

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Diseño de una estrategia basada en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM), que contribuya a la mejora de la mantenibilidad de la flota de vehículos en una empresa de transporte de carga en Colombia

Jorge Ariza Luque

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas
Bogotá, Colombia
2023

Diseño de una estrategia basada en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM), que contribuya a la mejora de la mantenibilidad de la flota de vehículos en una empresa de transporte de carga en Colombia

Jorge Ariza Luque

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Administración

Director (a):

Ph.D., Carlos Osorio Ramirez

Línea de Investigación:

Gestión Funcional

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas

Bogotá, Colombia

2023

A Dios por poner en mi camino a “mi compañera eterna”, la persona que me ha impulsado en los últimos años a ser mejor persona y profesional, acompañando con templanza y decisión cada uno de mis pasos en este camino de la vida, a mis hermanas por su amor incondicional y a mis padres que me forjaron con su ejemplo los valores para ser quien soy.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Jorge Ariza Luque

Fecha 30/01/2023

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Colombia y sus directivas por abrirme las puertas del conocimiento, a sus profesores que durante el transcurso de la maestría desarrollaron en mí, habilidades gerenciales que me han permitido crecer como profesional. Un especial reconocimiento a mi director de proyecto el profesor Carlos Osorio Ramirez, por guiarme durante el desarrollo del presente trabajo, por su disposición y apoyo incondicional siempre aportando desde su visión estratégica. A Coordinadora Mercantil S.A. y sus directivas, en especial a Andres Trujillo quien con su voto de confianza me ha permitido crecer profesional y personalmente, sin su apoyo no hubiese sido posible la construcción y desarrollo del presente trabajo.

Resumen

Diseño de una estrategia basada en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM), que contribuya a la mejora de la mantenibilidad de la flota de vehículos en una empresa de transporte de carga en Colombia

Las empresas que ofrecen servicios de transporte de mercancías en Colombia tienen la necesidad de gestionar integralmente su flota de vehículos, buscando asegurar la rentabilidad y sostenibilidad, es por ello que requieren implementar estrategias en la gestión del mantenimiento de la flota de vehículos, que permitan asegurar la mejora continua de la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de sus equipos. Dichas estrategias deben obedecer a factores como la tipología de los vehículos, la edad promedio de la flota, la cantidad y ubicación geográfica de los talleres para cubrir las necesidades de mantenimiento (Falsini D., Fumarola A., 2010). El mantenimiento productivo total TPM es una metodología para la gestión de activos productivos, que busca la obtención de la máxima eficiencia en todo su ciclo de vida, el enfoque principal de esta metodología es la toma de decisiones sobre el tipo de tareas de mantenimiento que realizarán los operarios y técnicos sobre los equipos. La introducción del TPM en la gestión de mantenimiento de flotas de vehículos de carga requiere una planificación estratégica y se han realizado pocos estudios en este campo.

Este documento recopiló los principales factores críticos de éxito (FCE) asociados a la implementación del TPM en el campo del mantenimiento industrial encontrados en la literatura. Posteriormente, se identificaron los FCE relevantes a la hora de adoptar el TPM como estrategia de mantenimiento en organizaciones dedicadas al transporte de carga en Colombia, para ello se utilizó el proceso de análisis jerárquico AHP como herramienta de priorización y se entrevistó a un panel de expertos en la gestión del mantenimiento de flotas de vehículos de este sector. Por último, se recopiló la visión estratégica y táctica operativa de un grupo interdisciplinario de líderes de una compañía, dedicada al transporte de carga en Colombia con más de 55 años en el mercado. Para dicho propósito se elaboró un guion de entrevistas semiestructuradas y se

aplicó a un directivo de alto nivel, el líder de productividad, el director de mantenimiento, un jefe de mantenimiento y el gerente de gestión humana de la organización. Una vez analizadas las entrevistas, se formuló una hoja de ruta como propuesta de implementación de la filosofía TPM, en la gestión del mantenimiento de la flota de vehículos de una empresa de transporte de carga.

Esta investigación, proporcionaría nuevos hallazgos sobre la implementación del TPM en la gestión del mantenimiento de vehículos, que podrían usarse para estudios futuros que busquen mejorar la eficiencia de los procesos productivos por medio de la gestión de mantenimiento de sus vehículos, en organizaciones dedicadas al transporte de carga.

Palabras Clave: Mantenimiento productivo total, TPM, flota de vehículos, transporte de carga, factores críticos de éxito, FCE.

Abstract

Design of a strategy based on the Total Productive Maintenance (TPM) philosophy, which contributes to improving the maintainability of the vehicle fleet in a freight transportation company in Colombia

Companies that offer freight transport services in Colombia have the necessity to fully manage their vehicle fleet, seeking to ensure profitability and sustainability, therefore that is required to implement strategies in the maintenance management of the vehicle fleet, which permit the continuous improvement of the availability, reliability, and maintainability of their equipment. These strategies must take into account factors such as the type of vehicles, *the average age of the fleet*, the quantities and geographical location of the workshops to cover maintenance needs (Falsini, D., Fumarola, A., 2010). Total productive maintenance TPM is a methodology for the management of productive assets which seeks to obtain maximum efficiency throughout its life cycle. The main focus of this methodology is decision making on the type of maintenance tasks that will be carried out by operators and technicians on the equipment. The introduction of TPM into the maintenance management of freight vehicle fleets requires strategic planning. However, studies have not been reached enough in this field.

This document compiled the main critical success factors (CSF) associated with the implementation of TPM in the field of industrial maintenance found in the technical literature. Subsequently, the relevant CSFs were identified when adopting the TPM as a maintenance strategy in organizations dedicated to freight transportation in Colombia, for which the AHP hierarchical analysis process was obtained as a prioritization tool and a panel of experts was interviewed about the maintenance management of vehicle fleets in this sector.

Finally, the strategic and tactical operational vision of an interdisciplinary group of leaders of a company, dedicated to freight transportation in Colombia with more than 55 years of experience. For this purpose, a semi-structured interview script was developed and applied to C-Level

Manager, Productivity Leader, Chief Maintenance Officer, Maintenance Manager, and Chief Human Resources Officer. Once the interviews were analyzed, a roadmap was formulated as a proposal for the implementation of the TPM philosophy in the maintenance management of the vehicle fleet of a freight transport company.

This research would provide new data and findings on the implementation of TPM in vehicle maintenance management, which could be used for future studies that seek to improve the efficiency of production processes through vehicle maintenance, in organizations dedicated to freight transportation.

Keywords: Total productive maintenance, TPM, vehicle fleet, freight transport, critical success factors, CSF.

Contenido

Resumen.....	6
Abstract	8
Introducción	14
1. Revisión de literatura	19
1.1 Modelos de administración del mantenimiento	19
1.2 Practicas de implementación del TPM.....	21
1.3 El mantenimiento productivo total TPM	24
1.4 El mantenimiento y su evolución hasta el TPM	243
1.5 Conceptos y Características del TPM.....	234
1.5.1 Las Seis Grandes Pérdidas de los Equipos	246
1.5.2 Indicadores de Gestión del mantenimiento	277
1.5.3 Pilares del Mantenimiento Productivo Total	30
2. Factores críticos de éxito en el TPM	344
2.1 Factores Críticos de Éxito relacionados con la implementación del TPM en la industria.....	344
2.2 Factores determinantes relacionados con la implementación del TPM en el mantenimiento de flotas de vehículos.....	467
3. Análisis de resultados.....	556
3.1 Diagnóstico del estado actual del mantenimiento en una empresa de transporte de carga.....	556
3.1.1 Desarrollo del recurso humano	567
3.1.2 Aspectos técnicos.....	5859
3.1.3 Aspectos relacionados con la planeación estratégica	590
3.2 Planteamiento de la estrategia de mantenimiento	62
3.3 Hoja de ruta para la implementación del TPM en una empresa de trasporte de carga en Colombia.....	678
3.3.1 Fase de Preparación.....	690

3.3.2	Fase de Introducción	76
3.3.3	Fase de Implantación.....	76
3.3.4	Fase de consolidación	87
4.	Conclusiones.....	88
A.	Anexo: Guion de entrevistas semiestructuradas	90
	Bibliografía	94

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura de la tesis	17
Figura 2. Resultado ejercicio priorización para la categoría planeación estratégica	52
Figura 3. Resultado ejercicio priorización para la categoría aspectos técnicos	52
Figura 4. Resultado ejercicio priorización para la categoría desarrollo del recurso humano.....	53
Figura 5. Resultado ejercicio priorización consensuado por categoría	53
Figura 6. Jerarquía estratégica	64
Figura 7. Pasos para la implementación del TPM.....	70
Figura 8. Estructura del TPM.....	74

Lista de Tablas

Tabla 1. Factores críticos de éxito en la implantación del TPM.....	40
Tabla 2. Escala de Saaty.....	48
Tabla 3. Clasificación de FCE según categorías	50
Tabla 4. Características de panel de expertos	51
Tabla 5. Vectores de prioridad por categoría.....	53
Tabla 6. Factores relevantes del TPM en mantenimiento de vehículos de carga.....	567
Tabla 7. Matriz de estrategia de mantenimiento basada en los recursos	66

Introducción

En la gestión de la cadena de suministro se requiere planear estratégicamente a través de la gerencia de las empresas, en la literatura se identifican cuatro áreas de gestión a saber; la gerencia encargada de generar y velar por el cumplimiento de las políticas organizacionales, el soporte administrativo que apoya la toma de decisiones y gestiona las áreas de apoyo de la compañía, el área de operaciones y logística encargada de red de suministro, y el área de tecnología de procesos encargada de tomar decisiones sobre la implementación y administración de tecnologías de información, instalaciones, maquinaria, procesos y servicios prestados (Arango Serna, Ruiz Moreno, Ortiz Vásquez, & Zapata Cortes, 2017).

Haciendo referencia al área de operaciones y logística encargada de red de suministro, la competitividad de las empresas se ve influenciada por la entrega puntual de los pedidos a sus clientes. Muchas empresas subcontratan este componente de la cadena de suministro a través de proveedores de servicios de logística, lo que transfiere el control y la responsabilidad de este proceso a estos proveedores. El cumplimiento de la promesa de servicio en las empresas de logística se ve afectado por algunas variables del entorno tales como: condiciones del tráfico, condiciones climáticas, índices de accidentalidad y mal funcionamiento técnico de los vehículos (eventos de varadas). Estas variables pueden incidir en la competitividad de las empresas de logística que prestan los servicios de transporte a sus clientes (Redmer, 2014).

La función mantenimiento se puede entender como el uso de prácticas de gestión aplicadas a los activos físicos de una organización con el propósito de obtener la máxima productividad, disponibilidad y confiabilidad, contribuyendo a la mejora en la seguridad del operario y del medio ambiente al menor costo posible (Raña González, Castillo Asencio, Baste González, & Falcón Cuadra, 2010).

El mantenimiento es un área transversal de apoyo de las empresas que endémicamente se ha considerado como un gasto, es por ello por lo que los gerentes tienden a ver la función mantenimiento como un proceso a reducir o externalizar, sin valorar el impacto que éste puede tener en la mejora continua de los procesos de producción generando valor para la empresa (Cuatrecasas & Torrell, 2010). En la actualidad este concepto ha cambiado y ahora se entiende como un área de gestión dentro de las organizaciones cuyo propósito es contribuir a alcanzar los objetivos estratégicos (Raña González et al., 2010).

El mantenimiento actualmente emplea una cantidad considerable de recursos entre los que se encuentran instrumentación electrónica para monitorear variables físicas y programas informáticos de gestión y administración. Esto obliga a los responsables de su gestión a recibir formación en varias disciplinas del conocimiento tales como la ingeniería, la administración, la gestión de la calidad entre otros. Esto con el propósito de alcanzar los valores óptimos de confiabilidad, disponibilidad, y mantenibilidad (Rodríguez E., & Bonet C., 2013).

Para mantener la competitividad y la rentabilidad a largo plazo, las metodologías de mejora de procesos se han vuelto estratégicamente importantes para la gestión del mantenimiento en los últimos años. Madu (2008) indica que cada vez más, las empresas están viendo los problemas de confiabilidad y mantenibilidad como parte de la búsqueda corporativa para la mejora de la calidad, así como para lograr una manufactura esbelta (lean), el justo a tiempo (JIT), el seis sigma, alcanzar la satisfacción del cliente y seguir siendo competitivos. Ya no es simplemente un problema técnico que se deja solo a los ingenieros y diseñadores, sino un componente crítico en todo el proceso de entrega de productos y servicios. De hecho, el rendimiento y la capacidad de supervivencia de la organización dependen en gran medida de la confiabilidad y la mantenibilidad de sus activos, por lo que debe mantenerse un enfoque amplio para alcanzar los objetivos en estos indicadores de la gestión del mantenimiento (Madu, 2008). De hecho, no es posible alcanzar la competitividad de las compañías dedicadas al transporte de carga, sin una correcta gestión del mantenimiento de los vehículos buscando alcanzar los objetivos de calidad, productividad y rendimiento esperados en el proceso productivo.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los factores determinantes que constituyen una estrategia basada en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total TPM para contribuir a la mejora en la mantenibilidad de la flota de vehículos de una empresa de transporte de carga en Colombia?

Objetivo General

Diseñar una estrategia basada en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total TPM que contribuya a la mejora de la Mantenibilidad de la flota de vehículos en una empresa de transporte de carga en Colombia.

Objetivos específicos

1. Identificar los factores críticos de éxito en la implementación de la estrategia TPM en la gestión del mantenimiento industrial y automotriz.
2. Identificar los factores determinantes de la aplicación del TPM en la gestión de mantenimiento de la flota de vehículos de carga.
3. Formular el plan de implementación de la estrategia de mantenimiento basada en la filosofía TPM enfocado en la mejora de la mantenibilidad de la flota de vehículos de una empresa de transporte de carga en Colombia.

En orden para responder la pregunta de investigación y dar cumplimiento a los objetivos establecidos, este trabajo presenta una estructura de 4 capítulos, como se describe a continuación. En la figura 1, se explica la estructura de la tesis, contiene 2 conceptos dominantes, los cuales constituyen el desarrollo de la tesis: Modelos de administración del mantenimiento y Mantenimiento Productivo Total. Adicionalmente, los capítulos 2, 3 presentan el desarrollo de los objetivos y las principales discusiones relacionados con los conceptos, finalmente en el capítulo 4 se presentan las conclusiones de este estudio.

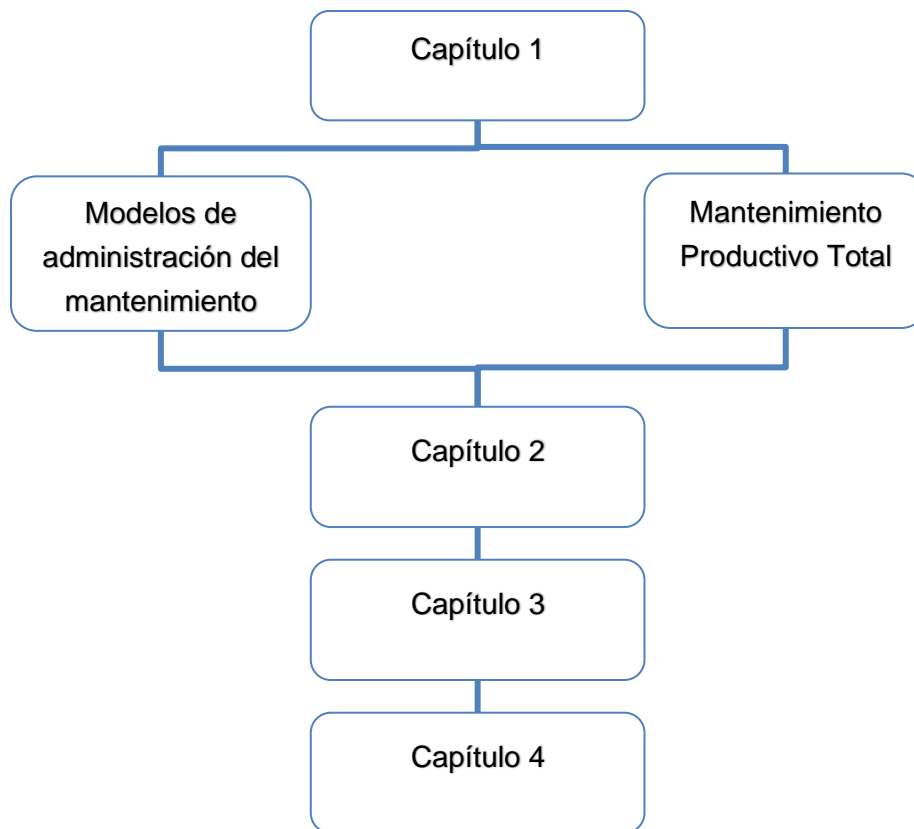


Figura 1. Estructura de la tesis

1. Revisión de literatura

En la literatura, el TPM ha sido ampliamente aplicado al mantenimiento industrial, sin embargo, no se han encontrado muchos estudios sobre la implementación del mantenimiento productivo total TPM en la gestión de mantenimiento de flotas de vehículos. Realizando una consulta en las bases de datos Scopus y Web Of Science (WoS), se definen dos categorías de la estrategia PICOT (Echevarria & Walker, 2014), la categoría de población objetivo de la investigación como las flotas de vehículos (Vehicle Fleet) y la categoría de intervención como el Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance). Estas palabras fueron validadas en tres buscadores de tesauros STW THESAURUS, ERIC THESAURUS y UNESCO THESAURUS, con el propósito de encontrar las palabras claves que permitan establecer la ecuación de búsqueda. Por lo tanto, la ecuación de búsqueda queda estructurada de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l}
 \text{P: Flota de Vehiculos} \quad (\quad \text{"Fleet"} \quad \text{OR} \quad \text{"vehicle"} \quad \text{OR} \quad \text{"Freight transport"} \quad \text{OR} \quad \text{"Road transport"} \quad) \\
 \text{I: Mantenimiento Productivo Total} \quad (\quad \text{"Total Productive Maintenance"} \quad \text{OR} \quad \text{"TPM"} \quad)
 \end{array}$$

Luego de hacer la revisión de los artículos, descartar los documentos repetidos y los que no tienen relación con la gestión del mantenimiento, se encontró que menos de 10 publicaciones tienen evidencia de la aplicación de TPM en el mantenimiento de flotas. Se destacan estudios como el de los autores Alsubaie, B., Yang (2017) que desarrollaron un modelo estratégico de mantenimiento a través de la integración conceptual de six-sigma, mantenimiento productivo total y lean. Así mismo, Meijer (2016) presenta un estudio de caso de un proveedor de consultoría en mantenimiento de vehículos con un enfoque de control de costos. Por su parte, Furch (2010) en su estudio describe los sistemas de mantenimiento con enfoque de mejora continua incluyendo el sistema de gestión de mantenimiento computarizado, el mantenimiento centrado en la confiabilidad y el mantenimiento productivo total. Así mismo, Vassilakis, E., Besseris (2010) en sus estudio identifican los beneficios de ingresar los motores de combustión interna a un

programa de mantenimiento más progresivo que dependa del mantenimiento predictivo en el camino hacia el establecimiento de un esquema de Mantenimiento Productivo Total en flotillas de aeronaves. Por último, Sumanth, D.J., Adya, (1990) presentan una perspectiva de productividad total para los administradores de flotas de buses, basado en el modelo de mantenimiento productivo total (TPM).

1.1 Modelos de administración del mantenimiento

Fraser, Hvolby, & Tseng (2015) realizaron dos revisiones sistemáticas de literatura con el propósito de identificar y categorizar los distintos modelos de administración de mantenimiento, y determinar la profundidad de la evidencia empírica de los modelos más populares en aplicaciones del mundo real. En este artículo, los autores lograron identificar 37 modelos de gestión de mantenimiento de los cuales, tres modelos resultaron ser los más populares: Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) y Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Para llegar a esta conclusión, los autores examinaron varios cientos de artículos con el propósito de determinar el tipo y la naturaleza de la posible evidencia práctica, la mayoría de los artículos de esta naturaleza utilizaban métodos matemáticos tales como: análisis no lineales, algoritmos, lógica difusa, modelado estadístico, simulación y optimización. Debido a que los autores buscaban identificar investigaciones con aplicaciones prácticas, procedieron a eliminar aquellos artículos de naturaleza puramente conceptual o teórica. El proceso produjo una lista final de 82 artículos, los cuales se examinaron para establecer la identificación del modelo, la naturaleza de la evidencia empírica, el origen de los autores, la ubicación de la investigación y el sector e industrias investigados. La evidencia empírica proporcionada en estos artículos involucró métodos cualitativos tales como encuestas, entrevistas, estudios de casos entre otras.

El mantenimiento basado en condición (CBM) también conocido como mantenimiento predictivo es una metodología que emplea técnicas de monitoreo para diagnosticar o predecir la probabilidad de falla de un equipo o una máquina, y las actividades necesarias para restaurar estos equipos a su condición deseada de funcionalidad. Se debe tener en cuenta que el monitoreo de los parámetros del sistema tales como la temperatura, el ruido, la vibración, la lubricación y la corrosión puede considerarse CBM cuando el propósito del monitoreo es restaurar la capacidad del sistema a un estado operativo a través de actividades de mantenimiento. Estas actividades son definidas previamente, pero podría ser posible que deban definirse después de que se den las señales de

alerta (Veldman, Wortmann, & Klingenberg, 2011). El enfoque del CBM es la predicción y prevención de fallas en los equipos por medio del monitoreo de parámetros físicos críticos.

El Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología que proporciona una estructura para determinar el requisito de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operativo, con el objetivo principal de preservar la funcionalidad del sistema de manera rentable. Los elementos más importantes del RCM son la identificación de las principales funciones del sistema y sus fallas relacionadas, así como el modo de falla y el análisis de los efectos (Tsang, 2002). El enfoque de RCM es la identificación de la causa raíz de las fallas en los equipos y su intervención por medio de actividades programadas para reducir la probabilidad de ocurrencia de estas fallas.

El Mantenimiento productivo total TPM es una metodología centrada en los activos cuyo enfoque principal es la toma de decisiones sobre el tipo de tareas de mantenimiento que los operarios y técnicos realizarán sobre los equipos. Es una metodología con una orientación muy diferente a las dos mencionadas anteriormente, se enfoca en las personas y es una parte integral de la gestión de la calidad total (TQM).

Dentro de los 82 artículos analizados por Fraser & Hvolby & Tseng (2015), el TPM se aplicó en el 57% de los ejemplos prácticos, seguido de RCM (28%) y CBM (15%). Dicho esto, los autores comentaron que había pocos estudios empíricos sobre el TPM, aunque en comparación con los otros dos modelos, claramente TPM ha sido una opción popular entre los investigadores que cubren modelos de administración de mantenimiento, pero parece que hay una falta general de trabajo empírico detallado en esta área en particular. Si bien la investigación empírica sobre TPM se ha mantenido constante durante los últimos años, parece que los ejemplos empíricos para CBM y RCM están en declive. El análisis de los sectores de investigación mostro que la manufactura (57%) es el sector dominante para la investigación, seguido del sector de la energía (15%) y una clasificación general (15%). Estos sectores pueden reducirse a industrias específicas, las plantas de producción son populares para la investigación de mantenimiento, seguidas por las acérías, las industrias de semiconductores y la industria automotriz. Curiosamente, de los 82 documentos empíricos solo tres tienen vínculos prácticos directos con la industria automotriz (Fraser et al., 2015).

1.2 Prácticas de implementación del TPM

Jain & Bhatti & Singh (2014) revisaron las prácticas de implementación del TPM adoptadas por varias organizaciones dedicadas a la fabricación. En esta revisión los autores indican que las prácticas básicas de implementación se construyen y se apoyan a partir de los siguientes ocho pilares: el mantenimiento autónomo, la mejora enfocada, el mantenimiento planificado, el mantenimiento de calidad, la educación y entrenamiento, la seguridad salud y medio ambiente, la administración TPM y la gestión temprana de equipos. El TPM se utiliza para maximizar la efectividad del equipo durante toda su vida útil, el concepto TPM se utiliza para mantener el equipo en condiciones óptimas para evitar averías inesperadas, pérdidas de velocidad y defectos de calidad que se producen en las actividades del proceso. Los tres objetivos finales de TPM son cero defectos, cero accidentes y cero averías. Los autores también argumentan que otros aspectos del TPM que contribuyen a lograr estos tres objetivos son: La eficacia total del equipo (OEE), la productividad (P), la calidad (Q), el costo (C), la entrega (D), la seguridad (S) y la moral (M).

Jain & Bhatti & Singh (2014), luego de analizar y clasificar 148 artículos publicados desde 1988 hasta el 2014, concluyen que el TPM se puede implementar con éxito en diversos sectores como la manufactura y los servicios. Su implementación en las organizaciones trae consigo beneficios directos entre los que se identifica el aumento de 1.5 a 2 veces en la productividad y eficacia total de la planta, una reducción del costo de fabricación hasta en un 30%, una reducción de la accidentalidad, una reducción de las quejas de los clientes lo que se traduce en una mejora en la satisfacción de estos, se logra una mejora en la calidad del producto y se consigue un mayor control de la contaminación ambiental. Algunos beneficios indirectos de la implementación del TPM son el aumento del nivel de confianza entre los empleados y un mayor sentido de pertenencia por los equipos, el lugar de trabajo siempre está limpio, se cambia la actitud de los operadores a favor de la organización, el conocimiento y las experiencias son compartidos entre todos los empleados, se fortalece el trabajo en equipo para lograr los objetivos corporativos y se logra un despliegue horizontal de un nuevo concepto en todas las áreas de la organización.

1.3 El mantenimiento productivo total TPM

Los sistemas productivos están constantemente evolucionando hacia la mejora continua de su eficiencia, esto comprende la producción necesaria en el momento justo con la mínima utilización de recursos. Todo ello ha conllevado a la aparición de nuevos sistemas de gestión de los

procesos productivos y sus áreas transversales, culminando precisamente con la incorporación de la gestión de los equipos en todo su ciclo de vida buscando la obtención de la máxima eficiencia, a través del TPM o Mantenimiento Productivo Total (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

La metodología se desarrolló en las industrias manufactureras de Japón, inicialmente con el objetivo de eliminar las pérdidas de producción debido a las averías de las máquinas en los sistemas de producción justo a tiempo JIT (*Just in Time*) (Tsang, 2002). TPM es un complemento crítico para la manufactura esbelta, si el tiempo de actividad de la máquina no es predecible y la capacidad del proceso no se mantiene, no es posible producir a la velocidad de las ventas (Misra, 2008). En el contexto de la flota de vehículos de carga, si el vehículo no está disponible no es posible cumplir con la promesa de servicio y se generan impactos en toda la cadena de suministro.

Antes de la introducción de los sistemas de gestión flexible de la producción, el objetivo de los sistemas productivos de las empresas se enfocaba en maximizar la producción empleando todos los recursos disponibles para tal fin. El JIT se cuenta entre los primeros sistemas de gestión flexible, el cual se enfoca en adaptar la producción de cada momento a las necesidades reales, reorganizando los sistemas productivos y reasignando sus recursos de forma que se consiga este nuevo objetivo, este modelo se conoce en la actualidad como Producción Ajustada (*Lean Production*) (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Por otra parte, la TQM, conduce a la implantación de procesos productivos que generen productos sin defectos y que lo hagan a la primera, lo que se conoce como *First Time Quality* (FTQ), la máxima eficiencia exige utilizar los medios productivos más adecuados, siempre disponibles para funcionar sin problemas y con el mínimo consumo de recursos, es allí donde el TPM entra a complementar los dos sistemas anteriores para lograr el objetivo general de Cero Despilfarros, cero defectos, cero averías y cero accidentes (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

La filosofía en la que se apoya el TPM ha evolucionado, para cambiar el concepto de los sistemas productivos y sus recursos humanos enfocados exclusivamente en producir, a incorporar a dicho personal tareas de mantenimiento de los equipos tales como la limpieza, prevención de fallas e identificación de averías, ya que resulta mucho más eficiente y menos costos que confiar todas las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de producción al departamento de mantenimiento (Cuatrecasas & Torrell, 2010). Lo anterior se puede soportar en el hecho de que el personal que opera los equipos es quien mejor conoce su estado, puede identificar el momento en el cual requiere algún tipo de intervención y adicionalmente tiene el

conocimiento de cuál es el mejor momento para hacer dichas intervenciones sin detrimento del proceso productivo.

1.4 Conceptos y características del TPM

El TPM surgió y se desarrolló inicialmente en la industria automotriz de Japón en empresas como Toyota, Nissan y Mazda. El termino TPM fue acuñado en 1971 por el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas (JIP) y desde entonces el interés de las organizaciones por el TPM a nivel mundial ha crecido debido a las mejoras que se consiguen en rentabilidad, eficiencia y gestión de la calidad (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Tsang (2002) define el mantenimiento productivo total (TPM) como una filosofía de mantenimiento, la cual introduce 4 principios fundamentales al funcionamiento de la organización:

- Cultivar un sentido de pertenencia en el operador de la maquina mediante la introducción del mantenimiento autónomo, este principio responsabiliza al operador en el cuidado de su equipo e incluye tareas como la limpieza, rutinas de inspección, lubricación, ajustes menores, así como limpieza y orden del espacio de trabajo del operador.
- Optimizar las habilidades y el conocimiento del operador sobre su equipo para maximizar la efectividad operativa. De este modo, el operador se moviliza para detectar signos tempranos de desgaste, desajuste, observar fugas de aceite, virutas errantes o piezas sueltas. También está involucrado en hacer sugerencias de mejora para eliminar las pérdidas debidas a averías o al bajo rendimiento del equipo.
- Utilizar equipos multifuncionales formados por operadores, mantenedores, ingenieros y gerentes para mejorar el rendimiento de las personas y los equipos.
- Establecer un programa de limpieza y mantenimiento preventivo para extender la vida útil de la planta y maximizar su tiempo de actividad.

El TPM supone un nuevo concepto de gestión del mantenimiento, en el cual todos los niveles de la organización tienen actividades asignadas en pequeños grupos buscando la participación de

todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta para alcanzar los objetivos con éxito, la creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficiencia en el proceso productivo y en la gestión de los equipos, la implantación de un sistema de gestión de equipos tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan y la implantación del Mantenimiento Preventivo y el Mantenimiento Autónomo como medios básicos para alcanzar el objetivo de cero pérdidas (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

La implantación del TPM conlleva al aumento en la productividad y la calidad al reducir a cero las averías de los equipos, los defectos de producción y los accidentes. El apoyo de la alta dirección en el proceso de implantación es una de las claves del éxito, se debe promover la participación de los miembros de la organización por medio de asignación de responsabilidades en pequeños grupos de trabajo incentivando el crecimiento personal y profesional. Es de vital importancia elevar los conocimientos y habilidades del personal operativo por medio de la formación y el entrenamiento, con el propósito de lograr una mayor comprensión del funcionamiento de los equipos, lo que se traduce en un sentimiento de seguridad y autoestima que permitirá cada vez más asumir tareas de mantenimiento de mayor complejidad (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

1.5 El mantenimiento y su evolución hasta el TPM

Mantenimiento de averías (BM), hasta la década de los años 50 se aplicó el BM basado exclusivamente en la reparación de averías en el momento de detectar fallos y terminaba con la reparación de dicha falla (Cuatrecasas & Torrell, 2010). Se refiere a la estrategia de mantenimiento, donde la reparación se realiza después de la falla o parada del equipo o cuando ocurre una disminución severa del rendimiento, este concepto tiene la desventaja de paros no planificados, daño excesivo, problemas de repuestos, altos costos de reparación (Ahuja & Khamba, 2008).

El Mantenimiento Preventivo (PM), fue introducido en Japón en 1951 procedente de Estados Unidos, se buscaba obtener la rentabilidad económica con base en maximizar la producción. Para ello se establecieron funciones de mantenimiento orientadas a detectar y prevenir posibles fallas en los equipos antes de que ellas aparecieran (Cuatrecasas & Torrell, 2010). El PM comprende las actividades de mantenimiento que se llevan a cabo después de un período específico de tiempo o una cantidad de uso de la máquina y durante esta fase, se establecen las actividades de mantenimiento basado en el tiempo (TBM) (Ahuja & Khamba, 2008).

El Mantenimiento Predictivo se conoce también como mantenimiento basado en condición (CBM), en este tipo de mantenimiento las actividades se realizan en respuesta a una condición específica o al deterioro del rendimiento del equipo; las técnicas de diagnóstico se despliegan para medir la condición física del equipo como temperatura, ruido, vibración, lubricación y corrosión. El mantenimiento predictivo se basa en el mismo principio que el mantenimiento preventivo, aunque emplea un criterio diferente para determinar la necesidad de actividades de mantenimiento específicas (Ahuja & Khamba, 2008).

Mantenimiento correctivo (CM): Introducido en 1957, buscaba ampliar aún más el concepto de prevención de fallas en los equipos para aplicarlo a la mejora de los mismos de manera que se puedan eliminar las causas de falla, su propósito es mejorar la confiabilidad, la mantenibilidad y la seguridad del equipo; identificando debilidades de diseño para someterlo a una reforma estructural para reducir el deterioro, las fallas, apuntando a conseguir equipos libres de mantenimiento (Ahuja & Khamba, 2008).

La Prevención del Mantenimiento (MP) es un concepto que centra su actividad fuera del proceso productivo, se incorpora en la etapa de diseño y desarrollo de los equipos a nivel de ingeniería; su objetivo es reducir al máximo la necesidad de actividades de mantenimiento cuando el equipo ya sea operativo (Cuatrecasas & Torrell, 2010). El MP fue introducido en 1960 y utiliza como insumo el aprendizaje histórico de las fallas de los equipos, los comentarios de las áreas de producción, de los clientes y funciones de marketing para garantizar el funcionamiento sin problemas de los sistemas de producción nuevos o existentes (Ahuja & Khamba, 2008).

Mantenimiento Productivo se incorporó y desarrollo en los años 60 cómo una evolución del PM, incluyendo el establecimiento de un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo sin descuidar su confiabilidad y mantenibilidad (Cuatrecasas & Torrell, 2010). El propósito del mantenimiento productivo es aumentar la productividad de una empresa al reducir el costo total del equipo durante toda la vida útil desde el diseño, fabricación, operación y mantenimiento, y las pérdidas causadas por la degradación del equipo (Ahuja & Khamba, 2008).

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se comienza a implementar a principios de los años 70 en Japón, es un programa de gestión del mantenimiento que integra los anteriores tipos de mantenimiento, incorporando conceptos innovadores como el Mantenimiento Autónomo, llevado a cabo por los propios operarios de producción, así como la implicación de todos los niveles de la organización en alcanzar los objetivos propuestos y la creación de una cultura que estimule el trabajo y eleve la moral del personal (Cuatrecasas & Torrell, 2010). El TPM es un enfoque

innovador para el mantenimiento que optimiza la efectividad del equipo, elimina averías y promueve el mantenimiento autónomo por parte de los operadores a través de las actividades diarias que involucran a la fuerza laboral total (Ahuja & Khamba, 2008).

En consecuencia, el TPM se fundamenta en la implantación de distintas etapas del Mantenimiento Correctivo, Preventivo y Productivo, con una evolución fundamentada en la filosofía de mejora continua (*Kaizen*).

1.5.1 Las seis grandes pérdidas de los equipos

El objetivo de un sistema productivo eficiente desde el punto de vista de los equipos es conseguir que estos operen de la forma más eficaz durante el mayor tiempo posible, para ello es necesario descubrir, clasificar y eliminar los principales factores que reducen las condiciones operativas de los equipos (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

En TPM, la baja productividad de los equipos que incurren en pérdidas para las organizaciones a menudo se debe al uso de maquinaria o equipo ineficiente. Dichas pérdidas se pueden clasificar en tres grandes grupos que son: las pérdidas por tiempo de inactividad de los equipos, las pérdidas de velocidad de producción y pérdida por productos defectuosos (Herry, Farida, & Lutfia, 2018).

Según Dutta & Dutta (2016), los tres grupos mencionados anteriormente, a su vez, se pueden subdividir en seis categorías que influyen en el rendimiento general de los equipos. Estas son:

1. Las pérdidas causadas por averías de los equipos que se traducen en pérdida de tiempo por inactividad y pérdida de cantidad debido a productos defectuosos.
2. Las pérdidas de tiempo por inactividad debidas a la configuración y ajuste de los equipos, estas se producen cuando finaliza la producción de un lote de piezas y el equipo debe ajustarse para cumplir con los requisitos deseados del siguiente lote de producción.
3. Pérdidas por funcionamiento en vacío y paradas cortas, se presentan cuando la producción se interrumpe por un cuello de botella temporal o cuando una máquina no está en funcionamiento.
4. Las pérdidas de velocidad reducidas se refieren a la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad de operación real.

5. Las pérdidas por rendimiento reducido que se presentan durante las primeras etapas de producción, desde el arranque de la máquina hasta la estabilización.
6. Los defectos de calidad y reprocesamiento son pérdidas de calidad de los productos terminados causadas por el mal funcionamiento de los equipos.

Estas pérdidas están muy relacionadas con los despilfarros a eliminar en un sistema JIT, es decir que el TPM pretende utilizar el mismo procedimiento básico de eliminación para optimizar el rendimiento de los procesos por la vía de los equipos y su mantenimiento (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Entre todas las pérdidas, la primera y la segunda entran en el grupo de pérdidas por tiempo de inactividad y se utilizan para calcular la disponibilidad de los equipos. Así mismo, las dos siguientes pertenecen al grupo de pérdidas de velocidad de producción y determinan la eficiencia del rendimiento operacional y las dos últimas pérdidas se toman como pérdidas de calidad (Dutta & Dutta, 2016).

1.5.2 Indicadores de gestión del mantenimiento

El uso de indicadores en las empresas permite obtener información necesaria sobre el estado real de las áreas decisionales que afectan el desempeño de una compañía. Un indicador es "una representación cuantitativa, verificable, en la que se registra, procesa y presenta la información necesaria para medir el avance o retroceso de un determinado objetivo (Arango Serna et al., 2017).

Según Cuatrecasas & Torrell (2010), el TPM permite mejorar la eficiencia con la que operan los equipos e instalaciones productivas, y como resultado de ello puede aumentar considerablemente el rendimiento operacional de los equipos OEE (Overall Equipment Effectiveness). El OEE es un indicador que se utiliza para determinar la eficacia de una máquina, este concepto puede ser aplicado a una máquina en particular, una línea de producción, secciones de la planta o incluso toda la planta (Dutta & Dutta, 2016). Este procedimiento, según Herry et al. (2018) es el método más preciso y ampliamente utilizado para medir el éxito del TPM, es una medida del desempeño general con la implementación del TPM que representa los aspectos de disponibilidad (A), rendimiento o efectividad de ciclo (P) y calidad (Q):

$$OEE = P \times Q \times A$$

Rendimiento (P): El rendimiento tiene en cuenta cualquier factor que provoque que el proceso funcione a menos de la velocidad máxima posible durante su ejecución. Los ejemplos incluyen el desgaste de la máquina, los materiales deficientes, los atascos y la ineficiencia del operador. El tiempo restante disponible se denomina tiempo operativo neto (R. K. Singh, Clements, & Sonwaney, 2018). Este indicador está relacionado directamente con índice de piezas producidas en el tiempo operativo de la máquina, y contrastado contra la tasa de producción ideal de dicha máquina para ese periodo de tiempo.

$$P = \frac{\left(\frac{\text{Total Piezas}}{\text{Tiempo Operativo}} \right)}{\text{Tasa de Producción Ideal}}$$

Calidad (Q): La calidad tiene en cuenta las piezas producidas que no cumplen con los estándares de calidad, incluidas las piezas que requieren reprocesamiento. El tiempo restante se denomina tiempo productivo y es un objetivo del TPM maximizarlo (R. K. Singh et al., 2018).

$$Q = \frac{\text{Piezas Buenas}}{\text{Total Piezas}}$$

Disponibilidad (A): La disponibilidad tiene en cuenta cualquier evento que detenga la producción planificada durante un período de tiempo perceptible, esto incluye las fallas de los equipos, escasez de material y tiempo de cambio o ajuste de equipos. Si bien puede que no sea posible evitar el tiempo de cambio, en la mayoría de los casos se puede reducir, el tiempo restante disponible se denomina tiempo de funcionamiento (R. K. Singh et al., 2018).

$$A = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Planeado de Producción}}$$

Misra (2008) define la mantenibilidad como la probabilidad de que un equipo o una unidad sean restaurados a un estado operable dentro de un tiempo de inactividad específico y depende de todos los elementos de tiempo de inactividad, entre los que se incluye el administrativo, el logístico y el tiempo de reparación del sistema. El tiempo de inactividad es una variable aleatoria y tiene su propia distribución denominada distribución de reparación. Si la distribución de reparación está distribuida exponencialmente, la mantenibilidad $M(t)$ estará dada por:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Donde μ es la tasa de reparación y es una función del tiempo medio de reparación (MTTR).

El MTTR es una medida básica del mantenimiento de los equipos y representa el tiempo medio necesario para reparar un componente que ha fallado (Fonseca-Junior, Holanda-Bezerra, Cabral-Leite, & Reyes-Carvajal, 2015).

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

Por otra parte, Cuatrecasas & Torrell (2010) definen el MTTR en función del tiempo total de reparaciones y el número de reparaciones durante un periodo de observación así:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de Reparaciones}}{\textit{Numero de Reparaciones}}$$

Mesa Grajales, Ortiz Sánchez, & Pinzon (2006) indican que la confiabilidad se puede definir como la probabilidad de que un equipo cumpla con la tarea para la cual fue diseñado, en condiciones óptimas de funcionamiento, durante un periodo de tiempo establecido sin que se presente ningún evento de falla. La confiabilidad de un equipo $R(t)$ evaluada en un tiempo establecido puede ser definida por:

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

Donde λ es la tasa de falla en el periodo de operación y es una función del tiempo medio entre fallas (MTBF).

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

El MTBF es un indicador del tiempo medio entre paradas de los equipos como consecuencia de una avería, expresa la relación entre el tiempo total de operación del sistema o equipo y el número de fallas presentado en dicho periodo (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

$$MTBF = \frac{\textit{tiempo total de operación}}{\textit{numero de paradas por avería}}$$

Mesa Grajales et al. (2006) concluye que, para aumentar la producción en una planta, es indispensable que la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se encuentren estrechamente relacionadas, de tal manera que, si se quiere aumentar la disponibilidad, es necesario aumentar la confiabilidad expresada por el MTBF, así como también se requiere mejorar la mantenibilidad reduciendo el tiempo empleado en las reparaciones expresado por el MTTF.

1.5.3 Pilares del mantenimiento productivo total

El mantenimiento productivo total, según lo sugerido y promovido por el Instituto de Mantenimiento de Plantas de Japón (JIPM), involucra un plan de implementación de ocho pilares que resulta en un aumento sustancial en la productividad laboral, reducción en los costos de mantenimiento y menores paradas de producción y tiempos de inactividad (Jain, Bhatti, & Singh, 2014).

La definición de los pilares adoptados en TPM depende mucho de la estructura y filosofía que la empresa utilizará internamente, siendo personalizada de acuerdo con la cultura existente y la nueva cultura que se desee implementar, el trabajo para el establecimiento de los pilares de TPM debe tener como foco las dimensiones de: productividad, calidad, atención al cliente, seguridad y moral (Rodrigues & Hatakeyama, 2006).

Según Ahuja & Khamba (2008) los ocho pilares de TPM son una metodología para maximizar la eficacia de la producción de cualquier industria. Este sistema único de 8 pilares allana el camino para obtener excelentes prácticas de planificación, organización, seguimiento y control. Adesta, Prabowo, & Agusman (2018) aseguran que estos pilares son la base para la implementación, desarrollo y la obtención de los objetivos del TPM.

Pilar 1 Mantenimiento Autónomo: Es responsabilidad de los operarios de producción, se les encarga tareas básicas de mantenimiento en los equipos tales como la limpieza, lubricación, apriete, ajuste, inspección (Ahuja & Khamba, 2008). Cuatrecasas & Torrell (2010) argumentan que la filosofía de las 5S surge como un fuerte aliado y es la base en la que se soporta la implantación del mantenimiento autónomo, se fundamenta en aspectos como la organización, el orden, la limpieza, el mantener y la disciplina, su aplicación en el puesto de trabajo tiene dos objetivos fundamentales: realizar las tareas básicas de mantenimiento limpieza, lubricación y ajuste, y por otro lado la detección temprana de desviaciones que ayuda a eliminar las averías, accidentes y previene futuras fallas en los equipos. Con su implantación los operadores se sienten responsables de sus máquinas y el equipo se vuelve más confiable (Adesta et al., 2018). La introducción del mantenimiento autónomo supone una mejora en componentes de Calidad ya que al alternar tareas de mantenimiento y producción por parte de los operarios conlleva al incremento en la productividad con cero defectos, también se logra la reducción de costos por la detección temprana de averías y la distribución de tareas de mantenimiento entre los operarios de producción y los técnicos de mantenimiento y por último se obtiene la reducción en los tiempos de preparación de los equipos para iniciar la producción (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Pilar 2 Mantenimiento Planificado: Es el conjunto sistemático de actividades de mantenimiento cuyo objetivo es obtener cero defectos, cero averías, cero despilfarros y cero accidentes, está a cargo del departamento de mantenimiento y es ejecutado por personal altamente calificado con la aplicación de técnicas modernas de diagnóstico de equipos (Cuatrecasas & Torrell, 2010). Comprende la planificación eficiente y efectiva del programa de mantenimiento para todo el ciclo de vida de los equipos basado en Mantenimiento Preventivo (PM), Mantenimiento Predictivo (CBM) Mantenimiento periódico (TBM) entre otros y con él se buscan mejoras en el MTBF y MTTR (Ahuja & Khamba, 2008). Se utiliza la información histórica de las fallas de los equipos y se establecen hojas de verificación del PM (Adesta et al., 2018). Las fallas de los equipos y los problemas en los procesos de producción industrial se pueden clasificar en cinco categorías a saber: fallas que causan paradas, anomalías en la calidad, anomalías en el consumo de unidades, reducciones de capacidad operativa y problemas ambientales y de seguridad; un programa de mantenimiento planificado eficiente debe combinar el PM, CBM y TBM de la manera más racional posible (Suzuki, 1994).

Pilar 3 Mantenimiento para la Calidad: Consiste en establecer actividades que garanticen las condiciones óptimas de los equipos para que no se generen defectos de calidad, el objetivo es mantener los equipos en perfectas condiciones para obtener cero productos defectuosos, esto se logra comprobando y midiendo las condiciones del equipo periódicamente y verificando que los valores medidos se encuentren dentro del rango especificado (Suzuki, 1994). Este pilar busca la reducción de defectos y consecuente mejora de beneficios, el seguimiento y tratamiento de problemas de los equipos y sus causas raíz (Adesta et al., 2018). Este pilar busca eliminar los tiempos empleados en producir productos defectuosos, de calidad reducida, productos irrecuperables y las pérdidas asociadas con el reprocesamiento de este tipo de productos, en el entorno de gestión Lean se denomina calidad desde el primer momento (FTQ) (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Pilar 4 Mejoras Enfocadas: La mejora enfocada incluye todas las actividades que maximizan la efectividad general de los equipos OEE, mediante la eliminación sistemática de las seis grandes pérdidas y la mejora del rendimiento (Suzuki, 1994). Este pilar está a cargo de un equipo compuesto por personal de los departamentos de producción, mantenimiento e ingeniería de diseño que se encargaran de poner en práctica actividades de mejora sobre cada uno de los factores que inciden en la OEE, entre los que se encuentran la disponibilidad (A), rendimiento (P) y calidad (Q) (Cuatrecasas & Torrell, 2010). Las mejoras enfocadas funcionan mejor si los miembros responsables del equipo incorporan técnicas analíticas para la identificación de las

causas de fallas y defectos de calidad, lo que mejora la capacidad de resolución de problemas de los trabajadores (Suzuki, 1994).

Pilar 5 Gestión temprana de equipos: A cargo del departamento de ingeniería de diseño, con este pilar se pretende optimizar la gestión del mantenimiento de los equipos desde su concepción y diseño, se busca detectar los problemas de funcionamiento de los equipos que se producen como consecuencia de fallas de diseño, concepción construcción de los mismos, su objetivo es conseguir un equipo de fácil operación y mantenimiento con altos niveles de confiabilidad, seguridad y eficiencia en costos (Cuatrecasas & Torrell, 2010). La base de este pilar es la evaluación del rendimiento económico para optimizar el costo del ciclo de vida de un equipo (LCC) y el diseño para la prevención de mantenimiento (MP), esta actividad minimiza los costos de mantenimiento futuros y las pérdidas por deterioro de los nuevos equipos al tener en cuenta los datos de mantenimiento de los equipos actuales, la nueva tecnología y el diseño para una alta confiabilidad y mantenibilidad (Suzuki, 1994). En este pilar se soporta el diseño de nuevos equipos utilizando las lecciones aprendidas de las actividades previas de TPM, así los nuevos equipos alcanzan todo el potencial en un período más corto de tiempo (Adesta et al., 2018).

Pilar 6 Educación y Formación: En el TPM, los dos enfoques básicos de la formación son la capacitación para el trabajo y el autodesarrollo, el primer paso en cualquier programa de capacitación es identificar el nivel de conocimiento, tecnología, habilidad y competencia que las personas necesitan para cumplir y progresar en cada tipo de tarea, especialización o puesto de trabajo (Suzuki, 1994). Su objetivo es reducir la brecha de habilidades y conocimientos entre los trabajadores mediante la formación y entrenamiento, de esta manera los empleados adquieren las habilidades necesarias para que puedan resolver los problemas dentro de la organización (Adesta et al., 2018). Se requiere contar personal calificado capaz de asumir mayores responsabilidades dentro de la organización, se deben invertir esfuerzos en elevar los conocimientos y habilidades de los trabajadores para que sean capaces de mantener y mejorar los equipos a su cargo, de esta manera se fomenta la autoestima, la productividad, la estandarización de las tareas y por tanto la polivalencia (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Pilar 7 Salud, Seguridad y Medio Ambiente: Prevenir los errores humanos, eliminar los accidentes y la contaminación son principios básicos de TPM, es por eso que la gestión de la seguridad y el medio ambiente es una actividad clave en cualquier implementación y desarrollo de un programa de TPM. En la práctica siempre existe la posibilidad de que la planta o el equipo provoquen accidentes graves o incidentes de contaminación, en la mayoría de los casos estos

eventos están relacionados con los equipos (Suzuki, 1994). El objetivo es proporcionar un entorno de trabajo seguro sin accidentes ni lesiones, eliminando las condiciones de riesgo en el entorno de trabajo (Adesta et al., 2018).

Pilar 8 TPM en la oficina: Las actividades de mantenimiento productivo total en los departamentos administrativos y de soporte buscan aumentar la productividad, reducir el desperdicio y las pérdidas en dichos departamentos. La función de los departamentos administrativos y de apoyo se puede mejorar de dos maneras: mejorando la eficiencia para que cada departamento pueda realizar su función particular de manera satisfactoria, y desarrollando personas capaces de sostener y mejorar continuamente los procesos dentro de la organización. Esto se puede lograr aplicando la mejora enfocada, el mantenimiento autónomo, la educación y capacitación y la medición del desempeño (Suzuki, 1994).

En el estudio realizado por Adesta et al. (2018), se concluye que, en la industria manufacturera de indonesia, los pilares de Mantenimiento Autónomo, Mejora enfocada, Mantenimiento para la Calidad y Educación, están funcionando muy bien. Los 4 pilares restantes mantenimiento planificado, seguridad salud y medio ambiente, TPM en la oficina y gestión temprana de equipos, deben mejorarse aún más.

2. Factores críticos de éxito en el TPM

Según Romero López, Noriega Morales, Escobar Toledo, & Ávila Delgado (2009) en el discurso estratégico, los factores críticos de éxito FCE constituyen una fuerza impulsora y reguladora del poder de adaptación, a través de los cuales se centra la atención en lo estratégicamente importante y permite enfocar la aplicación correcta de los recursos para la creación de ventaja competitiva. Los FCE son variables que se deben tomar en cuenta antes y durante la realización de un proyecto, ya que aportan información valiosa para alcanzar las metas y objetivos de la empresa. Este estudio realizó una revisión de literatura para identificar los factores críticos de éxito relacionados con la implementación del TPM en la industria, posteriormente se empleó el proceso analítico jerárquico AHP como herramienta de priorización para identificar los factores críticos de éxito relevantes en la implementación del TPM en el mantenimiento de flotas de vehículos.

2.1 Factores críticos de éxito relacionados con la implementación del TPM en la industria

En el contexto del TPM, el análisis e identificación de los factores críticos de éxito en su implementación en la industria es de suma importancia, ya que permitirá tener la base para identificar los desafíos a los cuales se han enfrentado las empresas que han implementado esta metodología y cómo han superado las barreras para alcanzar el éxito en la implementación. Después de conocer los FCE que aplican en la industria, las empresas pueden enfocar sus esfuerzos en fortalecerlos para lograr la sostenibilidad del programa TPM.

Es importante entender desde el principio que TPM es la más difícil de todas las “herramientas lean” para poner en práctica en las empresas, debido a que su implementación requiere la mayor cantidad de cambio cultural de diferentes grupos de personas dentro de la organización y casi al

mismo tiempo, en comparación con la aplicación de otras herramientas lean (García Alcaraz, Maldonado Macías, & Cortes Robles, 2014).

Badli Shahc (2012) afirma que las empresas se han tardado en adoptar el TPM y se han enfrentado a algunas dificultades en los primeros intentos de implementación, esto debido a que el TPM enfatiza las buenas prácticas de trabajo entre la producción y el mantenimiento, sin embargo, en ocasiones la relación entre estas dos áreas está llena de conflictos. Adicionalmente, el entorno del país, la cultura organizacional de las empresas y los factores de gestión organizacional, pueden influenciar los resultados de implementación, por lo tanto, las empresas pueden percibir la implementación de TPM como un gran desafío.

La literatura proporciona muchos factores de éxito para el enfoque de TPM, entre los más destacados se encuentran autores como Chan, Lau, Ip, Chan, & Kong (2005) los cuales realizaron un estudio de caso con el objetivo analizar la efectividad e implementación del programa TPM para una empresa de fabricación de productos electrónicos. Los autores discutieron y analizaron los aspectos prácticos más allá de la teoría básica de TPM, las dificultades en la adopción, los problemas encontrados durante la implementación y además identificaron 4 factores críticos de éxito: Capacitación de los empleados con resultado tangible del logro de TPM, la gestión de recursos para la implementación, la aplicación del RCM para optimizar el mantenimiento preventivo y la transformación cultural. Después de la implementación del modelo de máquina TPM, los autores demostraron beneficios tangibles e intangibles para los equipos y los empleados, respectivamente. La productividad de la máquina modelo aumentó en un 83%.

Ahuja & Khamba (2008) realizaron una revisión de literatura sobre Mantenimiento Productivo Total (TPM), en este trabajo los autores presentan una descripción general de las prácticas de implementación adoptadas por organizaciones de fabricación industrial, también resaltan los factores de éxito que permitirían eliminar las barreras en la implementación exitosa de TPM. En este trabajo se destacan 7 FCE los cuales son: el rol de liderazgo de la alta dirección en el lanzamiento e implementación de TPM, la vinculación de las actividades de TPM directamente con las metas y objetivos corporativos, el establecimiento de políticas y metas de TPM, el cambio cultural, contar con un sistema de formación y participación de los empleados, implementar el mantenimiento autónomo y comunicar el plan maestro a todos los miembros de la organización. Por último, los autores concluyen que solo la adhesión firme a la visión de TPM y los planes maestros bien definidos pueden conducir efectivamente al éxito. Por lo tanto, las organizaciones

deben aceptar que el TPM se debe implementar correctamente desde sus inicios, incluso si lleva un poco más de tiempo, los atajos o los cronogramas poco realistas y los planes agresivos pueden resultar en fallas, reinicios y pérdida de motivación para implementar TPM.

Mishra, Anand, & Kodali (2008) realizaron un estudio comparativo de los diferentes marcos en la literatura del TPM, propuestos por diversos autores y consultores empleando la herramienta de análisis de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA). Este análisis DOFA les permitió a los autores consolidar una lista de factores críticos de éxito para el TPM a saber: el liderazgo al interior de la organización, la planificación estratégica, la gestión de equipos, la gestión de procesos, el enfoque en la satisfacción del cliente, planificar el mantenimiento programado y contar con un procedimiento de implementación estructurado. Los autores concluyen que en la literatura existen muchos marcos para el TPM lo que indica que su implementación diferirá de una organización a otra y plantea un desafío para los gerentes a la hora de seleccionar el marco adecuado para su implementación.

García Alcaraz (2011) realizó un estudio que buscaba identificar los factores administrativos que se relacionaban directamente con el éxito de implantación del TPM en empresas ubicadas en Ciudad Juárez, el autor presenta los resultados de una encuesta que fue aplicada a 203 gerentes y supervisores de mantenimiento, con la cual se determinó que 3 factores estaban relacionados con el éxito en la implantación del TPM los cuales son: el compromiso de la gerencia, la cultura de orden y limpieza; y la integración de los operadores en decisiones de TPM.

Ng, Goh, & Eze (2011) identificaron 6 factores críticos de éxito para la implantación del TPM en el contexto del sector manufacturero de Malasia a saber: el compromiso y el liderazgo de la alta dirección, el cambio cultural, el seguimiento de los procedimientos establecidos de TPM, la capacitación y la educación de los empleados, la participación total de los miembros de la organización y la comunicación eficaz. Los autores concluyen que los aspectos orientados al ser humano juegan un papel crucial en el éxito de su implementación y por lo tanto, deben requerir especial atención por parte de la alta dirección.

Badli Shah (2012) analizó el estado de la implementación de TPM en las pymes automotrices de Malasia e identificó los factores críticos de éxito (FCE) asociados a la implementación de TPM. El autor en su estudio aplicó una encuesta a través de cuestionarios para determinar el nivel de prácticas de TPM en la industria automotriz. En el estudio, el autor afirma que los 7 FCE que se mencionan a continuación son considerados clave para lograr el éxito en la implementación del TPM en la PYME's de Malasia: la contribución de la alta dirección, la gestión de recursos, el

sistema de medición del desempeño, el sistema de mejora continua, la formación y educación de los empleados, la cultura organizacional y la participación de los empleados en todos los niveles.

K. Singh & Ahuja (2013) realizaron una investigación con el objetivo de examinar críticamente las barreras que afectan la implementación de la Gestión de Calidad Total (TQM) y Mantenimiento Productivo Total (TPM) como impulsores de calidad, en el estudio idearon varios factores críticos de éxito para superar los obstáculos para la su implementación exitosa en el contexto de la industria manufacturera de la India. Los autores definieron los siguientes factores críticos de éxito: el compromiso de la alta dirección, el trabajo en equipo interdepartamental, la planificación estratégica de la calidad, el cambio de mentalidad de los empleados, el fortalecimiento de la base de empleados a través de la capacitación, la participación de los empleados en todos los niveles, el establecimiento de políticas de proceso y la rapidez de implementación con adecuada comunicación interdepartamental. Por último, los autores concluyen que las dificultades que enfrentan las organizaciones se han categorizado en calidad y liderazgo, cultura de los empleados, personal, gestión técnica y de procesos, recursos, infraestructura y obstáculos de comunicación interna.

Torres (2014) Al evaluar los factores críticos de éxito relacionados con la implementación del TPM en la industria maquiladora en Ciudad Juárez, al final determino que son 4 FCE representados por la implementación del programa de 5S, la gestión de proveedores, involucrar al personal en la toma de decisiones operativas y finalmente la comunicación efectiva entre los departamentos.

Gómez, Toledo, Prado, & Morales (2015) realizaron una revisión sistemática de literatura con el propósito de identificar los factores críticos de éxito en la implementación del mantenimiento productivo total, luego por medio de la aplicación de encuestas y análisis factorial los autores presentan los resultados del estudio efectuado al personal relacionado con el proceso de implantación del TPM en empresas de la industria maquiladora de Ciudad Juárez, en Chihuahua, México. Los autores concluyen que los factores relevantes en la implementación del TPM son: la conformación de un equipo de trabajo multidisciplinario, la integración con prácticas de mejora continua, la alineación estratégica del TPM, el desarrollo de maquinaria y equipos, la implementación del mantenimiento autónomo, la comunicación del proceso de implantación, la integración con clientes y proveedores, la distribución de la planta para el MPT y la aplicación de tecnologías de vanguardia.

Bakri, Nur Aizat Ahmad, & Arif Mahzan (2017) realizaron una investigación destinada a desarrollar un marco para la implementación sistemática de TPM en las PYME de Malasia, dicho marco se centró en la comprensión del concepto de los Factores Críticos de Éxito y buscaba proporcionar una orientación y una comprensión holísticas de dichos factores que se deberían adoptar y adaptar en la gestión de las actividades de mantenimiento. Los autores establecieron 7 FCE a saber: Compromiso y liderazgo de la dirección, planificación estratégica, seguimiento y evaluación, capacitación y educación, participación de los empleados en todos los niveles, plan de implementación del TPM estructurado y asegurar una comunicación eficaz.

Seleem, Attia, & El-Assal (2018), emplearon el método DEMATEL para identificar los factores críticos de éxito que se aplican en una fábrica egipcia que se dedica a producir un conjunto de piezas de plástico. Para dicho trabajo los autores realizaron una revisión sistemática de literatura y clasificaron 15 factores críticos de éxito entre los que se encuentran la participación y compromiso de la alta dirección, la aplicación del programa 5S, la planificación de recursos, la alineación de los objetivos de TPM con los objetivos de la organización, el trabajo en equipo interdisciplinario, el establecimiento de los objetivos de la organización, el cambio de cultura, la utilización del enfoque de mejora continua, el seguimiento y control de los KPI de mantenimiento, la formación en el trabajo para los empleados, la participación de los empleados en todos los niveles, las consideraciones iniciales sobre el diseño de equipos, incentivar la actividad de grupos pequeños para implementar el mantenimiento autónomo, implementar el mantenimiento planificado y preventivo y disponer de información general de la aplicación del TPM. Después de aplicar el enfoque propuesto, los autores concluyeron que el Trabajo en equipo interdisciplinario, el establecimiento de objetivos de la organización, brindar capacitación en el trabajo y disponer de la información son los 5 factores más relevantes. Después de trabajar en dichos factores e implementar el programa TPM, el indicador OEE obtuvo una mejora del 60% al 73,1% en un período de 15 meses.

En la tabla 1 se encuentra el resumen de los 18 factores críticos de éxito para la implementación del mantenimiento productivo total encontrados en la literatura, los cuales se definieron con las principales ideas y conceptos de los autores. Estos factores críticos de éxito se toman como base para la aplicación de las entrevistas semiestructuradas que constituyen la siguiente fase del presente trabajo.

Tabla 1. Factores críticos de éxito en la implantación del TPM

FCE	Definición	Referencias
<p>1. Participación y compromiso de la alta dirección.</p>	<p>La implementación del TPM en las compañías es sin duda una decisión estratégica y requiere que desde la dirección los gerentes tengan el pleno convencimiento de la importancia de la función mantenimiento para el éxito organizacional. Deben garantizar los recursos humanos, financieros y adicionalmente la responsabilidad del empoderamiento de los empleados recae en los gerentes debido a que el apoyo de la alta dirección eleva la moral de los empleados y los motiva a brindar su apoyo y luchar por los objetivos de la empresa en el programa TPM.</p>	<p>(Ahuja & Khamba, 2008) (Mishra et al., 2008) (Bakri et al., 2017) (Alcaraz, 2011) (Badli Shah, 2012) (K. Singh & Ahuja, 2013) (Ng et al., 2011)</p>
<p>2. Participación de los empleados en todos los niveles de la organización.</p>	<p>La participación de los gerentes intermedios y de los mandos medios para apoyar el programa mediante la coordinación y orientación de su personal a cargo es fundamental para el éxito del programa. Por último el alcance del trabajo de los operadores se ampliará de simplemente operar las máquinas a una tarea más técnica que incluye el mantenimiento básico y el diagnóstico de</p>	<p>El factor humano es la base para el desarrollo del programa TPM, no importa qué tan bien equipadas estén las plantas con técnicas de fabricación avanzadas, son los operadores los que mayormente afectan el desempeño de la producción. (Ahuja & Khamba, 2008) (Bakri et al., 2017) (Alcaraz, 2011) (Badli Shah, 2012) (K. Singh & Ahuja, 2013) (Torres, 2014) (Ng et al., 2011)</p>

FCE	Definición	Referencias
	fallas de los equipos. El principio de TPM se basa en la responsabilidad compartida del cuidado del equipo por parte del personal de producción y mantenimiento.	
3. Comunicación eficaz.	El TPM promueve la interacción entre varias áreas dentro y fuera de la organización, la participación de diferentes personas de varios departamentos que trabajan juntas como un solo equipo demandan una comunicación efectiva para prevenir cualquier falla en el proceso. Es necesario comunicar y publicar cada fase del programa de desarrollo de TPM a todos los empleados y partes interesadas de la empresa lo que incluye campañas de sensibilización, gestión visual de la información, diseño de los lemas de TPM; ubicar carteles de TPM en áreas designadas en el piso de producción, la publicación de boletines relacionados con el programa de TPM entre otros.	(Seleem et al., 2018) (Ahuja & Khamba, 2008) (Bakri et al., 2017) (Gómez et al., 2015) (K. Singh & Ahuja, 2013) (Torres, 2014) (Ng et al., 2011)
4. Planeación Estratégica del TPM.	La determinación de las políticas, los objetivos, la asignación de recursos y alineación de los objetivos del TPM con los objetivos de la organización hacen parte de la planificación estratégica. Esto incluye el establecimiento de la visión, la misión y las fuerzas impulsoras para la implementación del programa, el desarrollo del plan de acción, la asignación de recursos, la integración entre procesos, el despliegue de las	(Seleem et al., 2018) (Ahuja & Khamba, 2008) (Mishra et al., 2008) (Bakri et al., 2017) (Gómez et al., 2015) (K. Singh & Ahuja, 2013)

FCE	Definición	Referencias
	<p>tareas para la consecución de los objetivos, fomentar la comunicación y el trabajo en equipo entre la dirección y el personal, monitorear el progreso y medir los resultados del programa.</p>	
<p>5. Capacitación y Educación.</p>	<p>El conocimiento técnico es parte fundamental de la filosofía del TPM, la participación de los operadores con el mantenimiento autónomo es parte fundamental de la estructura de la metodología. Se recomienda hacer énfasis en la formación y la educación para garantizar que el operador haga un cambio en su forma de pensar y se ocupe voluntariamente de su equipo, generar un sentido de pertenencia y la participación activa de los empleados en el mantenimiento de sus equipos contribuye al logro de los objetivos del TPM, los resultados finales del programa se traducen en la reducción de las averías del equipo, la reducción del tiempo de configuración y la mejora de la calidad del producto, contribuyendo la mejora del OEE.</p>	<p>(Seleem et al., 2018) (Bakri et al., 2017) (Chan et al., 2005) (Badli Shah, 2012) (K. Singh & Ahuja, 2013) (Ng et al., 2011)</p>
<p>6. Transformación cultural.</p>	<p>La iniciativa TPM requiere un cambio cultural en la forma en que los empleados perciben su rol dentro de la organización, esta estrategia exige un cambio radical en la mentalidad de los empleados para mejorar la cultura laboral y crear un entorno favorable para la implementación eficaz del TPM, la alta</p>	<p>(Ahuja & Khamba, 2008) (Chan et al., 2005) (Badli Shah, 2012) (K. Singh & Ahuja, 2013) (Ng et al., 2011)</p>

FCE	Definición	Referencias
	<p>dirección debe motivar e influir en los empleados para empoderarlos de tal forma que aseguren que los equipos siempre se encuentren en óptimas condiciones de operación para obtener un mejor rendimiento.</p>	
<p>7. Trabajo en equipo interdisciplinario.</p>	<p>Como se indicó anteriormente, el TPM fomenta el trabajo en equipo entre los departamentos de Mantenimiento y Producción, es por esto que es necesario establecer acciones encaminadas a conformar un equipo de trabajo multidisciplinario enfocados al despliegue del TPM, cuyos integrantes reúnan atributos de liderazgo y sus metas estén alineadas con el plan estratégico de implantación.</p>	<p>(Seleem et al., 2018) (Gómez et al., 2015) (K. Singh & Ahuja, 2013)</p>
<p>8. Sistema de medición del desempeño del TPM.</p>	<p>de gestión de indicadores de rendimiento del equipo en función de la disponibilidad, confiabilidad y OEE, la medición del desempeño del proceso que se refiere a la relación comparativa del trabajo real con el planificado, así como del cumplimiento del cronograma, el desempeño de costos de mantenimiento en términos de mano de obra y repuestos.</p>	<p>(Bakri et al., 2017) (Badli Shah, 2012) (Ng et al., 2011)</p>

FCE	Definición	Referencias
<p>9. Proceso de implementación del TPM.</p>	<p>El proceso de implementación del TPM generalmente se representa en forma de marco el cual puede actuar como una guía y proporciona una forma estructurada de lograr ciertos objetivos. Generalmente, para los países fuera de Japón, el método de implementación de TPM se adapta a un requisito específico, particularmente sujeto a la cultura organizacional, su capacidad tecnológica, y el entorno, sin embargo, en la mayoría de los casos se adopta el modelo de los 8 pilares de forma parcial o completa como marco para la implementación de la metodología del TPM.</p>	<p>(Mishra et al., 2008) (Bakri et al., 2017) (K. Singh & Ahuja, 2013)</p>
<p>10. Gestión de Recursos.</p>	<p>La gestión de recursos humanos y financieros es uno de los factores críticos para la implementación del TPM, es importante enfatizar que la implementación de una nueva metodología en las organizaciones por lo general se hace con recursos limitados y tratar de desarrollar el programa del TPM a gran escala en toda la planta puede agotar rápidamente los recursos causando la interrupción de su implementación. En el caso del recurso humano por ejemplo existe la necesidad de contar con mano de obra extra para la capacitación y entrenamiento del personal de mantenimiento y operaciones, esto se puede resolver</p>	<p>(Mishra et al., 2008) (Chan et al., 2005) (Badli Shah, 2012)</p>

FCE	Definición	Referencias
	<p>empleando herramientas como la formación de estilo OPL la cual permite que los mismos operadores de las máquinas modelo puedan compartir sus conocimientos de mantenimiento que han recibido durante las etapas tempranas de implementación con otros operadores a través de la capacitación en habilidades de mantenimiento.</p>	
<p>11. Integración con Clientes y Proveedores.</p>	<p>Este factor crítico de éxito se refiere a la integración que se debe tener con los clientes para entender sus necesidades y tomar en cuenta estas recomendaciones para el diseño de equipos enfocados en la calidad y tiempos de entrega del producto. Así mismo mantener relaciones estrechas con proveedores de equipos permite tener un conocimiento profundo del funcionamiento de estos y establecer alianzas para contar con manuales y entrenamiento a operadores y personal de mantenimiento.</p>	<p>(Mishra et al., 2008) (Gómez et al., 2015) (Torres, 2014)</p>
<p>12. Implementación del programa 5S.</p>	<p>Como se mencionó anteriormente, la filosofía de las 5S es la base en la que se soporta la implementación del TPM, varios autores afirman que el resultado de su implantación es el aumento de la moral de los empleados, genera impresiones positivas en los clientes y aumenta la eficiencia organizacional, así como también se experimenta una mejora continua con menos desperdicio, productos de mejor calidad.</p>	<p>(Alcaraz, 2011) (Torres, 2014)</p>

FCE	Definición	Referencias
13. Integración del enfoque de mejora continua	Este factor implica la integración del TPM con herramientas de la Administración Total de la Calidad y el Justo a Tiempo como un marco de referencia que potencializa su implementación.	(Gómez et al., 2015) (Badli Shah, 2012)
14. Consideraciones sobre el diseño de equipos.	El desarrollo de equipos propios es considerado un factor crítico de éxito debido a que tiene en cuenta la necesidad de los clientes, los requisitos de mantenibilidad y la generación de valor al consolidar equipos únicos para cada organización y difícil de imitar por sus competidores.	(Mishra et al., 2008) (Gómez et al., 2015)
15. Implementación del mantenimiento autónomo.	Este pilar del TPM es considerado un factor crítico de éxito ya que se requiere su implementación para incentivar el sentido de pertenencia de los operarios sobre los equipos de producción y asignar las tareas de mantenimiento básicas sobre los mismos.	(Ahuja & Khamba, 2008) (Gómez et al., 2015)
16. Implementación de mantenimiento Planificado.	La implementación del mantenimiento planificado se considera un factor crítico de éxito porque busca la optimización del mantenimiento y requiere la integración de metodologías de mantenimiento de clase mundial tales como el mantenimiento predictivo basado en condición, mantenimiento basado en confiabilidad, entre otros.	(Mishra et al., 2008) (Chan et al., 2005)
17. Distribución de la planta para el TPM.	El diseño de instalaciones que tenga en cuenta las seis grandes pérdidas permite una distribución de equipos buscando	(Gómez et al., 2015)

FCE	Definición	Referencias
	optimizar la capacidad de producción y mantenimiento.	
18. aplicación de tecnologías vanguardia.	Las empresas que enfocan sus esfuerzos en obtener ventaja competitiva con la adquisición de tecnologías de vanguardia obtienen beneficios adicionales debido a que la renovación de los equipos permite la selección de máquinas con mejor nivel de mantenibilidad y allanan el camino para implementar el TPM.	(Gómez et al., 2015)

2.2 Factores determinantes de la aplicación del TPM en la gestión de mantenimiento de flotas de vehículos

En el estricto sentido, un factor determinante es aquel que posee una relación de causalidad con la ocurrencia de algún fenómeno, aunque en términos generales, el concepto factores determinantes se aborda indistintamente para referirse también a los factores de éxito (Wibowo & Alfen, 2015; Nooshinfard & Nemati-Anaraki, 2014). Dicho esto, en la presente sección, se busca identificar cuáles factores serían determinantes en el éxito de la implementación de la filosofía TPM en la gestión de mantenimiento de flotas de vehículos de carga. Como se evidenció en la revisión de literatura, existen pocos estudios de aplicación práctica del TPM en gestión de flotas de vehículos, así que es necesario hacer un ejercicio que permita identificar cuáles de los factores críticos de éxito identificados en la literatura para el mantenimiento industrial (ver tabla 1), pueden ser determinantes en el éxito de implementación del TPM en gestión de mantenimiento de flotas de vehículos. Si el fenómeno a evaluar es el éxito de la implantación del TPM en la gestión de flotas de vehículos, se busca entonces con ayuda de expertos determinar cuáles de los factores hallados en la literatura se pueden considerar determinantes en su implementación.

Para lograr dicho propósito, se busca la ayuda de un panel de expertos en mantenimiento de flotas de vehículos los cuales a través de un ejercicio de priorización identificaron la relevancia

de cada uno de estos factores a la hora de implementar TPM como estrategia de mantenimiento en sus organizaciones.

Se adopta como herramienta de priorización el Proceso de Análisis Jerárquico AHP. Este modelo fue desarrollado por el profesor Thomas L. Saaty y es probablemente el enfoque de análisis multicriterio más conocido y utilizado (Asgharizadeh, Safari, & Ajalli, 2015). El método AHP se basa en la construcción de una jerarquía, el establecimiento de prioridades y la coherencia lógica; requiere que quien tome las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de los criterios y que después especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión (Dávila Pinto & García Salazar, 2017).

El modelo AHP se sustenta en la comparación por pares de las diferentes alternativas respecto al criterio del nivel inferior de la estructura jerárquica, esta comparación da como resultado la matriz de decisión, si se cuentan con n criterios para evaluar las alternativas, la matriz de decisión de criterios se define de la siguiente manera:

$$Criterios = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ 1/(a_{1,2}) & 1 & \cdots & a_{2,n} \\ 1/(a_{1,n}) & 1/(a_{2,n}) & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Donde cada elemento de la matriz representa la prioridad de cada criterio resultante del ejercicio de comparación pareada. La matriz resultante cumple con las siguientes propiedades:

- Reciprocidad: si $a_{i,j} = x$, entonces $a_{j,i} = \frac{1}{x}$
- Homogeneidad: si i y i son igualmente importantes, entonces $a_{i,j} = a_{j,i} = 1$.
- Consistencia: la matriz no debe tener contradicciones en la valoración realizada.

Así mismo, se debe establecer la matriz de prioridades para cada alternativa en términos de cada uno de los criterios, para lo cual, si se tienen n criterios y m alternativas, la matriz tendría la siguiente estructura:

$$P(Alternativas, Criterios) = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \cdots & P_{1,n} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \cdots & P_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{m,1} & P_{m,2} & \cdots & P_{m,n} \end{bmatrix}$$

Donde se establece que $P_{m,n}$ es la prioridad de la alternativa m con respecto al criterio n .

Las comparaciones múltiples por pares se basan en una escala de comparación estandarizada de 9 niveles la cual se conoce como escala de Saaty y se ilustra en la tabla 2.

Tabla 2. Escala de Saaty

Definición	Nivel de Importancia
Igual de Importante.	1
Moderadamente más importante.	3
Fuertemente más importante	5
Mucho más fuerte la importancia.	7
Extremadamente más importante.	9
Valores intermedios	2,4,6,8

El resultado de las comparaciones por pares alimenta la matriz de comparación por pares donde cada elemento de la matriz indica la intensidad de la preferencia del elemento de fila sobre el elemento de columna en términos de su contribución a un criterio específico. Por último, la consistencia de los tomadores de decisiones, así como la jerarquía pueden evaluarse mediante el índice de consistencia (Asgharizadeh et al., 2015).

Dicho esto, la prioridad global $P_g(m)$ para cada una de las alternativas se obtiene al multiplicar la matriz de prioridades por el vector propio de la matriz de criterios así:

$$\begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \dots \\ P_{gm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,n} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m,1} & P_{m,2} & \dots & P_{m,n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{c1} \\ P_{c2} \\ \dots \\ P_{cn} \end{bmatrix}$$

Finalmente, se establecen los elementos del modelo definiendo el Objetivo, los criterios y las alternativas de la siguiente manera:

Objetivo: Identificar los factores determinantes de la aplicación de la filosofía TPM en el contexto de la gestión del mantenimiento de vehículos de carga en empresas colombianas.

Criterios: Teniendo en cuenta que los FCE identifican los posibles desafíos a los cuales se enfrentarían las organizaciones a la hora de implementar TPM como estrategia de mantenimiento en la flota de vehículos propia, el criterio de evaluación se establece como: “Que tan **relevante**

es el FCE si se implementara TPM como estrategia de mantenimiento de la flota de vehículos en su organización”.

Alternativas: Las alternativas del modelo se definen como los 18 FCE identificados en la literatura. Con el propósito de simplificar la aplicación del método AHP y realizar las comparaciones por pares de las alternativas definidas, se realiza una clasificación de los 18 FCE tomado como base la agrupación utilizada por Gómez et al. (2015), en la cual los FCE se tipifican según su afinidad en tres categorías a saber:

1. Aspectos relacionados al proceso de planeación estratégica: Son aquellos FCE que representan la alineación estratégica de objetivos, contribuciones de la alta gerencia, asignación y despliegue de recursos y comunicación durante todas las fases de implementación.
2. Aspectos técnicos: en esta categoría se agrupan los FCE que se relacionan con la aplicación de diversas herramientas de ingeniería de procesos y mantenimiento, uso de indicadores de desempeño, integración con otras herramientas de mejora continua, uso de tecnologías de información entre otras.
3. Desarrollo del recurso humano: Se incluyen los FCE que se relacionan con actividades de formación y desarrollo del capital humano, capacitación y entrenamiento, así como involucrar los empleados en todas las etapas de implementación del TPM.

En la tabla 3 se encuentra la clasificación final de los FCE por categorías, en consecuencia, el modelo se divide en tres ejercicios de priorización con un objetivo, un criterio y tres matrices de prioridades de dimensiones 4x4, y 7x7 respectivamente.

Tabla 3. Clasificación de FCE según categorías

CATEGORÍA	FCE
Aspectos relacionados con la planeación estratégica	1. Participación y compromiso de la alta dirección.
	2. Comunicación eficaz.
	3. Alineación de los objetivos de TPM con los objetivos de la organización.
	4. Transformación Cultural.
	5. Proceso de implementación estructurado.
	6. Gestión de recursos.

	7. Integración con Clientes y Proveedores.
Aspectos Técnicos	1. Sistema de medición del desempeño del TPM.
	2. Implementación del programa 5S.
	3. Integración del enfoque en la mejora continua.
	4. Consideraciones sobre el diseño de equipos.
	5. Implementación de mantenimiento Planificado (Preventivo y Predictivo).
	6. Distribución de la planta para el MPT.
	7. Aplicación de tecnologías de vanguardia.
Desarrollo de recurso humano	1. Participación de los empleados en todos los niveles de la organización.
	2. Capacitación y Educación.
	3. Trabajo en equipo interdisciplinario.
	4. Implementación del mantenimiento autónomo.

Con el modelo AHP definido, se procede a realizar el ejercicio de priorización con un panel de 4 gerentes expertos en mantenimiento de flotas de vehículos con experiencia de entre 10 y 20 años liderando la gestión del mantenimiento de flotas de carga pesada en organizaciones colombianas de diversa naturaleza, la tabla 4 muestra el resumen del sector y el número aproximado de la flota de vehículos propia que cada una posee.

Tabla 4. Características de panel de expertos

#	Años de experiencia	Sector	Tamaño de Flota
Experto 1	15	Transporte de carga seca y a granel.	350
Experto 2	10	Recolección y Transporte de residuos regulados y servicios especiales (escombros, peligrosos y hospitalarios).	90
Experto 3	10	Generación y comercialización de energía eléctrica (flota mixta de vehículos para mantenimiento de redes eléctricas).	90
Experto 4	20	Cultivo, procesamiento empaque y transporte de flores.	80

Las cuatro matrices de comparación de alternativas que se obtuvieron durante el ejercicio de priorización, para los factores críticos de éxito de la categoría aspectos relacionado con la planeación estratégica, enumerados en el orden que aparecen en la tabla 3 se ilustran a continuación:

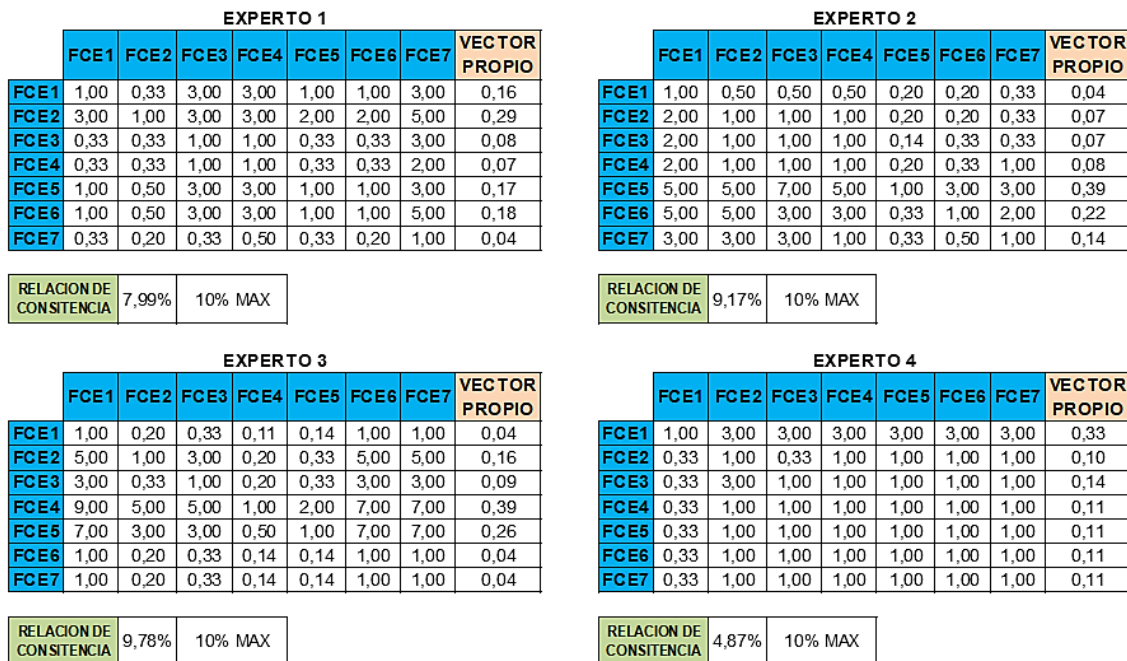


Figura 2. Resultado ejercicio priorización para la categoría planeación estratégica

Así mismo, Las cuatro matrices de comparación de alternativas que se obtuvieron durante el ejercicio de priorización, para los factores críticos de éxito de la categoría aspectos técnicos, enumerados en el orden que aparecen en la tabla 3 se ilustran a continuación:

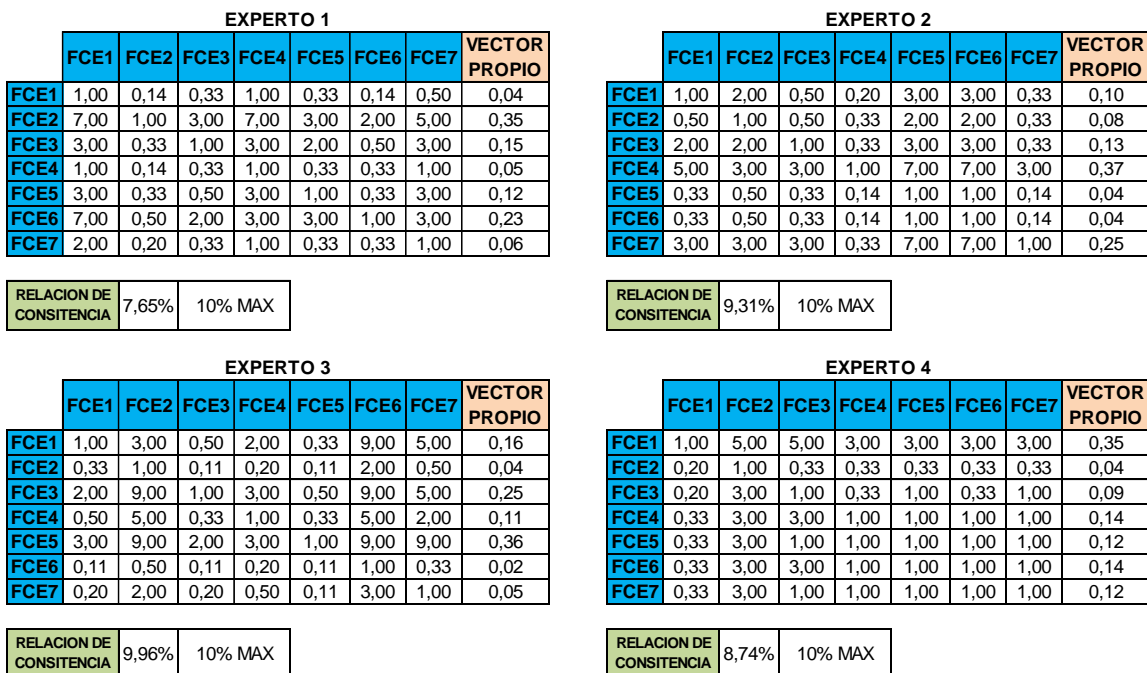


Figura 3. Resultado ejercicio priorización para la categoría aspectos técnicos

Por último, las cuatro matrices de comparación de alternativas que se obtuvieron durante el ejercicio de priorización para los factores críticos de éxito de la categoría desarrollo del recurso humano enumerados en el orden que aparecen en la tabla 3 se ilustran a continuación:

EXPERTO 1					
	FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	VECTOR PROPIO
FCE1	1,00	0,20	0,14	0,33	0,06
FCE2	5,00	1,00	0,33	1,00	0,22
FCE3	7,00	3,00	1,00	3,00	0,53
FCE4	3,00	1,00	0,33	1,00	0,19

RELACION DE CONSISTENCIA	3,24%	9% MAX
--------------------------	-------	--------

EXPERTO 2					
	FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	VECTOR PROPIO
FCE1	1,00	5,00	0,33	3,00	0,26
FCE2	0,20	1,00	0,14	0,33	0,06
FCE3	3,00	7,00	1,00	5,00	0,56
FCE4	0,33	3,00	0,20	1,00	0,12

RELACION DE CONSISTENCIA	6,66%	9% MAX
--------------------------	-------	--------

EXPERTO 3					
	FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	VECTOR PROPIO
FCE1	1,00	0,11	0,33	0,14	0,05
FCE2	9,00	1,00	3,00	3,00	0,52
FCE3	3,00	0,33	1,00	0,33	0,14
FCE4	7,00	0,33	3,00	1,00	0,29

RELACION DE CONSISTENCIA	7,13%	9% MAX
--------------------------	-------	--------

EXPERTO 4					
	FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	VECTOR PROPIO
FCE1	1,00	0,20	1,00	0,33	0,10
FCE2	5,00	1,00	5,00	3,00	0,55
FCE3	1,00	0,20	1,00	0,33	0,10
FCE4	3,00	0,33	3,00	1,00	0,25

RELACION DE CONSISTENCIA	2,44%	9% MAX
--------------------------	-------	--------

Figura 4. Resultado ejercicio priorización para la categoría desarrollo del recurso humano

Se debe tener en cuenta la consistencia de las matrices obtenidas, para ello se valida que la relación de consistencia no supere el límite establecido lo cual indica que se obtuvo un juicio racional por parte del tomador de decisiones en términos de transitividad y proporcionalidad (Nantes, 2019). Para el ejercicio de priorización realizado se puede evidenciar que se cumple con dicho criterio, con lo cual se hace necesario que los juicios individuales sobre la preferencia de alternativas hechos por los expertos sean combinados entre sí para obtener un grupo de juicios representativos.

Mendoza, Solano, Palencia, & García (2019) indican en su estudio que debido a que la técnica AHP no permite múltiples valoraciones, cuando se involucran varios expertos se hace necesario obtener una matriz de valoraciones consensuadas que permita sintetizar o desempatar el juicio. Para ello los autores utilizan la media geométrica de los juicios individuales demostrado que dicho calculo cumple a satisfacción la propiedad reciproca de la nueva matriz de prioridades consensuada. El resultado final, es un vector de prioridad de las alternativas el cual constituye la solución del problema.

Tomando como base en el estudio de Mendoza et al. (2019), se procede a calcular la media geométrica de cada grupo de comparaciones pareadas y se obtienen las nuevas matrices consensuadas para cada una de las categorías las cuales se ilustran a continuación:

ASPECTOS RELACIONADO CON LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA								ASPECTOS TÉCNICOS									
	FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	FCE5	FCE6	FCE7	VECTOR PROPIO		FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	FCE5	FCE6	FCE7	VECTOR PROPIO
FCE1	1,00	1,44	0,80	1,05	1,00	1,84	1,26	0,161	FCE1	1,00	0,56	1,11	0,84	0,54	0,88	1,32	0,116
FCE2	0,70	1,00	0,49	0,63	0,69	1,28	0,73	0,104	FCE2	1,78	1,00	1,32	0,88	0,60	1,19	1,70	0,155
FCE3	1,25	2,06	1,00	1,00	1,32	1,46	1,50	0,185	FCE3	0,90	0,76	1,00	0,67	0,36	0,76	1,32	0,104
FCE4	0,96	1,59	1,00	1,00	0,94	1,85	1,57	0,170	FCE4	1,19	1,14	1,50	1,00	0,60	0,94	1,93	0,151
FCE5	1,00	1,46	0,76	1,07	1,00	1,32	1,40	0,155	FCE5	1,85	1,66	2,82	1,66	1,00	2,14	2,82	0,255
FCE6	0,54	0,78	0,69	0,54	0,76	1,00	0,62	0,097	FCE6	1,14	0,84	1,32	1,07	0,47	1,00	1,78	0,137
FCE7	0,80	1,38	0,67	0,64	0,71	1,63	1,00	0,128	FCE7	0,76	0,59	0,76	0,52	0,36	0,56	1,00	0,083

RELACION DE CONSISTENCIA	1,84%	10% MAX
--------------------------	-------	---------

RELACION DE CONSISTENCIA	1,38%	10% MAX
--------------------------	-------	---------

DESARROLLO DEL RECURSO HUMANO					
	FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	VECTOR PROPIO
FCE1	1,00	0,39	0,36	0,47	0,117
FCE2	2,59	1,00	0,92	1,32	0,310
FCE3	2,82	1,09	1,00	1,14	0,318
FCE4	2,14	0,76	0,88	1,00	0,255

RELACION DE CONSISTENCIA	0,29%	9% MAX
--------------------------	-------	--------

Figura 5. Resultado ejercicio priorización consensuado por categoría

El resultado final del ejercicio de priorización se compone de los tres vectores de prioridad para cada una de las categorías donde se obtiene en orden de relevancia los factores determinantes a la hora de implementar TPM en la gestión de mantenimiento en organizaciones con flota de vehículos de carga. Con este ejercicio se da cumplimiento al objetivo específico número dos del presente trabajo.

Tabla 5. Vectores de prioridad por categoría

FCE	Aspectos relacionados con la planeación estratégica	Media Geométrica
1	Proceso de implementación estructurado.	25,47%
2	Comunicación Eficaz.	15,46%
3	Transformación cultural.	15,11%
4	Gestión de Recursos.	13,69%
5	Participación y Compromiso de la Alta Dirección.	11,55%
6	Alineación de los objetivos de TPM con los objetivos de la organización.	10,38%
7	Integración con Clientes y Proveedores.	8,34%

FCE	Aspectos Técnicos	Media Geométrica
1	Integración del enfoque de mejora continua.	18,53%
2	Consideraciones sobre el diseño de equipos.	17,00%
3	Sistema de medición del desempeño del TPM.	16,06%
4	Implementación de mantenimiento Planificado (Preventivo y Predictivo).	15,54%
5	Aplicación de tecnologías de vanguardia.	12,76%
6	Implementación del programa 5S.	10,44%
7	Distribución de la planta para el TPM.	9,67%

FCE	Desarrollo de recurso humano	Media Geométrica
1	Trabajo en equipo interdisciplinario.	31,82%
2	Capacitación y Educación.	30,99%
3	Implementación del mantenimiento autónomo.	25,49%
4	Participación de los empleados en todos los niveles de la organización.	11,70%

3. Análisis de resultados

El ejercicio de priorización desarrollado en la sección anterior clasifica la relevancia de cada uno de los factores críticos de éxito en el contexto del mantenimiento de flotas de vehículos de carga en el entorno colombiano. Su resultado es de especial importancia ya que identificó los factores determinantes de la aplicación del TPM y se convirtió en el insumo para la construcción del guion para las entrevistas semiestructuradas, las cuales fueron aplicadas a un grupo de líderes de una empresa de transporte de carga en Colombia, dicha organización cuenta con una flota de vehículos propia, un área de mantenimiento con recursos internos, instalaciones y personal calificado. Los resultados obtenidos se analizan en el presente capítulo.

3.1 Diagnóstico del estado actual del mantenimiento en una empresa de transporte de carga

Para la aplicación de las entrevistas semiestructuradas, se elige como organización objeto de estudio, una de las empresas de transporte de mercancías más reconocida en el territorio nacional con más de 55 años en el mercado. Dicha organización cuenta con una flota propia de vehículos de alrededor de 900 equipos móviles de diferentes tipologías, tales como tracto mulas que realizan transporte nacional, camiones furgones y vanes para la operación de última milla. Esta compañía tiene cubrimiento nacional con más de 1200 destinos y cuenta con un equipo de mantenimiento propio de más de 150 integrantes con talleres automotrices en las principales ciudades del país para atender el mantenimiento integral de la flota de vehículos propios.

Con el propósito de estructurar la hoja de ruta de implementación de la estrategia TPM, se hace necesario realizar un diagnóstico del estado actual de implementación de mantenimiento en la organización en estudio. Para ello se diseñó un instrumento de entrevistas semiestructuradas que fueron aplicadas a un miembro directivo de alto nivel, el director de mantenimiento, un ingeniero de mantenimiento, el líder de productividad y el gerente de desarrollo Humano.

Con este grupo interdisciplinario de entrevistados se busca recopilar la visión estratégica y táctica operativa de la organización en lo referente al mantenimiento de la flota de vehículos, teniendo en cuenta que dos de los factores críticos de éxito identificados para la implementación del TPM fueron el compromiso de la alta dirección junto con la participación de los empleados en todos los niveles de la organización.

El instrumento tomó como base el ejercicio de priorización para la elaboración del guion de preguntas, se tuvo en cuenta los 7 factores críticos de éxito representativos del mantenimiento de flotas de vehículos de carga los cuales se enumeran en la tabla 5, el instrumento de entrevistas se encuentra en el anexo 1.

Tabla 6. Factores relevantes del TPM en mantenimiento de vehículos de carga

FCE	Factor Crítico de Éxito	Categoría
1	Trabajo en equipo interdisciplinario	Desarrollo de recurso humano
2	Capacitación y Educación	
3	Integración del enfoque de mejora continua	Aspectos Técnicos
4	Consideraciones sobre el diseño de equipos	
5	Proceso de implementación estructurado	Aspectos relacionados con la planeación estratégica
6	Comunicación Eficaz	
7	Transformación cultural.	

3.1.1 Desarrollo del recurso humano

El instrumento tomó como base el ejercicio de priorización para la elaboración del guion de preguntas, se tuvo en cuenta los 7 factores críticos de éxito representativos del mantenimiento de flotas de vehículos de carga.

Trabajo en equipo interdisciplinario: en los integrantes del área de mantenimiento existe un compromiso arraigado en relación con el buen funcionamiento de los vehículos, por ejemplo en la ejecución de rutinas de mantenimiento, sin importar la falla reportada, una vez el vehículo ingresa al taller se aplica por parte del técnico responsable una lista de chequeo de manera sistemática sobre los sistemas críticos con el propósito de identificar y reportar a los coordinadores e ingenieros de mantenimiento condiciones de mal funcionamiento que puedan derivar en fallas mayores. En lo referente a los intereses del área de operaciones y mantenimiento con relación a la disponibilidad de los vehículos, se evidenció que existen diferencias de interés, mientras para el área de mantenimiento prima el buen funcionamiento de

los vehículos sobre las horas disponibles para producir, en el área de operaciones el interés de sacar los camiones a operación en ocasiones prima sobre la inspección de los mismos por parte de los conductores responsables, asumiendo que la responsabilidad del buen funcionamiento está a cargo del área de mantenimiento y ellos son responsables exclusivamente de operar.

La organización tiene como política, hacer reuniones periódicas semanales donde se dan a conocer los indicadores clave de la regional, en dicha reunión se encuentran el gerente con su equipo primario de líderes de las áreas funcionales y de apoyo, allí el jefe de mantenimiento presenta los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de los vehículos así como los costos operativos asociados, el jefe de producción da a conocer los indicadores de productividad y expone algunos problemas asociados al mal funcionamiento de los vehículos y su impacto en dichos indicadores. Al final de cada reunión se establecen acuerdos de servicio entre áreas donde se busca maximizar la disponibilidad en un entorno de mejora continua. Estas reuniones evidencian que los empleados de los departamentos administrativos conocen los problemas de productividad del área de operaciones y se comprometen directa o indirectamente en su mejoramiento. Por otro lado, no se cuenta con políticas de trabajo interdisciplinario entre áreas para resolver problemas productivos de los vehículos, esta responsabilidad recae exclusivamente en el área de mantenimiento.

Capacitación y educación: La compañía cuenta con un programa de formación estructurado orientado a los conductores, consta de varios módulos entre los que se pueden destacar técnicas de conducción eficiente, manejo preventivo y defensivo, seguridad salud y medio ambiente así como conocimientos técnico mecánicos de los vehículos de carga, mostrando de esta manera que tiene como política entrenar y actualizar a su equipo de conductores en lo referente al conocimiento de los vehículos y su operación. Se cuenta con un grupo de instructores de conductores certificados que imparten formación, acompañamiento en ruta y llevan los registros de cubrimiento del programa sobre su grupo de conductores a cargo. Se hace énfasis en uno de los módulos del programa llamado “preinspección” en el cual se da entrenamiento en técnicas de inspección previas al viaje, socializando la lista de chequeo definida que busca identificar por parte del conductor condiciones anormales que pueden derivar en fallas o posibles varadas en ruta, esto muestra que, si bien no se denomina mantenimiento autónomo, si se tiene entrenamiento sobre el mismo.

Ahora bien, la organización no cuenta con un programa estructurado de entrenamiento y capacitación para el personal técnico, se realizan jornadas aleatorias de entrenamiento y

actualización en sistemas de los vehículos que ofrecen los proveedores de autopartes y fabricantes de camiones, pero no se tienen registros claros sobre el cubrimiento o entrenamientos impartidos a cada colaborador, una oportunidad de mejora evidente en este aspecto. Igualmente, se hacen entrenamientos esporádicos en habilidades blandas de trabajo en equipo interdisciplinario, cultura organizacional, salud y seguridad en el trabajo entre otros.

3.1.2 Aspectos técnicos

Sistema de medición de desempeño del mantenimiento: La organización en estudio tiene un alto nivel de implantación del mantenimiento planificado, cuenta con un proceso de mantenimiento estructurado donde se tienen procedimientos establecidos de mantenimiento preventivo con frecuencias de cambio de aceite e inspecciones definidas para cada una de las tipologías de vehículos que conforman la flota. Así mismo, el programa de mantenimiento tiene un componente de mantenimiento predictivo basado en condición por análisis de aceite y monitoreo de condiciones de desgaste de algunos componentes críticos de los vehículos, así como también un componente de mantenimiento correctivo que se ejecuta basado en la información que suministran los conductores sobre las novedades identificadas en la inspección previa al inicio de operación de los vehículos, o imprevistos durante la ruta. Adicionalmente, la compañía cuenta con un sistema de información en el cual se encuentran las hojas de vida de los equipos e historial de mantenimiento desde el año 2004.

Esto demuestra que la dirección tiene definidos e identificados los indicadores de desempeño del mantenimiento de los vehículos, se mide su disponibilidad diaria pero no se tiene un indicador detallado de su productividad, ya que la productividad se mide por tripulaciones de dos o tres integrantes que puede utilizar dos o más vehículos en la misma jornada de trabajo. Se tienen reuniones periódicas semanales del grupo de ingeniería de mantenimiento donde se hace evaluación y seguimiento al progreso del programa de mantenimiento.

Consideraciones sobre el diseño de equipos: En este aspecto, si bien la compañía no se involucra en la fabricación de camiones, si tiene una cercanía con fabricantes y representantes en Colombia, se realizan jornadas para retroalimentar a sus proveedores sobre el desempeño de los vehículos en lo referente al rendimiento operativo, fallas recurrentes en sus componentes, indicadores de disponibilidad, confiabilidad y costo operativos. Se busca con esto realizar un aporte a la “tropicalización” de nuevos camiones, esto tiene que ver con la adaptación que hacen los fabricantes de sus modelos de camiones al entorno y topografía propios de la región. Esta relación con proveedores da como resultado el acceso a entrenamiento técnico en aspectos

relacionados con mantenimiento de los camiones por parte de los representantes de las marcas en el país, así como el acceso a la información de manuales y catálogos de repuestos, un insumo necesario a la hora de proponer y adaptar el programa de mantenimiento a los tiempos de vida de los componentes de recambio proporcionados por los fabricantes.

Integración del enfoque de la mejora continua: Se evidencia que la organización cuenta con un área de calidad enfocada en la estructuración y documentación de procesos, sin embargo, no se cuenta con un enfoque específico en iniciativas de mejora continua tales como administración de la calidad total, así mismo no cuenta con certificaciones de calidad, por tal motivo no se evidencia que se utilice controles visuales de indicadores de calidad en las áreas de operaciones. La alta dirección enfoca sus esfuerzos en implementar estrategias de mejora en la productividad con la introducción de metodologías ágiles y una alta inversión en tecnología, con esto buscan mejorar los procesos y obtener eficiencias operativas que le representen ventajas competitivas como organización. Por otro lado, en el área de mantenimiento, la dirección plantea una visión basada en la calidad de los procesos de mantenimiento, con auditorías periódicas buscando identificar desviaciones en el proceso establecido para luego plantear planes de acción que logren encausar nuevamente el mismo.

La compañía cuenta con un área de cadena de abastecimiento en cabeza de un alto directivo y a la cual pertenece el área de mantenimiento, almacenes y compras. Esta área está encargada entre otras funciones de la consecución de proveedores de repuestos e insumos para el mantenimiento, y tiene como política el desarrollo y consolidación de estos creando relaciones a largo plazo para convertirlos en aliados estratégicos de la organización.

3.1.3 Aspectos relacionados con la planeación estratégica

Procesos de implementación estructurado: según los líderes entrevistados, la organización actualmente está pasando por un proceso de cambio generacional en la alta dirección, lo que ha permitido tener un enfoque en nuevos proyectos en el área de producción que buscan a través de la tecnología obtener eficiencias en los procesos productivos, se ha adquirido nuevos vehículos de última tecnología y en el área de mantenimiento se está implementando estrategias encaminadas a mejorar la productividad de los procesos de mantenimiento. En estos procesos se evidencia que la implementación se realiza de forma gradual y el área de gestión del cambio siempre está presente durante todo el proceso.

Comunicación eficaz: en el área de mantenimiento, se cuenta con sistemas de información con tableros de control que muestran la evolución y estado actual de los principales indicadores de gestión del mantenimiento de la flota de vehículos tales como frecuencia de varadas y ajustes menores, esta información está a la alcance todos los colaboradores del área, sin embargo, no se tienen publicados en el área de talleres, se consulta por demanda en los puntos destinados para tal fin. En el área de operaciones a estos indicadores solo tienen acceso los coordinadores y jefes de área, los niveles jerárquicos más bajos de la operación los desconocen por completo. Por otra parte, a los indicadores de productividad y desempeño de los colaboradores solo tienen acceso los niveles jerárquicos superiores y rara vez se hacen públicos masivamente.

Por otra parte, la organización cuenta con un área de gestión del cambio que sensibiliza y comunica en todas las etapas la introducción de nuevos procesos o algún cambio en los actuales.

Transformación cultural: la compañía cuenta con una política definida de cultura organizacional liderada desde la alta dirección en cabeza de la gerencia de gestión humana, dicha política propende por incentivar en sus colaboradores la cultura del servicio en todos los niveles de la organización. Se evidencia que existen personas con cualidades de liderazgo capaces de asumir nuevos retos gestionando pequeños grupos de trabajo.

Recientemente, en un trabajo articulado entre las áreas de gestión humana, mantenimiento, productividad entre otras, se implementó un programa de incentivos basado en el comportamiento y hábitos de manejo de los conductores que busca premiar el buen desempeño de los colaboradores en lo relacionado con la conducción eficiente con altos estándares de seguridad.

Por último, en lo referente a la implementación de la filosofía de las 5s en las diferentes áreas de la organización, se puede evidenciar en la planta visitada que las se tiene un grado de implementación alto en el área de operaciones y en el área administrativa, no siendo igual en el taller de mantenimiento donde se evidencia una oportunidad de mejora siendo esta una de las áreas críticas para el programa TPM.

Una vez analizados los resultados de las entrevistas, se procede a estructurar la hoja de ruta donde se tienen en cuenta las fortalezas y oportunidades de mejora evidenciadas con respecto al estado actual del mantenimiento en la organización y la visión estratégica de sus responsables.

3.2 Planteamiento de la estrategia de mantenimiento

La función mantenimiento en una empresa de transporte de carga por carretera debe alinear los objetivos de su área con los objetivos estratégicos de la organización. Como se dijo anteriormente, el mantenimiento es un área de apoyo transversal en estas organizaciones donde los activos productivos principales son los vehículos. Por su parte, la función operaciones en este tipo de organizaciones es fundamental para alcanzar la diferenciación y el desempeño estratégicos.

Iansiti, M., & Serels, A.(2013) plantean una serie de definiciones, principios y desarrollan unos marcos aplicables a la estrategia de operaciones, los cuales se tomarán como base para el planteamiento de la estrategia de mantenimiento y el desarrollo del objetivo general de la presente investigación. Por tal motivo, a continuación se describen las principales ideas a aplicar:

Los autores definen la operación como “el poder para actuar”, esta definición proporciona una visión más general de las operaciones como el área que impulsa la acción en la empresa. La definición es particularmente útil porque involucra no solo acción, sino también el poder de hacerla realidad de una manera efectiva. La función de operaciones organiza los sistemas de recursos dedicados al desarrollo de productos, fabricación, gestión de servicios, gestión de la cadena de suministro, gestión de canales y otras funciones orientadas a la ejecución que actúan para crear y entregar valor a los clientes.

Por otra parte, aseguran que cuando se combina operaciones y estrategia para construir el concepto estrategia de operaciones, es posible definir un "marco o plan para la utilización de recursos que impulsan la ejecución del negocio". En esencia, la estrategia de operaciones sirve como el vínculo crucial entre la estrategia organizacional planificada y la realidad ejecutada. En muchas empresas, especialmente en las empresas manufactureras tradicionales, la mayoría de los recursos se utilizan para impulsar las tareas operativas. Las decisiones operativas enmarcan opciones para la estrategia y definen las capacidades que una organización tiene a su disposición. Sin embargo, anteriormente las operaciones se consideraban de manera consistente como táctica y reactiva, con poco valor estratégico percibido.

Teniendo en cuenta que la colección de recursos de la empresa determina su capacidad para alcanzar una posición competitiva específica, es posible concluir que las decisiones de operaciones que afectan los sistemas de recursos tienen un efecto directo sobre el desempeño de la empresa y pueden influir en la estrategia corporativa a largo plazo.

Con frecuencia, la interrelación entre las operaciones de producción y la estrategia corporativa no se comprende fácilmente. Es posible afirmar que la estrategia competitiva de una empresa en un momento dado impone demandas particulares a su función de producción, así como también, las operaciones de la empresa deben diseñarse específicamente para cumplir con la tarea exigida por los planes estratégicos.

La estrategia de operaciones es un marco o plan para la utilización de los recursos que impulsan la ejecución del negocio. Brinda a los gerentes una forma de ver cómo las actividades de operaciones se ajustan a las metas y objetivos generales de la empresa. El objetivo es asegurar el alineamiento estratégico entre los recursos de operaciones y los objetivos estratégicos de la empresa.

En la práctica, la creación de una nueva estrategia de operaciones se realiza en dos pasos distintos. El primero paso consiste en definir y priorizar una misión específica con un conjunto de objetivos concretos a largo plazo para la función de operaciones. El segundo pasó, es crear un plan de implementación de la estrategia para cumplir los objetivos establecidos. Este plan guía a la gerencia al describir el patrón de decisiones y acciones que desarrollan, organizan y utilizan los recursos.

Dicho esto, en la estrategia corporativa de la organización en estudio, es posible identificar dos objetivos estratégicos que el área de mantenimiento impactaría de manera directa a saber: rentabilidad y satisfacción del cliente. Por lo tanto, los objetivos que se definirán en la estrategia de mantenimiento se alinearán con estos dos objetivos corporativos.

Como ya se mencionó anteriormente, los principales activos productivos de una empresa de transporte de carga son los vehículos, por consiguiente los costos operativos de los vehículos tendrán una incidencia directa en la rentabilidad del negocio, primer objetivo identificado en la estrategia corporativa. Por otra parte, la pérdida de disponibilidad y mantenibilidad de los vehículos trae consigo la afectación productiva de la organización ya que no es posible cumplir con la promesa de servicio impactando de manera directa la satisfacción del cliente, el segundo objetivo identificado en la estrategia corporativa.

En primer lugar, se definen la misión del área de gestión del mantenimiento de la siguiente manera: *el área de gestión del mantenimiento como apoyo transversal en la organización tiene como misión garantizar una alta mantenibilidad y disponibilidad de los vehículos al menor costo posible, empleando la metodología de mantenimiento productivo total TPM.* Se definen entonces

dos objetivos de la estrategia de gestión del mantenimiento, el primero de ellos minimizar el costo operativo, a lo largo todo el ciclo de vida del activo y el segundo es maximizar la mantenibilidad y disponibilidad de los vehículos (ver figura 6), los indicadores que medirán estos dos objetivos se definieron en la sección 1.4.2 del presente documento.

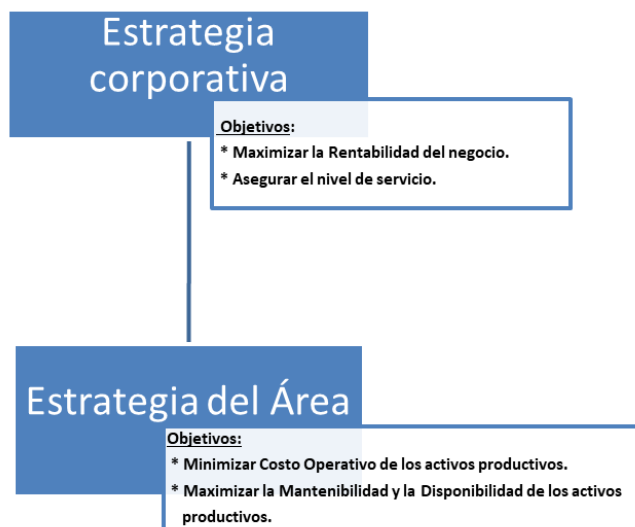


Figura 6. Jerarquía estratégica

En segundo lugar, se propone el plan de implementación constituido por la integración de los pilares de la filosofía TPM a la gestión del mantenimiento de la flota de vehículos y la elaboración de su hoja de ruta.

El marco de la estrategia de operaciones basado en recursos se usa para evaluar la alineación estratégica al examinar los conjuntos de recursos empleados por la función de operaciones para cumplir con los objetivos de desempeño (Iansiti & Serels, 2013). Para que este marco sea integral y efectivo, debe considerar todos los recursos que influyen en la capacidad de la empresa para crear y entregar sus ofertas principales, incluso los recursos que se encuentran fuera de los límites de la función de operaciones definida por la estructura organizativa de la empresa. Dicho esto, los recursos se pueden clasificar en cinco categorías distintas: recursos físicos, recursos humanos, propiedad intelectual (PI), software y métodos, recursos del ecosistema y recursos financieros. A continuación, se describen cada uno de ellos:

- Recursos físicos: son las propiedades, planta y equipo tangibles de la función de operaciones. Estos incluyen instalaciones, oficinas, almacenes, terrenos, maquinaria, equipo y herramientas.

- Los recursos humanos: son los empleados que componen la fuerza laboral de las operaciones. Los empleados individuales difieren en sus habilidades, conocimientos, capacitación, capacidad, flexibilidad y condiciones de empleo. También difieren en el papel que desempeñan.
- La propiedad intelectual, el software y los métodos: son los recursos basados en el conocimiento de la función de operaciones. Son el conocimiento colectivo que posee la organización, no los empleados individuales. Se incluyen en esta categoría los diseños patentados y de propiedad exclusiva, los secretos comerciales, el software, los sistemas organizativos, los procesos, las técnicas y la información.
- Los recursos del ecosistema: son las relaciones con los proveedores, distribuidores, clientes y socios que en conjunto constituyen el ecosistema comercial de una empresa. Estos recursos influyentes están más allá del control directo de la empresa. Las relaciones y capacidades de otros miembros del ecosistema influyen tanto en las actividades de la función de operaciones como en el logro de sus objetivos de desempeño.
- Los recursos financieros son los tipos de financiación disponibles, incluido el efectivo disponible, el efectivo generado por las operaciones y los fondos disponibles en los mercados financieros. Estos recursos generalmente no se consideran parte de las operaciones, pero pueden ser decisivos para permitir o restringir la implementación de la estrategia de la función.

Una estrategia de operaciones se puede capturar mejor a través de la matriz de recursos (Iansiti & Serels, 2013). Las filas de la matriz representan las categorías de recursos mencionadas anteriormente y las columnas representan decisiones relacionadas con el inventario de recursos disponibles, la integración entre ellos y el desarrollo y adquisición de nuevos recursos.

- La base de recursos es un inventario de los recursos de la función de operaciones que captura las decisiones acumuladas sobre qué recursos emplear. El tipo, ubicación, calidad, durabilidad, capacidad y utilización de cada recurso se enumeran en esta fila de la matriz.
- Las decisiones de integración de recursos determinan cómo los recursos individuales interactúan entre sí para formar el sistema operativo, incluidas las decisiones sobre organización, planificación y toma de decisiones.

- Las decisiones de desarrollo y adquisición de recursos guían el desarrollo del sistema operativo. Los planes y procesos de innovación, desarrollo y fusiones y adquisiciones determinan cómo se espera que cambie la base de recursos y la integración de recursos.

En la tabla 7 se presenta la matriz de la estrategia de mantenimiento basada en recursos que se propone para la gestión de mantenimiento en la flota de vehículos de carga basada en la filosofía de mantenimiento productivo total, teniendo en cuenta los resultados de las entrevistas a los miembros de la organización en estudio. Se incluyen todos los recursos actuales con los que cuenta el área de mantenimiento de la organización y se incluyen los pilares del TPM que se emplearán más adelante para el planteamiento de la hoja de ruta.

Tabla 7. Matriz de estrategia de mantenimiento basada en los recursos

	Base de recursos (tipo, capacidad y utilización)	Integración de recursos (organización, planeación y toma de decisiones)	Adquisición y desarrollo de recursos (innovación, desarrollo y fusiones)
Recursos físicos	Tres talleres ubicados en ciudades principales con infraestructura propia y herramientas especializadas para atender requerimiento completo de intervenciones de mantenimiento planificado.		Fortalecer los talleres intermedios para que se conviertan en talleres especializados que puedan
	Cuatro talleres ubicados en ciudades intermedias con infraestructura propia para atender requerimientos de intervenciones menores de mantenimiento planificado.	Sistemas de inventarios automáticos en los almacenes de repuestos principales, alertas por mínimos de reorden que permiten tener disponibilidad de insumos y repuestos para atender la demanda en los tres talleres principales.	apalancar los procesos de intervención del mantenimiento planificado. Afinar los sistemas de inventarios automáticos para los almacenes de repuestos y hacer un despliegue en los almacenes más pequeños.
	Almacenes en las 7 sedes donde existen talleres para tender el requerimiento de insumos y repuestos necesarios para intervenciones de mantenimiento planificado.		

<p>Recursos humanos</p>	<p>Grupo de ingeniería compuesta por nueve profesionales distribuidos en las 7 sedes a cargo de la implementación táctica de las directrices estratégicas del área.</p> <p>Grupo de compras centralizada en la dirección general con compradores especializados por categorías.</p> <p>Grupo de instructores con competencias en operación de vehículos de carga imparten formación a conductores para hacer actualización de conocimientos de manera constante.</p>	<p>Trabajo interdisciplinario entre las áreas de gestión humana y mantenimiento para hacer intervenciones sobre los conductores que permitan optimizar la operación de los equipos y lograr eficiencias en costos de operación.</p>	<p>Se debe fortalecer el trabajo interdisciplinario de las áreas de mantenimiento y operaciones para empoderar a los conductores de las tareas de mantenimiento autónomo.</p> <p>Incorporar la formación de habilidades blandas en los colaboradores para fortalecer el trabajo en equipo interdisciplinario.</p>
<p>Propiedad intelectual, software y métodos</p>	<p>La organización cuenta con un amplio conocimiento y aplicación del Pilar de mantenimiento planificado.</p> <p>Se tiene un software de mantenimiento con información histórica de fallas de casi 20 años.</p>	<p>Existe una integración de los sistemas de compras, almacenes y mantenimiento para gestionar los requerimientos del mantenimiento planificado.</p> <p>Existe una implementación básica de mantenimiento autónomo basado en las inspecciones preoperativas que realizan los conductores antes de salir a viajes cortos o largos.</p> <p>Existe un programa de formación estructurado para conductores, con módulos específicos que permiten fortalecer sus competencias en el conocimiento y operación de vehículos.</p> <p>Existe un programa de incentivos basado en el comportamiento de hábitos de manejo de los conductores premiando la conducción eficiente con altos estándares de seguridad.</p>	<p>Se deben desarrollar indicadores integrados para medición de tiempos de respuesta de las áreas de cadena de abastecimiento con el propósito de identificar y eliminar las pérdidas de productividad de los equipos por falta de insumos o repuestos para la intervención.</p> <p>Se debe fortalecer el mantenimiento autónomo como pilar de la estrategia de mantenimiento.</p> <p>Se debe desarrollar el pilar de mejoras enfocadas.</p>

Recursos del ecosistema	<p>Se cuenta con una red nacional de proveedores de repuestos que satisfacen las necesidades de cada sede.</p> <p>En sedes donde no existen talleres propios, el área cuenta con talleres aliados para atender requerimientos de novedades presentadas por los vehículos en esas rutas.</p>	<p>Los proveedores de vehículos imparten formación a los técnicos de mantenimiento de la organización en actualización de nuevas tecnologías aplicadas a los vehículos de carga y avanzadas técnicas de diagnóstico y corrección de fallas.</p> <p>Se tiene relación directa con fabricantes de camiones para incidir en las consideraciones sobre el diseño de equipos, buscando mejoras que permitan obtener reducción en los costos de operación de los vehículos.</p>	<p>Estructurar un programa de entrenamiento y actualización para el área de mantenimiento por parte de los proveedores de autopartes y fabricantes de camiones.</p> <p>Fortalecer la red de proveedores de autopartes con cubrimiento nacional para satisfacer los requerimientos de la red de talleres.</p> <p>Fortalecer la red de talleres aliados en las ciudades donde no se tiene cubrimiento propio para mantenimiento.</p>
Recursos financieros	<p>El área de mantenimiento tiene representación en la alta dirección con un vicepresidente de cadena de abastecimiento que tiene poder de decisión sobre nuevas inversiones estratégicas.</p>		

3.3 Hoja de ruta para la implementación del TPM en una empresa de transporte de carga en Colombia

En esta sección, y teniendo en cuenta la estrategia de operaciones definida anteriormente, se propone la elaboración de una hoja de ruta que sirva como guía para implementar a futuro la filosofía TPM en una empresa de transporte de carga en Colombia. Según Bakri et al. (2017) en su estudio sobre la implementación práctica del TPM asegura que el número de pilares puede variar y generalmente para los países fuera de Japón, el método de implementación de TPM se adapta a un requisito específico, particularmente sujeto a la cultura, capacidad tecnológica, entorno y políticas específicas propias de cada organización. Así mismo Bakri et al. (2017) en su trabajo sobre la revisión de factores críticos de éxito asegura que no es necesario implementar los ocho pilares de TPM simultáneamente, con uno o más pilares es posible obtener mejoras en la OEE de los equipos. Es por esto, que para el presente estudio se propone en la hoja de ruta la implementación inicial de algunos pilares considerados clave en el mantenimiento de la flota

de vehículos de carga para lograr en corto plazo la mejora en los indicadores de desempeño de los equipos y en consecuencia el aumento de la moral de los empleados durante el desarrollo del proyecto.

Para la estructuración de la hoja de ruta, se tiene como base el proceso de implementación sugerido por Chan (2005) para su caso de estudio, junto con el modelo sugerido por Cuatrecasas & Torrell(2010) en el cual define que el TPM se debe implementar en cuatro fases a saber:

Fase de Preparación: Consta de 5 pasos que inicia con la declaración de la alta dirección de la decisión de implementar el TPM y concluye con la elaboración del plan maestro para la implementación del TPM. En esta etapa se centran los esfuerzos en la preparación y creación del entorno estructural de TPM, así como la definición de la política y objetivos de TPM para desarrollar el plan maestro para la implementación de TPM (Chan et al., 2005).

Fase de Introducción: Una vez aprobado el plan maestro, el único paso de esta fase consiste en realizar una socialización por parte de la alta dirección cuyo objetivo es reafirmar su compromiso de implementar TPM y formalizar el inicio de la etapa de ejecución. En esta fase se expondrá el trabajo realizado en la fase de preparación donde todos los involucrados conozcan de primera mano el plan de implementación, la alta dirección debe procurar que su interés por el TPM alcance a todos los miembros de la organización creando una atmosfera de moral y disposición hacia el TPM (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Fase de Implantación: Consta de 5 pasos en los cuales se introducen los 5 pilares básicos del TPM de manera progresiva, implementar un programa de mejoras enfocadas para reducir las 6 grandes pérdidas, implementar el mantenimiento autónomo, fortalecer el mantenimiento planificado, introducir la gestión temprana de equipos y transversalmente realizar formación y capacitación. Esta fase consta de todas las actividades que se plantearon para lograr los objetivos del plan maestro y se ajustan el orden y plazo de las actividades de los pasos 7 al 11 adaptándolos a las características propias de la organización (Chan et al., 2005).

Fase de Consolidación: En esta fase del programa TPM, se realiza una evaluación para perfeccionar la implantación del TPM y fijar nuevas metas y objetivos más ambiciosos. Se debe cuantificar el progreso alcanzado y socializarlo con todos los empleados para que comprendan la importancia de su participación en la implementación del TPM, a partir de este momento se deberá adoptar una filosofía de mejora continua para evaluar los objetivos actuales y definir nuevas metas más ambiciosas (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

La figura 5 resume de manera gráfica los pasos que se proponen para implementar el TPM en la flota de vehículos de carga de la organización en estudio, en las siguientes secciones se describen de manera detallada cada uno de los pasos propuestos.

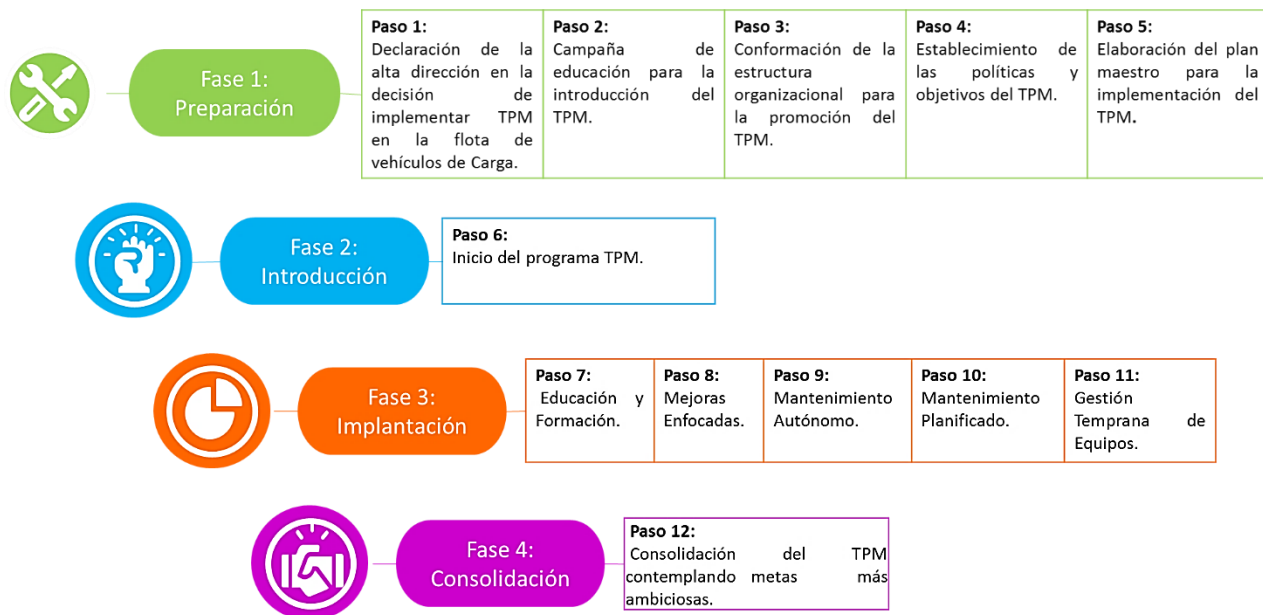


Figura 7. Pasos para la implementación del TPM

3.3.1 Fase de preparación

Paso 1: Declaración de la alta dirección en la decisión de implementar TPM en la flota de vehículos de Carga.

Antes de dar este primer paso, se recomienda que la alta dirección tenga la plena convicción de la necesidad y la utilidad de implementar TPM en la flota de vehículos de carga. Tanto la gerencia de mantenimiento automotriz como la gerencia de operaciones deben tener claras las ventajas de implementar como equipo esta filosofía, recordando que estas dos áreas son claves para lograr los objetivos del TPM. Se ha dicho anteriormente que el compromiso de la alta dirección es un factor crítico de éxito, debido a que es necesario promover la creación de un entorno de trabajo favorable que fomente el cambio cultural en todos los niveles.

Dicho esto, se deben realizar reuniones con todas las áreas y utilizar los medios de comunicación internos para dar a conocer a los empleados la intención de implementar TPM en la organización.

Paso 2: Campaña de educación para la introducción del TPM.

Esta etapa comprende el desarrollo de una campaña de difusión a gran escala que permita a los empleados comprender los conceptos del TPM y cuál va a ser el papel de cada grupo en su implementación. En esta etapa se busca fomentar una cultura de responsabilidad conjunta de los vehículos entre los integrantes del área de mantenimiento automotriz y el área de operaciones a cargo de los conductores, un aspecto importante de esta etapa es minimizar la resistencia al cambio que se pueda generar de la divulgación de las responsabilidades que los conductores van a tener como primera línea de mantenimiento.

Esta situación podría interpretarse en el área de operaciones como una pérdida de tiempo de producción, al considerar el hecho de que los conductores deberán desempeñar labores de mantenimiento básico sobre los vehículos, ya que hasta el momento se tiene el concepto que los técnicos de mantenimiento son los responsables de estas tareas básicas y el área de operaciones puede percibir este cambio como un aumento en sus responsabilidades diarias. Esta labor requiere el acompañamiento de otras áreas de apoyo de la organización tales como desarrollo humano y entrenamiento.

Con el fin de que todos comprendan las características del TPM y logren reconocer y valorar sus beneficios, se proponen desarrollar jornadas de sensibilización diseñadas para grupos focales de técnicos, conductores, personal de las tripulaciones, coordinadores, jefes de área, áreas de apoyo entre otras.

Paso 3: Conformación de la estructura organizacional para la promoción del TPM.

Para la conformación de la estructura organizacional para la promoción del TPM, y tomando como base la estructura organizacional de la compañía en estudio, se proponen conformar los siguientes grupos, con líderes definidos que conforman una estructura superior tal que garantice que la información fluya de manera horizontal y vertical más fácilmente:

- Líder Nacional TPM: Se debe nombrar un líder TPM que reporte directamente a la alta dirección, este líder tiene la función de dirigir una organización llamada "Oficina de TPM". El objetivo general de la oficina de TPM es organizar y coordinar las actividades desde la etapa de preparación hasta la etapa de ejecución. Es conveniente que el director de mantenimiento de la organización asuma este rol debido a que su posición estratégica le facilitará cumplir con los objetivos del cargo al estar en contacto directo con la alta dirección, así como con los líderes

de todas las áreas involucradas en el proceso de implementación. Esta oficina está compuesta por dos áreas funcionales denominadas equipo de promoción y equipo de entrenamiento y educación. Adicionalmente, se recomienda incorporar a la oficina profesionales TPM calificados a plena dedicación en el proyecto, su rol ira cambiando a medida que avance el proceso teniendo gran peso en las etapas iniciales y reduciendo su participación de manera gradual.

- Equipo de Promoción: tiene la misión de establecer un entorno TPM que incentive a los miembros de la organización a tener plena disposición para la implementación del TPM, para ello se deben crear estrategias de promoción utilizando los medios de comunicación disponibles en la compañía, compartiendo el progreso y las experiencias positivas y negativas durante cada etapa del proceso. Se propone que sea gestionado por el líder nacional de comunicaciones junto con su equipo de trabajo.
- Equipo de entrenamiento y educación: Su función es desarrollar un plan maestro de capacitación para cada grupo de empleados con el propósito reducir la brecha de habilidades y conocimientos entre los trabajadores, buscando contar con personal calificado capaz de asumir mayores responsabilidades, mantener y mejorar los vehículos a su cargo fomentando la autoestima, la productividad, la estandarización de las tareas y la polivalencia. Este equipo deberá ser gestionado por el líder nacional de entrenamiento junto con su equipo de trabajo, en este equipo los instructores de conductores tienen un rol fundamental debido a que serán los encargados de diagnosticar y participar en el plan maestro de capacitación para los conductores en lo relacionado con el mantenimiento autónomo.
- Líder de promoción del TPM de Regional: Con el propósito de incentivar la implementación del TPM en cada sede de la organización, el gerente de dicha regional será el encargado de conformar el equipo de promoción, sus funciones serán entre otras alinear la agenda TPM con la agenda regional, planificar, ejecutar, revisar y monitorear el progreso de las actividades de TPM en los departamentos de producción y mantenimiento a su cargo, participar en las reuniones periódicas para evaluar los avances y el cumplimiento del plan maestro de implementación.
- Líder TPM área de operaciones: Su objetivo es crear el comité de promoción del TPM en Operaciones, conformado por algunos coordinadores de operaciones con

habilidades de liderazgo y comunicaciones. La función de este comité es fomentar en los miembros la implementación del mantenimiento autónomo buscando que los conductores cuenten con habilidades de mantenimiento que aumenten la productividad de los vehículos a cargo. Los instructores de conductores como líderes del pilar de mantenimiento autónomo pertenecerán a este comité monitoreando el cumplimiento del plan de implementación y liderando el grupo de conductores de la regional, adicionalmente tendrá como meta ejecutar actividades encaminadas a lograr la mejora continua de este proceso. Se propone que el jefe de producción de la regional sea el líder de este comité.

- Líder TPM área de mantenimiento: su objetivo es crear el comité de promoción del TPM en Mantenimiento conformado por los supervisores y algunos técnicos de mantenimiento con habilidades de liderazgo y comunicaciones. La función de este comité es implementar el pilar de mantenimiento planificado ejecutando actividades de mantenimiento encaminadas a eliminar las averías en los vehículos, aumentar la disponibilidad de estos con el objetivo de maximizar su productividad. Se propone que el jefe de mantenimiento de la regional sea el líder de este comité.
- Líder TPM de mejoras enfocadas: Su objetivo es crear un equipo interdisciplinario conformado por los ingenieros de mantenimiento y producción, con el propósito de plantear y ejecutar las actividades encaminadas a reducir las seis grandes pérdidas atribuibles al funcionamiento de los vehículos y garantizar una producción de alta eficiencia. Se propone que el coordinador nacional de productividad sea el líder de este comité.

El establecimiento de la estructura del TPM que se ilustra en la figura 6 configura el modelo organizativo formal para la implementación de TPM, la cual incentiva la participación de los empleados en todos los niveles de la organización.

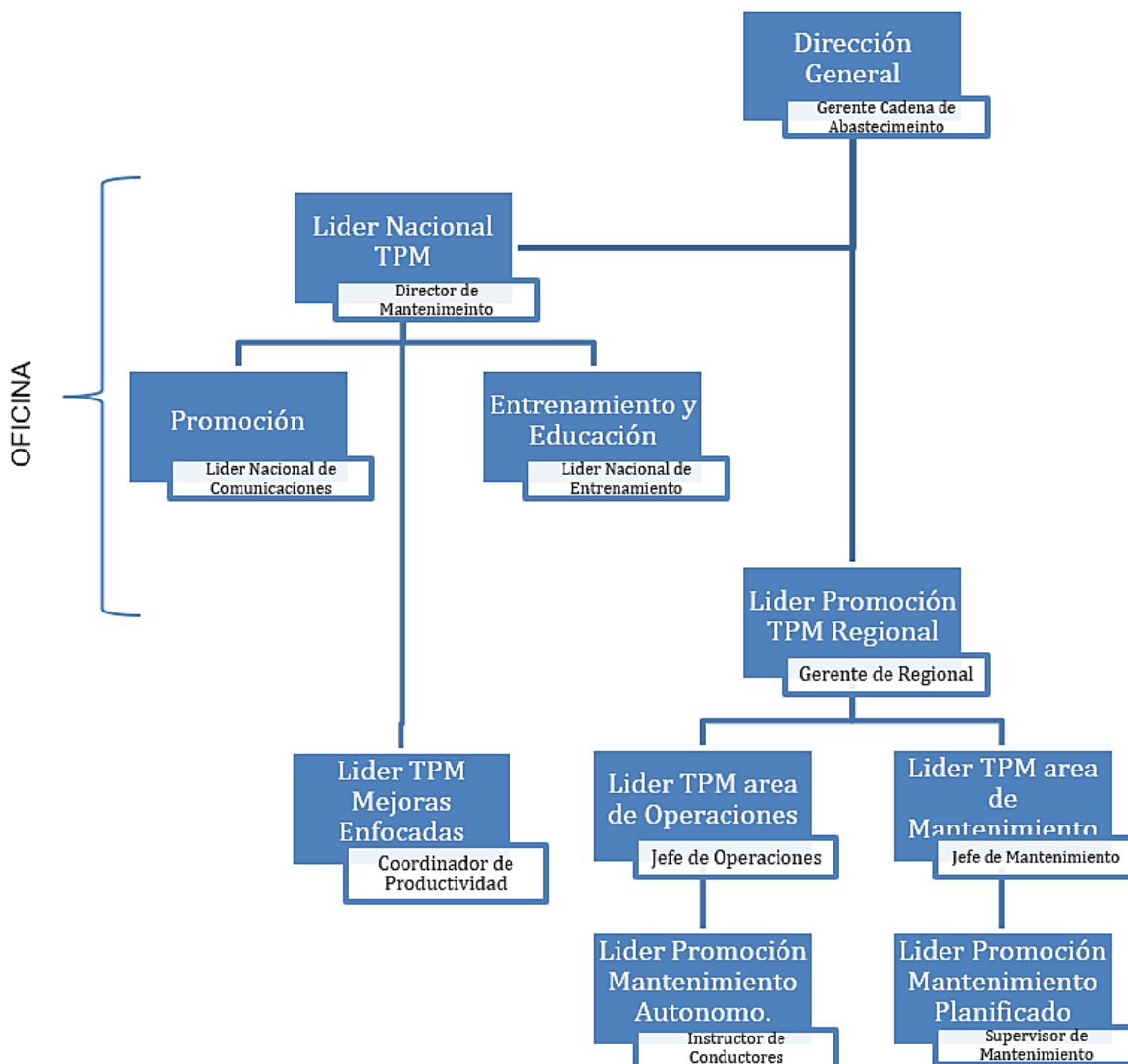


Figura 8. Estructura del TPM

Paso 4: Establecimiento de las políticas y objetivos del TPM.

En esta etapa la alta dirección junto con el líder TPM nacional deberán definir la política del TPM teniendo en cuenta la alineación que esta debe tener con los objetivos estratégicos de la organización. La oficina de TPM tendrá la tarea de fijar los objetivos concretos a alcanzar y las directrices a seguir a corto y mediano plazo. Para esto se deberá analizar previamente el punto de partida de la organización, es ideal si se cuentan con datos estadísticos de averías, tasa de defectos y rendimientos de los vehículos. Esto configura la línea base de mantenimiento sobre la cual se deberán fijar los objetivos medibles y alcanzables del proyecto TPM.

Dos de los objetivos corporativos de la organización bajo estudio son la rentabilidad y la transformación cultural organizacional. El TPM se fundamenta en la cultura organizacional para la obtención de la máxima eficiencia en el proceso productivo y en la gestión de los equipos, observando la similitud de estos objetivos se puede argumentar que existe una compatibilidad y es posible alinear los objetivos del TPM con los objetivos estratégicos de la organización, uno de los factores críticos de éxito identificados anteriormente en la literatura.

Paso 5: Elaboración del plan maestro para la implementación del TPM.

Después de la configuración de políticas y objetivos, la oficina de TPM es responsable de establecer un plan maestro para el desarrollo del programa, dicho plan debe establecer los detalles de las principales actividades a ejecutar, así como indicar el tiempo programado para iniciar y completar cada fase. Se proponen las siguientes actividades como línea base para la estructuración del plan:

- Plan de formación y entrenamiento para fortalecer e incrementar los conocimientos y aptitudes del personal de mantenimiento, conductores y demás integrantes del programa.
- Establecimiento del programa de mantenimiento autónomo a cargo de los conductores y liderado en su etapa de implementación por el instructor de conductores junto con el área de producción.
- Establecimiento del programa de mantenimiento planificado a cargo del personal técnico con el liderazgo del jefe de mantenimiento.
- Estructuración del programa de gestión temprana de equipos, a cargo del equipo de productividad en cabeza de su líder el coordinador de productividad y con la participación de un equipo interdisciplinario conformado por personal de mantenimiento y producción.

3.3.2 Fase de introducción

Paso 6: Inicio del programa TPM.

El propósito de esta fase es el de cultivar una atmósfera que aumente la moral y la dedicación de los trabajadores, es la conexión entre la etapa de preparación y la etapa de ejecución. Es conveniente hacer una campaña de lanzamiento con todos los miembros del programa en la cual la alta dirección junto con el director de mantenimiento como líder nacional TPM dé a conocer los trabajos y planes desarrollados durante la fase de preparación, así mismo deberá socializar

la estructura promocional de TPM, la política y los objetivos definidos, así como el plan maestro de implementación. Como parte del compromiso adquirido se propone la realización de una actividad de cierre en la cual un grupo en representación de los trabajadores afirme su compromiso para el lograr los objetivos TPM.

Se considera una fase, pero en realidad es el inicio de la implantación que se describe en la siguiente sección.

3.3.3 Fase de implantación

En esta fase, se deben desarrollar las actividades propuestas en el plan de implementación, se definen responsables y se asignan tiempos de ejecución de cada actividad. Lo anterior busca evitar caer en los retrasos y falta de coordinación propios de introducir un nuevo modelo de gestión en una organización, para ello es importante ajustarse a los plazos definidos y realizar seguimientos periódicos para ajustar los procesos y cronogramas planteados en el plan de implementación TPM.

Debido a que la organización en estudio cuenta con 7 talleres a nivel nacional y aproximadamente 900 vehículos en su operación, se debe hacer una implementación gradual de TPM, es decir que se debe seleccionar una regional piloto para realizar la implementación con el propósito de aplicar las actividades definidas en el plan maestro de implementación, ajustando el cronograma y fases que posteriormente se apliquen a nivel nacional. Al verificar la estructura organizacional de la compañía, se encuentra que existe una regional que posee una cantidad reducida de vehículos en su operación local de última milla de tipología homogénea, así como un grupo de conductores y personal de mantenimiento que no superan los 40 empleados, a continuación, se describen las características básicas de esta regional:

- 35 vehículos de última milla marca CHEVROLET tipo NKRIII modelo 2012.
- 38 conductores asignados a la operación de reparto y recogida local.
- 10 técnicos de mantenimiento de diferentes disciplinas entre mecánicos, electricistas, lubricadores entre otras.
- 1 ingeniero como líder de mantenimiento regional.
- 1 ingeniero como líder de producción.

Con dichas características se considera esta regional como la mejor candidata para implementar las siguientes fases de la hoja de ruta tomando como base la estructura TPM definida en el paso 3 de esta sección.

Paso 7: Educación y Formación.

Para ejecutar los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado y mejoras enfocadas, es necesario contar con personal calificado que posea habilidades técnicas y competencias transversales, es por ello que en esta etapa del proceso se requiere hacer un esfuerzo especial pero muy valioso en entrenar al personal involucrado en el TPM. Se deberá evaluar periódicamente cada persona con el propósito de realizar planes de capacitación según su nivel de capacidades adquiridas en las etapas iniciales. Tomando como base el diagnóstico realizado en la fase de entrevistas a miembros de la organización en estudio, a continuación, se describe la estructura del plan de formación para conductores y técnicos de mantenimiento:

Para los conductores como responsables del mantenimiento autónomo, se propone el desarrollo de un plan de estudios de capacitación que se compone de un sistema de certificación de habilidades de conocimiento y operación del vehículo a cargo, así como el desarrollo de habilidades de mantenimiento en inspección, lubricación y diagnóstico básico de fallas de los componentes críticos del vehículo. Esta formación tiene como objetivo que el conductor como operador del camión tenga una visión técnica del vehículo para contribuir a mejorar la disponibilidad y prevenir fallas de manera rápida y práctica. Se propone el siguiente temario como módulos básicos del programa de formación:

- Técnicas de operación eficiente de vehículos de carga, basadas en la interpretación de curvas de torque y potencia de motores combustión interna.
- Inspección preoperacional de los vehículos de carga, aplicando la lista de chequeo con los componentes críticos del vehículo. Es conveniente construir esta lista de chequeo basado en la información de los componentes críticos que históricamente han causados fallas en ruta según la tipología de vehículos de la regional.
- Conocimientos y principio de funcionamiento de los principales sistemas de los vehículos entre los que se incluyen el motor de combustión interna, el sistema de refrigeración y lubricación del motor, el sistema de transmisión de potencia, el sistema de suspensión y dirección, el sistema de frenos, el sistema eléctrico,

sistemas de seguridad activa y pasiva, llantas y demás sistemas que se consideren relevantes.

- Técnicas de manejo defensivo y preventivo, este módulo debe hacer énfasis en normas de tránsito, legislación vigente, conducción en condiciones adversas, conducción en vías nacionales y urbanas entre otras.

Para el personal técnico como responsable del mantenimiento planificado, se propone el desarrollo de un plan de estudios de capacitación basado en formación técnica en conocimiento de producto según la marca y tipología de vehículos de la regional, es conveniente que el director de mantenimiento realice acercamientos para que sean los proveedores de vehículos y repuestos quienes desde su conocimiento especializado participen en las sesiones de formación. Se propone el siguiente temario como módulos básicos del programa de formación:

- Mantenimiento integral de los vehículos de carga, su objetivo es explicar a los supervisores y personal de mantenimiento la teoría de funcionamiento de los principales sistemas de vehículo, la identificación de componentes de cada sistema, la utilización de herramientas y técnicas de diagnóstico disponibles, el diagnóstico y reparación de los sistemas de los vehículos siguiendo los procedimientos establecidos en los manuales del fabricante.
- Fundamentos básicos de mantenimiento preventivo y predictivo aplicado en la gestión de mantenimiento de flotas de vehículos de carga, su propósito es entrenar al personal en técnicas de mantenimiento predictivo tales como interpretación de análisis de aceite, utilización de herramientas especializadas para el monitoreo de variables críticas como temperatura, presión entre otras.

Para el equipo de mejoras enfocadas integrado por personal de mantenimiento y operaciones, se propone realizar entrenamiento especializado en técnicas avanzadas de análisis de causa raíz, diagramas de causa efecto, metodología de cinco porqués, SMED.

Adicionalmente, la oficina de TPM será responsable del entrenamiento en conceptos básicos de TPM, como tarea inicial se deberá entrenar a todos los miembros del programa en la metodología de las 5S para su posterior implementación en la organización. Así mismo tendrá la responsabilidad de entrenar al personal en el desarrollo de habilidades blandas tales como el trabajo en equipo, comunicación asertiva, resolución de problemas, liderazgo y capacidad de adaptación al cambio entre otras.

Paso 8: Mejoras Enfocadas.

El objetivo de esta etapa del proceso es organizar un equipo interdisciplinario liderado por el coordinador de productividad de la organización y conformado por el jefe de mantenimiento, el jefe de producción y algunos miembros del equipo de mantenimiento y operaciones con el propósito de eliminar las pérdidas de los vehículos, para ello como se mencionó anteriormente se debe seleccionar uno o varios vehículos “modelo” que sufran pérdidas crónicas. Se deben medir y evaluar dichas pérdidas y será el equipo de mejoras enfocadas quien se encargue de crear e implementar un programa tendiente a reducirlas o eliminarlas.

La selección de la máquina modelo es un paso crítico en TPM, especialmente en la etapa inicial. La medición de resultados en la reducción de las pérdidas de la máquina modelo en una etapa temprana tendrían un efecto positivo moral en los colaboradores (Chan et al., 2005).

Como se afirmó anteriormente, el OEE es un indicador que se utiliza para determinar la eficacia global de los equipos, y es el método más preciso y ampliamente utilizado para medir el éxito del TPM. Dicho indicador depende de tres variables asociando su medición a las seis grandes pérdidas en una flota de vehículos de carga. Será el equipo de mejoras enfocadas el encargado de definir formatos y procedimientos para registrar y tabular los indicadores que se describen a continuación:

Disponibilidad (A): Las pérdidas de disponibilidad de los vehículos están asociadas con las paradas no programadas, es decir las varadas en ruta producto del mal funcionamiento del equipo. Se debe medir y registrar el tiempo desde el momento en que el conductor reporta la novedad hasta el momento en que el vehículo es puesto operativo nuevamente por el área de mantenimiento. Por otra parte, las paradas programadas de los vehículos que afecten el tiempo planeado de producción, que para el caso de la regional piloto es de 16 horas también deberán ser medidas y registradas. Con estos tiempos registrados se podrá calcular la disponibilidad de los vehículos en la implementación inicial del TPM.

Rendimiento (P): Este indicador está asociado con la cantidad de piezas producidas, el tiempo de producción y la tasa de producción ideal de la máquina, para el caso de los vehículos de carga, el área de producción deberá establecer la meta de productividad de cada vehículo, utilizando los datos históricos de unidades entregadas o recogidas por ruta, luego se deberá registrar la cantidad de entregas o recogidas realizadas y las novedades presentadas en cada turno operativo. Este será el insumo para calcular el rendimiento del vehículo.

Calidad (Q): En el entorno TPM, la calidad está asociada con la cantidad de piezas buenas sobre el total de piezas producidas por una máquina, se puede asociar este concepto al transporte de carga como las pérdidas de calidad producidas por las averías que se causan a las unidades en el momento de su transporte, que se pueden dar durante el cargue o descargue así como por condiciones propias del mismo vehículo, un ejemplo es las fallas en impermeabilización que causa que las unidades se mojen durante el transporte en condiciones climáticas adversas. Se deberán medir y cuantificar estas unidades averiadas y su causa raíz para calcular este indicador.

Una vez medidos estos índices por separado es posible calcular el OEE de los vehículos bajo prueba, con esta información el equipo de mejoras enfocadas deberá realizar el análisis de causa raíz para obtener las causas Pareto de las pérdidas y con los resultados del análisis plantear un plan de acción con todas las actividades enfocadas en maximizar el OEE, definiendo objetivos de cada actividad, responsables y realizando un seguimiento periódico para reportar a la oficina de TPM los avances alcanzados en cada etapa del proceso.

Las mejoras que decidan implementarse deberán ser concretas y asequibles en corto plazo para lograr un aumento apreciable en la eficiencia, se deberá procurar tomar la mayor cantidad de información posible cuidando de no sobrecargar a los responsables del registro, la recopilación de datos demasiado detallada puede resultar en personal desmotivado y una reacción contra la medición.

Paso 9: Mantenimiento Autónomo.

La adopción del mantenimiento autónomo tiene como propósito que el operario de producción asuma tareas de mantenimiento, en esta etapa se tienen dos objetivos asumidos por los operadores, las tareas de limpieza, lubricación y ajustes menores que hacen parte del mantenimiento preventivo y la detección temprana de fallas derivadas de la inspección, esta última tarea hace parte del mantenimiento predictivo.

En la organización en estudio, se pudo evidenciar que este tipo de mantenimiento tiene algún grado de implementación, debido a que cuentan con un procedimiento establecido en el cual se entrena a los conductores en conocimientos básicos de mecánica enfocada en vehículos de carga y se socializa la lista de chequeo oficial para la inspección previa a cada viaje. Es responsabilidad de los conductores aplicar el procedimiento y reportar en los formatos establecidos al área de mantenimiento si se detecta alguna anomalía.

Sin embargo, no se cuenta con un sistema de validación que permita identificar en qué grado los conductores aplican de manera sistemática esta lista y reportan de manera oportuna las fallas al área de mantenimiento, se tiene aún el concepto arraigado en los conductores y en la propia área de operaciones que su objetivo es salir a realizar entregas o recogidas, y que es responsabilidad del área de mantenimiento asegurar que los vehículos estén en óptimas condiciones en todo momento con una alta confiabilidad.

Por tal razón, en algunos casos los conductores y el área de operaciones no conocen el programa de mantenimiento preventivo de los vehículos, carecen del conocimiento para hacer una buena inspección o su sentido de pertenencia por los vehículos a cargo no está lo suficientemente arraigado. Esto es aún más crítico en regionales donde el cargo de conductor tiene una alta rotación, esta condición actualmente es un común denominador en las empresas de transporte de carga en Colombia.

La implementación del mantenimiento autónomo en los vehículos de carga, tiene una condición que lo diferencia de su aplicación en equipos fijos de una línea de producción, mientras en una línea de producción muchas veces los técnicos de mantenimiento se encuentran presentes o a poca distancia, en el caso de los vehículos de carga, las fallas se pueden presentar en rutas donde las distancias a las que se encuentran los técnicos de mantenimiento pueden ser tales, que para poner el vehículo operativo se requieren de horas o días, impactando negativamente el indicador de disponibilidad e incurriendo en altos costos de desplazamiento, derivados de los viáticos para el personal de mantenimiento así como en grúas para llevar los vehículos a los talleres de reparación.

Por esta razón, la apropiación de los vehículos por parte del área de operaciones en cabeza de los conductores toma especial importancia, las mejoras que el mantenimiento autónomo supone para la eficiencia de los vehículos debe ser tenida en cuenta para dar un impulso a esta etapa del proyecto por parte de la oficina de TPM, en cabeza del director de mantenimiento. Esta etapa de implementación debe ser liderada por el área de operaciones a cargo de los conductores y apoyado por el instructor, su función será dar entrenamiento y hacer seguimiento a los indicadores de número de inspecciones, cantidad de reportes de operador a mantenimiento derivadas de la inspección, así como cantidad y tiempos de paro de los vehículos ocasionados por una falla en la detección temprana de averías por parte de los conductores. Se deberán hacer reuniones interdisciplinarias entre el área de operaciones, mantenimiento y la oficina TPM para hacer seguimiento a la evolución de la implementación y el impacto sobre el OEE de los vehículos

modelo. A continuación, se proponen introducir este mantenimiento en tres niveles de manera progresiva a saber:

- Nivel básico: en el cual se introducen las actividades del mantenimiento autónomo referentes a mantenimiento preventivo tales como el engrase, la limpieza y el ajuste de los componentes fijos o móviles de los vehículos.
- Nivel de eficiencia: Una vez se logre un nivel de implementación completo por parte de los conductores para el nivel básico, se introducen en esta etapa las actividades de mantenimiento predictivo que buscan obtener mejoras efectivas en el indicador OEE de los equipos, producto de la detección temprana de fallas durante la inspección previa al inicio de la ruta, así como la identificación de condiciones críticas durante la operación del vehículo tales como ruidos anormales, alta temperatura o exceso de vibración en los componentes críticos entre otras. Se busca que los vehículos alcancen un nivel óptimo de funcionamiento.
- Nivel de plena implantación: En este nivel se debe introducir la estandarización de las actividades, la mejora continua, el seguimiento a los indicadores, así como los sistemas de control visual para masificar su comunicación a todos los niveles de la organización involucrados en este proceso. Se debe definir además un sistema para validar que los hábitos de ejecución de actividades se mantengan en los niveles alcanzados y no se degraden con el tiempo, es necesario que se realice una revisión constante a las tareas asignadas en el mantenimiento autónomo para garantizar que se están ejecutando y que se adaptan a los nuevos requerimientos de los vehículos que ingresan a la flota.

Paso 10: Mantenimiento Planificado.

Los objetivos de implantar el mantenimiento planificado son establecer un programa de mantenimiento para lograr la máxima eficiencia para los equipos y procesos, así como obtener la rentabilidad económica buscando la máxima eficiencia en la gestión del mantenimiento. Lo anterior implica, que es deseable que las tareas de mantenimiento sobre los vehículos se lleven a cabo en los tiempos muertos (tiempo no planeado para producción) con el propósito de generar el menor impacto posible en el indicador de disponibilidad. Por otra parte, las actividades propias del mantenimiento autónomo son insumo para la planeación del mantenimiento. Es decir que los reportes de los operadores derivados de las inspecciones permiten a los encargados del mantenimiento ajustar las frecuencias de las actividades de mantenimiento, buscando que las novedades menores sean corregidas antes de que se convierta en fallas catastróficas, defectos de calidad o reducción en la eficiencia. La implantación de un mantenimiento planificado eficaz debería dar como resultado una relación armónica entre las áreas de operaciones y mantenimiento.

En esta fase del proceso, el personal de mantenimiento será responsable de recopilar información, estandarizar tareas, documentarlas, estandarizar repuestos y recursos para las intervenciones sobre los vehículos, buscando minimizar los tiempos de intervención en el taller. Así mismo, la oficina de TPM propenderá por implementar las actividades dirigidas a mejorar las condiciones operativas del vehículo, así como perfeccionar las técnicas de mantenimiento y habilidades del personal.

Se proponen seis etapas para la implementación del mantenimiento planificado ajustando cada etapa al nivel de implementación actual con el que cuenta la organización en estudio, así como los requerimientos mínimos de TPM:

Etapa 1, análisis y conocimiento de la condición actual de los vehículos: para poder diseñar y ajustar el sistema de mantenimiento planificado a las necesidades TPM, es necesario contar con la mayor cantidad de datos históricos referentes al mantenimiento. Se debe contar mínimo con registros tales como la hoja de vida de los equipos, donde se encuentra la información de la fecha de puesta en operación, historial de averías e intervenciones discriminando su tipología, se requiere identificar si dichas intervenciones fueron actividades de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo, así como los costos derivados de dichos mantenimientos. Así mismo, los registros de análisis estadístico del tiempo medio entre fallos MTBF, tiempo medio de reparación MTTR de los vehículos. Con esta información recopilada, se debe realizar una

evaluación de criticidad de los equipos en función su mantenibilidad, criticidad productiva, disponibilidad y confiabilidad. En este punto se deberá conformar un comité con los departamentos de producción, finanzas y productividad con el propósito de ponderar la necesidad de mantenimiento planificado de cada vehículo, así como la asignación de recursos para su ejecución.

Etapa 2, restauración del vehículo a su estado óptimo de operación: el mantenimiento planificado debe tener una articulación directa con el mantenimiento autónomo, para esta etapa de implementación se debe trabajar con el grupo de conductores y el área de mantenimiento para atender aspectos tales como, la atención de condiciones de malfuncionamiento detectadas pero no subsanadas por los conductores, el entrenamiento de los conductores para la inspección con el propósito de crear un estándar básico de condiciones operativas necesarias para salir a ruta, disminuyendo la probabilidad de que se presenten novedades, así mismo se deberán entrenar a los conductores sobre intervenciones de ajuste y correcciones menores sobre los componentes críticos de los vehículos sin la necesidad de intervención por parte de los técnicos de mantenimiento. Por otra parte, el área de mantenimiento deberá propender por medir, analizar y controlar las posibles debilidades que presenten los vehículos a lo largo de su vida operativa, para ello se deberá registrar la información sobre descripción de la falla, condiciones operativas previas, ubicación de la falla, así como las acciones correctivas llevadas a cabo para restaurar su equipo a una condición operativa.

Etapa 3, establecimiento de un sistema de control de información: la cantidad de información que se maneja en mantenimiento requerirá en la mayoría de los casos de un sistema informático capaz de gestionar bases de datos de gran tamaño de manera eficiente. Sin embargo, antes de hacer grandes inversiones en este campo es recomendable cual es la situación actual de la compañía y que nivel de información requiere, para el caso de la organización en estudio, se cuenta con un software de mantenimiento el cual cuenta con las características antes mencionadas. Se requiere entonces ajustar el registro de información en el sistema a las necesidades propias del mantenimiento planificado TPM tales como control de datos de fallo, tipo y cantidad de intervenciones, presupuesto y piezas de recambio y manuales de fabricante entre otros.

Etapa 4, establecimiento de un programa de mantenimiento periódico: este mantenimiento pretende consolidar la ejecución sistemática de las actividades del mantenimiento preventivo, se deben establecer rutinas estandarizadas donde se especifiquen las tareas a ejecutar, los

responsables, las herramientas, insumos y piezas de recambio de tal manera que el tiempo de paro del vehículo sea el menor posible. Estas rutinas deberán estar basadas en variables de control por tiempo o kilometraje recorrido con sus respectivas frecuencias definidas. Es fundamental tener un control en la evolución del mantenimiento planificado, con indicadores que permitan verificar su eficiencia tanto a los vehículos, como al personal involucrado de los conductores y los técnicos de mantenimiento.

Etapa 5, establecimiento de un sistema de mantenimiento predictivo: aunque la implementación de un programa de mantenimiento preventivo reduce notablemente la probabilidad de averías o fallas en los vehículos, se pueden presentar fallas inesperadas que revelan ineficacia en el plan de mantenimiento preventivo, esto se puede presentar porque la frecuencia de intervención está basada en intervalos tentativos definidos estadísticamente. Es en este punto donde el mantenimiento predictivo basado en condiciones complementa el plan de mantenimiento planificado buscando reducir a cero la probabilidad de averías. Para el caso de los vehículos de carga, se emplean técnicas de monitoreo en tiempo real de variables críticas, aprovechando las ventajas que estos vehículos ofrecen, al contar con módulos de diagnóstico de abordaje en las computadoras que gestionan los diferentes sistemas del vehículo, permitiendo la conexión remota y basándose en sistemas de comunicación por telemetría y posicionamiento global para transmitir la información a una central de monitoreo donde se almacenan y gestionan los datos para su posterior procesamiento.

Etapa 6, evaluación del mantenimiento planificado. Como se ha expuesto, el mantenimiento planificado no solo es responsabilidad del área técnica, por el contrario, en esta implantación confluyen los esfuerzos conjuntos del área de operaciones, mantenimiento y las áreas de apoyo de la organización, es por esto que es conveniente realizar una evaluación periódica del desempeño de los indicadores clave definidos en el proceso, estas evaluaciones permitirán en función de los resultados revisar las estrategias o plantear nuevas metas más ambiciosas.

Paso 11: Gestión Temprana de Equipos.

El programa de gestión temprana de equipos tiene como propósito el diseño de nuevos equipos que minimicen casi a cero la necesidad de intervención de mantenimiento, se podría pensar en equipos o máquinas "libres de mantenimiento". Para conseguir este objetivo hay que actuar desde la concepción del equipo, su operación normal con producción estable con productos de calidad con cero defectos, esto se conoce como ciclo de vida, recordemos que uno de los factores críticos de éxito en la implementación del TPM es la gestión temprana de equipos buscando

minimizar el costo económico en todo el ciclo de vida de los equipos, empezando por las fases de planificación de inversión de equipos, diseño, fabricación, instalación, pruebas y puesta en marcha. Si bien en el contexto de vehículos de carga, el concepto de “fabricar equipos” estaría fuera del alcance de las compañías de transporte, la gestión temprana de equipos tiene un capítulo aparte en la gestión de flotas de vehículos de carga, debido a que los costos de adquisición de los activos y los costos operativos que no se gestionen de forma eficiente pueden impactar negativamente las finanzas de la organización, llegando a hacer en algunos casos inviable la operación de transporte. Es por ello por lo que la selección de aquellas tipologías que se adecuen de manera más eficiente al tipo de operaciones que desempeña la compañía toma especial relevancia en esta etapa.

Conviene entonces, desde las fases tempranas de planeación de adquisición de vehículos, trabajar de la mano de los fabricantes para buscar camiones cada vez más eficientes en costos de operación, especialmente en lo que tiene que ver con rendimiento de combustible, llantas y costos de mantenimiento, así como periodos cada vez más extendidos de recambio de componentes y diseño de componentes que faciliten a los mantenedores ejecutar las intervenciones en el menor tiempo posible.

3.3.4 Fase de consolidación

Paso 12: consolidación del TPM contemplando metas más ambiciosas. Como se mencionó anteriormente, en esta fase del programa se realiza una evaluación para perfeccionar la implantación del TPM y fijar nuevas metas y objetivos más ambiciosos. Para el caso de la compañía en estudio, se planteó inicialmente la implantación del TPM en una regional piloto, en esta punto se deberá realizar el análisis de resultados, revisando y analizando si con el camino recorrido es posible hacer un lanzamiento de implantación del TPM en una regional intermedia ajustando los tiempos y fases de la presente hoja de ruta, con el propósito de hacer un proceso de implementación estructurado que lleve a futuro a la implantación total del TPM en las siete regionales gestionando así el 100% de la flota de vehículos de la organización.

4. Conclusiones

La adopción del TPM como estrategia de mantenimiento aplicable a la flota de vehículos de carga de una empresa de transporte en Colombia, requiere la plena participación y compromiso de la alta dirección desde la concepción del proyecto, los directivos deben tener pleno convencimiento de la contribución de la función mantenimiento en el logro de los objetivos estratégicos de la organización, asegurar y disponer los recursos humanos, financieros, y poner a disposición de la oficina TPM las áreas de apoyo propias de la organización durante la implementación del programa, garantizando la participación y empoderamiento de los empleados en todos los niveles y gestionando el cambio en la cultura organizacional tan necesario para asegurar el éxito del TPM y obtener los beneficios esperados en la eficiencia global de los equipos con su implementación.

Los siete factores que fueron identificados como determinantes en la implementación del TPM en el contexto de mantenimiento de flotas de vehículos de carga, empleando la herramienta de priorización AHP (proceso de análisis jerárquico), son para los gerentes de mantenimiento automotriz de las empresas de transporte, la base para identificar los desafíos a los cuales se enfrentaran si deciden adaptar esta filosofía a la gestión del mantenimiento de sus flotas de vehículos a cargo y de esta manera enfocar sus esfuerzos en fortalecerlos para lograr el éxito y la sostenibilidad del programa TPM en el largo plazo.

En la literatura, el TPM ha sido ampliamente aplicado al mantenimiento industrial, sin embargo, no se han encontrado muchos estudios sobre su implementación en la gestión de mantenimiento de vehículos, por esta razón se recomienda a los gerentes de flota realizar la introducción inicial de aquellos pilares del TPM que se pueden integrar rápidamente a las estrategias de mantenimiento actuales empleadas en las empresas de transporte. Tres de los pilares que cumplen esta condición son el mantenimiento autónomo, el mantenimiento planificado y las mejoras enfocadas, su implementación en las etapas tempranas pueden aportar en corto plazo

a la mejora de los indicadores de desempeño de los vehículos y en consecuencia el aumento en la moral de los trabajadores durante el desarrollo del proyecto TPM.

La implementación de dos de los pilares del TPM supone una relación directa con la mejora en la mantenibilidad de la flota de vehículos, si la mantenibilidad tiene una relación directa con el tiempo medio de reparaciones MTTR, y dicho indicador depende de la cantidad de intervenciones y el tiempo necesario para ejecutar las actividades de mantenimiento sobre los vehículos, entonces el mantenimiento autónomo a cargo de los conductores asumiendo tareas técnicas básicas y la gestión temprana de equipos que busca desarrollar nuevos camiones con baja necesidad de intervenciones, tienen como consecuencia la reducción en la cantidad de ingresos al taller y menores tiempos de inactividad de los equipos lo que conlleva al aumento del indicador de mantenibilidad.

Este documento allana el camino para futuras investigaciones con aplicación práctica de la adopción del TPM como filosofía para la gestión eficiente del mantenimiento en las flotas de vehículos de carga, la estrategia planteada junto con la hoja de ruta son el insumo principal para adaptar el TPM al entorno y las particularidades del mantenimiento de estos activos móviles, y está orientada a aquellas organizaciones colombianas que busquen implementar estrategias que garanticen la mejora continua en la mantenibilidad y disponibilidad de su flota de vehículos.

A. Anexo: Guion de entrevistas semiestructuradas

Factores críticos de éxito relacionados con el desarrollo de recurso humano

Trabajo en equipo interdisciplinario:

1. ¿Existe compromiso de jefes de mantenimiento, coordinadores y personal técnico de mantenimiento con la correcta funcionalidad de los vehículos?
2. ¿Existen diferencias de interés en la disponibilidad de los vehículos para el área de mantenimiento y producción?
3. ¿Se realizan reuniones de trabajo entre el departamento de mantenimiento y producción?
4. ¿Los líderes de producción promueven la participación de los colaboradores de su área en el mantenimiento y conservación de los vehículos?
5. ¿Existen equipos de trabajo interdisciplinario para resolver problemas de producción causados por los vehículos y fomentar la participación de los empleados en todos los niveles?
6. ¿Los empleados de los departamentos administrativos conocen los problemas de productividad que se presentan en el área de operaciones?

Capacitación y educación:

1. ¿Considera que la capacitación del personal de mantenimiento es adecuada?
2. ¿Considera que existe desconocimiento por parte de los empleados (conductores) en la operación de los vehículos a cargo?
3. ¿Conoce el operador el programa de mantenimiento de los vehículos (preventivo y predictivo)?
4. ¿A los operadores se les ha dado entrenamiento en principios de mantenimiento autónomo (inspección, engrase general, sistemas de los vehículos y principios de funcionamiento)?
5. ¿Los operadores son responsables del mantenimiento de su vehículo a cargo?

6. ¿Los empleados de mantenimiento reciben entrenamiento para desempeñar múltiples tareas?
7. ¿Los empleados reciben entrenamiento cruzado, para que puedan sustituir a otros si es necesario?
8. ¿Los empleados reciben entrenamiento para trabajar en equipo y otras habilidades blandas?

Factores críticos de éxito relacionados con los aspectos técnicos

Integración del enfoque de la mejora continua:

1. ¿La dirección de la empresa crea y comunica una visión centrada en la calidad y el mantenimiento?
2. ¿La organización implementa iniciativas de mejora continua tales como Administración total de la calidad, Justo a Tiempo, Seis Sigma?
3. ¿La organización establece relaciones de largo plazo con sus proveedores?
4. ¿Los proveedores cuentan con certificaciones que acrediten la calidad?
5. ¿La organización cuenta con procesos bajo el control y medición de la calidad aplicando técnicas de control estadístico?

Consideraciones sobre el diseño de equipos:

1. ¿Los programas de mantenimiento se basan en la vida útil de los sistemas y componentes de los vehículos?
2. ¿Existen diferencias entre los tiempos de vida de las partes y componentes proporcionados por los proveedores y los reportados por la empresa en el desempeño diario de los vehículos?
3. Al invertir en vehículos, ¿se considera el mantenimiento como criterio de decisión de compra?
4. ¿Los ingenieros de mantenimiento y producción están permanentemente aprendiendo y mejorando los vehículos después de su puesta en marcha?

5. ¿El desarrollo de equipos propios les ha permitido obtener una ventaja competitiva?

Sistema de medición del desempeño del mantenimiento:

1. ¿Se hace un seguimiento del progreso del programa de mantenimiento y su evaluación?
2. ¿La dirección tiene definidos e identificados los indicadores para el desempeño del programa de mantenimiento?
3. ¿Se cuentan con indicadores de disponibilidad y productividad de los equipos, así como indicadores relacionados con los defectos de calidad o averías en la producción?
4. ¿Cuenta con un programa de mantenimiento autónomo para la flota de vehículos de carga?

Factores críticos de éxito relacionados con la planeación estratégica

Proceso de implementación estructurado:

1. ¿Existe evidencia del liderazgo de la alta gerencia en la implementación de nuevos programas de producción o mantenimiento?
2. ¿Existe evidencia de liderazgo en la implementación de programas por parte de los departamentos de producción o mantenimiento?
3. ¿El plan de implementación contempla una introducción gradual de los programas?

Comunicación eficaz:

1. ¿Existen sesiones informativas realizadas por el equipo responsable del mantenimiento de los vehículos?
2. ¿Existe un programa que garantice que las sugerencias de los operadores y mantenedores de los vehículos sean regularmente evaluadas e implementadas?
3. ¿Existe un programa que garantice que la administración comunique por qué las sugerencias fueron o no implementadas?

4. ¿Los indicadores relacionados con el funcionamiento de los vehículos tales como la frecuencia y duración de varadas, ajustes menores, funcionamiento a velocidad reducida, averías de producto y pérdidas de productividad son graficados y mostrados en el área de producción?
5. ¿En qué niveles de la organización los colaboradores tienen acceso a la información de la productividad y desempeño de ellos mismos y de sus colaboradores a cargo?
6. ¿La dirección promueve sesiones de sensibilización previas a cualquier cambio radical en los programas o procesos de producción o mantenimiento (gestión del cambio)?

Transformación cultural:

1. ¿Los responsables de los equipos de mantenimiento y producción en todos los niveles cuentan con cualidades de liderazgo?
2. ¿La dirección promueve activamente una cultura organizacional y cuenta con programas para incentivarla?
3. ¿La dirección promueve programas de incentivos para premiar los logros obtenidos por los colaboradores en operaciones o mantenimiento?
4. ¿La planta se distingue por estar limpia en todo momento y en todos los departamentos?
5. ¿Los operadores y mantenedores tienen la disciplina de poner todas las herramientas y accesorios en su lugar?
6. ¿La alta gerencia es ejemplo del orden y limpieza en su área de trabajo?

Bibliografía

- Adesta, E. Y. T., Prabowo, H. A., & Agusman, D. (2018). Evaluating 8 pillars of Total Productive Maintenance (TPM) implementation and their contribution to manufacturing performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 290(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/290/1/012024>
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: Literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), 709–756.
<https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Alcaraz, J. L. G. (2011). Factores relacionados con el éxito del mantenimiento productivo total. *Revista Facultad de Ingeniería*, (60), 129–140.
- Alsubaie, B., Yang, Q. (2017). Maintenance process improvement model by integrating LSS and TPM for service organisations. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2023.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-62274-3>
- Arango Serna, M. D., Ruiz Moreno, S., Ortiz Vásquez, L. F., & Zapata Cortes, J. A. (2017). Indicadores de desempeño para empresas del sector logístico: Un enfoque desde el transporte de carga terrestre / Performance indicators for logistics enterprises: A land freight transport scope. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, (4), 707. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S0718.33052017000400707&lang=es&site=eds-live>
- Asgharizadeh, E., Safari, H., & Ajalli, M. (2015). Identification and Ranking the Implementation Barriers of TPM Using Fuzzy AHP: A Case Study of Gas Industry in Iran. *International Journal of Management, Accounting & Economics*, 2(12), 1403–1419. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=116239756&site=ehost-live>
- Badli Shah, M. Y. (2012). Total productive maintenance: A study of Malaysian automotive SMEs. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 3, 1460–1464.
- Bakri, A., Nur Aizat Ahmad, A., & Arif Mahzan, M. (2017). a Review on Critical Success Factors for Total Productive Maintenance and Development of Research Framework, 7(2018), 548–552.

- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*, 95(1), 71–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.021>
- Cuatrecasas, L., & Torrell, F. (2010). *TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva*. Profit Editorial. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=n5qUDVbPA6wC>
- Dávila Pinto, P. G., & García Salazar, M. A. (2017). Identificación de criterios relevantes para la toma de decisión multicriterio con aplicación del modelo AHP y escala de Saaty. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 91–98. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.74>
- Dutta, S., & Dutta, A. (2016). A Review on the experimental study of Overall Equipment Effectiveness of various machines and its improvement strategies through TPM implementation. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 36(5), 224–232. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v36p242>
- Echevarria, I. M., & Walker, S. (2014). To make your case, start with a PICOT question. *Nursing*, 44(2), 18–19. <https://doi.org/10.1097/01.NURSE.0000442594.00242.f9>
- Falsini D., Fumarola A., M. M. S. (2010). Depannage and other maintenance strategies for transportation fleetsD. Falsini, A. Fumarola, M. M. S. (2010). Depannage and other maintenance strategies for transportation fleets. Italy, Europe: DIMEG Università di Bari. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.4C5C03AB&lang=es&site=eds-live>
- Fonseca-Junior, M., Holanda-Bezerra, U., Cabral-Leite, J., & Reyes-Carvajal, T. L. (2015). Programa de gestión de mantenimiento a través de la implementación de herramientas predictivas y de TPM como contribución a la mejora de la eficiencia energética en plantas termoeléctricas. *DYNA (Colombia)*, 82(194), 139–149. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n194.47642>
- Fraser, K., Hvolby, H.-H., & Tseng, T.-L. (2015). Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(6), 635–664. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0185>
- Furch, J. (2010). New trends in a vehicle maintenance system (2010). *Advances in Military*

Technology. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78751613709&partnerID=40&md5=32ada68b22637d435cd4625bdf59b48>

- García Alcaraz, J. L., Maldonado Macías, A. A., & Cortes Robles, G. (2014). Lean manufacturing in the developing world: Methodology, case studies and trends from Latin America. *Lean Manufacturing in the Developing World: Methodology, Case Studies and Trends from Latin America*, 9783319049(3051), 1–584. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04951-9>
- Gómez, A. H., Toledo, C. E., Prado, J. M. L., & Morales, S. N. (2015). Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación en Ciudad Juárez: Una solución factorial. *Contaduría y Administración*, 60, 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2015.08.005>
- Herry, A., Farida, F., & Lutfia, N. (2018). Performance analysis of TPM implementation through Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/453/1/012061>
- Jansiti, M., & Serels, A. (2013). Operations Management Reading: Operations Strategy. *Harvard Business Publishing*.
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014). Total productive maintenance (TPM) implementation practice. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293–323. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>
- Madu, C. N. (2008). Strategic value of reliability and maintainability management. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(3), 5–17. <https://doi.org/10.1108/02656710510582516>
- Meijer, M. (2016). Preventive maintenance of transport vehicles is it improving production stability of a smelter ? *Minerals, Metals and Materials Series*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65136-1>
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & Garcia, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 27(3), 348–360. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052019000300348>

- Mesa Grajales, D., Ortiz Sánchez, Y., & Pinzon, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, *xii*(30), 155–160. Retrieved from <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.unal.edu.co/eds/detail/detail?vid=9&sid=de0143c0-d03c-4a6d-b233-d8ffddd42bcc%40sessionmgr101&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3D%3D#AN=edsbas.2E6A6623&db=edsbas>
- Mishra, R. P., Anand, G., & Kodali, R. (2008). A SWOT analysis of total productive maintenance frameworks. *International Journal of Management Practice*, *3*(1), 51–81. <https://doi.org/10.1504/IJMP.2008.016047>
- Misra, K. B. (2008). Maintenance Engineering and Maintainability: An Introduction. In *Handbook of Performability Engineering* (pp. 755–772). London: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-131-2_46
- Nantes, E. (2019). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la Metodología y Aplicaciones. *Revista de La Escuela de Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, *27*(46), 54–73.
- Ng, K. C., Goh, G. G. G., & Eze, U. C. (2011). Critical success factors of total productive maintenance implementation: A review. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 269–273. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2011.6117920>
- Nooshinfard, F., & Nemati-Anaraki, L. (2014). Success factors of inter-organizational knowledge sharing: A proposed framework. *Electronic Library*, *32*(2), 239–261. <https://doi.org/10.1108/EL-02-2012-0023>
- Raña González, L., Castillo Asencio, O., Baste González, J., & Falcón Cuadra, J. L. (2010). Evaluación de la función mantenimiento en empresas transportistas / Evaluation the maintenance function in those companies dedicated to manage the transportation fleets. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.*, *2*(10). Retrieved from <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.unal.edu.co/eds/detail/detail?vid=5&sid=de0143c0-d03c-4a6d-b233-d8ffddd42bcc%40sessionmgr101&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3D%3D#AN=edsgcl.467048662&db=edsgao>

- Redmer, A. (2014). Strategic vehicle fleet management - the make or buy problem. *LogForum*, Vol 10, Iss 2 (2014) VO - 10, (2). Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.42dc4150c79442b8a36e2509ff780cad&lang=es&site=eds-live>
- Rodrigues, M., & Hatakeyama, K. (2006). Analysis of the fall of TPM in companies. *Journal of Materials Processing Technology*, 179(1–3), 276–279. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.102>
- Rodríguez E., & Bonet C., & P. L. (2013). Propuesta de sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte urbano y agrícola de una base de transporte de carga. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 61–67. Retrieved from <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.unal.edu.co/eds/detail/detail?vid=2&sid=d97b1d19-b3a4-4263-9056-ca662c5010c9%40sessionmgr103&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3D%3D#AN=edsdoj.20ad62d23b9f4756957cd08a00f377bb&db=edsdoj>
- Romero López, R., Noriega Morales, S., Escobar Toledo, C., & Ávila Delgado, V. (2009). Factores críticos de éxito: Una estrategia de competitividad. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, (31), 5–14.
- Seleem, S., Attia, E.-A., & El-Assal, A. (2018). Identification of Critical Success Factors for Total Productive Maintenance. *The International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering*, 18(18), 1–14. <https://doi.org/10.21608/amme.2018.35008>
- Singh, K., & Ahuja, I. S. (2013). Implementing TQM and TPM paradigms in Indian context: Critical success factors and barriers. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 13(3), 226–244. <https://doi.org/10.1504/IJTPM.2013.054880>
- Singh, R. K., Clements, E. J., & Sonwaney, V. (2018). Measurement of overall equipment effectiveness to improve operational efficiency. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 8(2), 246. <https://doi.org/10.1504/ijpmb.2018.10010267>
- Sumanth, D.J., Adya, B. (1990). Practical implementation of total productivity model in bus system. *Journal of Management in Engineering*, 2023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)9742-597X\(1990\)6](https://doi.org/10.1061/(ASCE)9742-597X(1990)6)
- Suzuki, T. (1994). TPM in Process Industries. *TPM in Process Industries*, 1st ed, 416.

<https://doi.org/10.1201/9780203735312>

- Torres, J. (2014). Critical Success Factors Related to the Implementation of TPM in Ciudad Juarez Industry. In J. L. García-Alcaraz, A. A. Maldonado-Macías, & G. Cortes-Robles (Eds.), *Lean Manufacturing in the Developing World: Methodology, Case Studies and Trends from Latin America* (pp. 179–206). Cham: Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-04951-9_9
- Tsang, A. H. C. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1), 7–39. <https://doi.org/10.1108/13552510210420577>
- Vassilakis, E., Besseris, G. (2010). The use of SPC tools for a preliminary assessment of an aero engines ' maintenance process and prioritisation of aero engines ' faults. *Journal of Quality in Maintenance Engineerin*, 2023. <https://doi.org/10.1108/13552511011030291>
- Veldman, J., Wortmann, H., & Klingenberg, W. (2011). Typology of condition based maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(2), 183–202.
<https://doi.org/10.1108/13552511111134600>
- Wibowo, A., & Alfen, H. W. (2015). Government-led critical success factors in PPP infrastructure development. *Built Environment Project and Asset Management*, 5(1), 121–134.
<https://doi.org/10.1108/BEPAM-03-2014-0016>