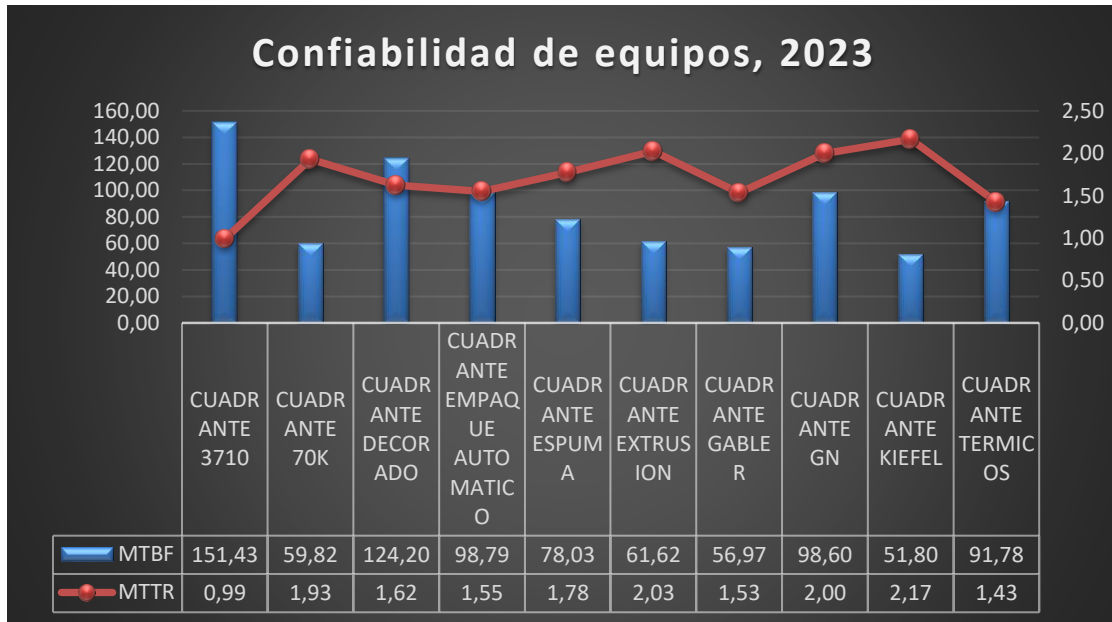
$$MTTR = \frac{7033}{4137}$$

$$\underline{\underline{MTTR = 1,70 \text{ hr}}}$$

Se obtuvo como resultado del análisis histórico de datos que para el año 2023, se tuvo un MTBF de 87,31 hr y un MTTR de 1,70 hr.

**Figura 10**

MTBF y MTTR del área de mantenimiento, acumulado año 2023.



**Nota.** Datos tomados de información comité de operaciones MTTO, suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla]

Continuando con el análisis de confiabilidad de equipos a la empresa dedicada a la fabricación de plástico, se observó que, aunque la meta de MTTR se cumplió, la meta de MTBF no se logró, en lo que podemos deducir que al interior del área de mantenimiento se está tomando poco tiempo para la reparación de las averías o fallas, pero desafortunadamente la cantidad y frecuencia de estas, están ocasionando un indicador negativo en la confiabilidad de equipos.

**Figura 11**

Metas de confiabilidad de equipos para el año 2023.

↑ MTBF ≥ 95 Horas  
 ↓ MTTR ≤ 2 Horas

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$$

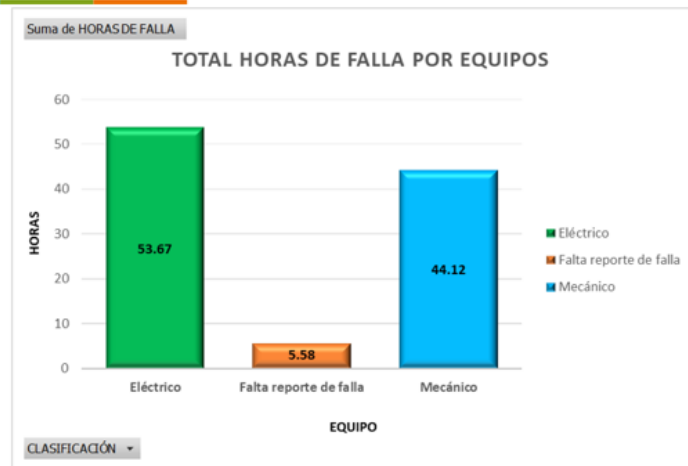
**Nota.** Elaboración propia

Dando continuidad al diagnóstico del estado actual de mantenimiento, se realizó un análisis exhaustivo de las fallas críticas presentadas en el mes de noviembre y diciembre del año 2023, donde se encontró el porcentaje de fallas más alto en el año.

En los datos suministrados por la empresa se observa que para la semana 50 del 2023 se tuvieron paradas críticas de algunas máquinas, generando sobrecostos en la producción, mano de obra, reparaciones y también generando incumplimientos de entrega de producto final a sus clientes, ocasionando pérdidas monetarias a la compañía.

**Figura 12.**  
*Clasificación de tipos de falla.*

## Reporte de fallas de Mto - Semana 50 /2023



Total horas de falla por equipos (del 13 al 19 de diciembre de 2023)

Indicadores de mantenimiento suministrado por la empresa manufacturera de plástico. (2024) [Grafica]

Para tratar de entender la desviación en cuanto al porcentaje de fallas, es importante analizar cómo se encuentran clasificados los bloques de pérdidas en el interior de esta empresa, encontrando según datos suministrados que el bloque que genera mayor tiempo de falla es el eléctrico, donde se encuentran fallas relacionadas, con motores, servomotores, contactores, guardamotores, relés, temporizadores, tarjetas electrónicas, variadores de velocidad, PLC, HMI y fallas en software.

Por otra parte, en el bloque de fallas mecánicas se encuentran las averías generadas por elementos como, transmisiones de velocidad, piñones, poleas, correas, sistemas neumáticos, sistemas hidráulicos, elementos de sujeción de piezas, entre otros.

**Tabla 5**

*Falla por obsolescencia de equipos, mayo 2023.*

MES	DÍA	DESCRIPCIÓN DEL ACTIVO	REPORTE	FECHA INICIAL PROGRAMADA	TIEMPO DE FALLA	TIEMPO DE ATENCIÓN	PARTICIPACIÓN DE LA FALLA	ENCARGADO	CLASIFICACIÓN	PLAN DE ACCION INMEDIATO
Mayo	10	TERMOFORMADOR A ILLIG 70K TOCANCIPA	51460	10/05/2023 6:00	8,00	8,00	11,33%	Julián Moreno	Eléctrico	Máquina no muestra grados de movimiento de motor principal mesa inferior, no reconoce movimiento angular de motor; se revisó encoder y cable de encoder encontrándolo en perfecto estado, por lo cual se continuó con revisión de PLC y tarjetas de PLC en compañía de equipo eléctrico; dar solución a la falla
Mayo	10	TERMOFORMADOR A ILLIG 70K TOCANCIPA	51460	10/05/2023 14:00	8,00	8,00	11,33%	Andrés Castro	Eléctrico	Máquina no muestra grados de movimiento de motor principal mesa inferior, no reconoce movimiento angular de motor; se revisó encoder y cable de encoder encontrándolo en perfecto estado, por lo cual se continuó con revisión de PLC y tarjetas de PLC en compañía de equipo eléctrico; dar solución a la falla

**Nota.** Datos tomados de reportes de fallas, suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla]

Como se puede observar en la tabla 5 la máquina Termoformadora ILLIG 70K, tuvo una parada de larga duración dejando así de producir aproximadamente 645.120 unidades en 16 horas reportadas, teniendo un impacto negativo en cuanto a costo de manufactura, entrega a clientes, mano de obra y confiabilidad de equipo.

Esta falla tuvo difícil solución debido a la obsolescencia de elementos y larga espera de entrega de elementos tal como lo mencionan los técnicos en sus reportes, aunque la falla pudo ser detectada en un lapso aceptable, la falta de actualización es esta máquina en específico, género que la reparación y habilitación de la máquina tuviera un tiempo extendido.

**Tabla 6**

*Falla por obsolescencia de equipos, diciembre 2023.*

MES	DÍA	DESCRIPCIÓN DEL ACTIVO	REPORTE	FECHA INICIAL PROGRAMADA	TIEMPO DE FALLA	TIEMPO DE ATENCIÓN	PARTICIPACIÓN DE LA FALLA	ENCARGADO	CLASIFICACIÓN	PLAN DE ACCIÓN INMEDIATO
Diciembre	13	TERMOFORMADORA RDKP 72D - ESTEPA	62134	13/12/2023 6:00	8,00	8,00	7,97%	Andrés Ramirez	Eléctrico	Máquina presenta daño en tarjetas de encoder, tarjetas y rack averiadas; se reemplazan rack y 2 tarjetas; para garantizar funcionamiento; tarjetas y rack tardaron en llegar varios días
Diciembre	13	TERMOFORMADORA RDKP 72D - ESTEPA	62134	13/12/2023 14:00	8,00	8,00	7,97%	Andrés Castro	Eléctrico	Máquina presenta daño en tarjetas de encoder, tarjetas y rack averiadas; se reemplazan rack y 2 tarjetas; para garantizar funcionamiento; tarjetas y rack tardaron en llegar varios días

**Nota.** Datos tomados de reportes de fallas, suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla]

En la Tabla 3 se observa la falla presentada por la máquina Termoformadora RDKP72 en el mes de diciembre y que tuvo una falla reportada de 16 horas de duración, dejando así de producir 362.880. Según reportes de los técnicos la falla tuvo un tiempo de duración prolongado debido a la espera de los elementos electrónicos de recambio y su difícil consecución.

Una vez más, se puede identificar que una de las causas que generan fallos prolongados en esta compañía, afectando claramente los indicadores de mantenimiento, es la obsolescencia de los elementos electrónicos y su difícil consecución en el mercado. Además, según la información proporcionada por los técnicos, los elementos de recambio se han obtenido en el extranjero y en condiciones de remanufactura, ya que los fabricantes han discontinuado su producción debido a su antigüedad.

**Tabla 7**

*Falla por daño en motores, noviembre 2023..*

MES	DÍA	DESCRIPCIÓN DEL ACTIVO	REPORTE	FECHA INICIAL PROGRAMADA	TIEMPO DE FALLA	TIEMPO DE ATENCIÓN	PARTICIPACIÓN DE LA FALLA	ENCARGADO	CLASIFICACIÓN	PLAN DE ACCIÓN INMEDIATO	CATEGORÍA
Noviembre	11	EXTRUSORA AMUT 1503	62434	11/11/2023 22:00	8,00	8,00	4,96%	Julian Moreno	Eléctrico	Motor principal de tornillo no arranca, máquina arroja falla de accionamiento de motor; se revisa parte eléctrica, variador, conexiones; máquina continúa aen falla y eléctrico John Rodriguez continuó con revisión	Mantenimiento
Noviembre	12	EXTRUSORA AMUT 1503		12/11/2023 6:00	8,00	0,00	4,96%	John Rodriguez	Falta reporte de falla	Motor principal de tornillo A no arranca, arroja falla de accionamiento de motor, variador con alarm failed failed; se revisan conexiones en motor y variador encontrándolas en orden, se verifica estado de escobillas y potencia pero no se logra dar solución a falla	Mantenimiento
Noviembre	12	EXTRUSORA AMUT 1503	62427	12/11/2023 16:00	6,00	6,00	3,72%	Julian Moreno	Eléctrico	Motor principal de tornillo A no arranca, arroja falla de accionamiento de motor, variador con alarm failed failed; se revisan conexiones en motor y variador encontrándolas en orden, se verifica estado de escobillas y potencia. Se realiza prueba de aislamiento de bobinas con instrumento Megohmetro encontrando que una de sus bobinas se encuentra con aislamiento bajo	Mantenimiento

**Nota.** Datos tomados de reportes de fallas, suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla].

La tabla 7, muestra una falla presentada en el equipo Extrusora Amut, la cual tuvo reportados tiempos de 22 horas de falla, donde se dejaron de producir 8,8 Ton de lámina PS. Además de este tiempo reportado en entrevista con planeador del área de mantenimiento, nos mencionó que esta falla tal como lo mencionan los diferentes técnicos en sus reportes fue causada por daño en el bobinado de motor de 150 KW, la reparación del equipo tardo varios días, ocasionando que tuvieron que buscar estrategias nuevas para poder abastecer las máquinas que utilizaban esta lamina y mitigar un poco la entrega de producto a los diferentes clientes.

La estrategia que implementaron fue la producción de este tipo de lámina en una máquina en otra sede de la misma compañía ubicada en el Valle del cauca, aunque esta estrategia evito grandes incumplimientos y detención de otros equipos, se generó gran costo extra para la manufactura de productos, ya que se tenía que transportar la lámina de una ciudad a otra.

**Tabla 8**

*Continuidad daño motor, noviembre 2023.*

MES	DÍA	DESCRIPCIÓN DEL ACTIVO	REPORTE	FECHA INICIAL PROGRAMADA	TIEMPO DE FALLA	TIEMPO DE ATENCIÓN	PARTICIPACIÓN DE LA FALLA	ENCARGADO	CLASIFICACIÓN	PLAN DE ACCION INMEDIATO	CATEGORÍA
Noviembre	21	EXTRUSORA AMUT 1503	62375	21/11/2023 22:00	8,00	8,00	10,07%	Julián Moreno	Eléctrico	Se recibe máquina en falla, variador en falla por fases faltantes, fusible de 500A de alimentación principal abierto; se procede a cambiar fusible, máquina arranca y trabaja 30 minutos pero vuelve a presentar falla, motor presenta daño; para garantizar funcionamiento	Mantenimiento

**Nota.** Datos tomados de reportes de fallas, suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla].

Continuando con el seguimiento de la falla presentada en la Extrusora Amut, se observó que, al llegar el motor de reparación, los técnicos realizaron pruebas de funcionamiento y desafortunadamente no obtuvieron buenos resultados, al conectar el motor y generar un arranque los fusibles que protegen al variador de velocidad se abrieron.

En entrevista con el técnico Julián Moreno, indico que durante las pruebas estuvo presente el proveedor que genero la reparación del motor y que debido a que las bobinas originales tenían una construcción en lámina, su reparación no se pudo hacer en este mismo material porque su disponibilidad era de 3 semanas, por ende, se trató de rebobinar en alambre de cobre habitual pero no obtuvieron buenos resultados. Por esto se tuvo que volver a enviar el motor a reparación y la máquina aun continua en falla.

Adicional a esto se tuvieron daños colaterales, los cuales generaron daño en el controlador de velocidad del motor a raíz de las sobrecargas generadas por el motor, generando daños en los componentes electrónicos internos del controlador de velocidad, tal como lo mencionan los técnicos en sus reportes.

**Tabla 9**

*Daños colaterales por avería del motor, noviembre 2023.*

MES	DÍA	DESCRIPCIÓN DEL ACTIVO	REPORTE	FECHA INICIAL PROGRAMADA	TIEMPO DE FALLA	TIEMPO DE ATENCIÓN	PARTICIPACIÓN DE LA FALLA	ENCARGADO	CLASIFICACIÓN	PLAN DE ACCION INMEDIATO
Diciembre	19	EXTRUSORA AMUT 1503	62132	19/12/2023 6:00	8.00	8.00	7.74%	Diego Infante	Eléctrico	Máquina se detiene por error en controlador de velocidad tornillo, variador principal arroja falla "Over I TRIP" que corresponde a sobrecorriente del accionamiento, se verifica con pinza amperimétrica y corriente no supera la normal; se verifica corriente del accionamiento, se encuentra en max 50 Amp y corriente de disparo es de 400 Amp, se procede a realizar cambio de accionamiento principal, se realiza debida conexión y configuración, se entrega equipo en producción y a satisfacción de operadores, corriente, velocidad y presión de máquina estables; esta intervención se ejecuta en 2 seguimientos: 1. se instala variador de MQ25020 de forma provisional; 2. se realiza compra de variador nuevo, se recibe, se instala en máquina y se devuelve el otro a MQ25020
Diciembre	19	EXTRUSORA AMUT 1503	62130	19/12/2023 14:00	6.00	6.00	5.80%	Julián Moreno	Eléctrico	Máquina se bloquea repetidamente por temperatura, variador presenta problemas ocasionando que motor no trabaje correctamente; se realiza cambio de variador por el de la máquina welex para garantizar funcionamiento

**Nota.** Datos tomados de reportes de fallas, suministrados por empresa de manufactura de empaques plásticos (2024) [tabla].

## **7.2 Objetivo No. 2**

Los datos mostrados a continuación se centran en comparar y clasificar tecnologías emergentes y avanzadas según su aplicabilidad y beneficios potenciales en el mantenimiento industrial de la fabricación de empaques plásticos. Para ello, se emplea una metodología basada en la revisión de artículos científicos, estudios de caso y análisis de informes industriales, que proporcionarán un criterio sólido para la selección y comparación de cada tecnología.

### **Criterios de Selección de Tecnologías.**

- Parámetros Utilizados para la Selección y Comparación de Tecnologías:
  - Aplicabilidad en la industria de empaques plásticos.
  - Costos de implementación y mantenimiento.
  - Facilidad de integración con sistemas existentes.
  - Beneficios en términos de eficiencia, ahorro de costos y reducción del tiempo de inactividad.
- Fuentes de información:
  - Artículos científicos y revisiones sistemáticas.
  - Estudios de caso específicos de la industria de empaques plásticos.
  - Informes y documentos de organizaciones industriales y tecnológicas.

### ***Métodos de Comparación.***

- Técnicas de Análisis y Comparación Utilizadas:
  - Evaluación multicriterio.
  - Matrices de decisión y tablas comparativas.

### ***Tecnologías Emergentes y Avanzadas***

#### Internet de las Cosas (IoT)

- Descripción: Conectividad de dispositivos y sistemas mediante sensores y redes, permitiendo la recopilación y análisis de datos en tiempo real.
- Aplicabilidad: Alta en monitoreo y mantenimiento preventivo.

#### Inteligencia Artificial (IA)

- Descripción: Uso de algoritmos y modelos predictivos para el análisis de datos y la toma de decisiones automatizadas.
- Aplicabilidad: Alta en mantenimiento predictivo y análisis de datos.

#### Robótica

- Descripción: Implementación de robots para tareas de mantenimiento y operación, reduciendo la intervención humana.
- Aplicabilidad: Media, requiere adaptación específica para cada proceso.

#### Mantenimiento Predictivo

- Descripción: Uso de sensores y análisis de datos para predecir fallas antes de que ocurran, optimizando los programas de mantenimiento.

- Aplicabilidad: Alta, especialmente relevante para la reducción del tiempo de inactividad.

#### Realidad Aumentada (AR)

- Descripción: Uso de dispositivos AR para guiar a los técnicos durante el mantenimiento, proporcionando información en tiempo real.
- Aplicabilidad: Media, puede requerir entrenamiento adicional.

#### Realidad Virtual (VR)

- Descripción: Uso de entornos virtuales inmersivos para la formación y simulación de tareas de mantenimiento.
- Aplicabilidad: Media, puede requerir inversión en equipos y formación especializada.

#### Gemelos Digitales

- Descripción: Modelos virtuales precisos de procesos, productos o servicios que permiten simulaciones y análisis en tiempo real.
- Aplicabilidad: Alta en la simulación y optimización de procesos de mantenimiento.

#### Machine Learning

- Descripción: Uso de herramientas y técnicas con IA para procesar y analizar datos, obteniendo información valiosa para la toma de decisiones.
- Aplicabilidad: Alta en la identificación de patrones y tendencias que mejoren la estrategia de mantenimiento.

Cabe resaltar que se han empleado datos y resultados estimados para caracterizar las tecnologías emergentes y avanzadas aplicables al mantenimiento industrial en la fabricación de empaques plásticos. Es importante destacar que los valores presentados, como costos de implementación, ahorros potenciales y tiempos de retorno de inversión (ROI), son estimaciones basadas en un análisis general de la literatura académica, informes de la industria y casos relevantes en contextos similares.

La intención primordial de este estudio es proporcionar una visión comprensiva de las características y beneficios de cada tecnología seleccionada, así como su aplicabilidad general en el ámbito del mantenimiento industrial asociado a la Industria 4.0.

La metodología ha permitido realizar comparaciones significativas entre las tecnologías, destacando sus capacidades, desafíos y potenciales beneficios, con el fin de orientar estratégicamente la adopción de tecnologías innovadoras en el contexto descrito.

**Tabla 10**

*Beneficios potenciales.*

Tecnología	Reducción de Costos	Mejora en Eficiencia	Reducción de Tiempo de Inactividad	Mejora en la Calidad	Flexibilidad
IoT (Internet de las Cosas)	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
Inteligencia Artificial (IA)	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Robótica	Alta	Alta	Media	Alta	Media
Mantenimiento Predictivo	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
Realidad Aumentada (AR)	Media	Alta	Media	Alta	Alta
Gemelos Digitales	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Machine Learning	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
Realidad Virtual (VR)	Media	Media	Media	Alta	Media
Sistemas Ciberfísicos (CPS)	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

**Nota.** La tabla presenta una comparación de las ventajas que cada tecnología puede. Elaboración propia. [tabla].

La tabla de beneficios potenciales compara las ventajas específicas que cada tecnología puede ofrecer en términos de reducción de costos, mejora en eficiencia, reducción de tiempo de inactividad, mejora en la calidad y flexibilidad. Estas estimaciones se basan en revisiones de la literatura y estudios documentan los beneficios obtenidos por empresas que han implementado estas tecnologías. Por ejemplo, IoT y AI son reconocidas por su capacidad para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos, mientras que los gemelos digitales ofrecen una simulación precisa y optimización de procesos (Brous et al., 2020; Scully et al., 2018).

**Tabla 11**

*Características técnicas*

Tecnología	Descripción	Funcionalidad Principal	Requerimientos de Infraestructura	Compatibilidad
IoT (Internet de las Cosas)	Conectividad de dispositivos y sistemas mediante sensores y redes	Monitoreo en tiempo real	Sensores, redes de comunicación, plataformas de gestión	Alta con sistemas de monitoreo y control
Inteligencia Artificial (IA)	Uso de algoritmos y modelos predictivos para el análisis de datos	Predicción de fallos y análisis de datos	Servidores potentes, software de IA, grandes volúmenes de datos	Alta, se integra con sistemas de datos y análisis
Robótica	Implementación de robots para tareas de mantenimiento y operación	Automatización de tareas repetitivas y peligrosas	Equipos robóticos, programación de robots	Media, requiere adaptación específica
Mantenimiento Predictivo	Uso de sensores y análisis de datos para predecir fallas	Prevención de fallos y optimización del tiempo de vida de equipos	Sensores, software de análisis, plataformas de datos	Alta, compatible con sistemas de monitoreo
Realidad Aumentada (AR)	Uso de dispositivos AR para guiar a técnicos en el mantenimiento	Asistencia técnica en tiempo real	Dispositivos AR, software especializado	Media, puede requerir integración con sistemas de información
Gemelos Digitales	Modelos virtuales precisos de procesos, productos o servicios	Simulación y optimización de procesos de mantenimiento	Modelado 3D, plataformas de simulación	Alta, se integra con sistemas de monitoreo y simulación
Machine Learning	Herramientas para procesar y analizar grandes volúmenes de datos	Identificación de patrones y tendencias con (IA)	Servidores de alto rendimiento, software de análisis de datos	Alta, se integra con sistemas de gestión de datos
Realidad Virtual (VR)	Entornos virtuales inmersivos para formación y simulación	Formación y simulación de tareas de mantenimiento	Dispositivos VR, software de simulación	Media, requiere equipos y formación especializada
Sistemas Ciberfísicos (CPS)	Integración de sistemas físicos y computacionales para monitoreo y control	Monitoreo y control en tiempo real	Sensores, actuadores, plataformas de control	Alta, compatible con sistemas de monitoreo y control

**Nota.** La tabla presenta las características técnicas de diversas tecnologías emergentes y avanzadas aplicables al mantenimiento industrial en la fabricación de empaques plásticos. Elaboración propia.

**Tabla 12***Aplicabilidad.*

Tecnología	Facilidad de Implementación	Adaptabilidad	Complejidad de Integración	Costo Inicial	Tiempo de Implementación
IoT (Internet de las Cosas)	Alta	Alta	Media	Medio	Bajo
Inteligencia Artificial (IA)	Media	Alta	Alta	Medio	Largo
Robótica	Media	Media	Alta	Alto	Medio
Mantenimiento Predictivo	Alta	Alta	Media	Medio	Bajo
Realidad Aumentada (AR)	Media	Media	Media	Medio	Bajo
Gemelos Digitales	Media	Alta	Alta	Alto	Largo
Machine Learning	Alta	Alta	Media	Medio	Bajo
Realidad Virtual (VR)	Media	Media	Media	Medio	Bajo
Sistemas Ciberfísicos (CPS)	Media	Alta	Alta	Alto	Largo

**Nota.** La tabla presenta la aplicabilidad de diversas tecnologías. Elaboración propia. [tabla].

La tabla de aplicabilidad clasifica las tecnologías según su facilidad de implementación, adaptabilidad, complejidad de integración, costo inicial y tiempo de implementación. Estos datos se basan en estudios y análisis de casos que detallan la implementación de estas tecnologías en diferentes industrias. Por ejemplo, la implementación del IoT en la industria manufacturera ha demostrado ser relativamente fácil y adaptable, con costos iniciales moderados y un tiempo de implementación de menos de un año (Lee & Lee, 2020). Por otro lado, la inteligencia artificial, aunque altamente adaptable, presenta una mayor complejidad de integración y un costo inicial más alto, reflejando un mayor tiempo necesario para su completa implementación (Wang et al., 2019).

**Tabla 13***Desafíos y limitaciones.*

Tecnología	Costos de Implementación	Barreras Tecnológicas	Requerimientos de Capacitación	Resistencia al Cambio	Mantenimiento
IoT (Internet de las Cosas)	Medio	Interoperabilidad, Seguridad de datos	Alta	Media	Regular
Inteligencia Artificial (IA)	Medio	Complejidad algoritmos, Datos de calidad	Alta	Alta	Alto
Robótica	Alto	Integración con sistemas existentes	Alta	Alta	Alto
Mantenimiento Predictivo	Medio	Acceso a datos históricos, Modelado	Media	Media	Medio
Realidad Aumentada (AR)	Medio	Requerimientos de hardware	Media	Media	Medio
Gemelos Digitales	Alto	Modelado de procesos, Integración	Alta	Alta	Alto
Machine Learning	Medio	Infraestructura de datos, Escalabilidad	Alta	Alta	Alto
Realidad Virtual (VR)	Medio	Hardware especializado	Media	Media	Medio
Sistemas Ciberfísicos (CPS)	Alto	Seguridad, Integración con IT	Alta	Alta	Alto

**Nota.** La tabla presenta los desafíos y limitaciones estimados para la implementación de cada tecnología. Estos valores se basan en datos disponibles y experiencias de implementación. Elaboración propia. [tabla].

La tabla de desafíos y limitaciones resalta los principales obstáculos asociados con la implementación de cada tecnología, como costos de implementación, barreras tecnológicas, requerimientos de capacitación, resistencia al cambio y necesidades de mantenimiento. Estos desafíos son fundamentales para entender las limitaciones prácticas de cada tecnología y se basan en estudios de casos y revisiones de la literatura que documentan las experiencias de las empresas en la adopción de estas tecnologías (Dwivedi et al., 2020; Lee et al., 2019).

**Tabla 14***Retorno de Inversión (ROI)*

Tecnología	Costo Inicial (USD)	Ahorro Anual Estimado (USD)	ROI en 1 Año	ROI en 5 Años
IoT (Internet de las Cosas)	\$50,000 - \$100,000	\$20,000 - \$40,000	0.5 - 2 años	2 - 5 años
Inteligencia Artificial (IA)	\$100,000 - \$200,000	\$30,000 - \$60,000	1 - 3 años	3 - 6 años
Robótica	\$200,000 - \$500,000	\$50,000 - \$100,000	2 - 5 años	4 - 7 años
Mantenimiento Predictivo	\$75,000 - \$150,000	\$15,000 - \$30,000	1 - 3 años	3 - 6 años
Realidad Aumentada (AR)	\$50,000 - \$100,000	\$10,000 - \$20,000	0.5 - 2 años	2 - 5 años
Gemelos Digitales	\$150,000 - \$300,000	\$40,000 - \$80,000	1 - 4 años	3 - 7 años
Machine Learning	\$100,000 - \$200,000	\$25,000 - \$50,000	0.5 - 2 años	2 - 5 años
Realidad Virtual (VR)	\$50,000 - \$100,000	\$10,000 - \$20,000	0.5 - 2 años	2 - 5 años
Sistemas Ciberfísicos (CPS)	\$150,000 - \$300,000	\$30,000 - \$60,000	1 - 3 años	3 - 6 años

**Nota.** La tabla presenta una estimación del costo inicial, ahorro anual estimado y retorno de inversión (ROI). Valores basados en estudios de casos y análisis de retorno de inversión en industrias similares. Elaboración propia. [tabla].

La estimación de costos iniciales, ahorros anuales y ROI para cada tecnología se basa en datos de diversas fuentes de la literatura académica y la industria. Por ejemplo, estudios muestran que la implementación de IoT en entornos industriales puede reducir significativamente los costos operativos y mejorar la eficiencia a través del monitoreo en tiempo real y la automatización (Lee et al., 2020). Similarmente, la inteligencia artificial ha demostrado ser una tecnología valiosa para el mantenimiento predictivo y la optimización de procesos, con un ROI atractivo debido a la mejora en la eficiencia y la reducción de tiempos de inactividad (Wang et al., 2019).

**Tabla 15***Evaluación de Tecnologías.*

Tecnología	Facilidad de Implementación	Adaptabilidad	Complejidad de Integración	Costo Inicial	Tiempo de Implementación	Reducción de Costos	Mejora en Eficiencia	Reducción de Tiempo de Inactividad	Mejora en la Calidad	Flexibilidad
IoT (Internet de las Cosas)	4	5	3	4	4	5	5	5	4	5
Inteligencia Artificial (IA)	3	4	4	3	3	5	5	4	5	4
Robótica	4	4	4	3	3	4	5	4	5	4
Mantenimiento Predictivo	5	5	3	4	4	5	5	5	4	5
Realidad Aumentada (AR)	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4
Gemelos Digitales	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4
Machine Learning	4	5	3	4	4	5	5	5	5	5
Realidad Virtual (VR)	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4
Sistemas Ciberfísicos (CPS)	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4

**Nota.** La tabla presenta la evaluación de las tecnologías con los criterios más relevantes se selección. Elaboración propia. [tabla].

La tabla de evaluación muestra una comparación de las tecnologías seleccionadas, utilizando criterios claves para determinar las mejores opciones para el objetivo número 2. Cada tecnología fue calificada de 1 a 5, donde 1 representa la menor calificación y 5 la mayor.

### Criterios de Evaluación

- **Facilidad de Implementación:** Evalúa lo sencillo que es integrar la tecnología en el entorno existente de la empresa.
- **Adaptabilidad:** Mide la capacidad de la tecnología para ajustarse a diferentes necesidades y circunstancias operativas.
- **Complejidad de Integración:** Considera las dificultades técnicas y de gestión al incorporar la tecnología.
- **Costo Inicial:** Estima los gastos iniciales necesarios para implementar la tecnología.

- **Tiempo de Implementación:** Cuantifica el tiempo requerido desde la adopción hasta el funcionamiento efectivo de la tecnología.
- **Reducción de Costos:** Evalúa el impacto de la tecnología en la disminución de costos operativos.
- **Mejora en Eficiencia:** Mide cuánto mejora la eficiencia operativa con la implementación de la tecnología.
- **Reducción de Tiempo de Inactividad:** Considera la capacidad de la tecnología para minimizar las interrupciones y paradas no planificadas.
- **Mejora en la Calidad:** Evalúa el efecto de la tecnología en la calidad del producto final.
- **Flexibilidad:** Mide la capacidad de la tecnología para adaptarse a cambios en la producción y demandas del mercado.

### **Tecnologías Seleccionadas**

Las tecnologías con las calificaciones más altas, que se consideran las mejores opciones para cumplir con el objetivo del proyecto, son:

- **Internet de las Cosas (IoT).**

Con calificaciones altas en adaptabilidad, reducción de costos, mejora en eficiencia, y flexibilidad, IoT se destaca como una tecnología clave para mejorar la gestión del mantenimiento industrial en la fabricación de empaques plásticos.

- **Mantenimiento Predictivo.**

Obtuvo las calificaciones más altas en facilidad de implementación, reducción de costos, mejora en eficiencia, y reducción de tiempo de inactividad. Esta tecnología es esencial para predecir y prevenir fallas antes de que ocurran, lo cual es crítico para mantener la eficiencia y reducir costos en la industria de empaques plásticos.

- **Machine Learning.**

Con altos puntajes en reducción de costos, mejora en eficiencia y flexibilidad, y la potenciación del análisis de datos con la ayuda de la inteligencia artificial, puede optimizar varios aspectos del mantenimiento industrial, incluyendo la toma de decisiones basadas en información detallada y precisa.

### **7.3 Objetivo No. 3**

Según el estudio de las tecnologías, se recomienda implementar herramientas de la Industria 4.0 para mejorar el mantenimiento en la empresa de fabricación de empaques plásticos. Esta estrategia permitirá obtener mejores resultados y alcanzar los objetivos establecidos por la compañía.

Por otro lado, estas tecnologías no solo mejorarán la confiabilidad de las máquinas y el mantenimiento, también optimizarán los procesos productivos al proporcionar información en tiempo real, pronósticos precisos y un aumento en el rendimiento de la producción.

Para esta empresa en específico que se tomó como muestra se recomienda continuar con su estrategia de mantenimiento (TPM), que han venido trabajando durante años y han obtenido mejoras desde su implementación, como lo menciona el planeador de mantenimiento.

Sin embargo, incorporar tecnologías como IoT, mantenimiento predictivo y automatización a la estrategia de mantenimiento actual permitirá mejorar los indicadores y alcanzar las metas establecidas en términos de disponibilidad de equipos, confiabilidad de las máquinas, MTTR, MTBF y porcentaje de fallas, basándonos en las evaluaciones de tecnologías realizada en nuestro objetivo número dos.

Por tanto, la nueva estrategia de mantenimiento que se recomienda es la siguiente:

**Mantenimiento basado en la estrategia de mantenimiento actual (TPM), aplicando la industria 4.0.**

***Mejoras esperadas, con las tecnologías nuevas planteadas:***

- Mantenimiento predictivo:

**Figura 13.**  
*Mantenimiento predictivo motores*



***Nota.*** Tomada de Villalobos, A. 2019 [Imagen]

Incorporar el mantenimiento predictivo como parte de la estrategia TPM permitirá identificar averías antes de que ocurran y evitar paradas prolongadas. Específicamente, se recomienda utilizar cámaras termográficas y sensores de vibración en motores de más de 25 hp, ya que, según el análisis realizado, estos motores son responsables de detenciones de producción no programadas. Con estas herramientas implementadas en el plan de mantenimiento actual, se espera anticipar fallos en estos equipos.

Para recomendar los equipos adecuados para la implementación de la estrategia de mantenimiento propuesta, se llevó a cabo una evaluación de sensores de vibración y cámaras termográficas. Se asignó una calificación de 1 a 5 a cada sensor, considerando factores como la

temperatura de trabajo, la conectividad con los procesos, la capacidad de adquisición de datos y el costo, todo ello enfocado en las necesidades específicas de la empresa de fabricación de empaques plásticos.

El sensor de vibración que obtuvo la mejor calificación fue el "Schaeffler OPTIME 3", destacándose por su fácil instalación en los equipos, conectividad a la red, precisión en las mediciones y un costo accesible.

**Tabla 16**

*Sensores de Vibración.*

<b>Característica</b>	<b>Sensor A</b>	<b>Sensor B</b>	<b>Sensor C</b>
<i>Modelo</i>	WEGSCAN 100-1-MFM	ifm VVB010	Schaeffler OPTIME 3
<i>Magnitudes Físicas</i>	Temperatura y vibración	Vibración	Temperatura y vibración.
<i>Conectividad</i>	Conectividad Bluetooth	IO-link	Wirepas Mesh (2.4GHz ISM Band)
<i>Temperatura de operación</i>	-10°C a 55°C	-30°C a 80°C	-40°C a 85°C
<i>Costo aproximado</i>	\$950.000 COP	\$1'720.000 COP	\$1'120.000 COP
<i>Calificación</i>	4	3	5

**Nota.** *Elaboración propia*

Continuando con la selección de equipos para el mantenimiento predictivo, se evaluaron diversas referencias de cámaras termográficas. Aunque el mercado actual ofrece una amplia gama con mejores resoluciones y características, se optó por seleccionar una cámara que cumpla con una resolución aceptable y un rango de medición adecuado para monitorear el comportamiento de los motores en la empresa de manufactura de empaques plásticos. Esta elección busca minimizar el costo de inversión.

**Tabla 17**

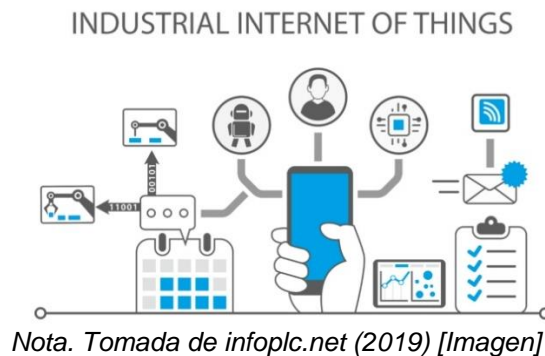
*Cámaras termográficas.*

<b>Característica</b>	<b>Sensor A</b>	<b>Sensor B</b>	<b>Sensor C</b>
<i>Modelo</i>	Fluke TiX580	FLIR E6XT	Uni-Trend UTI260B
<i>Resolución de imagen</i>	1280 x 960	240 x 180	256x192
<i>Conectividad</i>	USB, Wifi	USB, Wifi	USB
<i>Rango medición de Temperatura</i>	-20°C a 1000°C	-20°C a 580°C	-20°C a 550°C
<i>Costo aproximado</i>	\$68'900.000 COP	\$7'920.000 COP	\$3'980.000 COP
<i>Calificación</i>	2	4	3

**Nota.** *Elaboración propia*

- **Internet de las cosas (IoT):**

**Figura 14.**  
IoT en la industria



Aplicar esta herramienta en la empresa de fabricación de empaques plásticos permite obtener información y diagnósticos de las diferentes máquinas de manera más eficiente. Al disponer de datos en tiempo real, se facilita que las personas adecuadas tomen decisiones de manera más ágil y efectiva.

Por otro lado, interconectar los diferentes sensores e instrumentos ubicados en las máquinas con un sistema de monitoreo permitirá observar el comportamiento de elementos críticos en los distintos procesos y programar la corrección de cualquier desviación detectada, todo dentro de la estrategia TPM.

- Automatización:

**Figura 15**

Sistema de control, Termoformadora 70K.



**Nota.** Tomada de <https://www.machinesonweb.com>, 2024 [Imagen]

La automatización se recomienda como herramienta para las máquinas RDKP 72D y Termoformadora 70K. Dentro de la revisión de los reportes de falla generados por los diferentes técnicos se encontró patrones que indican que intervenciones de mantenimiento correctivo tuvieron complicaciones y difíciles soluciones para habilitar la maquinaria debido a la obsolescencia de algunos componentes eléctricos y/o electrónicos, lo cual genera largos tiempos de consecución de repuestos, altos costos y poco soporte técnico del fabricante de la pieza, por no decir nulo por obsolescencia del elemento.

Se recomienda enfocar la automatización en la actualización del sistema de control actual de estas máquinas. Esto ofrecerá varios beneficios, entre ellos: menos paradas del equipo, diagnósticos más precisos, tiempos de reparación reducidos, y un aumento en la confiabilidad de las máquinas, entre otros.

Con la automatización de estos equipos se espera que los tiempos de intervención mejoren, impactando directamente el MTTR y ayude a mejorar los procesos productivos generando informes detallados de producción y estado de elementos críticos.

Complementando nuestro objetivo de recomendar una nueva estrategia de mantenimiento basada en la Industria 4.0, se ha diseñado un pequeño checklist que detalla las actividades a ejecutar dentro de esta estrategia, utilizando las herramientas seleccionadas a lo largo de esta monografía.

**Tabla 18.**

*Checklist Mantenimiento basado en I4.0.*

Estrategia de mantenimiento TPM, basada en I4.0						
Area	Actividad	Frecuencia	Responsable	Herramientas/tecnología I4.0	Estado(OK/NO)	Comentario
Inspección general	Inspeccionar estado general de las máquinas	Diario	Operario de maquina	Sensor Iot, interfaz de usuario (HMI)		
Lubricación	Verificar niveles y aplicar lubricante	Semanal	Tecnico de mantenimiento	Sistema de monitoreo automatico		
Vibraciones	Medir y analizar vibraciones de los equipos	Mensual	Tecnico de mantenimiento	Senso de vibracion IoT		
Temperaturas	Verificar y registrar temperaturas operativas	Mensual	Tecnico de mantenimiento	Camara termografica, sensores IoT		
Conectividad	Comprobar la conectividad de sensores y sistemas	Diario	Tecnico de mantenimiento	Sistema de monitoreo automatico		
Análisis de Datos	Analizar datos de rendimiento y predictivos	Mensual	Planeador de mantenimiento	Software de análisis de datos		
Planificación	Revisar y actualizar el plan de mantenimiento	Trimestral	Planeador de mantenimiento	Software de gestión		
Capacitación	Realizar sesiones de capacitación para el personal	Semestral	Recursos Humanos	Plataforma de e-learning		
Diagnósticos	Realizar diagnósticos detallados de equipos críticos	Semestral	Ingeniero de mantenimiento	Análisis predictivo, AI		

**Nota. Construcción propia**

## 8. CONCLUSIONES

El mantenimiento basado en la Industria 4.0 representa un cambio en la gestión y operación de los sistemas industriales. A lo largo de esta monografía, se ha mostrado cómo la integración de tecnologías avanzadas, transforman las prácticas tradicionales de mantenimiento en enfoques más eficientes, predictivos y proactivos.

En la evaluación del estado actual del mantenimiento en la empresa dedicada a la fabricación de empaques plásticos, se encontró que, aunque actualmente se implementa la estrategia de mantenimiento TPM, no se han alcanzado las metas establecidas para indicadores clave como la disponibilidad de equipos, el MTBF y el porcentaje de fallas.

Sin embargo, estos indicadores no presentan diferencias abismales y están muy cerca de alcanzar sus objetivos. Un ejemplo es el indicador de MTTR, que ya se ha alcanzado exitosamente, la disponibilidad de equipos, que muestra una diferencia de menos del 1%. Aunque la estrategia de TPM está bien planteada, la adopción de herramientas de la Industria 4.0 podría ayudar a la empresa a alcanzar todas sus metas en la gestión del área de mantenimiento.

En el análisis de las tecnologías de la Industria 4.0, se identificaron aquellas que pueden tener un impacto positivo en el mantenimiento de la industria de fabricación de empaques plásticos. El IoT, el análisis de datos, la automatización y el mantenimiento predictivo se destacaron como las herramientas más adecuadas para mejorar la gestión de mantenimiento.

Finalmente se recomienda continuar con la estrategia de mantenimiento actual, adhiriendo tecnologías de la I4.0 en busca de mejorar la gestión de los activos de la compañía, reducir costos y ganar ventaja competitiva en el mercado actual que cada vez es más competitivo. La clave del éxito para una posible implementación de esta estrategia planteada reside en la capacidad de adaptarse a un entorno tecnológico en constante cambio.

## 9. RECOMENDACIONES

- Implementar Mantenimiento Predictivo:

El mantenimiento predictivo debe ser una prioridad. Utilizando sensores IoT y análisis de la información, se pueden prever fallos antes de que ocurran, lo que reduce tiempos de inactividad no planificados y prolonga la vida útil de los equipos. Se recomienda empezar con los equipos críticos que se han identificado en el análisis realizado para lograr el objetivo específico número uno de esta monografía.

- Adoptar una Estrategia de Implementación Progresiva:

Es importante adoptar una estrategia de implementación progresiva para las tecnologías de la Industria 4.0 en el mantenimiento. iniciando con proyectos piloto permite evaluar el impacto y ajustar las soluciones antes de una implementación a gran escala.

- Aprovechar la Automatización:

La automatización ayudara a reducir el impacto de las paradas prolongadas por obsolescencia de equipos que se han identificado en el análisis de información histórica del 2023, pero también debe ser aprovechada para la mejora de procesos productivos desde el punto de vista de calidad, seguridad y eficiencia.

- Invertir en Capacitación y Desarrollo de Personal

La capacitación del personal es crucial para el éxito de la Industria 4.0. Se recomienda invertir en programas de formación que abarquen desde el manejo de nuevas tecnologías hasta el análisis de datos y el mantenimiento predictivo. Esto asegurará que los empleados puedan operar y optimizar las nuevas herramientas eficientemente.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Alberti, A. (2020, 24 agosto). ¿Cómo calcular la disponibilidad de una máquina? Alsglobal.

Recuperado 5 de julio de 2024, de <https://www.alsglobal.com/es/news-and-publications/2022/06/como-calculer-a-disponibilidate-de-máquinas-e-equipamentos>

Admin, Admin, & Admin. (2023, 12 febrero). La automatización industrial: ¿Qué es? Sus

características más relevantes. AUTEXOPEN. <https://www.autex-open.com/automatizacion-industrial/automatizacionindustrial/#:~:text=La%20automatizaci%C3%B3n%20industrial%20es%20un,la%20calidad%20de%20los%20productos>

Arroyo Vaca, C. S., & Obando Quito, R. F. (2022). Importancia de la implementación de

mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. E-IDEA Journal of Engineering Science, 4(10), 59-69. <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>

Balance anual de la industria del plástico en Colombia: aporte sostenible y desafíos para el futuro.

(2023, 28 noviembre). La Nota Económica. Recuperado 27 de junio de 2024, de <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/balance-anual-de-la-industria-del-plastico-en-colombia-aporte-sostenible-y-desafios-para-el-futuro-2/>

Bryman, A. (2012). Social research methods. Oxford University Press.

Centro de Escritura Javeriano. (2020). Normas APA: Séptima edición. Pontificia Universidad Javeriana, Seccional Cali.

Datalyzer International bv. (2023, 28 marzo). OEE | Introducción en la Eficacia Global de los

Equipos. Datalyzer. <https://datalyzer.com/es/saber/que-es-oeef/>

- Díaz, A. A. (2020, 24 julio). 5 normas imprescindibles para una gestión eficaz del mantenimiento industrial. <https://es.linkedin.com/pulse/5-normas-imprescindibles-para-una-gesti%C3%B3n-eficaz-del-mantenimiento-d%C3%A1z>
- Dwivedi, Y. K., Hughes, D. L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., ... & Williams, M. D. (2020). Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice, and policy. *International Journal of Information Management*, 55, 101994. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>
- Gómez-Luna, E., Navas, D. F., Aponte-Mayor, G., & Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization. *Dyna*, 81(184), 158. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- Hernández-Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta*. Universidad de Celaya.
- Kawulich, B. B. (2005). Participant observation as a data collection method. *Forum: Qualitative Social Research*, 6(2).
- Ladino-Fernández, J. M., Briceño-Barrero, D. L., y Rodríguez, L. A. (2022). Industria 4.0: el reto para las pymes manufactureras de Bogotá. *Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1784>
- Lee, I., & Lee, K. (2020). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 63(4), 519-529. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2020.03.006>

- Lee, I., & Lee, K. (2019). Challenges and opportunities of digital healthcare systems: Insights from an exploratory study. *Technological Forecasting and Social Change*, 139, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.11.029>
- Mallioris, P., Aivazidou, E., & Bechtsis, D. (2024). Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 1(1), 1-15. DOI: 10.1016/j.cirpj.2024.02.003
- Mancuzo, G. (2024, 8 febrero). Evolución del mantenimiento: historia y actualidad. Blog – ComparaSoftware. <https://blog.comparasoftware.com/evolucion-del-mantenimiento/>
- Marcela, D. R. L., Adolfo, V. L. G., Sebastián, C. T., & Andrés, C. R. C. (2021). Casos de éxito en la implementación del mantenimiento predictivo mediante el uso de tecnologías de la industria 4.0 en empresas colombianas. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/13918>
- Peñata, A., Bolaños, F., & Chimbí, E. (2021). Integración de la industria 4.0 en el modelo de gestión de mantenimiento de una empresa de producción de bebidas. Recuperado 26 de junio de 2024, de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1287>
- Pincioli, L., Baraldi, P., & Zio, E. (2023). Maintenance optimization in industry 4.0. *Reliability Engineering & System Safety*, 144, 109204. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832023001199>
- Predictiva, A. (2024, 28 junio). Mantenimiento correctivo. Predictiva21. <https://predictiva21.com/mantenimiento-correctivo-2/>
- Ramírez Atehortúa, F. H., & Zwerg-Villegas, A. M. (2012). Metodología de la investigación: más

que una receta. AD-minister.

Rosales, J. (2023, 31 agosto). Disponibilidad y confiabilidad en el mantenimiento. Fractal.

Recuperado 5 de julio de 2024, de <https://www.fractal.com/es/mantenipedia/que-es-la-confiabilidad-en-el-mantenimiento-y-como-calcularla>

Rosati, R., Romeo, L., Cecchini, G., Tonetto, F., Viti, P., Mancini, A., & Frontoni, E. (2022). From knowledge-based to big data analytic model: a novel IoT and machine learning based decision support system for predictive maintenance in Industry 4.0. *Journal Of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 107-121. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01960-x>

Scully, T., Vilarinho, S., & Sousa, L. (2018). The Impact of Digital Twin Technology on the Product Lifecycle: The Case of the Aerospace and Automotive Industry. *Procedia CIRP*, 72, 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.153>

Seguas. (2022, 25 enero). La importancia del mantenimiento en instalaciones industriales.

Rethinking The Future. <https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales/#:~:text=El%20objetivo%20final%20de%20un,equipos%20alargando%20su%20vida%20%C3%BAtil>

Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Cauchick-Miguel, P. A., Kurnia, S., & Jurburg, D. (2021).

Integration of Industry 4.0 technologies into Total Productive Maintenance practices. *International Journal of Production Economics*, 240, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108224>

User, S. (2020, 23 septiembre). Mantenimiento 4.0.

<https://www.onyxerp.com/blog/mantenimiento-4-0>

Vessi, N. (2021, 11 febrero). Qué es Industria 4.0 y sus antecedentes. InnoAdap Technology.

<https://innoadap.com/que-es-industria-4-0-y-sus-antecedentes/>

Villalobos, A. (2019, 15 abril). La Estrategia Predictiva en el Mantenimiento 4.0.

<https://www.linkedin.com/pulse/la-estrategia-predictiva-en-el-mantenimiento-40-andreus-villalobos/>

Wang, X., Zhang, Y., & Zhao, Y. (2022). Digital twin for predictive maintenance in Industry 4.0: A

comprehensive review. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 107024.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107024>

Wirth, L., & Ullrich, A. (2018). Internet of Things (IoT): The Future of Big Data in Manufacturing

and Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 45-55.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.005>

# 11. ANEXOS.

## ANEXO 1. Cuestionario diagnóstico de mantenimiento, Electrónico.

### Diagnóstico estrategia de mantenimiento

Este cuestionario tiene como objetivo identificar su perspectiva sobre el estado actual del mantenimiento dentro de la empresa y posibles mejoras.

1. Nombre y Apellido

Diego Infante

2. Cargo actual en la empresa

Electronico de mantenimiento Industrial

3. ¿Cual es su nivel de satisfacción con la estrategia de mantenimiento actual?

★ ★ ★ ☆ ☆

4. ¿Cree que la estrategia TPM, esta aportando para la mejora de los procesos en la compañía?  
Califique de 1 a 5, Siendo 1 no aporta nada y 5 aporta demasiado.

1      2            4      5

5. ¿Cree que la estrategia de mantenimiento actual puede tener mejoras?  
Califique de 1 a 5. Siendo 1 totalmente en desacuerdo que tenga oportunidad de mejora y 5 totalmente de acuerdo que puede tener oportunidad de mejora.

1      2      3            5

6. ¿Conoce lo que es la industria 4.0?

Si

No

7. Si su respuesta fue "Si" en la pregunta anterior, mencione brevemente que sabe sobre la Industria 4.0.

La industria 4.0, es aplicar tecnologías sobre los procesos para la mejora de resultados en todas las areas de la compañía.

8. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al mantenimiento, mejorarían su proceso actual?

Si

No

Tal vez

9. ¿Qué esperaría que mejorara, si se realiza implementación de nuevas tecnologías?

Que herramientas tecnologicas me ayuden a realizar mis labores de forma mas agil y eficiente.

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíes se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)

[Privacidad y cookies](#) | [Términos de uso](#)

## ANEXO 2. Cuestionario diagnóstico de mantenimiento, Planeador de mantenimiento.

### Diagnóstico estrategia de mantenimiento

Este cuestionario tiene como objetivo identificar su perspectiva sobre el estado actual del mantenimiento dentro de la empresa y posibles mejoras.

1. Nombre y Apellido

Estefani Poveda

2. Cargo actual en la empresa

Planeadora de mantenimiento

3. ¿Cual es su nivel de satisfacción con la estrategia de mantenimiento actual?.



4. ¿Cree que la estrategia TPM, esta aportando para la mejora de los procesos en la compañía?.  
Califique de 1 a 5, Siendo 1 no aporta nada y 5 aporta demasiado.

1      2      3            5

5. ¿Cree que la estrategia de mantenimiento actual puede tener mejoras?  
Califique de 1 a 5. Siendo 1 totalmente en desacuerdo que tenga oportunidad de mejora y 5 totalmente de acuerdo que puede tener oportunidad de mejora.

1      2      3      4     

6. ¿Conoce lo que es la industria 4.0?



Si

No

7. Si su respuesta fue "Si" en la pregunta anterior, mencione brevemente que sabe sobre la Industria 4.0.

Es automatizar diferentes sistemas para obtener informacion en tiempo real y toma de decisiones inmediata.

8. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al mantenimiento, mejorarían su proceso actual?

Si

No

Tal vez

9. ¿Qué esperarías que mejorara, si se realiza implementación de nuevas tecnologías?

Ayudar a predecir posibles fallos y mostrar una ruta de mantenimiento, basado en el monitoreo de diferentes equipos.

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)

[Privacidad y cookies](#) | [Términos de uso](#)

## ANEXO 3. Cuestionario diagnóstico de mantenimiento, Electricista Industrial.

### Diagnóstico estrategia de mantenimiento

Este cuestionario tiene como objetivo identificar su perspectiva sobre el estado actual del mantenimiento dentro de la empresa y posibles mejoras.

1. Nombre y Apellido

Julian Moreno

2. Cargo actual en la empresa

Electricista de mantenimiento

3. ¿Cual es su nivel de satisfacción con la estrategia de mantenimiento actual?.



4. ¿Cree que la estrategia TPM, esta aportando para la mejora de los procesos en la compañía?.  
Califique de 1 a 5, Siendo 1 no aporta nada y 5 aporta demasiado.

1      2      3      4      5

5. ¿Cree que la estrategia de mantenimiento actual puede tener mejoras?  
Califique de 1 a 5. Siendo 1 totalmente en desacuerdo que tenga oportunidad de mejora y 5 totalmente de acuerdo que puede tener oportunidad de mejora.

1      2      3      4      5

6. ¿Conoce lo que es la industria 4.0?



Si

No

7. Si su respuesta fue "Si" en la pregunta anterior, mencione brevemente que sabe sobre la Industria 4.0.

La industria 4.0, permite ver funcionamiento de diferentes equipos en tiempo real, gracias al internet.

8. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al mantenimiento, mejorarían su proceso actual?

Si

No

Tal vez

9. ¿Qué esperaría que mejorara, si se realiza implementación de nuevas tecnologías?

Que se utilice como herramienta para obtener diagnosticos de fallos o averias mas precisos.

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)

[Privacidad y cookies](#) | [Términos de uso](#)

## ANEXO 4. Cuestionario diagnóstico de mantenimiento, Electricista Industrial.

### Diagnóstico estrategia de mantenimiento

Este cuestionario tiene como objetivo identificar su perspectiva sobre el estado actual del mantenimiento dentro de la empresa y posibles mejoras.

1. Nombre y Apellido

Pablo Perez

2. Cargo actual en la empresa

Electricista de mantenimiento Industrial

3. ¿Cual es su nivel de satisfacción con la estrategia de mantenimiento actual?.



4. ¿Cree que la estrategia TPM, esta aportando para la mejora de los procesos en la compañía?

Califique de 1 a 5, Siendo 1 no aporta nada y 5 aporta demasiado.

1      2      3      4     

5. ¿Cree que la estrategia de mantenimiento actual puede tener mejoras?

Califique de 1 a 5. Siendo 1 totalmente en desacuerdo que tenga oportunidad de mejora y 5 totalmente de acuerdo que puede tener oportunidad de mejora.

1      2      3      4     

6. ¿Conoce lo que es la industria 4.0?



Si

No

7. Si su respuesta fue "Si" en la pregunta anterior, mencione brevemente que sabe sobre la Industria 4.0.

La industria 4.0 permite tecnificar procesos y obtener mejores resultados de produccion.

8. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al mantenimiento, mejorarían su proceso actual?

Si

No

Tal vez

9. ¿Qué esperaría que mejorara, si se realiza implementación de nuevas tecnologías?

La tecnologia de la maquinaria actual en la compañía

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíes se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)

[Privacidad y cookies](#) | [Términos de uso](#)

## ANEXO 5. Cuestionario diagnóstico de mantenimiento, Operario de termoformado.

### Diagnóstico estrategia de mantenimiento

Este cuestionario tiene como objetivo identificar su perspectiva sobre el estado actual del mantenimiento dentro de la empresa y posibles mejoras.

1. Nombre y Apellido

Hugo Rojas

2. Cargo actual en la empresa

Operario de termoformado

3. ¿Cual es su nivel de satisfacción con la estrategia de mantenimiento actual?.



4. ¿Cree que la estrategia TPM, esta aportando para la mejora de los procesos en la compañía?

Califique de 1 a 5, Siendo 1 no aporta nada y 5 aporta demasiado.

1      2            4      5

5. ¿Cree que la estrategia de mantenimiento actual puede tener mejoras?

Califique de 1 a 5, Siendo 1 totalmente en desacuerdo que tenga oportunidad de mejora y 5 totalmente de acuerdo que puede tener oportunidad de mejora.

1      2            4      5

6. ¿Conoce lo que es la industria 4.0?



Si

No

7. Si su respuesta fue "Si" en la pregunta anterior, mencione brevemente que sabe sobre la Industria 4.0.

Escriba su respuesta

8. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al mantenimiento, mejorarían su proceso actual?

Si

No

Tal vez

9. ¿Qué esperaría que mejorara, si se realiza implementación de nuevas tecnologías?

Que el diagnostico por parte del personal de mantenimiento sea mas agil y preciso.

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíes se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)

[Privacidad y cookies](#) | [Términos de uso](#)

## ANEXO 6. Cuestionario diagnóstico de mantenimiento, Supervisor de producción.

### Diagnóstico estrategia de mantenimiento

Este cuestionario tiene como objetivo identificar su perspectiva sobre el estado actual del mantenimiento dentro de la empresa y posibles mejoras.

1. Nombre y Apellido

Camilo Suarez

2. Cargo actual en la empresa

Supervisor de linea de produccion

3. ¿Cual es su nivel de satisfacción con la estrategia de mantenimiento actual?.



4. ¿Cree que la estrategia TPM, esta aportando para la mejora de los procesos en la compañía?  
Califique de 1 a 5, Siendo 1 no aporta nada y 5 aporta demasiado.

1      2      3            5

5. ¿Cree que la estrategia de mantenimiento actual puede tener mejoras?  
Califique de 1 a 5. Siendo 1 totalmente en desacuerdo que tenga oportunidad de mejora y 5 totalmente de acuerdo que puede tener oportunidad de mejora.

1      2      3      4     

6. ¿Conoce lo que es la industria 4.0?



Si



No

7. Si su respuesta fue "Si" en la pregunta anterior, mencione brevemente que sabe sobre la Industria 4.0.

Es tener interconexion con los diferentes equipos dentro de la empresa y muestra datos e informacion en tiempo real.

8. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al mantenimiento, mejorarían su proceso actual?



Si



No



Tal vez

9. ¿Qué esperaría que mejorara, si se realiza implementación de nuevas tecnologías?

Que la tecnificacion de los diferentes procesos generen sus reportes de producción de forma automatica.

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíes se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)  
Privacidad y cookies | Términos de uso

## ANEXO 7. Cuestionario diagnóstico de mantenimiento, Operario extrusora

### Diagnóstico estrategia de mantenimiento

Este cuestionario tiene como objetivo identificar su perspectiva sobre el estado actual del mantenimiento dentro de la empresa y posibles mejoras.

1. Nombre y Apellido

Omar Riaño

2. Cargo actual en la empresa

Operario de extrusora

3. ¿Cual es su nivel de satisfacción con la estrategia de mantenimiento actual?.



4. ¿Cree que la estrategia TPM, esta aportando para la mejora de los procesos en la compañía?

Califique de 1 a 5, Siendo 1 no aporta nada y 5 aporta demasiado.

1    2    3    4    5

5. ¿Cree que la estrategia de mantenimiento actual puede tener mejoras?

Califique de 1 a 5. Siendo 1 totalmente en desacuerdo que tenga oportunidad de mejora y 5 totalmente de acuerdo que puede tener oportunidad de mejora.

1    2    3    4    5

6. ¿Conoce lo que es la industria 4.0?



Si

No

7. Si su respuesta fue "Si" en la pregunta anterior, mencione brevemente que sabe sobre la Industria 4.0.

Escriba su respuesta

8. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al mantenimiento, mejorarán su proceso actual?

Si

No

Tal vez

9. ¿Qué esperaba que mejorara, si se realiza implementación de nuevas tecnologías?

Que la operacion de la maquinaria sea de manera mas automatica y menos intervencion humana en el proceso

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)

[Privacidad y cookies](#) | [Términos de uso](#)

## ANEXO 8. Entrevista a Planeador(a) de mantenimiento.

### Entrevista Planeador de mantenimiento

**Entrevistado:** Estefani Paola Poveda

**Cargo:** Planeador (a) de mantenimiento industrial

- Háblame de ti, de tu experiencia:

Soy planeadora de mantenimiento industrial hace seis años, soy la encargada de realizar diferentes gestiones en cuanto a presupuesto, paradas programadas de mantenimiento, compra de elementos, seguimiento a plan de mantenimiento, entre otras actividades.

- ¿Qué estrategia de mantenimiento manejan en la compañía?

La compañía tiene implementada la estrategia de mantenimiento TPM (mantenimiento productivo total), donde se busca que todos los empleados participen en el mantenimiento se su propio entorno de trabajo. Se realizan divulgaciones y actualización de conceptos con gran repetitividad.

- ¿Cree que la estrategia TPM puede mejorar?

Si, realmente esta estrategia requiere entrenamiento constante y retroalimentación a todos los involucrados, existen muchos puntos de mejora para lograr el EGP planteado por la compañía y todos los indicadores de mantenimiento.

- ¿Las fallas recurrentes y de gran impacto negativo se pueden evitar?

Decir que las fallas de los equipos no se van a presentar es prácticamente imposible, son maquinas que tienen diversos componentes, cualquiera de ellos puede fallar por condiciones propias o externas. Pero en fallas puntuales se evidencia que hay un gran espectro de mejora, tiempos demasiado largos para reparaciones por obsolescencia de elementos y fallos de elementos críticos ya identificados.

Allí nos debemos enfocar para crear planes de acción y eliminar los problemas de raíz.

- ¿Cree que la industria 4.0 puede mejorar su gestión de mantenimiento?

Si, es un rotundo si, ya que la industria 4.0 aporta a obtener datos que hoy en día son tomados de forma manual o simplemente no se toman, lo que ocasiona altas desviaciones en diagnósticos, toma de decisiones y acciones. Además que mejoran los procesos productivos, generando mayor confiabilidad y comodidad a los operadores, que al final se convierte en mejora de indicadores.

- ¿Cree posible la implementación de la industria 4.0 en esta compañía?

Si, aunque ya se ha abordado algunas tecnologías, no se ha terminado de implementar o poner en marcha, por falta de conocimiento y un enfoque claro. La compañía genera inversión económica en cosas que esperan que se retribuyan en mayor producción, pero actualizar tecnologías sin mostrar un enfoque y resultados claros será difícil.

## ANEXO 9. Entrevista a técnico en electricidad industrial.

### Entrevista con técnico de mantenimiento

**Entrevistado:** Julian David Moreno

**Cargo:** Electricista de mantenimiento Industrial

- Háblame de ti, de tu experiencia:

Soy técnico en electricidad industrial hace más de 5 años, actualmente me encuentro enfocado en el mantenimiento correctivo, atendiendo el llamado de los diferentes operadores para dar solución a averías o fallos.

- ¿Cuáles son los fallos que se dificultan más para dar una solución?

Los fallos que generan mayor tiempo en su reparación son fallos que se generan en elementos electrónicos, que por obsolescencia no se tiene pieza de recambio e información técnica es prácticamente nula. Estos elementos se deben diagnosticar de una manera mas profunda y conlleva mucho mas tiempo para su diagnóstico, además que si el elemento es irreparable se debe adaptar algo nuevo al sistema y eso conlleva bastante tiempo.

Otro fallo que causa bastante tiempo de paradas de máquinas es el daño en motores grandes, pues internamente no realizamos la reparación de estos, nos apoyamos por proveedores externos que realizan las reparaciones, pero son reparaciones que pueden durar 2 o 3 días, según lo complejo del daño y tamaño de motor.

- En un diagnóstico que realizamos, observamos que el daño del motor en la extrusora AMUT, causo un gran impacto negativo a los indicadores de MTTO ¿Cree que este tipo de fallos se pueden evitar?

Realmente ese fallo fue bastante crítico, un motor tan grande y de construcción especial, puso a prueba a los proveedores externos, inicialmente nos e tenia el material adecuado para su reparación y se decidió repararlo con otro material, pues se tenia gran presión para volver a producción el equipo.

Desafortunadamente la reparación inicial no funciono, lo que genero mayor retraso en la solución y no solo eso si no que genero daños colaterales en otros componentes, fue una reparación bastante compleja, de alto costo para el área de mantenimiento y grandes pérdidas económicas para la compañía.

Creo que este tipo de fallo se puede evitar, pues a pesar de que se sigue al pie de la letra el plan de mantenimiento, estos equipos críticos deben contar con instrumentos específicos para su monitoreo y evitar el fallo.

- ¿Cree que la industria 4.0 puede aportar para realizar de mejor manera sus labores?

Si, realmente creo que estamos quedándonos un poco atrás, la industria a avanzado de forma acelerada y eso también genera mayor competitividad, las compañías que implementan mayor tecnología han obtenido mejores resultados.

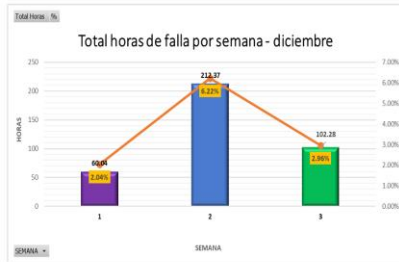
Herramientas tecnológicas me ayudarían a realizar de manera mas eficiente mi labor, pues lograría diagnósticos mucho más rápidos y precisos.

- ¿Cree que la estrategia de mantenimiento debe cambiar para alcanzar las metas propuestas?

No, no lo creo necesario la actual estrategia de TPM, es buena y ya se viene trabajando en ella hace varios años. Pienso que puede tener mejoras, siempre se puede mejorar, pero no veo necesario cambiarla drásticamente.

# ANEXO 10. Gráficas de fallas semana 50.

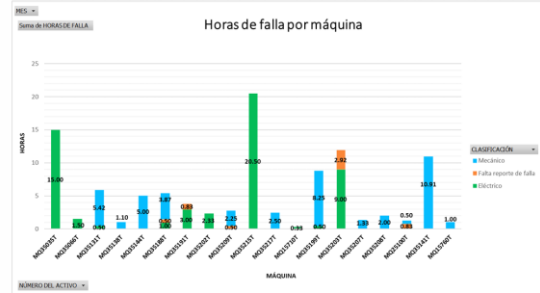
## Reporte de fallas de Mtto - 2023



**Meta: 2%**

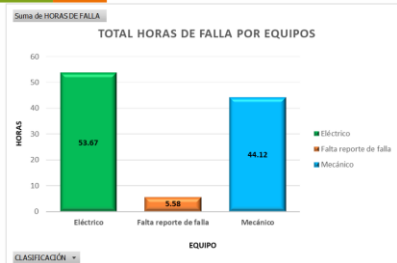
Total horas y porcentaje de falla tercera semana de diciembre: 102.28 horas / 2.96 % (del 13 al 19 de diciembre de 2023)

## Reporte de fallas de Mtto - 2023



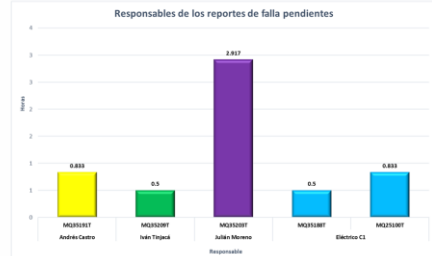
Total horas de falla: 103.37 horas (del 13 al 19 de diciembre de 2023)

## Reporte de fallas de Mtto - Semana 50 /2023



Total, horas de fatia por equipos (del 13 al 19 de diciembre de 2023)

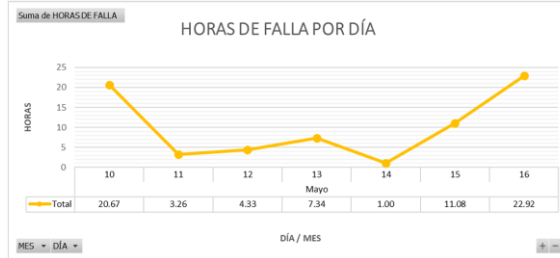
## Reporte de fallas de Mtto - 2023



Responsables de los reportes de falla faltantes (del 13 al 19 de diciembre de 2023)

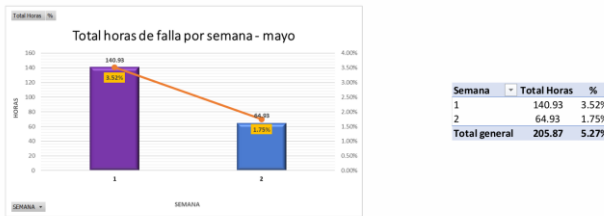
ANEXO 11. Gráficas de fallas semana 19.

Reporte de fallas de Mtto - 2023



Total horas de falla 70.60 horas (del 10 al 16 de mayo de 2023)

Reporte de fallas de Mtto - 2023



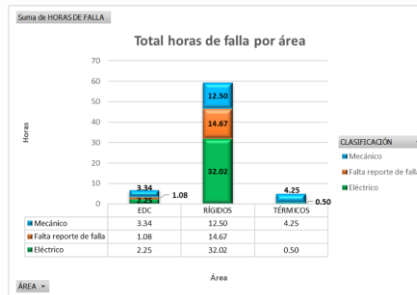
Total horas y porcentaje de falla segunda semana de mayo: 64.93 horas (del 10 al 16 de mayo de 2023)

Reporte de fallas de Mtto - 2023



Horas de falla por máquina (del 10 al 16 de mayo de 2023)

Reporte de fallas de Mtto - 2023



Total horas de falla por área (del 10 al 16 de mayo de 2023)

