



Determinación de estrategias para la automatización en la gestión del mantenimiento  
para el sector textil en PYMES de Colombia

Modalidad: Monografía

Daily Paola Anaya Sánchez  
CC 1.005.154.406  
Juliana Pinto Ortega  
CC 1.007.540.391

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías**  
**Tecnología en Producción Industrial**  
**Bucaramanga, de 2022**



Determinación de estrategias para la automatización en la gestión del mantenimiento  
para el sector textil en PYMES de Colombia

Monografía

Daily Paola Anaya Sánchez  
CC 1.005.154.406  
Juliana Pinto Ortega  
CC 1.007.540.391

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Tecnólogo en Producción Industrial**

**DIRECTOR**

Nombre completo del director

Grupo de investigación – SIGLA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías  
Tecnología en Producción Industrial  
**Bucaramanga, de 2022**

### Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos  
por las Unidades Tecnológicas de Santander,  
para optar al título de Tecnólogo en Producción Industrial,  
según el acta de Comité de trabajo de grado  
No. 137-01-07 del 24 de Marzo de 2023.  
Evaluador: Sebastián García Méndez



Firma del Evaluador



Firma del Director

## **DEDICATORIA**

Dedicado a nuestros padres por creer en nosotros, apoyarnos incondicionalmente en cada paso y caída de este proceso e inculcarnos los valores y virtudes que hoy me hacen como persona. A mis amigos por brindarnos ánimos y su apoyo.

A nuestros asesores por poner a nuestra disposición sus conocimientos y tiempo para culminar con este proceso de manera satisfactoria.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi compañera Daily por unirme en este proceso y porque gracias a ella todo fue posible. También agradezco a mis padres por siempre alentarme y estar presente en mi camino de formación profesional y personal.

Juliana Pinto Ortega.

## TABLA DE CONTENIDO

▫	<u>RESUMEN EJECUTIVO .....</u>	<u>10</u>
▫	<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>12</u>
1.	<u>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....</u>	<u>14</u>
1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2.	JUSTIFICACIÓN .....	15
1.3.	OBJETIVOS.....	16
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL .....	16
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
2.	<u>MARCO REFERENCIAL.....</u>	<u>17</u>
2.1.	ANTECEDENTES .....	17
2.2.	MARCO TEÓRICO .....	22
2.2.1.	¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO?.....	22
2.2.2.	TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	24
2.2.2.1	Mantenimiento correctivo .....	24
2.2.2.2	Mantenimiento Predictivo.....	25
2.2.2.3	Mantenimiento Preventivo .....	26
2.2.3.	PYMES EN COLOMBIA.....	28
2.2.4.	PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS EN EL MUNDO.....	29
2.2.5.	AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS. ....	30
2.2.6.	DEFINICIÓN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO. ....	31
2.2.7.	PLAN DE MANTENIMIENTO .....	32
2.2.7.1	Tipos de mantenimiento.....	33

2.2.7.2	Estructura del Plan de Mantenimiento.....	34
2.2.8.	INDICADORES KPI DE MANTENIMIENTO.....	36
2.2.9.	TPM.....	36
2.2.9.1	Pilares de TPM.....	38
2.2.9.2	Los elementos clave del mantenimiento productivo total.....	39
2.2.9.3	Procedimiento para la implementación de TPM.....	40
2.2.10.	LEAN MANUFACTURING .....	41
2.2.10.1	Principios de Lean manufacturing .....	42
2.2.10.2	Técnicas de Lean manufacturing.....	42
2.2.11.	CICLO PHVA. ....	44
2.2.12.	5W2H.....	46
2.2.13.	RCM.....	47
2.2.14.	PMO. ....	48
2.2.15.	MODO DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS (FMEA).....	49
2.2.16.	FMECA.....	50
2.2.16.1	Ventajas FMECA.....	51
2.2.16.2	Desventajas FMECA.....	51
2.2.16.3	Aplicaciones FMECA .....	52
2.2.17.	CMMS.....	52
2.2.18.	ANÁLISIS RCA .....	54
2.2.19.	DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS. ....	55
2.2.20.	DIAGRAMA DE PARETO.....	57
2.3.	MARCO LEGAL.....	58
<b>3.</b>	<b><u>DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</u></b>	<b>59</b>
<b>4.</b>	<b><u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....</u></b>	<b>61</b>

<u>5.</u>	<u>RESULTADOS .....</u>	<u>63</u>
<u>6.</u>	<u>CONCLUSIONES .....</u>	<u>67</u>
<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES .....</u>	<u>69</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>70</u>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resumen diagrama del problema .....56

## RESUMEN EJECUTIVO

El mantenimiento es un área que ha sido subestimada dentro de las compañías colombianas, dejada de lado y se ha olvidado su importancia, son pocas las empresas que implementan este tipo de gestión interna las cuales consiguen destacar por la calidad en sus productos y servicios ofertados

Debido a lo anterior el objetivo principal del presente trabajo de grado es resaltar la importancia de las micro y medianas empresas que han surgido en los últimos años, además brindarles herramientas de planificación, programación y estandarización del proceso, para que se vea más como una herramienta de ayuda fundamental en el crecimiento económico y de marca y se deje a un lado la idea de que el mantenimiento es necesario únicamente cuando se requiere, o como se conoce dentro de la ingeniería, un mantenimiento correctivo.

Para la consecución de dichos objetivos se utilizó una metodología de tipo teórica investigativa, la cual pretende explicar de manera clara y sencilla al lector mediante el desarrollo de una monografía, la relevancia de este tipo de empresas mediante el apoyo de la revisión de literatura de informes, proyectos y artículos científicos o informes empresariales como referente de micro y medianas empresas en el país.

El producto final o resultado se plantea presentar un plan estratégico a implementar dentro de las empresas que garantice la fiabilidad gestión de procesos y a la calidad de los productos finales planteando una herramienta indispensable a las PYMES y fácilmente ajustable a las necesidades, para el debido manejo interno de la misma según sea el caso, pues no solo funciona al sector textil, que es el principal objeto de estudio, sino a otras áreas en las que las PYMES colombianas se desarrollen.

**PALABRAS CLAVE.** Mantenimiento en el sector textil colombiano, Gestión del mantenimiento, Industria textil, Pymes manufactureras, Planificación de mantenimiento, Estrategias aplicadas al mantenimiento.

## ▫ INTRODUCCIÓN

La presente monografía está dedicada al sector textil y sus planes de mantenimiento, específicamente las plantas productoras de las PYMES en Colombia, un sector con crecimiento exponencial en los últimos dos años (2020-2022), a raíz de la pandemia e incluso desde año atrás. Colombia ha presentado un índice de crecimiento en este sector manufacturero que es principal objeto de estudio debido a las prácticas administrativas y estratégicas, particularmente observadas, dentro de empresas del sector, tales como: desperdicio de materia prima, demoras en la producción, pérdida de calidad en el producto final, pérdida de clientes y credibilidad en las marcas y lo más importante, pérdidas económicas y puntos de quiebre dentro de las empresas con el fin que se puedan alcanzar los estándares de calidad y entrega, un factor importante es el buen funcionamiento de las máquinas, debido a que una falla afecta la eficiencia y productividad de la empresa. Lo anterior evidencia la necesidad de implementar planes de mantenimiento programados y técnicas adecuadas para la maquinaria utilizada en estos procesos productivos, con el fin de cumplir con los objetivos que la empresa se ha fijado con el fin de garantizar la debida disponibilidad de equipos y maquinaria requerido para el desarrollo de las actividades y procesos económicos por parte de la empresa, disminuyendo el deterioro y el desgaste de estas.

Por lo anterior, en el presente trabajo se analizaron estudios similares a nivel nacional e internacional para la condensación de información, basada no solamente en el conocimiento adquirido dentro de la universidad e investigaciones independientes, sino de la práctica. Como tal lo observado anteriormente por colegas y estudiosos del área, partiendo así de la necesidad del planteamiento de estrategias y un sistema de planificación e implementación automatizado y eficaz, el cual, se detectó hacía falta en las investigaciones realizadas. Por lo que el presente informe pretende aportar a ese planteamiento de estrategias y

estandarizar una planificación que aporte a las PYMES una herramienta sobre la cual trabajar y generar resultados óptimos utilizando métodos teóricos y experimentales basados en la experiencia e investigación dada antes y durante el proceso del presente proyecto.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia Según el Registro Único Empresarial y Social (RUES), entre enero y marzo de 2021 en Colombia se crearon 96.431 empresas, 9,3% más que en el mismo periodo de 2020, cuando la cifra fue de 88.248 unidades productivas.(Confecámaras, 2021) por lo que centrarse en las PYMES es apostarle a la consolidación de una economía sustentable y que incremente el PIB del país, y con la creciente demanda productos de calidad surge la necesidad de estar al nivel de exigencia del mercado, por lo anterior, es necesaria el área de mantenimiento y su influencia en la organización, con control, ejecución de buenas técnicas para la producción y el mantenimiento a las maquinas, materia prima, y en general procesos productivos (Jardón, 2020).

En basado en lo anterior, gran parte el éxito de los procesos de gestión del tipo empresarial depende principalmente de la eficacia de la gestión del mantenimiento. Teniendo en cuenta que un error en una planta trae consigo altos gastos, pérdidas económicas y en materias primas, o la pérdida de clientes.

Por ello se propone la implementación de sistemas automatizados enfocados al mantenimiento correctivo, predictivo y preventivo ya que “persigue la eliminación de fallos imprevistos de manera que haya la posibilidad de aumentar disponibilidad y fiabilidad de los activos” (Jardón, 2020), elevando así los estándares de calidad debido a que actualmente se han evidenciado en la industria diversas fallas (Prego Nieto, 2020) en cuanto a la calidad del producto final, demoras en las entregas y el rezago del servicio al cliente que existe entre grandes compañías textiles visitadas a lo largo de la carrera, de allí surge la necesidad de plantear soluciones automatizadas, rentables y de fácil sostenimiento.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Esta monografía en modalidad analítica tiene como fin el fortalecimiento de los conocimientos adquiridos durante la formación académica de los estudiantes los cuales se evidencian en las técnicas de análisis, comprensión y visión del presente proyecto, enfocados siempre en el desarrollo sustentable, automatizado, con cada vez mayor calidad y eficiencia que se busca a futuro en la ingeniería de procesos; generando así un aporte significativo para el grupo de investigación SOLYDO y al semillero de investigación SIPRO del programa tecnológico Producción Industrial en futuros análisis y base de investigaciones concretas en busca de oportunidades de mejora continua (DELTA maquinas Textiles, 2022).

Asimismo, se busca poder determinar las estrategias de automatización del programa de gestión de mantenimiento en las empresas del sector textil en Colombia propuestas y/o aplicadas en diferentes proyectos afines con este, para analizar las posibles mejoras en cuanto a la calidad y organización del funcionamiento del área de la producción haciendo enfoque en el plan de mantenimiento de las mismas para así evolucionar a un mercado competente y con oportunidad de exportación cumpliendo requerimientos de alta eficiencia, calidad y mayor rentabilidad garantizando los mejores estándares en la logística y administración de las plantas productoras (Torres Guevara, 2016).

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer estrategias para la gestión y automatización del mantenimiento en PYMES del sector textil en Colombia, mediante el análisis del potencial de las herramientas provenientes de la industria 4.0, que permita identificar los principales factores influyentes en el problema con el fin de aumentar la productividad y rentabilidad.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar estrategias para el mejoramiento y optimización del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo en procesos del sector textil, enfocadas en su gestión y automatización, por medio de revisión de literatura científica y especializada.
- Determinar puntos críticos en procesos productivos en PYMES del sector textil en el país, desde el punto de vista de la gestión del mantenimiento de maquinaria y equipos, para su respectiva caracterización y propuesta de implementación, a partir de la sistematización de experiencias provenientes de fuentes secundarias.
- Establecer las estrategias más adecuadas para atender los puntos críticos identificados, a partir del contraste entre la revisión de literatura inicial y la sistematización de experiencias, con el fin de minimizar tiempos de espera y aumentar la productividad en las PYMES objeto de estudio

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. ANTECEDENTES

Para la investigación y construcción de esta monografía se han tenido en cuenta Archivos investigativos de proyectos de grado y tesis a nivel nacional e internacional situados en Latinoamérica, un área con características socioeconómicas similares a Colombia, pero con enfoques y estrategias ligeramente diferentes, que nutren el objetivo investigativo y que su resultado aporte la optimización de metodologías y planificación del mantenimiento en las plantas y emprendimientos de área textil Santandereana.

Las empresas textiles y de confección, todas relacionadas con manufacturera nacional, se enfoca en el desarrollo de procesos como el hilado, tejido y otros, permitiendo el desarrollo final de puntos de venta y usuarios demandantes en lo que respecta a venta a diferentes tipos de vestuario. Tener en cuenta esto, genera una gran diferencia en el proceso productivo debido a que con ello se establece la importancia de la cadena de suministro de la cual hace parte esta industria (Chávez Lozana & Patiño Patiño, 2018).

En general, se trata de organizaciones que tienen años de trayectoria y experiencia en el campo, que han desarrollado operaciones donde, en los procesos productivos, se registran grandes cantidades de residuos de diversa índole, que deben ser corregidos, y que revela un impacto económico adverso en la productividad y competitividad de las entidades (Alexopoulos et al., 2018).

De ahí, la conveniencia de implementar sistemas de mejoramiento, así como la implementación Lean Manufacturing, que permite detectar los despilfarros e identificar herramientas apropiadas para disminuirlos, ayudando a mantener motivado al personal y favoreciendo la producción en los procesos económicos de la empresa (Hernandez-Matias et al., 2020). Sin embargo, actualmente un elevado

numero de empresas, no presentan una preocupación relevante en lo que respecta a innovación o mejora de factores internos de la compañía tales como aspectos económicos, humanos, tecnológicos y físicos, limitando los alcances de competitividad de esta en el mercado (Cardona Rendón, 2020).

Lo cual afecta en cantidades significativas a la rentabilidad de las empresas y reduce los estándares de calidad de la demanda nacional, pues invertir en los procesos es apostarle a la mejora continua de la empresa, en especial al área de mantenimiento dentro de las fábricas ya que este proceso se encarga de prevenir errores y paradas innecesarias con las que una empresa pierde además de tiempo, recursos y credibilidad en las marcas y productos finales. Por lo cual se hace necesario abordar programas y métodos de mantenimiento a nivel multidisciplinar, abordando de manera adecuada, detallada y de fácil entendimiento (García Sierra et al., 2019).

Diversas investigaciones y compañías han analizado el uso de políticas estratégicas como lo es el concepto de Mantenimiento Productivo Total, donde se ha demostrado beneficios organización en cuanto al tiempo de fallas, ayuda a afrontar las dificultades, realizando los reajustes del programa de mantenimiento, Lo que al largo plazo permitirá por medio de indicadores de fiabilidad, diagnóstico y pronóstico evaluar y mejorar la política de mantenimiento enfatizando en acciones el proactivas y preventivas, garantizando menos averías, paradas y defectos al mismo tiempo que reduce los costos y comprometiendo a la organización (Pascal et al., 2019).

Lo que se busca idealmente, es el planteamiento de procedimientos estratégicos que, estandarizados, permitan la producción continua y aseguren la calidad, reduciendo los residuos de cada proceso para maximizar el aprovechamiento de recursos, aumentando el índice de productividad.

De acuerdo a los planteamientos anteriores se seleccionaron 3 investigaciones a nivel de Latinoamérica los cuales sirvieron para alimentar este proyecto debido a sus avances y hallazgos, revisados desde perspectivas estratégicas iniciando con el enfoque PVHA pues es la base de los procesos administrativos y estratégicos, analizado por el centro de investigaciones generales CIGEG de la UNEG en Venezuela, especificado en la revista venezolana de gerencia (RVG) en conjunto con la universidad de Zulia en el artículo “Gestión de mantenimiento en pymes industriales” donde se evaluaron 75 Pymes de 200 empresas en la Guayana mediante la técnica tipo **Likert** y siendo evaluado por técnicas de análisis factorial exploratorio con rotación varimax por software estadístico SPSS, cuestionario en el que se indagó sobre los procesos implementados para la planificación y ejecución en el área de mantenimiento haciendo un sondeo en aspectos tales como las políticas internas de cada empresa, definición de documentación requerida, identificar y clasificar de equipos, establecimiento de presupuestos, análisis de criticidad de equipos, entre otros correspondientes a la planificación (Alexis et al., 2013).

Así pues, es indispensable analizar la criticidad de los equipos, herramientas especiales, y prestar atención a los procedimientos, recomendación del fabricante, las condiciones del trabajo y el diseño, la información técnica e histórica de los equipos, asimismo, la ejecución del plan de mantenimiento, las reparaciones y correcciones que son correspondientes a la ejecución o al hacer, en el aspecto de verificar se evaluó el análisis de las averías, la evaluación (valga la redundancia) de la efectividad del plan de mantenimiento, mejorar – modificar instalaciones y medir la satisfacción del cliente (Alexis et al., 2013).

Por último se cuestionó sobre si había un plan para la mejora continua (Actuar) mediante preguntas sobre mejoramiento de la mantenibilidad y el mantenimiento autónomo y la implementación de las 5S, obteniendo un indicador

sobre la gestión del mantenimiento en las pymes industriales con respecto a los planes de mejora continua ya que según los resultados el 57% de las pymes evaluadas cumple con el ciclo PVHA (Alexis et al., 2013) dejando serias preocupaciones pues se distingue que, como se menciona a lo largo de este proyecto de grado, las pymes industriales en Colombia y en Latinoamérica particularmente, no se preocupan o no le dan la importancia que requiere al mantenimiento preventivo o el predictivo, pues actúan y viven a diario a base del uso de mantenimiento correctivo, el cual no quiere decir que sea malo, pues es una pieza importante dentro de una buena planeación, pero en caso de ser el único conocido, se infiere los altos costos, paradas innecesarias en la producción, la pérdida de tiempo a las que se enfrenta una pyme.

Identificada la problemática, se indagó sobre la creación y puesta en marcha de un sistema de calidad del área de mantenimiento donde diversos estudios, como el de Cruz (2011) el cual busco implementar un sistema integrado de gestión de calidad en base al denominado mantenimiento productivo total enfocado en el sector textil , donde se detalló el diagnóstico una empresa del sector dedicada a fabricar telas de alta durabilidad y calidad, la cual en el diagnóstico realizado presentó un punto débil importante en el departamento de mantenimiento de acuerdo con la norma indicando además fallas a lo concerniente al mantenimiento de equipos y toda la documentación reglamentaria lo cual es alarmante pues indica la degeneración en defectos en la producción y el alto índice de insatisfacción del cliente.

Asimismo, este estudio detectó que los defectos con mayor concurrencia pertenecían al 69% de los problemas identificados presenciados en el tiempo improductivo para la implementación de diversas acciones preventivas y correctivas y preventivas, haciendo énfasis en el seguimiento de los procesos estratégicos en el plan de gestión y mejora continua, así como los procesos de apoyo y procesos

claves, buscando la implementación de mecanismos de mantenimiento productivo total.

En este sentido el estudio pretende realizar un análisis de la situación actual de la compañía por medio del registro de equipos, evaluación de criticidad, así como evaluación de indicadores, estableciendo objetivos y metodologías con el fin de minimizar la cantidad de fallos, lo cual repercute en incrementar la confiabilidad de los equipos de la organización, implementando la política cero accidentes y por ende lograr una reducción de costos mantenimiento.

Asimismo, el estudio busca el desarrollo del sistema de gestión de información, lo cual facilita el flujo y localización de la información donde se registre ordenadamente los equipos intervenidos, los fallos y el número de repetición de los mismos, casos reportados y resueltos, los gastos etc. Dicho sistema a su vez alimenta el plan de mantenimiento preventivo y predictivo, lo cual permite realizar la respectiva evaluación del sistema de mantenimiento planificado, por medio de auditorías buscando que se reduzcan los fallos, los operarios adquieran conocimiento y habilidad siendo un proceso autónomo.

Todo lo evaluado deja como conclusiones un aumento significativo en la eficiencia y productividad total efectiva de la empresa, una inclusión de recursos humanos, instalaciones, equipos y maquinaria, los cuales se pretendía mejorar cada uno de sus funcionamientos y capacidad a largo plazo siendo además un plan de implementación altamente rentable económicamente hablando (Cruz, 2011).

El plan estudiado se considera interesante pues a su vez evalúa con un enfoque amplio todo el funcionamiento de la empresa, no solo se dedica a la producción, y no supone altos costes en su implementación y asegura un crecimiento significativo en la confiabilidad de los productos y servicios, lo que respalda este estudio pues está basado en la asegurabilidad de la confianza y calidad a costes accesibles para empresas que están surgiendo o que buscan un

crecimiento exponencial y recalca la importancia de la planeación y la correcta ejecución y seguimiento a los procesos para las pymes en el sector textil.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. ¿Qué es el mantenimiento?

El mantenimiento es descrito como un conjunto de proceso y procedimientos que se realizan en las estructuras equipos, sistemas y demás desarrolladas, asegurando el buen desempeño de estos activos (López, 2019).

El mantenimiento es una de las operaciones más importantes en lo relacionado con estructuras y equipos, los cuales requieren un conocimiento profundo de diversas disciplinas y tecnologías, para el desempeño óptimo de los sistemas, equipos y demás. En este sentido los programas de mantenimiento tienen como propósito minimizar las fallas y mal funcionamiento de las diferentes estructuras (Daniel & Paulus, 2019).

Por lo cual el mantenimiento es definido como el mantenimiento de la propiedad, implica la conformación y el montaje de varias piezas con las tolerancias requeridas, así como la implementación de programas de restauración de estas tolerancias a través de una serie de procesos (S. Duffuaa & Raouf, 2015b). Sin embargo, los procedimientos de mantenimiento siempre son controvertidos, ya que la definición de "mantenimiento" varía según la interpretación individual de cada supervisor de mantenimiento, por lo que el mantenimiento varía desde la estricta planificación y ejecución, inspección y revisión, acompañadas de informes completos y contabilidad de costos, hasta la operación de la maquinaria hasta que ocurra alguna falla, y luego realizar las reparaciones necesarias (Daniel & Paulus, 2019).

En este sentido, el mantenimiento tiene una relación en la rentabilidad de las empresas, en especial en los costos asociados a la no realización de este, lo cual puede llegar a consumir del 2 al 10 % de los ingresos de la empresa, por lo tanto el mantenimiento es tratado por las diversas organizaciones con una función integral para lograr operaciones productivas y productos de alta calidad, que permite al mismo tiempo, mantener la confiabilidad satisfactoria de los equipos y máquinas como lo exigen las condiciones operacionales y normativas a la que se enfrentan las compañías y demás (Haroun & Duffuaa, 2007).

Sin embargo, no existe una metodología universalmente aceptada para diseñar sistemas de mantenimiento, es decir, no existe un enfoque totalmente estructurado que conduzca a un sistema de mantenimiento óptimo, estos procesos de mantenimiento van a variar de acuerdo al alcance tecnológico, materiales usados, condiciones operacionales o tamaño de la producción, entre otros. Por lo tanto, los sistemas de mantenimiento se diseñan utilizando la experiencia y el juicio de los diseñadores, ingenieros y fabricantes, respaldados por una serie de herramientas y técnicas de decisión formales (Chelsom et al., 2015).

Por ende, los programas de mantenimiento deben considerar la estrategia que decida en qué nivel dentro de la planta realizar el mantenimiento y, por lo tanto, definir una estructura que apoyará el mantenimiento, así como se debe tener en cuenta la planificación que maneja las decisiones diarias sobre qué tareas de mantenimiento realizar y la asignación de recursos para llevar a cabo estas tareas, donde la función del mantenimiento puede verse como las funciones integrales de planificar, organizar, ejecutar y controlar las actividades de mantenimiento (Haroun & Duffuaa, 2007).

Lo cual implica que para el diseño de los programas de mantenimiento deben considerar la capacidad de mantenimiento, centralización vs descentralización y mantenimiento interno vs externo u outsourcing, por lo tanto, los en la definición de

los criterios permite asumir responsabilidades claras, alcance efectivo del control, facilitación de una buena supervisión e informes efectivos, y minimización de costos de los programas de mantenimiento.

## **2.2.2. Tipos de mantenimiento**

Los planes de mantenimiento puede verse como un simple sistema de entrada/salida, donde las entradas al sistema son mano de obra, equipo averiado, material y repuestos, herramientas, información, políticas y procedimientos, y repuestos y la salida o resultado, es un equipo que está funcionando, es confiable y está bien configurado para lograr la operación planificada de la planta, por ende el mantenimiento corresponde a un conjunto de actividades que lo hacen funcional en donde se incluyen procesos de planificación, la programación, la ejecución y el control (S. O. Duffuaa & Haroun, 2009). En este sentido, el mantenimiento puede efectuarse o dividirse en diferentes tipos, dependiendo de la situación.

### **2.2.2.1 Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo es una tarea de mantenimiento que se realiza para identificar y corregir la causa de las fallas de un sistema defectuoso, en este tipo de mantenimiento actúan diferentes ramas de la ingeniería para analizar los diferentes componentes y estructuras y sus respectivos modos de falla, ya que para el análisis general del sistema se parte de la asunción de que la existencia de fallas de cualquier subsistema/componente (Gan et al., 2022).

En este sentido el mantenimiento correctivo se enfoca en la identificación de la causa de las fallas a partir del fenómeno de falla, mediante diferentes modelos como el de renovación, mínimo, Kijima I, Kijima II y cuasi renovación para representar los mecanismos de falla. Por otro lado, aclara que la falla se describe

como el estado o condición de no cumplir con el objetivo previsto, por ende, el mantenimiento correctivo se basa en la condición y en la confiabilidad del sistema (Wang et al., 2014).

Por otro lado, en cuestiones técnicas este mantenimiento se caracteriza por los altos costos de mano de obra y disponibilidad de la misma, así como los costos generados el remplazo de los componentes o del sistema en general, así mismo este enfoque de mantenimiento es catalogado como inevitable ya que la ocurrencia de las fallas puede aparecer repentinamente, aun en presencia de programas de mantenimiento preventivo.

### **2.2.2.2 Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo es un sistema que no solo beneficia al área de mantenimiento, sino que influye en la mejora de la productividad, la calidad de los productos y la rentabilidad de la inversión, en este sentido este tipo de mantenimiento utiliza un sistema de monitoreo para muestrear las condiciones de operación de la maquinaria y estructuras, así como analizar las tendencias de comportamiento de cada componente, estimando en el tiempo la ocurrencia de fallas (Lu et al., 2022).

Con este tipo de mantenimiento se consigue maximizar los intervalos de reparación y minimizar los costos operativos asociados a fallos prematuros o catastróficos, junto con las paradas de emergencia de la maquinaria, en este sentido los sistemas de mantenimiento predictivo se basan en las diferentes técnicas de análisis no destructivas, entre las que destacan el Monitoreo de vibraciones la cual mide la amplitud y frecuencia de vibración de los componentes críticos que forman el tren de máquinas (Guzman et al., 2020).

Así mismo técnicas como el monitoreo de los parámetros del proceso son esenciales en el sistema de mantenimiento predictivo, el cual se fundamenta en el

registro periódico de los parámetros de operación como potencia consumida en motores eléctricos, presión de aire en sistemas neumáticos, presión hidráulica, presión de vapor, temperatura, etc, con el propósito de relacionar variaciones en las variables medidas con la probabilidad de falla (Es-sakali et al., 2022).

Por otro lado, análisis como el de termografía permite estimar los tiempos de mantenimiento y pronóstico de fallas en base a la medición de temperatura en diferentes de los sistemas de máquinas y estructuras, con el fin de obtener información relacionada con el comportamiento mecánico de cada componente, ya que los cambios bruscos de temperatura indican un funcionamiento erróneo de la maquina y ayudan a prevenir cuando se inicia una falla en algún elemento (Guzman et al., 2020).

Por último, dentro de los análisis más usados se encuentra el análisis de aceite, donde dicha técnica se utiliza como una herramienta para determinar el origen de las sustancias que contaminan los lubricantes y de esta manera poder inferir cuál de los componentes está sufriendo un desgaste prematuro o un deterioro más acelerado (Lu et al., 2022).

### **2.2.2.3 Mantenimiento Preventivo**

El programa de mantenimiento preventivo se desarrolla utilizando un enfoque de lógica guiada, orientada la tarea en lugar del proceso de mantenimiento, eliminado la confusión asociada con las diversas interpretaciones en diferentes industrias de términos como monitoreo de condición, en condición y tiempo difícil, mediante el uso de un concepto orientado a tareas (Moblely & Smith, 2016)

En este sentido se el programa de mantenimiento preventivo utiliza un árbol lógico de decisión para identificar las tareas de mantenimiento aplicables, donde el servicio y la lubricación se incluyen como parte del diagrama lógico. Por lo tanto, el

mantenimiento consta de dos grupos de tareas, las tareas de mantenimiento preventivo y tareas de mantenimiento no programadas (Percy, 2000)

Las tareas de mantenimiento preventivo, que incluyen tareas de detección de fallas, están programadas para realizarse a intervalos específicos o según la condición, cuyo objetivo es identificar y prevenir el deterioro por debajo de los niveles inherentes de seguridad y confiabilidad por uno o más del medio de lubricación y mantenimiento, verificación operativa, visual o automatizada, inspección, prueba funcional o monitoreo de condición, restauración, análisis RCM (Werbińska, 2019)

Mientras las tareas de mantenimiento no programadas son el resultado de los hallazgos de las tareas programadas realizadas en intervalos de tiempo o uso específicos, Informes de mal funcionamiento o indicaciones de falla inminente, donde este tipo de mantenimiento tiene como objetivo mantener o restaurar el equipo a una condición aceptable en la que pueda realizar su función requerida.

Por lo cual el mantenimiento preventivo permite reducir los costos de reparación y reemplazo, y para mejorar la disponibilidad del sistema, al reducir la necesidad de mantenimiento correctivo, donde las estrategias de mantenimiento están basadas en la intuición y la experiencia así como programas o modelos matemáticos los cuales permiten obtener mejoras considerables en el rendimiento de los equipos y por ende sus componentes, que a su vez se basan en los modelos de análisis de fallas alimentados por el historial de mantenimiento (Werbińska, 2019).

- **Modelos de mantenimiento preventivo**

Los modelos de mantenimiento que pueden ser aplicables a unidades individuales independientes se denominan modelos para sistemas de una sola unidad, donde la unidad puede percibirse como un componente, un conjunto, un

subsistema o incluso el sistema completo , por lo cual se ofrece una clasificación de las principales pólizas de reposición, siendo la primera la políticas de reemplazo por edad, la cual es una política de mantenimiento bastante común, la cual implica el remplazo de una pieza cuando esta tiene una edad T o cuando falla, lo que ocurra primero, por lo que esta técnica se enfoca en la idea de que un reemplazo por falla cuesta más que un reemplazo planificado y la tasa de falla aumenta estrictamente (Percy, 2000).

Por otro lado, las políticas de reemplazo periódicas buscan estrategias de reemplazo de bloques simples, donde se cambie la unidad en caso de falla, mientras que los componentes de las unidades de un sistema se reemplazan a intervalos periódicos independientemente de su edad individual buscando encontrara una duración optima del tiempo de cambio, minimizando los costos operativos y de mantenimiento totales, maximizando la disponibilidad del sistema (Werbińska, 2019).

### **2.2.3. PYMES en Colombia**

La definición de pymes abarca a las pequeñas y medianas empresas, formadas por capital humano y monetario, que se compota como una unidad de producción económica mediante la conformación de una organización en base a factores como el capital y trabajo. En este sentido en el ámbito colombiano la ley 590 del año 2000 reglamenta y define el tamaño de estas empresas el cual está comprendido por activos entre los 500 a 30000 salarios mínimos vigentes, donde la pequeña empresa cuenta con un personal de entre 11 y 50 trabajadores, mientras la mediana empresa cuenta en con un personal entre 51 a 200 trabajadores (Quintero, 2018).

En términos económicos estas empresas representan mas del 85% de las organizaciones económicas del país, con aproximadamente el 70% de la fuerza laboral de Colombia, y una producción bruta del 53% del producto interno bruto. Sin embargo, de este rango solo el 5% de las compañías corresponden a las denominadas medianas empresas, con un 67% en la generación de empleo y 28% de aporte al PIB (Lucía et al., 2017).

Por lo cual, este tipo de empresas son fundamentales para el desarrollo económico del país, considerándose como la columna vertebral de la economía, siendo de vital importancia en el crecimiento debido al alto potencial de estimula la economía en tiempos de recesión, ya que dinamizan la economía interna, asi mimo debido a que no cuentan con una extensa burocracia esta permite una mayor adaptabilidad a los cambios (Maestre-delgado, 2020).

Sin embargo desde el punto de vista colombiano, estas empresas se encuentran propensas a una serie factores de desfinanciamiento y estancamiento debido principalmente a su tamaño y a las limitaciones en la competitividad y dificultades de expansión tecnológica necesaria para enfrentar el mercado, lo cual se ve como un riesgo en su gestión estratégica, por lo que diversos programas gubernamentales se han tratado de implementar en cuestiones de acceso tecnológico para alivianar la carga de estas empresas y permitirles un óptimo desarrollo (Carolina & Salamanca, 2017).

#### **2.2.4. Pequeñas y medianas empresas en el mundo.**

Como se ha evidenciado en la contextualización del país, las pymes se definen en base al número de empleados, los ingresos o ambos, donde muchas veces el criterio comúnmente aplicado hace referencia al número de empleados, a nivel mundial los umbrales máximos varían entre los EE. UU, la Unión Europea (UE)

y China (Child et al., 2022). En la UE y el Reino Unido, el umbral es de 250 empleados y una facturación anual que no supere los 50 millones de euros, mientras Estados Unidos, el límite superior es de 500 empleados y en China puede llegar a 2000 (Zahoor et al., 2020).

Así mismo el rango de tamaño de los empleados, la UE distingue entre micro menores a 10 empleados, pequeñas entre 10 y 49 empleados y medianos entre 50–250. Por otro lado, en EEUU se definen las medianas empresas también en base a su capital con ingresos entre los 10 millones y mil millones de dólares (Zahoor et al., 2020).

### **2.2.5. Automatización de procesos.**

La automatización de procesos es un tema que puede abordarse desde diferentes ángulos, refiriéndose a la intención de automatizar cualquier parte concebible del trabajo de procedimiento contenido en un proceso comercial, desde operaciones simples que forman parte de una sola actividad de proceso hasta la coordinación automatizada de procesos completos y complejos (Marshall & Brady, 2018) .

En este sentido el campo de la automatización de procesos se ocupa del análisis del comportamiento dinámico de los procesos operacionales, de manufactura o de reacciones químicas, así como los procesos de gestión, de compra y venta, de relación con los proveedores y demás. Por lo cual los procesos se enfocan en el diseño de controladores automáticos y la instrumentación asociada a los sistemas industriales y en brindar un soporte tecnológico para la integración de la compañía (Dumas et al., 2013).

Por lo tanto, la automatización de procesos busca maximizar la producción manteniendo el nivel deseado de calidad y seguridad del producto y haciendo que

el proceso sea más económico por medio de la implementación de sistemas de control de procesos y funciones organizadas en forma jerárquica con funciones requeridas en los niveles inferiores y funciones deseables en los niveles superiores (Edgar & Hahn, 2009).

Dichos niveles corresponde a Medición y Actuación en un primer nivel, por medio de dispositivos de medición y equipos de actuación para medir las variables del proceso e implementar las acciones de control calculadas, en el segundo nivel se encuentra la seguridad y Protección Ambiental/Equipo que garantizan que el proceso funcione de manera segura y cumpla con las regulaciones ambientales, basándose en el principio de múltiples capas de protección que involucran agrupaciones de equipos y acciones humanas (Dumas et al., 2013).

En el tercer nivel se encuentra las actividades de Control mediante la aplicación de técnicas estándar de control de retroalimentación y avance, así como la implementación de control multivariable y de restricciones, mientras el nivel 4 se contemplan las actividades de optimización en tiempo real en base a un modelo de estado estable de la planta y datos económicos como costos y valores de productos y por último, procesos de planificación y programación en el Nivel 5 (Edgar & Hahn, 2009).

### **2.2.6. Definición de gestión de mantenimiento.**

Esta se caracteriza por ser un proceso que organiza una compañía o parte de ella mediante el despliegue y uso de recursos humanos, financieros, materiales, intelectuales o intangibles, así mismo la gestión es la acción de medir y ajustar las variables para alcanzar la meta deseada Kumar & Kumar (2018).

Por lo tanto, la gestión del mantenimiento caracterizará el proceso de liderazgo y dirección de la organización de mantenimiento, en base a la combinación

de lo que respecta a factores técnicos, de gestión y administrativos en el uso y vida media de un producto con el fin de retenerlo o restaurarlo a un estado funcional, por ende todas las actividades de la gestión que determinan las metas u objetivos, estrategias y responsabilidades y que estén encaminadas a la supervisión y control del mantenimiento se denominan gestión de mantenimiento (Crespo, 2017).

Otras definiciones consideran la gestión del mantenimiento como la gestión de todos los activos propiedad de una empresa, basada en el crecimiento de activos maximizando el retorno de inversión, donde las actividades requeridas para ello se basan en la planificación del mantenimiento, la organización del mantenimiento en cuanto a diseño del trabajo, estándares, medición del trabajo y administración del proyecto el control del este (Hinsch, 2018).

En este sentido según Kumar & Kumar (2018), los objetivos de la gestión del mantenimiento son:

- Minimizar los costos incurridos en el mantenimiento total de equipos al disminuir costos relacionados con la reparación, mantenimiento de inventarios y repuestos.
- Minimizar tiempos muertos de los equipos o sin su uso que incurra en costos, incurriendo en pérdidas en tiempo de producción o costos relacionados a mantenimiento.
- Maximizar factores como la eficiencia e indicadores económicos relacionados a la optimización de la producción, al lograr una tasa mínima de desgaste o aumentando la vida útil de bienes dentro del capital de la compañía.
- Optimizar procesos de registro de los equipos junto a su mantenimiento y tiempos de funcionamiento.
- Optimizar procesos para proporcionar una continuidad en la cadena y producción del producto.

### **2.2.7. Plan de mantenimiento**

El denominado plan de mantenimiento puede considerarse como un conjunto compuesto por operaciones y/o medidas que son llevadas a través de los sistemas de producción compuestos por equipos, instalaciones y activos de la compañía. Dentro de dichos procesos se deben tener en cuenta protocolos adecuados que deben cumplir los elementos dentro del sistema de la empresa, obteniendo como resultado la mejora de este ante un aumento de la eficiencia, contabilidad, rendimiento y ampliación de la vida útil (Sacristán, 2013), permitiendo evitar las siguientes situaciones:

- Pérdidas en la producción por retrasos o tiempo muerto
- Otros gastos o costos referentes a repuestos, personal requerido o materiales de trabajo.
- Reducción vida útil de los equipos en funcionamiento
- Sanciones por incumplimientos de normativas

### **2.2.7.1 Tipos de mantenimiento**

Los diferentes tipos de mantenimientos que pueden ser aplicados para mejorar los estándares de una compañía ya mencionados son listados a continuación:

- Sustitución de procesos o reparación intermitente en intervalos de tiempo fijados: Hace referencia a reemplazar equipos o dar funcionamiento alterno a otro equipo dentro de una línea productiva durante la reparación (Deighton, 2016).
- Mantenimiento basado en las condiciones previas del equipo: El fin de este proceso es preservar o prolongar el tiempo de vida de la maquinaria o piezas por desgaste, de acuerdo con sus parámetros de fábrica y la calidad de uso que se les dé (Deighton, 2016).

- Mantenimiento basado en la oportunidad de acción: Al momento de presentarse un paro en la producción o de mejora en algún punto del proceso de la empresa, permitiendo la revisión y calibración de los equipos (S. O. Duffuaa & Haroun, 2009).

### 2.2.7.2 Estructura del Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento, sin embargo varia dependiendo de las necesidades que una empresa presente, presentando una variación, pero que puede ser resumido en los elementos comunes de un desarrollo de plan efectivo en las estrategias de mantenimiento se basan en los siguientes apartados (More et al., 2011):

- Frecuencias de necesidad de los mantenimientos: Depende del equipo que requiera dicho mantenimiento junto a las tareas necesarias para este con el tiempo de frecuencia que deba implementarse
- Enfoque específico del mantenimiento: Se define como la necesidad o el requerimiento que cubrirá dicho mantenimiento ya sea preventivo, de rutina o de carácter correctivo.
- Duración de los procesos correctivos respecto a mantenimientos y mejoras: Se refiere a la duración total en que durara la aplicación de los correctivos o mantenimiento del sistema y equipos de operación
- Tareas o actividades que deben realizarse: Son las asignadas por cada equipo o dentro del sistema de producción de la empresa.
- Empleado o encargado: Son las personas que trabajan en mejorar la calidad y llevar a cabo los correctivos o mantenimiento de los equipos.
- Procesos o equipos en mantenimiento: Son las zonas, o etapas del procesos que deben ser intervenidas.

El proceso de la estrategia y estructura en el mantenimiento coordina e integra las actividades de gestión del mantenimiento para lograr los objetivos del departamento, analizando que los objetivos estén alineados con las metas de la organización, lo cual permite liderar y controlar la mejora continua y la gestión del conocimiento para la consecución de los objetivos de mantenimiento, dando consistencia a las acciones de mantenimiento de acuerdo a las circunstancias predecibles y/o impredecibles que puedan acontecer en la red (Bangemann et al., 2006).

Por lo tanto, el proceso de estructurar el plan de mantenimiento asegura que las decisiones de mantenimiento estén unificadas y ordenadas para ser más proactivas y perfectivas que reactivas y conservadoras, determinando los planes de acción para abordar todas las funciones operativas estableciendo los patrones de operación de los procesos, mecanismos de coordinación, estandarizando las habilidades del personal, las tareas de trabajo, las reglas y los resultados (Heywood, 2018).

Dentro de la estructura del plan de mantenimiento, adecua los planes de acción, elaboración de procedimientos de mantenimiento, estandarizando y armonizando las operaciones con base en las mejores prácticas por lo que se incluyen procedimientos, manuales y guías, normativa y legislación, instrucciones técnicas, especificaciones, formatos y bases de datos (Jharkharia & Shankar, 2007).

Así mismo la estructura de dicho plan deben contemplar la cultura de mantenimiento, tanto en la visión, misión y objetivos de la organización y mediante la documentación que guían el comportamiento y desempeño de la organización, con el apoyo del plan de gestión presupuestaria, plan de calidad y medición de la contribución al mantenimiento y su impacto, plan de gestión de recursos, incluyendo documentos para la gestión de recursos humanos de mantenimiento,

herramientas/equipos, dispositivos y repuestos, entre otros planes de mejora de la organización (Heywood, 2018).

### **2.2.8. Indicadores KPI de mantenimiento.**

Definidos como los indicadores de gestión, son definidos como aquellos que dan una fundamentación base en una empresa o compañía, donde se recurre a metodologías de carácter cualitativo y cuantitativo aplicando métricas, a través de evaluaciones que permita sistematizar los resultados dentro de una empresa. Dentro de los indicadores de mayor relevancia, se encuentran los indicadores claves de rendimiento (KPI), los cuales son definidos por autores como Galar y colaboradores (2014), proponen el concepto de estos indicadores específicos para medir el funcionamiento y calidad de equipos principalmente mediante la instalación de dispositivos como tableros de control.

### **2.2.9. TPM**

El concepto Mantenimiento Productivo Total ha cambiado con el tiempo, sin embargo, este mantiene sus bases, las cuales constan de la relación de los empleados en el mantenimiento, optimizando la eficacia del equipo, eliminando averías y promueve el mantenimiento autónomo, buscando la asociación de las funciones productivas y de mantenimiento en la organización y de esta manera aumentar la disponibilidad del equipo (Díaz-Reza et al., 2019).

Así mismo otros conceptos se asocian al concepto de TPM como un proceso de mejora continua que se basa en el enfoque de producción al ser este optimizado logrando así obtener confiabilidad de los equipos, garantizando la gestión adecuada de los diferentes activos dentro de un proceso en la planta de operación, maximizando la eficiencia general del equipo, por medio de la implementación de

un sistema integral de mantenimiento preventivo que abarque toda la vida útil del equipo, involucrando a todos los departamentos de la organización (Arslankaya & Atay, 2015).

En este sentido el TPM es visto como un programa de gestión de equipos que combina y promueve los conceptos de mejora continua y calidad total, así como el empoderamiento de los empleados para lograr cero paradas y defectos, mediante la identificación y eliminación de pérdidas de equipos, así como la eficiencia de la producción, a lo largo del ciclo de vida del sistema de producción a través de la participación activa de los empleados en todos los niveles de la jerarquía operativa (Díaz-Reza et al., 2019).

Por lo tanto, el concepto TPM se puede resumir en base a sus siglas donde mantenimiento, hace referencia a las operaciones necesarias para mantener el equipo y la planta funcionando todo el tiempo, mientras que productivo, indica la producción de bienes y servicios para cumplir o superar las expectativas de los clientes, lo que es posible si la maquinaria y el equipo mantienen un alto nivel de confiabilidad y por ende el termino total, representa la implicación total de los empleados, es decir, desde los altos directivos hasta los operadores de línea. Del mismo modo, también representa la efectividad total del equipo (S. O. Duffuaa & Raouf, 2015).

Por lo tanto, TPM se puede asumir como una metodología que funciona como una herramienta, en la cual el propósito es mantener los equipos y maquinarias utilizadas en la producción de bienes y servicios en óptimas condiciones para poder brindar productos y/o servicios. que alcanzan e incluso superan las expectativas de los clientes, además, también busca reducir los desperdicios, minimizar la inactividad de los equipos y mejorar la calidad, pero principalmente se enfoca en programas de mantenimiento de equipos para optimizar la eficiencia y el

rendimiento a través de actividades para mejorar el mantenimiento, el mantenimiento preventivo y predictivo (Díaz-Reza et al., 2019).

### 2.2.9.1 Pilares de TPM

El mantenimiento productivo total tiene ocho secciones o etapas, que también se conocen como pilares de TPM, los cuales están estrechamente interrelacionados y se superponen, pero se diferencian entre sí en función de los objetivos que deben alcanzar (Ahuja et al., 2010), dichos pilares o etapas son:

- Mejora enfocada o Mejora continua, aunque sea en pequeños pasos (Kiran, 2017).
- Mantenimiento planificado, el cual se enfoca en aumentar el tiempo de disponibilidad de los equipos y reducir las averías de las máquinas (Ahuja et al., 2010).
- Control inicial el cual busca establecer el debido proceso para lanzar la producción de nuevos productos y nuevos equipos en un tiempo mínimo de ejecución (Kiran, 2017).
- Educación y capacitación, para producir trabajadores autónomos que tengan conocimiento previo y su debida aplicación para el mantenimiento (Díaz-Reza et al., 2019).
- Mantenimiento autónomo, el cual hace referencia a “mantener el equipo de uno mismo”.
- Mantenimiento de la calidad, el cual busca establecer condiciones de los diferentes equipos que no permitan la aparición de daños o imperfecciones los cuales requieren un control de sus condiciones de operación, manteniendo el principio de cero defectos (Kiran, 2017).

- 5S en base al concepto japonés de 5S, que se considera como un factor de relevancia en el escenario industrial para mantener una alta productividad (Ahuja et al., 2010).
- Seguridad, higiene y medio ambiente, siendo el principal crear un lugar de trabajo seguro y saludable donde no ocurran accidentes, descubriendo y mejorando las áreas peligrosas y realizando actividades que preserven ese medio ambiente (Díaz-Reza et al., 2019).

### **2.2.9.2 Los elementos clave del mantenimiento productivo total**

- Mantenimiento autónomo: los operadores de equipos son el punto central de las actividades de TPM, donde los operadores realizaran tareas de limpieza, inspección, lubricación, ajustes y cambios de componentes menores y otras tareas de mantenimiento ligeras que requieren cierta capacitación e instrucción, pero no habilidades manuales integrales (Pascal et al., 2019).
- Gestión de equipos: dicha planificación permite que identificar las causas de porque un equipo funciona a un nivel inferior al requerido, la pérdida de rendimiento se registra y s
- upervisa, agrupándola en seis categorías que parten de averías, configuración y ajustes, ralentí y paros menores, velocidad reducida, defectos y pérdidas de rendimiento, permitiendo a los operadores identificar y realizar análisis de causa raíz en equipos para investigar las pérdidas (Duffuaa & Raouf, 2015)..
- Planificación sistemática y mejora continua Dentro de las divisiones departamentales de una empresa, el sector de mantenimiento, encargado en la aplicación de la metodología de tipo TPM, debe fomentar el debido desarrollo de una correcta planificación y control de maneras sistemática, en lo que respecta a las actividades propias que debe realizar el operador o trabajador (Kiran, 2022).

### 2.2.9.3 Procedimiento para la implementación de TPM

A continuación, se muestra un procedimiento para la implementación de una metodología encargada del debido mantenimiento en la totalidad del sistema productivo

- I. Estudiar el historial de equipos existentes, respecto a lo que es registro de mantenimiento, equipos, presentados en informes preliminares como fuente de la necesidad de aplicación de la metodología TPM (Duffuaa & Raouf, 2015), el cual requiere el debido consentimiento de las directivas de la empresa para su aplicación dentro de la organización (Kiran, 2022).
- II. Comunicación con los interesados
- III. Determinar y establecer metas, alcances y diferentes parámetros que permitan llevar a cabo una aplicación de la TPM tal como son estándares de disponibilidad y efectividad de los equipos (Kiran, 2022).
- IV. Clasificar los trabajos y actividades requeridas en un proceso de mantenimiento en diferentes clases de trabajos de mantenimiento que debe llevar a cabo el trabajador, como monitoreo de niveles de aceite y lubricación de máquinas, limpieza y mantenimiento, ajustes, puesta a punto y reparaciones de carácter menor como apriete de piezas, monitoreo constante de las condiciones y la supervisión de funcionamiento. O en trabajos esencialmente a realizar por el personal de mantenimiento como trabajos relacionados como orden de trabajo, sangrías de material, paradas de planta para mantenimiento preventivo, comprobación principal y monitoreo de condición fuera de línea, paradas importantes y trabajos de reparación (Thakur & Panghal, 2021).

- V. Reorganizar la operación y sus grupos de trabajo y mantenimiento que permita una adaptación a las segregaciones ya mencionadas mediante la asignación de personal calificado de ser necesario (Kiran, 2022).
- VI. Poner en marcha el respectivo mantenimiento de forma autónoma en la línea de producción (Kiran, 2017).
- VII. Búsqueda de cooperación y empalme de los diferentes trabajadores dentro del personal de producción para trabajos de mantenimiento (Thakur & Panghal, 2021).

### **2.2.10. Lean manufacturing**

Es un concepto bastante nuevo en la manufactura moderna que está reestructurando gradualmente la forma en que las industrias en el mundo ven la producción, haciendo énfasis en una filosofía de fabricación revolucionada en comparación con el estándar tradicional de producción en masa que se ha utilizado durante casi un siglo, con el objetivo principal eliminar el desperdicio, aumentar la capacidad de respuesta del sistema, disminuyendo el tiempo muerto dentro del flujo de trabajo, optimizar inventarios, cubrir las necesidades del cliente, disminuir los cuellos de botella en el proceso y finalmente mejorar las comunicaciones, aumentando la calidad del producto (Hosseini et al., 2015).

En este sentido la manufactura lean se enfoca en máxima optimización de la relación de gastos y material, identificando los tipos de residuos ocultos para minimizarlos. Por lo que la situación moderna de la economía se ha vuelto importante asegurar la calidad, el costo y la tecnología de producción, siendo de bastante utilidad concepto de lean manufacturing el cual se adapta a los desafíos de la actualidad por medio de la reducción de costos manteniendo la calidad, centrándose en la eliminación la generación de desechos y satisfacción del cliente.

### 2.2.10.1 Principios de Lean manufacturing

Lean manufacturing tiene sus principios que aseguran su correcta implementación en base a los postulados James Womack y Dan Jones, los cuales se enfocan en el valor, tanto su generación, mapeo o ruta de este (N. Kumar et al., 2022), flujo de producción y perfección:

- **Valor:** La satisfacción del cliente es el objetivo final, ya que este es el que le asigna un valor a su producto, por tanto, este principio implica comprender los valores que un cliente asocia con un producto (Masuti & Dabade, 2019).
- **Mapeo de flujo de valor:** el mapeo puede entenderse como la conexión de varios enlaces para establecer un entorno de trabajo perfecto, por ende, el adecuado proceso de un mapeo busca representar el flujo compuesto por las operaciones realizadas por los fabricantes, proveedores y distribuidores para entregar productos a los clientes se conoce como mapeo del flujo de valor (Masuti & Dabade, 2019).
- **Flujo:** el flujo garantiza que no haya interrupciones en el viaje del producto desde la planificación, la producción hasta el cliente (Womack et al., 2017).
- **Tirar:** el sistema de tirar establece que nada comenzará hasta que haya una señal del lado del cliente este (Kumar et al., 2022).
- **Encontrar la perfección:** Por fin, lo importante es la perfección. Esto es algo que separa a un productor del resto.

### 2.2.10.2 Técnicas de Lean manufacturing

Este tipo de manufacturación implica técnicas para ayudar a establecer el propósito de la manufactura, permitiendo optimizar las operaciones y las

organizaciones(Arslankaya & Atay, 2015), algunas de ellas se enumeran a continuación.

- Análisis de cuellos de botella: Implica la medición del tiempo máximo en el proceso de producción, para así calcular la capacidad de la línea con el uso de la actividad de cuello de botella (Nassereddine & Wehbe, 2018).
- Takt time: Sirve para determinar el ciclo de producción (N. Kumar et al., 2022).
- Manufactura Celular (CM): Fabricación de piezas en lotes, para así permitir el ahorro de tiempo y asegurar el uso óptimo de la maquinaria.
- SMED: significa cambio de troquel en un solo minuto y técnica utilizada para reducir el tiempo de configuración a menos de 5 min (Arslankaya & Atay, 2015).
- Mantenimiento productivo total: Se utiliza para buscar la máxima eficiencia, consistencia y capacidad del proceso (Thakur & Panghal, 2021).
- Gestión de la calidad total: Se basa en mejorar calidad y minimizar los defectos (N. Kumar et al., 2022).
- Gestión Visual: Brinda a los usuarios información visual inmediata, permitiéndoles tomar las mejores decisiones y gestionar su trabajo y actividades en consecuencia (N. Kumar et al., 2022).
- Estandarización del trabajo: Mediante el cual se evalúa que no haya ningún tipo de variación en la ejecución de una tarea.
- FMS: Sistema de fabricación flexible que proporciona un cambio flexible estándar en la fabricación (Nassereddine & Wehbe, 2018).
- 5S: Operación utilizada para clasificar, ordenar, estandarizar y sostener (Mohan & Lata, 2018).
- Nivelación de la producción: Busca reducir los desniveles que puedan haber en la industria (Pingyu & Yu, 2010).

- Justo a tiempo: Nos indica qué, cuándo y en qué cantidad producir, asegurando la reducción de tiempo (producción y respuesta) y costo de inventario dentro del sistema de producción ( Kumar et al., 2022).
- Kanban: Está diseñada para obtener la máxima eficiencia y reducir el trabajo en curso, no solo garantiza la mejora continua, también habla de medidas correctivas que se deben tomar para reducir las ineficiencias (D. Kumar & Kumar, 2018).

### 2.2.11. Ciclo PHVA.

El denominado ciclo PHVA, puede definirse como un tipo de análisis empelado en los procesos de gestión por parte de una empresa, con el fin de buscar beneficios o mejoras dentro de un proyecto a partir de las falencias o problemáticas identificados, enfocado generalmente en la búsqueda de mejoras o ajustes realizables a corto plazo, debido a que es posible medir su efectividad en un tiempo real mediante parámetros como la competitividad, productividad y desempeño dentro del sector en el que se desenvuelve una compañía, logrando que se resalte en un mercado específico mediante diferentes sectores o ventajas abordadas las cuales serán definidas más adelante (Moyano-Hernández & Villamil Sandoval, 2021).

Los factores de mejora que componen el ciclo PHVA, son mostrados a continuación los cuales se agrupan dependiendo de tanto las necesidades como las etapas en las que debidamente debe desarrollarse un proyecto, consideradas como los puntos críticos de operación al momento de evaluar la eficiencia y competitividad de la misma:

- **Planeación:** Dentro de esta etapa, las empresas se enfocan en basados en la visión que tiene su empresa con el que definirán el objetivo de esta, con el fin

de proponer diversas propuestas de mejoras, mediante el previo análisis y diagnóstico de el o los sectores o procesos que presentan una mayor problemática y requieren ser abordados prioritariamente.

- **Hacer:** Luego de las propuestas planteadas, estas son organizadas dentro de un plan de trabajo, el cual se llevará a cabo mediante las tareas definidas en esta fase, siendo factores a tener en cuenta el control y vigilancia del cumplimiento y solución de las problemáticas, definiendo un tiempo de ejecución para cada una de las tareas.
- **Verificar:** Dentro de esta parte del proceso, se procede a mediante el uso de indicadores que han sido estipulados en la etapa de planeación, los resultados y su validación, el permitir mediante una breve evaluación, comparar ante el estado inicial de la problemática en la etapa identificada, el alcance de las medidas tomadas y su ejecución anteriormente abordadas.
- **Actuar:** Finalmente, el ciclo de calidad planteado como mejora en todo proyecto a nivel empresarial, concluye con la revisión de las mejoras ya aplicadas en tiempo real y campo, lo que procede a ser documentado como indicadores que el ciclo ha cumplido con su fin, dando por terminada la verificación (Pineda, 2019).

Ahora, este modelo, presenta diversas ventajas las cuales son mostradas basado en el análisis del concepto y aportes de esta herramienta:

- Los resultados o propuestas de mejora solo son aplicables para alcances a corto plazo, por lo cual no se puede trabajar esta herramienta para análisis a largo plazo.
- Se observa al disminuir el riesgo, una disminución en lo que respecta a costos de operación
- El principal aporte de esta herramienta es que las industrias y proyectos mejoran en calidad, lo que da un grado de competitividad en el mercado.

- El aplicar estos modelos o ciclos, se obtiene una clara mejora o aporte de las nuevas tecnologías en la industria.
- Al contar con un proceso de control definido, se logra disminuir no solo los errores sino la repetitividad y los tiempos muertos en las etapas.

Entre sus puntos débiles encontramos:

- Al contar con mejoras netamente a corto plazo, este modelo solo está enfocado en solucionar la problemática o situación de proceso presente en un área en específico de la empresa, lo que genera que se pierda la concepción global o los factores que afectan procesos entre departamentos.
- Para las mejoras por los tiempos convenidos a corto plazo, la inversión inicial para poner en marcha las soluciones planteadas requieren de un fuerte capital de dinero, lo que afecta en un comienzo la situación económica de la compañía (Yerussa, 2018).

### **2.2.12. 5W2H**

El desarrollo de esta herramienta se basa en la aplicación de 7 cuestionamientos lo que permitirá construir de manera estructurada un plan de acción dentro del cual se responda principalmente las preguntas, ¿Qué? ¿Cómo? ¿Cuándo? ¿Por qué? ¿Dónde? ¿Quién? ¿Que tanto?, donde se busca obtener como resultado un plan de mejoramiento o solución (Klock et al., 2016).

Dentro de las principales ventajas que presenta este tipo de modelo, se resalta las siguientes ventajas comparadas a otros modelos, las cuales son listadas a continuación:

- Presenta una aplicación sencilla a comparación de otros modelos similares
- Los resultados finales al ser gráficos son fáciles de comunicar y entender dentro del equipo de la empresa.

- Su aplicación es para múltiples ámbitos ya que al ser una herramienta de fácil aplicación, puede ser empleada para un proyecto, en una empresa hasta como un apoyo de análisis para jóvenes empresas que incursionan en el campo del emprendimiento.
- Su aplicación se realiza mediante un proceso estructurado y sistemático, el cual facilita el enfoque y trabajo del equipo que realiza la aplicación de esta herramienta.
- Permite una integración con algunas de las herramientas aquí abordadas tal como la espina de pescado o las técnicas de formulario por interrogatorio (Nagyova et al., 2015)

### **2.2.13. RCM**

El análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) proporciona un marco estructurado para analizar las funciones y las posibles fallas de un activo físico (como un avión, una línea de producción de fabricación, etc.) con un enfoque en la preservación de las funciones del sistema, en lugar de la preservación del equipo. RCM se utiliza para desarrollar planes de mantenimiento programado que proporcionarán un nivel aceptable de operatividad, con un nivel aceptable de riesgo, de manera eficiente y rentable (Weibull) (Campos et al., 2019). Un Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad responde a las siguientes siete preguntas:

- ¿Cuáles son las principales funciones con las que debe contar el modelo para el cumplimiento de los estándares dentro del contexto de su operativo?
- ¿Por qué motivo puede la empresa dejar de cumplir con sus funciones ya definidas?
- ¿Por qué ocurre la causa funcional?
- ¿Qué consecuencias puede tener que ocurra dicha falla?

- ¿Cuál es la importancia o peso de cada falla?
- ¿Qué medidas se deben tener en cuenta para aplicar un proceso de control que permita evaluar la ocurrencia de una falla?
- ¿Qué tarea o acción predeterminada puede tenerse en cuenta al momento de proponer las tareas de mejora?

Entonces, en general, el principal objetivo de implementar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en una organización es aumentar la disponibilidad de los equipos y, en consecuencia, optimizar la productividad.

#### **2.2.14. PMO.**

El modelo PMO, se define como una herramienta definida dentro de la unidad de organización para poder mejorar los proyectos y empresas, dentro de una metodología de centralización y coordinación donde se procede a la dirección de cada proyecto que permita un cumplimiento adecuado del mismo. Sus orígenes se remontan a la segunda guerra mundial, el cual se robustece durante la época de los setenta y ochenta en donde se da comienzo dentro de industrias como la industrial la implementación de normativa para el control de procesos, alcanzando su popularidad hasta la década de los años 90, obteniendo una mejora y extensión a diferentes sectores y estrategias como las que son presentadas a continuación:

- Modelo de depósito de proyectos: Aunque no logra alcances significativos, si este modelo logra la obtención de información de relevancia, donde aunque carezca la responsabilidad y relevancia de los resultados finales.
- Modelo de entrenador: Continúa con las bases del anterior, pero este presenta una mayor relevancia al obtener resultados de mejora obtenido de comparativos con otras empresas que han implementado los modelos PMO, donde es posible

medir los resultados obtenidos con un campo o acercamiento a los resultados reales en la industria.

- Modelo de empresa: Dentro de este modelo, ya se obtiene una mejora a la problemática identificada de manera real, la cual puede ser medido por indicadores de rendimiento. Sin embargo, este modelo incurre en un mayor gasto en lo que respecta a la aplicación, pago de personal especializado y aplicación de la misma mejora (Marcela et al., 2014)

#### **2.2.15. Modo de Falla y Análisis de Efectos (FMEA)**

Un FMEA considera de manera sistemática y rigurosa todos los posibles modos de falla única de los elementos y elementos individuales de la planta en un sistema. Se identifican y registran los efectos de cada falla en el elemento mismo y en el resto del sistema. El análisis generalmente lo lleva a cabo un pequeño equipo que debe tener un conocimiento detallado del equipo, analizando la criticidad de las consecuencias y la frecuencia probable también se evalúan y registran (Kritzinger, 2017).

Este método seleccione una parte de un sistema, generalmente una pieza o equipo con el objetivo de examinar cada modo de falla de cada elemento y elemento dentro de él, donde para cada modo de falla se deben determinar las consecuencias para que se pueda decidir la adecuación de la respuesta a esta falla (FrankCrawley, 2020).

En este sentido patrón de análisis consiste primero en definir los límites del estudio, decidir la profundidad del análisis y luego obtener la documentación necesaria, con una una descripción completa del sistema, su funcionamiento y su situación, similar a la necesaria para un estudio, posteriormente viene la conformación de un pequeño equipo, seleccionado normalmente por el líder del proyecto, el cual debe contar con una gama adecuada de conocimientos técnicos y experiencia con el fin de al contribuir al análisis técnico (Renjith et al., 2018).

El análisis y el registro pueden variar en detalle (FrankCrawley, 2020), para ello los encabezados habituales de dichos análisis incluyen información al menos de:

- Componente: Identificador y descripción; función.
- Modo de fallo: Prueba de fallas, peligro de fallas, fallas degradadas y fallas neutrales, las categorías pueden incluir fallas al arrancar, fallas durante la operación, fallas al detenerse y operación prematura.
- Efectos: Esto debería cubrir el elemento en sí y otros componentes, así como los efectos en todo el sistema.
- Salvaguardias: Registro de los medios de detección, señalando disposiciones compensatorias contra fallas.
- Comportamiento: Los comentarios y recomendaciones del equipo.

### **2.2.16. FMECA**

El análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA) se basa en el proceso FMEA al no solo identificar modos de falla potenciales, sino también investigar y aislar cualquier falla potencial a través de una serie de acciones (Sharma & Srivastava, 2018).

A las fallas se les asigna un nivel de gravedad como con FMEA, pero FMECA entra en más detalles para proporcionar resultados más precisos, además de clasificar los errores con el número de criticidad más alto. FMECA requiere la aplicación de FMEA antes de que se puedan tomar las acciones adicionales del análisis de criticidad, el cual tiene como fin trazar la probabilidad de los modos de una falla detectada frente al impacto de las consecuencias, lo que le permite concentrarse en los aspectos más críticos (Renjith et al., 2018).

Al igual que con FMEA, FMECA se puede utilizar para ayudar a cumplir con los requisitos de calidad y seguridad.

### **2.2.16.1 Ventajas FMECA**

FMECA proporciona muchos de los mismos beneficios que FMEA, incluida la planificación de prevención, la identificación de requisitos de cambio, la reducción de costos y desperdicios, el aumento del rendimiento y la reducción de cualquier operación sin valor agregado.

Además, FMECA tiene la ventaja de ser más completo que FMEA al establecer relaciones entre algunas de las causas y los efectos de las fallas y la criticidad de las acciones correctivas.

Al igual que con FMEA, FMECA aporta a la mejora el diseño de productos y procesos para brindar mayor confiabilidad, seguridad, calidad y la consiguiente satisfacción del cliente (Subriadi & Najwa, 2020).

### **2.2.16.2 Desventajas FMECA**

Al igual que con FMEA, FMECA viene con sus propias dificultades que deben tenerse en cuenta. Estos incluyen la cantidad de mano de obra requerida, la posibilidad de que los casos triviales se consideren como parte del proceso y la dificultad para evaluar los efectos de fallas múltiples o entre sistemas. FMECA tampoco suele considerar las implicaciones del software o la interacción humana.

FMECA también tiene una tendencia a entregar una estimación optimista de la confiabilidad, lo que significa que se utiliza mejor junto con otras herramientas analíticas para desarrollar estimaciones de confiabilidad.

### **2.2.16.3 Aplicaciones FMECA**

Al igual que FMEA, las aplicaciones de FMECA cubren una amplia gama de industrias y procedimientos de fabricación.

FMECA se puede utilizar en cualquier momento en que se deseen productos de mayor calidad con mayor confiabilidad y seguridad. También puede reducir costos e incluso usarse para ayudar a evitar demandas.

Al igual que con FMEA, FMECA también puede ayudar a cumplir con los estándares de calidad y seguridad, incluidos Six Sigma, PSM e ISO 9001.

Estos métodos se utilizan para el diseño, la fabricación, el desarrollo y otras aplicaciones comerciales críticas para industrias que van desde la aeroespacial y la construcción hasta la atención médica, el software y más.

### **2.2.17. CMMS**

Los sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (CMMS) son vitales para la coordinación de todas las actividades relacionadas con la disponibilidad, productividad y mantenibilidad de sistemas complejos, por ende, la infraestructura informática permite mejorar la eficacia y la eficiencia del mantenimiento (Meira et al., 2021). En cuanto a el software, este ha evolucionado desde una planificación central relativamente simple de la actividad de mantenimiento hasta sistemas multiusuario que cubren una multitud de funciones de mantenimiento, con capacidad para manejar grandes cantidades de datos de manera decidida y rápida, facilitando el procesamiento para un mantenimiento con enfoque más deliberado y considerado para administrar los activos (Wienker et al., 2016).

Por lo tanto, el sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) básicamente es un sistema de información adaptado para servir al mantenimiento

que cuenta con procesos de recopilación, registro, almacenamiento, actualización, procesamiento, comunicación y previsión de datos, esencial para planificar, programar y controlar las actividades de mantenimiento, proporcionando la información necesaria para tomar decisiones acertadas para controlar y mejorar el proceso de mantenimiento ( Duffuaa & Raouf, 2015).

El éxito de un CMMS se puede medir por su capacidad para respaldar el proceso de mantenimiento, en base a su capacidad de soportar las principales actividades en el proceso de mantenimiento, así como el tipo de software y hardware en cuanto a su confiabilidad, facilidad de uso, calidad de la información y procesamiento oportuno, lo que permite que un sistema de CMMS pueda ser centralizado para organizaciones pequeñas o sistemas completamente descentralizados y distribuidos para organizaciones grandes, ejecutados en mainframe, microcomputadora, estaciones de trabajo y computadoras personales (Wienker et al., 2016).

En términos de soporte al proceso de mantenimiento, CMMS generalmente incluye las funciones de identificación del equipo y lista de materiales, mantenimiento preventivo, gestión de órdenes de trabajo, planificación y programación, control de inventario y compras, trabajo y estándar de trabajo, historial del equipo, costos y presupuesto, informes de rendimiento e Informes de calidad (Duffuaa & Raouf, 2015). Por lo que el proceso de diseño de un CMMS consta de cinco modelos que son:

- Gestión de equipos
- Control de órdenes de trabajo
- Gestión de artesanías
- Suministro y control de materiales
- Informes de rendimiento.

### **2.2.18. Análisis RCA**

También denominado el análisis de causa raíz, se define como una herramienta empleada para identificar la problemática de un proyecto y la debida propuesta de resolución mediante la identificación del problema principal u original, donde se comienza a evaluar las causas que pudieron llevar a esa problemática base (Tampubolon, 2019).

Dentro de las principales características que presenta este tipo de análisis, para lo que respecta procesos de mantenimiento lleva construido por una metodología estructurada, la cual cuenta con una rigurosa evaluación de toda la cadena de un proceso o composición de una compañía, teniendo como primera etapa del proceso la identificación la raíz u origen del problemas principal en dicho proceso, luego lo que permitirá en la metodología abordar esta problemática a través de soluciones que buscan ser efectivas en lo que respecta la mitigación o eliminación del anterior problema, lo que lleva a concluir en el proceso la entrega de un análisis de retroalimentación en el que la compañía debe aprender del problema solucionado, evitando cometer los mismo errores a futuro (WREDE & RAMÍREZ, 2018).

La herramienta RCA, es ideal para implementar en la presencia de problemas esporádicos que requieren una rápida solución encontrado principalmente en la falla de equipos o daños por mantenimiento de los mismos, donde se aplica la metodología de carácter deducción lógica, la cual tiene como apoyo la representación gráfica entre la relación de las causas y los efectos, dando como resultado la obtención de la causa principal de los problemas o causas ya identificadas respondiendo el cómo y por qué está ocurriendo dicha falla (Kuswardana, 2017).

Dentro de esta metodología, se realiza una debida revisión de las características, empleando como medio común, el empleo de diversas evidencias

de carácter físico permitiendo plantear un análisis del tipo analítico, tomando las acciones correctivas con menor error. Por lo anterior el proceso completo de aplicar una metodología RCA, se debe llevar a cabo los siguientes pasos:

- Identificar y obtener los hechos.
- Se conocen las funciones y estructuras de las maquinarias.
- Se identifican las condiciones anormales o con problemáticas en la operación analizada.
- Se realiza una lista de todas las causas identificadas o supuestas.
- Proponer propuestas de mejora
- Eliminar todas las causas secundarias.
- Obtener la causa raíz que ha ocasionado el problema
- Diseño y aplicación plan de acción y correctivo.

Esta metodología permitirá una identificación y mejora clara que evite que dicha problemática se repita por las causas ya identificadas lo que deriva en obtener una mejor calidad en los procesos de trabajo y operación (Castro Castro & Cendales Ladino, 2019).

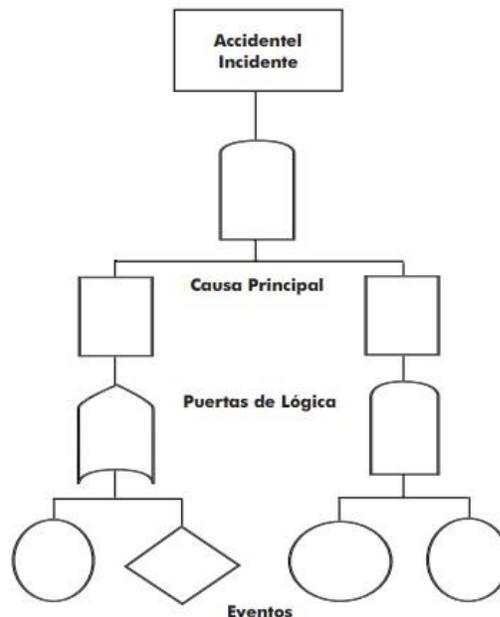
### **2.2.19. Diagrama de árbol de fallas.**

Se define como un tipo de técnica de análisis de carácter deductivo, el cual se va a enfocar en un accidente raíz o particular, permitiendo mediante el diseño de una metodología estructurada que va a permitir determinar las causas del suceso previamente seleccionado que se identifica como el no deseado, sin importar si es de gran o pequeña magnitud, lo que importa es que mediante esta herramienta se conozca la causa u origen de la problemática (López Calvajjar et al., 2018).

Dentro de su forma gráfica, se presenta una estructura en forma de niveles en la que se busca la relación entre las diferentes causas de un problema conectado a la base de la línea, obteniendo como resultado un consecutivo de ramas que

conectan los sucesos hasta completar el análisis o mejora propuesta que aborde la raíz principal del árbol. Por lo anterior, al momento de realizar un análisis o diagrama de fallo se debe contar con un equipo multidisciplinario que deben contar con una experiencia amplia en el trabajo de control y desarrollo industrial, junto con un conocimiento en lo que respecta a seguridad en el trabajo y en desarrollo organizacional estructurado para una compañía, por lo que como ya se mencionó la persona a cargo del control debe poseer diversas habilidades al momento de abordar este tipo de estrategias para su compañía, contando con un equipo para su revisión y trabajo (López Calvajar et al., 2018).

Figura 1. Resumen diagrama del problema



Como se ha observado anteriormente, los eventos son organizados dentro de una jerarquía que permite definir donde se cuenta conformado con procesos predecesores, en el cual se presentan operadores lógicos, donde permitirá desde la definición del evento o problemática, hasta el propio trabajo en el que se puede

identificar si en dicho evento se cuenta con falta de información, o ya es posible definir de manera clara el problema dentro del evento (ESTRADA et al., 2009).

### **2.2.20. Diagrama de Pareto**

El diagrama de Pareto es un tipo especial de gráfico de barras en el que cada barra representa una categoría diferente o parte de un problema, dicho gráfico ilustra la frecuencia de distribución de los datos descriptivos clasificados en categorías que se colocan en el eje horizontal y las frecuencias en el eje vertical (Realyv et al., 2018).

Los diagramas de Pareto ayudan a identificar cuánto influyen algunos factores específicos en un problema en relación con otros factores, con la ventaja de que este diagrama permite descomponer un problema en categorías o factores, identificando las categorías clave que más contribuyen a un problema específico, buscando una implementación organizada y sistemática de esta herramienta en los ciclos de mejora continua (Baudin, 2017).

En términos más técnicos el diagrama de Pareto es conocido como el principio de 80/20 o la ley de los pocos vitales y los muchos triviales, donde dicho principio estipula que si una cantidad se divide entre categorías, entonces el 20 % superior de las categorías contiene el 80 % de la cantidad en cuestión, y se aplica recursivamente a la cola, de modo que el 20 % superior del 80 % inferior contiene el 80 % de la cantidad restante, y así sucesivamente (Realyv et al., 2018).

Por lo tanto, esta gráfica lleva siendo utilizada desde su creación y todas las empresas o negocios que han hecho uso de la misma han confirmado su gran nivel de efectividad. Es así como todas esas empresas que han implementado el Diagrama de Pareto han gozado de las enormes ventajas que su utilización supone (R. Kumar & Singh, 2020).

Siendo una de sus grandes ventajas la facilidad de uso, lo cual hace que cualquier empresa de cualquier parte del mundo pueda emplearla sin problema. Además de esto, está el hecho de que, al emplear este diagrama, podrás analizar los problemas de tu empresa para así optimizar el esfuerzo de tu parte y de parte de los empleados de forma objetiva. Así las mejoras generarán un impacto de forma directa en tu empresa que será muy notable (Karuppusami & Gandhinathan, 2006).

Del mismo modo, cabe señalar que mediante el uso de la gráfica de Pareto podrás fomentar el trabajo en equipo, lo cual es una gran ventaja para aquellas empresas que cuentan con una gran cantidad de empleados. Además, gracias a que es fácil de comprender, todos los empleados podrán leerla sin problema. Recuerda también que, si realizas este diagrama de forma periódica, podrás observar cómo se han estado dando las mejoras, para así determinar si hay algo más que sea necesario cambiar (Baudin, 2017).

### 2.3. MARCO LEGAL

- **NTC GTC 62.** Seguridad de funcionamiento y calidad de servicio. Mantenimiento. Terminología.
- **LEY 142 de 1994.** Gestión de Mantenimiento.
- **NTC-ISO 9001, NTC-ISO 9002. Numeral. 4** controles de procesos. Mantenimiento adecuado del equipo.
- **NTC-ISO 9004-2-** Administración de la calidad y elementos del sistema de calidad.
- **ISO 14000.** Normas Medioambientales

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

En el presente proyecto se desarrolló la metodología de grado: Monografía con un enfoque cualitativo o un estudio profundamente reflexivo subjetivamente y el método analítico que es una técnica usada para diagnosticar problemas y formular hipótesis para dar solución a dichos problemas, donde para realizar el desarrollo del trabajo se llevó a cabo un plan de actividades empezando por identificación documental de aspectos teóricos y planes de gestión de mantenimiento en la industria textil e investigación de estrategias anteriormente implementadas, esto con el fin de obtener suficiente información literaria, seguidamente se realizó la revisión y selección del material usado, posteriormente se dividió la información general para desarrollar cada sección del trabajo.

El estudio del área de mantenimiento es cualitativo y cuantitativo, pero en esta monografía se enfocó a la parte cualitativa, debido a que se basa en el objetivo de estructurar y crear estrategias administrativas y de planeación, fundamentarlas para que el desarrollo del área en las PYMES colombianas sea óptimo y genere confiabilidad y calidad a los procesos y productos del sector textil.

Si bien, para la planificación y el planteamiento de estrategias es de suma importancia cuantificar indicadores, se parte de la premisa de que en Colombia, la mayoría de las Pymes no cuenta con servicios o área de mantenimiento, por lo que en su mayoría acude al mantenimiento correctivo, que por lo estudiado a lo largo de la tecnología, de esta investigación y a lo largo de la historia, es un mantenimiento que aunque responde a la problemática, en la época actual no es eficiente debido a las pérdidas de tiempo, dinero y recursos que provoca, por lo que se plantean estrategias e indicadores genéricos que se puedan ajustar personalmente a cada pyme de acuerdo a su producción y políticas internas.

Prestando especial atención al objetivo principal, eventualmente es necesario desplegar los motivos que puedan causar demoras, problemas, pérdidas y en interferencias en la productividad de una empresa, con ayuda de las herramientas tales como el diagrama de Gant e Ishikawa se plantean las causas y los efectos presentados, entre otras herramientas que permitan el hallazgo de los puntos clave en los cuales hay que trabajar dentro de la producción para lograr la automatización y el correcto balance necesario para la fluidez de trabajo.

#### **4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO**

Para el desarrollo del trabajo se tuvo que planificar un proceso de selección de la literatura pues al realizar un sondeo inicial se halló una especial carencia en el tema enfocado al sector textil, por lo que el plan fue utilizar herramientas tecnológicas y plataformas con bases de datos y libros referentes al mantenimiento como las halladas en google, google académico e incluso la biblioteca virtual de las unidades tecnológicas.

En este proceso de búsqueda se aplicó un filtro específico, es decir, se buscaron documentos que contaran con las siguientes palabras claves “Gestión de mantenimiento, Planes de mantenimiento en plantas textiles de Colombia, Proyectos automatización de mantenimiento, Estrategias de mantenimiento en plantas textiles” para que la información estuviera enfocada en los objetivos del proyecto.

Con el fin de que se obtuviera información actualizada debido a que los procesos de maquinaria se actualizan constantemente, se aplicó un filtro que midiera el tiempo en que la información haya sido publicada para determinar un rango entre los años 2014 al 2020.

Lo anterior dio como resultado diversos proyectos de grado, repositorios para la obtención de títulos universitarios y artículos publicados por universidades y revistas científicas tanto a nivel nacional como internacional.

Ya teniendo la información se realizó un proceso de revisión en el que se seleccionaron todos aquellos documentos disponibles para lectura y los cuales la información pudiese ser utilizada sin proceso de autorización que conllevara mayor disposición del tiempo, lo que dio como finalistas seleccionados los proyectos de grado referenciados, los artículos científicos y los resultados de búsquedas en plataformas de información sobre el mantenimiento enfocado al sector textil; A los

cuales se les aplicó un proceso de lectura crítica intensivo, se leyeron aproximadamente 4 veces y se sustrajo información trascendente que aportara sustancialmente a la presente monografía.

Un proceso similar se realizó para la búsqueda de información y experiencias de empresas, con la diferencia de que en este punto se tuvo en cuenta la experiencia laboral de las autoras, quienes han presenciado procesos de mantenimiento y auditoria en las empresas en las que han laborado y los proyectos hechos anteriormente durante el estudio de la tecnología; En este punto, en cuanto a proceso de selección de la literatura se tuvo en cuenta que fueran 1. Empresas relacionadas al sector textil y 2. Que tuvieran en sus páginas web publicados sus procesos. Particularmente se halló a su vez un par de proyectos de grado que fueron basados y aplicados en empresas latinoamericanas y fueron estos los seleccionados para sustentar el presente proyecto pues aportaron sustancialmente a la premisa a partir de la experiencia y estudio de los mismos, generando planes de acción interesantes para el presente.

Luego de obtener la mayor información posible y considerarla relevante para el trabajo se prosiguió con la lectura, selección y estructuración, buscando que en él se pueda evidenciar claridad y concordancia de ideas.

Se hizo una comparación literaria basada en resúmenes e ideas con el fin de desarrollar las estrategias y los planes de acción sugeridos dentro de la presente monografía, lo anterior principalmente fundamentado por el contraste de la información de estudios científicos versus la experiencia vivida dentro de las empresas al momento de la aplicación de un sistema de mantenimiento, todo esto para lograr una síntesis y poder brindar soluciones valiosas al sector textil en general, especialmente a las Pymes colombianas.

## 5. RESULTADOS

Como resultado del presente proyecto se logró profundizar e identificar con más precisión el actual funcionamiento y estructuración de los programas de mantenimiento, a la vez que se logró conocer las diferentes estrategias que se han ido aplicando en cuanto a automatización que es el principal objeto de estudio.

Con base a toda la información recolectada se definieron un conjunto de estrategias que al ser implementadas se prevé una mejora sustancial en el departamento de gestión del mantenimiento de las empresas y que son descritas a continuación:

**Estrategia 1:** Generar indicadores en base al conocimiento de la maquinaria utilizada en planta, estos permiten que el mantenimiento predictivo y preventivo sean más eficientes, un ejemplo de este tipo de indicadores es por ejemplo el número de impresiones que realiza x maquina por n cantidad de tiempo.

**Estrategia 2:** Es de vital importancia que, hablando de PYMES, el personal que manipule maquinaria y/o material, esté totalmente capacitado acerca del funcionamiento de cada uno de los equipos utilizados para producción, de igual manera que los encargados de cada departamento productivo realicen breves y constantes auditorías a las tareas para el debido control de cada proceso.

**Estrategia 3:** La clave de un buen proceso de mantenimiento es la búsqueda constante de reprocesos y su respectiva eliminación de la producción, para esto, realizar auditorías y evaluaciones de métodos y tiempos con el fin de identificar las paradas de producción que hacen perder tiempo y por ende dinero.

**Estrategia 4:** Evaluación de procesos y maquinaria, debe realizarse por lo menos una vez al mes con el fin de intervenir a tiempo ante cualquier hallazgo, con lo que se aplicará posiblemente reestructuración a los procesos y de esta manera se optimiza y aumenta la productividad y fiabilidad de los procesos.

Estas estrategias complementadas con una serie de pasos minuciosamente estudiados y clasificados sumándole las facilidades de programas tecnológicos, data base, entre otros, hacen de la gestión del mantenimiento un proceso actualizado, organizado y automatizado.

### **Paso 1: Identificar qué tipo de activos tiene la organización**

Este visto que algunas empresas no cuentan con un inventario de activos operativo actualizado, por lo cual es recomendable que empiecen a llevar una ya que este sería útil para llevar de manera ordenada su contabilidad y disponibilidad

Para ello es viable que se clasifiquen dichos activos por grupo así elegir uno en cual enfocarte y poder realizar este mismo proceso con todos de una manera organizada y sistematizada. Una opción es probar la regla de Pareto 80/20. ¿Cuál es el 20% de los equipos que me genera el 80% de las fallas o del gasto de mantenimiento? Así de esta manera realizar un inventario más detallado que te ayude a entender cuántos de esos equipos tienes, dónde están ubicados, características que consideres relevantes y en qué estado están.

### **Paso 2: Establece un Plan de Mantenimiento**

Una vez que has identificado los equipos que tienes dentro del grupo de equipos elegido, nos lleva al siguiente paso que consiste en identificar las tareas del mantenimiento de cada una de estas. Ya que al no tenerlas claras ni saber el tiempo exacto que estas necesitas se incurriría en un mayor gasto y riesgos innecesarios. El plan de mantenimiento puede ser combinación de diferentes estrategias para cada equipo como: optar por un plan mantenimiento predictivo para un equipo crítico y mantener un mantenimiento correctivo programado para equipos que no son centrales para la operación. Lo importante es elegir la adecuada para cada tipo de

equipo. La elección dependerá de factores como el costo total de que el equipo falle vs el costo de monitoreo del equipo. Para de este modo realizar un análisis costo – beneficio y elegir la estrategia que resulte más costo -eficiente para cada tipo de equipo.

### **Paso 3: Mejora el seguimiento de las tareas de mantenimiento**

Hacer seguimiento de las tareas de mantenimiento establece un orden y organización en el equipo de trabajo donde se defina cómo manejar la información de los equipos, cómo registrar las tareas, qué procesos de seguimiento y control establecer y cómo mantener la información actualizada. Buscando apoyo de herramientas tecnológicas que aumenten la visibilidad para un mejor seguimiento de los pendientes del área.

### **Paso 4: Digitaliza y automatiza tus procesos**

Comenzar a digitalizar los procesos de mantenimiento. Manteniendo una base de datos centralizada con toda la información del mantenimiento de tu empresa de tal manera que sea de fácil acceso para tu equipo de trabajo. Generando pendientes de manera automática en función a las necesidades de mantenimiento definidas por este para los tipos de equipo. Como resultado de este proceso se obtiene la optimización del tiempo del equipo de Mantenimiento, un mejor seguimiento y planificación que llevarán a mejorar la disponibilidad de los equipos, la vida útil de estos y optimizar los gastos.

### **Paso 5: Explora la data para prevenir y predecir fallas**

Con el fin de minimizar cualquier evento no planificado que afecte la operación de la empresa es importante la planeación del mantenimiento de cada una de las

maquinas, para ello, se establecen indicadores con los cuales medir tiempo vs cantidad producida, de esta manera se garantiza que los hallazgos sean corregidos a tiempo y no interfieran en la producción, así como también es importante la asignación de tareas y trabajos, pues si no se cuenta con un área de mantenimiento especializada, es necesario asignar responsabilidades de manera objetiva, y realizar un seguimiento para verificar que se ejecuten de manera adecuada por medio de auditorías, todo esto con el fin de que funcione a la perfección y logre la fluidez de trabajo.

## 6. CONCLUSIONES

Para las PYMES del sector textil si es necesario más que un plan de gestión del mantenimiento, una implementación del ciclo PVHA en sus procedimientos, se habla de emprendimientos que fueron creciendo y en su día a día se dedican a gestionar las dificultades y todo lo que vaya surgiendo (errores, pérdidas de material, de clientes, malas prácticas administrativas, malos mantenimientos de maquinaria, procesos de maquilado deficientes, compra de materia prima errada, etc.), por lo que el establecer una planificación y estrategias que respalden esta planificación es factor clave para el crecimiento de las empresas, es importante recalcar que cada plan de gestión va a ir adecuado de acuerdo a las características de cada planta textil o de producción que tengan, pues el sector textil, como es sabido, tiene diversas especialidades y aunque se pudo estandarizar sus procesos, no se descarta que requieran especial atención ciertos detalles que diferencian cada especialidad.

Es satisfactorio y motivante el hecho de que, a lo largo de la investigación se notara que las y los empresarios están dispuestos a hacer lo necesario, correcto y consecuente para la implementación de sistemas tecnológicos que los ayuden además a administrar toda su operación, es la mente abierta a posibilidades la que incentiva a trabajar en el sector y continuar investigando maneras de aportar a su crecimiento sustentable.

Al estandarizar y automatizar procesos se garantiza la confiabilidad y calidad tanto de los productos como de las tareas, pues, incentiva al personal, ya que tienen claro cómo funciona cada tarea, y tiene bases sólidas en las cuales puede aportar ideas de mejora en un futuro, se siente seguro de que su trabajo está bien hecho y al tener manuales, instrucciones y procesos fijos, no requiere de vigilancia experta, por lo mismo, la recomendación de auditorías es esencial para apoyar esta seguridad y proceso automático e independiente dentro de la planta y el personal,

dato que, como se ha visto a lo largo de la investigación, el mantenimiento no es solo corregir, o prevenir errores, es el constante ciclo de trabajo que asegura la confiabilidad y la eficiencia desde todos los puntos clave de las organizaciones, velando por la calidad del producto ofrecido, la rentabilidad de los procesos productivos, la eficiencia de los procesos administrativos y contables y generando una tranquilidad al empresario y al cliente de que están obteniendo resultados de acuerdo a sus necesidades y trascendiendo en ellas.

## 7. RECOMENDACIONES

Dar más importancia a los planes de mantenimiento de las empresas con el fin de mejorar y mantener el buen funcionamiento de sus equipos y maquinarias, y así lograr una productividad mejorada y segura.

Enfocarse a su vez en que la gestión no solo esté orientada a fiabilidad de los procesos sino que se trascienda y se detalle desde el área el aporte que se puede brindar al impacto económico de las compañías, especial mira al impacto ambiental que generan las plantas de producción por muy pequeña que sea una empresa o una planta, es crucial evaluar el impacto que se genera al ambiente a su alrededor, por lo que en un futuro el mantenimiento debe ser sustentable y las empresas deben enfocarse en que la materia prima y en general lo que ofrecen en su producto final sea sustentable y amigable con el ambiente, pues no está de más recordar siempre que la materia prima siempre viene de los derivados animales, vegetales o en general de la tierra, pues nada se da sin los productos primarios.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuja, S., Management, T. Q., Maintenance, T. P., Involvement, T. E., Manufacturing, W. C., & Maintenance, P. (2010). Total Productive Maintenance. In *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer London. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_17)
- Alexis, O. U., Carlos, R. M., & Henry, I. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18(61), 86–104.
- Alexopoulos, I., Kounetas, K., & Tzelepis, D. (2018). Environmental and financial performance. Is there a win-win or a win-loss situation? Evidence from the Greek manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 197(1), 1275–1283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.302>
- Arslankaya, S., & Atay, H. (2015). Maintenance Management and Lean Manufacturing Practices in a Firm Which Produces Dairy Products. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.090>
- Bangemann, T., Rebeuf, X., Reboul, D., Schulze, A., Szymanski, J., Thomesse, J. P., Thron, M., & Zerhouni, N. (2006). PROTEUS-Creating distributed maintenance systems through an integration platform. *Computers in Industry*, 57(6), 539–551. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2006.02.018>
- Baudin, M. (2017). *Revisiting Pareto in Manufacturing* (Issue January 2012).
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad ( RCM ) considerando taxonomía de equipos , base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51–59. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>
- Cardona Rendón, R. A. (2020). *Diseño de una propuesta metodológica para la implementación de la filosofía Lean Manufacturing en la cadena de abastecimiento del sector textil confecciones de la ciudad de Medellín*. Universidad EAN Facultad.
- Carolina, M., & Salamanca, M. (2017). Política económica y desarrollo competitivo para PyMEs : Colombia y China desde un análisis sistémico. *Revista EAN*, 82, 123–146. <https://doi.org/https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1644>
- Castro Castro, J. D., & Cendales Ladino, E. D. (2019). Casos aplicados del análisis de causa raíz: revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 95–134. <https://doi.org/10.18359/rcin.3197>
- Chávez Lozana, T. C., & Patiño Patiño, G. I. (2018). *Estudio de factibilidad para la creación de empresa dedicada a la fabricación y comercialización de ropa para dama de tallas grandes en la Ciudad de Cali*. Universidad del Valle.
- Chelsom, J. V., Payne, A. C., & Reavill, L. R. P. (2015). *Management for Engineers, Scientists and Technologists* (3rd ed.). Wiley.

- Child, J., Karmowska, J., & Shenkar, O. (2022). The role of context in SME internationalization – A review. *Journal of World Business*, 57(1), 101267. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2021.101267>
- Confecámaras. (2021). *En primer trimestre de 2021 aumentó 9,3% la creación de empresas en Colombia*. Noticias Confecámaras Red de Camaras de Comercio.
- Crespo, A. (2017). On the Definition of Maintenance Management. In *The Maintenance Management Framework* (1st ed., pp. 3–10). Springer London. [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-821-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-821-0_1)
- 1 orientado al mantenimiento productivo total en una Industrial Textilera. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Daniel, R., & Paulus, T. (2019). Maintenance Issues. In *Lock Gates and Other Closures in Hydraulic Projects* (pp. 883–916). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809264-4.00015-X>
- Deighton, M. G. (2016). Maintenance Management. In *Facility Integrity Management* (pp. 87–139). Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801764-7/00005-X>
- DELTA maquinas Textiles. (2022). *¿Cómo puede contribuir el sector de mantenimiento a la eficiencia de la producción textil?* Sector de Mantenimiento a La Eficiencia de La Produccion Textil.
- Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., & Martínez-Loya, V. (2019). Impact Analysis of Total Productive Maintenance. In *Impact Analysis of Total Productive Maintenance*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01725-5>
- Duffuaa, S. O., & Haroun, A. E. (2009). Maintenance Control. In *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer, Londres. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_5)
- Duffuaa, S. O., & Raouf, A. (2015). Planning and control of maintenance systems: Modelling and analysis. In *Planning and Control of Maintenance Systems: Modelling and Analysis* (pp. 1–348). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19803-3>
- Duffuaa, S., & Raouf, A. (2015a). Computerized Maintenance Management Systems. In *Planning and Control of Maintenance Systems* (2nd ed., pp. 223–243). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19803-3>
- Duffuaa, S., & Raouf, A. (2015b). Maintenance Operations and Control. In *Planning and Control of Maintenance Systems*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19803-3>
- Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2013). Process Automation. In *Fundamentals of Business Process Management* (pp. 297–352). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33143-5>
- Edgar, T. F., & Hahn, J. (2009). Process Automation. In *Process Automation* (pp.

- 529–543). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_31)
- Es-sakali, N., Cherkaoui, M., Oualid, M., & Naimi, Z. (2022). Review of predictive maintenance algorithms applied to HVAC systems. *Energy Reports*, 8(May), 1003–1012.
- ESTRADA, S. G., CANO, H. B., & OCAMPO, F. A. (2009). *ANÁLISIS DE INCONFIABILIDAD A UN PROCESO DE CONSTRUCCION DE ROLLOS DE PAPEL UTILIZANDO ARBOL DE FALLOS*.
- FrankCrawley. (2020). Failure modes and effects analysis (FMEA) and failure modes, effects and criticality analysis (FMECA). In *A Guide to Hazard Identification Methods* (2nd ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819543-7.00012-4>
- Gan, S., Song, Z., & Zhang, L. (2022). Computers & Industrial Engineering A maintenance strategy based on system reliability considering imperfect corrective maintenance and shocks. *Computers & Industrial Engineering*, 164(December 2021), 107886. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107886>
- García Sierra, J., Cárcel Carrasco, J., & Mendoza Valencia, J. (2019). Importancia del mantenimiento, aplicación a una industria textil y su evolución en eficiencia. *3C Tecnología\_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 8(2), 50–67. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n2e30.50-67>
- Guzman, J., Correa, J., & Lozano, A. (2020). Guidelines for the implementation of a predictive maintenance program. In *Mechanical Vibrations and Condition Monitoring* (pp. 133–145). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819796-7.00007-X>
- Haroun, A. E., & Duffuaa, S. O. (2007). Maintenance Organization. In M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, A. Raouf, J. Knezevic, & D. Ait-Kadi (Eds.), *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (1st ed., pp. 3–15). Springer London.
- Hernandez-Matias, J. C., Ocampo, J. R., Hidalgo, A., & Vizan, A. (2020). Lean manufacturing and operational performance: Interrelationships between human-related lean practices. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(2), 217–235. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2019-0140>
- Heywood, M. (2018). Managing maintenance. In *Water and Wastes Digest* (Vol. 57, Issue 5, pp. 46–47). Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2757-4>
- Hinsch, M. (2018). Maintenance Management. In *Industrial Aviation Management* (1st ed., pp. 111–135). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54740-3>
- Hosseini, A., Kishawy, H. A., & Hussein, H. M. (2015). Lean Manufacturing. In J. P. Davim (Ed.), *Modern Manufacturing Engineering. Conformado, Mecanizado y*

- Tribología de Materiales* (pp. 249–269). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20152-8>
- Jardón, C. (2020). *La importancia del mantenimiento industrial en las fábricas inteligentes*. Nexus Integra, Industria 4.0 - Transformación Digital.
- Jharkharia, S., & Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), 274–289. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.06.005>
- Karuppusami, G., & Gandhinathan, R. (2006). Pareto analysis of critical success factors of total quality management A literature review and analysis. *The TQM Magazine*, 18(4), 372–385. <https://doi.org/10.1108/09544780610671048>
- Kiran, D. R. (2017). Total productive maintenance. In *Total Quality Management Key Concepts and Case Studies* (1st ed., pp. 177–192). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.4271/982092>
- Kiran, D. R. (2022). Total productive maintenance. In *Principles of Economics and Management for Manufacturing Engineering* (pp. 167–178). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.4271/982092>
- Klock, A. C. T., Gasparini, I., & Pimenta, M. S. (2016). 5W2H framework: A guide to design, develop and evaluate the user-centered gamification. *ACM International Conference Proceeding Series, Part F128046*. <https://doi.org/10.1145/3033701.3033715>
- Kritzinger, D. (2017). Failure Modes and Effects Analysis. In *Aircraft System Safety: Assessments for Initial Airworthiness Certification* (pp. 101–132). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100889-8.00005-2>
- Kumar, D., & Kumar, D. (2018). Maintenance Management. In *Sustainable Management of Coal Preparation* (pp. 369–380). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812632-5.00018-5>
- Kumar, N., Shahzeb, S., Srivastava, K., Akhtar, R., & Kumar, R. (2022). Materials Today : Proceedings Lean manufacturing techniques and its implementation : A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188–1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>
- Kumar, R., & Singh, K. (2020). Agile manufacturing : a literature review and Pareto analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 37(2), 207–222. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2018-0349>
- Kuswardana. (2017). Analisis Penyebab Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode RCA ( Fishbone Diagram Method And 5 – Why Analysis ) di PT . PAL Indonesia. *Conference on Safety Engineering and Its Application*, 141–146.
- López Calvajar, G. A., Alonso Hernández, I., Mazaira Rodríguez, Z., & Ricardo Cabrera, H. (2018). Árbol de fallo como herramienta para la mejora de procesos. Estudio de caso cementera XPZ. *Espacios*, 39(6).
- Lu, L., Zhao, S., He, Q., & Zhu, N. (2022). Task assignment in predictive

- maintenance for free-float bicycle sharing systems. *Computers & Industrial Engineering*, 169(May), 108214. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108214>
- Lucía, A., Londoño, R., Iván, J., Sánchez, J., Católica, U., & Amigó, L. (2017). Aplicación del Costo de Capital en las pymes en Colombia. *Science of Human*, 2(2), 167–190. <https://doi.org/https://doi.org/10.21501/2500-669X.2470>
- Maestre-delgado, M. (2020). Análisis en tiempos de crisis económica. *Revista Saber, Ciencia y Libertad*, 15(1), 128–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2020v15n1.6306>
- Marcela, C., Morales, B., Guevara, P., & Santiago Posada Toro, J. (2014). PMO implementation experiences in companies of Medellin city. *Revista EIA, ISSN 1794-123, 574*, 133–144. <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.e1.133-144>
- Marshall, T. J., & Brady, Y. A. (2018). Process Control and Automation Solutions. In *Biopharmaceutical Processing* (pp. 579–621). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100623-8.00030-X>
- Masuti, P. M., & Dabade, U. A. (2019). Materials Today: Proceedings Lean manufacturing implementation using value stream mapping at excavator manufacturing company. *Materials Today*, 19, 606–610. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.740>
- Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM*. 97. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59101270/Aplicacion\\_RCM\\_nacional\\_201820190501-58581-12b7b4s-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1657644917&Signature=PrSfikGcp68gzGrBUlxgqv4~ZOrYs51W4b5ORBZNaADJ9tqU7kBHYKlhvUX-TjDeJwZICLOGgFkIROuyFJaknyZNUMslkBxnKktJB20DU](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59101270/Aplicacion_RCM_nacional_201820190501-58581-12b7b4s-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1657644917&Signature=PrSfikGcp68gzGrBUlxgqv4~ZOrYs51W4b5ORBZNaADJ9tqU7kBHYKlhvUX-TjDeJwZICLOGgFkIROuyFJaknyZNUMslkBxnKktJB20DU)
- Meira, D., Lopes, I., Pires, C., Meira, D., Lopes, I., & Pires, C. (2021). Selection of computerized maintenance management systems to meet organizations' needs using AHP. *Procedia Manufacturing*, 51, 1573–1580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.219>
- Mobley, K., & Smith, R. (2016). Preventive Maintenance Program. In *The Basics of Maintenance and Reliability* (pp. 37–45). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075067862-9.50004-6>
- Mohan, K., & Lata, S. (2018). Effectuation of Lean Tool “5S” on Materials and Work Space Efficiency in a Copper Wire Drawing Micro-Scale Industry in India. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 4678–4683. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.039>
- More, D. C., Delgado, G. H., & Vines, K. P. (2011). “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA CHANCADORA GIRATORIA. 1–110.
- Moyano-Hernández, F. A., & Villamil Sandoval, D. C. (2021). Análisis del ciclo PHVA

- en la gestión de proyectos, una revisión documental. *Revista Politécnica*, 17(34), 55–69. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a4>
- Nagyova, A., Palko, M., & Pacaiova, H. (2015). Analysis and Identification of Nonconforming Products By 5W2H Method. *9th International Quality Conference, June*, 33–42.
- Nassereddine, A., & Wehbe, A. (2018). Competition and resilience: Lean manufacturing in the plastic industry in Lebanon. *AEBJ*, 13(2), 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.aebj.2018.11.001>
- Pascal, V., Toufik, A., Manuel, A., Florent, D., & Frédéric, K. (2019). Improvement indicators for Total Productive Maintenance policy. *Control Engineering Practice*, 82(September 2018), 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.019>
- Percy, D. F. (2000). Preventive Maintenance Models for Complex Systems. In *Complex System Maintenance Handbook. Springer Series in Reliability Engineering* (pp. 179–207). Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7_8)
- Pineda, L. C. (2019). El modelo Deming (PHVA) como estrategia competitiva para realzar el potencial administrativo. *Society*, 2(1), 1–19. [http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZOtx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS\\_](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZOtx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS_)
- Pingyu, Y., & Yu, Y. (2010). The Barriers to SMEs ' Implementation of Lean Production and Countermeasures. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(2), 220–225.
- Prego Nieto, M. (2020). *La gestión del mantenimiento , qué es y cómo optimizarla*. Revista Organizacion-Planificacion.
- Quintero, J. (2018). *Las pymes en Colombia y las barreras para su desarrollo y perdurabilidad*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Realyv, A., Arredondo-soto, K. C., Carrillo-guti, T., & Ravelo, G. (2018). Aplicación del ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) para reducir los defectos en la industria manufacturera. Un caso de estudio. *Applied Sciences*, 8(11), 2–17. <https://doi.org/10.3390/app8112181>
- Renjith, V. R., Jose kalathil, M., Kumar, P. H., & Madhavan, D. (2018). Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 537–547. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.01.002>
- Sacristán, F. R. (2013). Elaboración y optimización de un plan de mantenimiento preventivo. *Primera Edición “ Valencia,”* 30–41.

- [https://books.google.com.pe/books?id=zK4\\_AAAIAAJ&pg=PA167&dq=procedimiento&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi968P8i-HvAhWOILkGHcX-CkEQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=procedimiento&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=zK4_AAAIAAJ&pg=PA167&dq=procedimiento&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi968P8i-HvAhWOILkGHcX-CkEQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=procedimiento&f=false)
- Sharma, K. D., & Srivastava, S. (2018). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review. *Copyright Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science J Adv Res Aero SpaceSci*, 5(2), 2454–8669.
- Subriadi, A. P., & Najwa, N. F. (2020). The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment. *Heliyon*, 6(1), e03161. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03161>
- Tampubolon, J. (2019). RCA Analysis with Selected Products to Enhance Prediction Power of Competitiveness. *Jurnal Ekonomi Dan Studi Pembangunan*, Vol 11 (2)(April 2015), 143–157.
- Thakur, R., & Panghal, D. (2021). Total productive maintenance. In *Lean Tools in Apparel Manufacturing: A Volume in The Textile Institute Book Series*. Publicaciones de Woodhead. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819426-3.00005-9>
- Torres Guevara, C. C. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de automatización virtual para una máquina de estampado textil, usando la estrategia de un software in the loop*. Universidad Piloto de Colombia.
- Wang, Y., Deng, C., Wu, J., Wang, Y., & Xiong, Y. (2014). A corrective maintenance scheme for engineering equipment. *Engineering Failure Analysis*, 36, 269–283. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.10.006>
- Werbińska, S. (2019). Preventive Maintenance Models for Technical Systems. In *Technical System Maintenance* (pp. 21–100). Springer Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10788-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10788-8_2)
- Wienker, M., Henderson, K., & Volkerts, J. (2016). The Computerized Maintenance Management System An essential Tool for World Class Maintenance. *Procedia Engineering*, 138, 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.100>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Wilson, J. (2017). Lean Thinking — Banish Waste and Create Wealth in your Corporation Book Selection texts on System Dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 5682. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600967>
- WREDE, E. B. DE, & RAMÍREZ, J. A. L. (2018). *PROPUESTA DE DESARROLLO DEL MÉTODO ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA) PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA HERRAMIENTA DE MANO DE LA EMPRESA ALLIAN.S S.A.S.* 66, 37–39. [https://www.fairportlibrary.org/images/files/RenovationProject/Concept\\_cost\\_estimate\\_accepted\\_031914.pdf](https://www.fairportlibrary.org/images/files/RenovationProject/Concept_cost_estimate_accepted_031914.pdf)
- Yerussa, G. B. Y. (2018). *PLAN DE MEJORA BASADO EN EL CICLO PHVA PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE*

*GRANOS SECOS DE LA EMPRESA AGRONEGOCIOS SICÁN SAC –  
CHICLAYO 2017.*

Zahoor, N., Al-tabbaa, O., Khan, Z., & Wood, G. (2020). Collaboration and Internationalization of SMEs: Insights and Recommendations from a Systematic Review. *International Journal Of Management Reviews*, 00, 1–30. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12238>