

Plan de aplicación del TPM para los equipos y herramientas de la planta de  
fabricación y ensamblaje de vehículos de Niko Racing Colombia.

Universidad ECCI

Wilmar Pastor Bernal Forero

Elkin Leonardo Parra Cárdenas

Asesor: María Gabriela Mago Ramos

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C., abril de 2020

Plan de aplicación del TPM para los equipos y herramientas de la planta de fabricación y ensamblaje de vehículos de Niko Racing Colombia.

Universidad ECCI

Wilmar Pastor Bernal Forero

Elkin Leonardo Parra Cárdenas

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C., abril de 2020

### **Dedicatoria**

Dedicamos esta investigación a nuestras familias. A nuestras esposas, quienes has estado a nuestro lado durante la realización de este proyecto.

A mis amigos de la familia Colsubsidio, en conmemoración de los 60 años de la fundación de tan importante Caja de Compensación, y al equipo de trabajo de Niko Racing que nos abrió las puertas de su empresa para poder realizar este proceso.

### **Agradecimientos**

Queremos agradecerle a nuestra guía y docente Ing. María Gabriela Mago Ramos, quien con su gran dedicación nos brindó las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación.

## Resumen

En este proyecto se estudian los métodos de implementación del TPM (Mantenimiento Productivo Total) como herramienta clave para lograr una mejora en la productividad y la calidad del producto en la empresa Niko Racing. El desarrollo de este plan de implementación del TPM se basa en el método de las 5S y en los 12 pasos de Nakajima, haciendo énfasis en dos de los pilares de la metodología, el mantenimiento autónomo [*Jishu Hozen*] y las mejoras enfocadas [*Kobetsu Kaizen*]. Como resultado más relevante, la investigación mostró que la implementación del programa TPM resulta ser rentable a partir de la disminución de costos de mantenimiento, y costos de seguros de lucro cesante, así como el aumento en la disponibilidad de equipos y extensión de su vida útil, todo lo cual a mediano plazo impactará positivamente en las ventas. A partir de lo encontrado, los autores proponen que la investigación futura sobre el tema se oriente a comprender las dimensiones del cambio cultural implicado en la mejora de las actividades de manufactura, en particular en las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) del sector metalmecánico en América Latina.

**Palabras claves:** Plan, Implementación, TPM, herramienta, Productividad, Calidad y 5s

### **Abstract**

In this project, the methods of implementation of TPM (Total Productive Maintenance) are studied as a key tool to achieve an improvement in productivity and product quality in the Niko Racing company. The development of this TPM implementation plan is based on the 5S method and the 12 steps of Nakajima, emphasizing two of the pillars of the methodology, autonomous maintenance [*Jishu Hozen*] and focused improvements [*Kobetsu Kaizen*]. Most importantly, the research showed that the implementation of the TPM program is profitable by reducing maintenance costs, and insurance costs for lost profits, as well as increasing equipment availability and extending equipment life, all of which will positively impact sales in the medium term. Based on the findings, the authors propose that future research on the topic be oriented towards understanding the dimensions of cultural change involved in improving manufacturing activities, particularly in small and medium-sized enterprises (SMEs) in the metalworking sector in Latin America.

**Keywords:** Plan, Implementation, TPM, tool, Productivity, Quality and 5s

## Tabla de Contenido

1. Problema de investigación .....	12
1.1. Descripción del problema .....	12
1.2. Planteamiento del problema.....	14
1.3. Sistematización del problema .....	14
2. Objetivos de la Investigación.....	16
2.1. Objetivo general.....	16
2.2. Objetivos específicos .....	16
3. Justificación y delimitación .....	17
3.1. Justificación .....	17
3.2. Delimitación.....	18
3.3. Limitaciones.....	18
4. Marco conceptual.....	19
4.1. Estado del arte.....	19
4.1.1. Estado del arte nacional .....	19
4.1.2. Estado del arte Internacional.....	21
4.2. Marco Teórico.....	22
4.2.1. Mantenimiento Productivo Total TPM.....	22
4.2.2. Principios del TPM .....	25

4.2.3. Pilares del TPM.....	26
4.2.4. Pasos para implementar el TPM .....	33
4.2.5. Definición de 5S .....	46
5. Marco metodológico .....	48
5.1. Tipo de investigación.....	48
5.2. Recolección de información .....	50
5.2.1. Diagrama de causa y efecto .....	51
.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.2.1.1 Fuentes y Herramientas.....	51
5.2.2. Desarrollo y presentación de la información recopilada.....	52
5.2. Análisis de la información .....	68
5.2.1. Proyecto 5S.....	68
5.2.2. Mantenimiento autónomo .....	76
5.3. Propuesta de solución .....	78
6. Impactos esperados/generados.....	81
6.1. Aumento en la efectividad del equipo de producción.....	81
6.2. Impactos esperados después de la implementación. ....	83
7. Análisis Financiero .....	84
7.1. Inversión asociada con la implementación de la herramienta TPM .....	84
7.2. Análisis del Valor Presente Neto. ....	85

8. Conclusiones y recomendaciones .....	90
8. Bibliografía .....	91

### **Índice de ilustraciones y tablas**

Ilustración 1 Área de producción y ensamblaje .....	14
Tabla 1 Matriz gerencial de productividad para la eficiencia global de equipos.....	24
Ilustración 2 Pilares del TPM .....	26
Tabla 2 Tipos de investigación .....	48
Ilustración 3 Vehículo Salamandra diseñado por Niko Racing .....	52
Ilustración 4 Características del vehículo deportivo Salamandra .....	53
Tabla 3 Equipos y herramientas.....	53
Tabla 4 Fallas en equipos y herramientas .....	56
Ilustración 5 Registro fotográfico del área de producción.....	58
Ilustración 6 Tarjeta Roja 5S .....	59
Ilustración 7 Etiquetado con Tarjetas de eliminación.....	60
Ilustración 8 Cuarto de herramientas .....	62
Ilustración 9 Línea de montaje 5S .....	63
Ilustración 10 Piso de planta 5S.....	65
Ilustración 11 Los 7 pasos del Mantenimiento Autónomo (Palencia, 2014, p. 2).....	66
Ilustración 12 Mantenimiento Autónomo (KAIZEN,TPM Y MANTENIMIENTO, 2013; Metartec, 2011).....	67
Ilustración 13 Tarjeta azul 5S .....	68

Tabla 5 Clasificación de activos y herramientas.....	69
Ilustración 14 Árbol de Jerarquización (Guevara et al., 2015).....	70
Ilustración 15 Matriz de Criticidad (Guevara et al., 2015, p. 136).....	71
Ilustración 16 Tabla de Análisis AMEF .....	72
Ilustración 17 Corredores en planta .....	74
Ilustración 18 Planta Michelin con implantación TPM .....	75
Ilustración 19 Etiquetado TPM.....	75
Tabla 6 Seguimiento diario de TPM.....	76
Ilustración 20 Tiempo total programado para producir (Oncoy, 2008).....	77
Ilustración 21 Tabulación de fiabilidad .....	77
Ilustración 22 Objetivo de turnos TPM (Agustiady & Cudney, 2018).....	80
Tabla 7 Hoja de cálculo del OEE.....	80
Ilustración 23 Cronograma base de implementación. Elaboración propia. Los colores más claros indican preparación. Cada etapa se indica con un color.....	81
Ilustración 24 Indicadores Equipo de producción 2019 .....	82
Tabla 8 Flujos de caja para el análisis de Valor Presente Neto .....	88
Tabla 9 Resultado del valor presente neto en la tabla anterior .....	89

**Plan de aplicación del TPM para equipos y herramientas en la planta de fabricación y ensamblaje de vehículos tipo kart en la empresa Niko Racing Colombia.**

## **1. Problema de investigación**

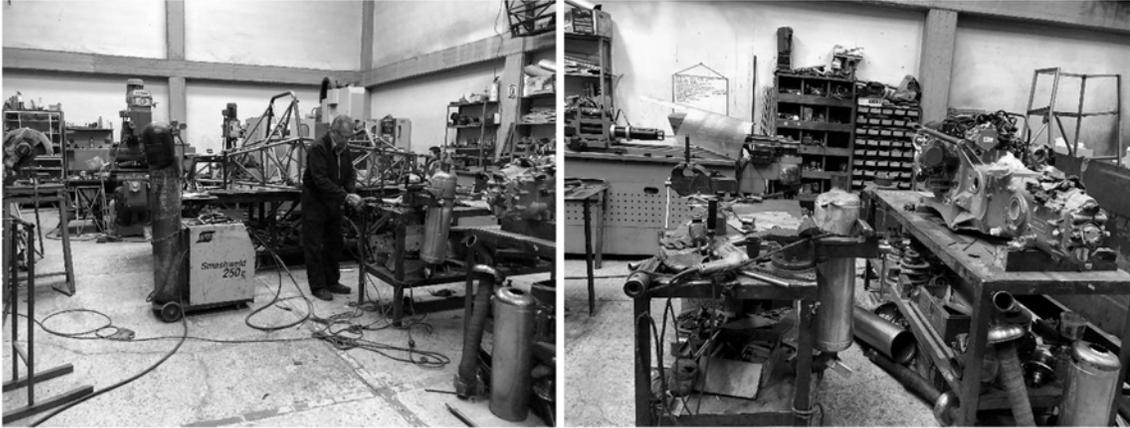
### **1.1. Descripción del problema**

Niko Racing es una empresa colombiana que cuenta con 15 años de experiencia en el diseño y fabricación de autos de competencia para Colombia y el Área Andina (Niko Racing, 2020). A pesar de que la empresa cuenta con equipos de diseño CAD/CAM y de mecanizado CNC (control numérico por computador) de última tecnología, la empresa venía presentando sobrecostos y retrasos en la producción de los prototipos. Es decir, la rentabilidad y los tiempos de entrega al cliente final como variables dependientes, se vieron afectados por diversas condiciones. Para determinar cuáles de las variables en la producción tenían incidencia sobre esos resultados, se llevó a cabo un diagnóstico inicial en la empresa desde esa perspectiva. En dicho proceso se encontraron tres variables determinantes que adicionalmente presentaban posibilidades de mejora en cuanto al proceso: en primer término, los altos costos de mantenimiento; en segundo lugar, el desperdicio de materia prima; y, en tercer lugar, la exposición de equipos y herramientas a agentes contaminantes.

Luego de realizar ese diagnóstico inicial, los investigadores identificaron dos causas principales de los problemas mencionados que afectan a las variables determinantes, las cuales se establecieron como variables independientes: la puesta en práctica de los planes de mantenimiento de maquinaria y equipos, y la organización del área productiva. En ambos casos, estas variables se consideraron como negativas, es decir, que los planes de mantenimiento estaban ausentes, y que la organización del área de producción era contraproducente a los objetivos empresariales. Bajo esas condiciones, el pronóstico que se pudo emitir fue de una posible interrupción futura en la cantidad de pedidos debido al incremento de los incumplimientos en los tiempos de entrega y un posible aumento en el nivel de endeudamiento de la empresa debido al aumento de los costos por

encima de las estimaciones normales. Ambas vertientes del pronóstico indican que el crecimiento de la empresa podría detenerse, e incluso podría llegar a verse sujeta a reestructuración administrativa y financiera de no mediar un plan de acción para remediar las situaciones. Tratándose de una empresa familiar, tal situación se puede considerar crítica, pues no se cuenta con el respaldo de inversionistas externos y una junta directiva que reoriente los procesos de reestructuración. El peor escenario futuro sin un reajuste de los procesos productivos puede llegar a ser una reorganización empresarial en términos de la ley 116 de 2006 (Superintendencia de Sociedades de Colombia, 2012).

Para contrarrestar la problemática enunciada y lograr el control de ese pronóstico, se propuso a la empresa Niko Racing implementar un programa de Mantenimiento Productivo Total o TPM por sus siglas en lengua inglesa, el cual permite mejorar las condiciones de operación de los equipos, lograr tiempos justos de producción con la más alta efectividad de las máquinas y mantener el equipo en los niveles óptimos de desempeño y confiabilidad (Agustiady & Cudney, 2018), lo cual es crucial tratándose de los procesos productivos misionales. La investigación buscó inicialmente determinar cuáles serían los pilares de dicha metodología que permitirían fortalecer las áreas identificadas como débiles para lograr las mejoras necesarias en cuanto a rentabilidad, efectividad y eficacia, con miras a reducir los tiempos y costos de fabricación de los automóviles. Posteriormente se planteó el plan de implementación de TPM de acuerdo con las necesidades identificadas.



**Ilustración 1** Área de producción y ensamblaje

Fuente: Niko Racing

## 1.2. Planteamiento del problema

La investigación estuvo dirigida inicialmente a diagnosticar la situación problemática y posteriormente a plantear un esquema de solución para la misma. La pregunta de investigación inicial se formuló de la siguiente manera:

*¿Cuáles son los pilares del TPM que se deben implementar en Niko Racing Colombia para lograr disminuir los tiempos de fabricación y ensamblaje?*

Un segundo momento de la investigación, posterior al diagnóstico inicial, mostró la necesidad de reorientar la pregunta, y formular la siguiente:

*¿Cómo se puede implementar un plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en Niko Racing para aumentar la productividad y rentabilidad de la organización?*

## 1.3. Sistematización del problema

El problema de investigación con sus dos preguntas orientadoras puede sistematizarse desglosando la problemática en núcleos problemáticos específicos. Para el caso de la empresa, el trabajo se orienta en proyectos individuales de fabricación de cada uno de los vehículos, los cuales se

ejecutan utilizando la infraestructura disponible de forma concurrente. Por lo tanto, y para emitir el diagnóstico inicial, los investigadores analizaron el problema desde las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las causas de los sobrecostos en la producción de vehículos y mantenimiento de la maquinaria, así como las causas de las demoras en los tiempos de entrega?
- ¿Cuál es el mapa de proceso, qué riesgos se identifican para los equipos, herramientas y procesos implementados en la línea de producción y cuáles son los grados de severidad, ocurrencia y detección de cada uno de esos riesgos? ¿Qué otros datos se requieren para elaborar las tablas de análisis AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas)?
- Entendidos los riesgos, ¿qué pilares de la metodología TPM mejorarían las condiciones de rentabilidad y productividad de la empresa?
- ¿Cómo desarrollar un plan para la implementación de TPM siguiendo las respuestas a las preguntas anteriores para cubrir el proceso de fabricación y ensamblaje de vehículos?

## **2. Objetivos de la Investigación**

### **2.1. Objetivo general**

Realizar el Plan de aplicación del TPM para equipos y herramientas en la planta de fabricación y ensamblaje de vehículos tipo kart en la empresa Niko Racing Colombia con la finalidad de contrarrestar los problemas de sobre costo y demora en los tiempos de entrega manteniendo la rentabilidad en niveles sostenibles cumpliendo con la promesa de valor para con los clientes.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analizar causas de sobre costos en la producción de vehículos y mantenimiento de la maquinaria, también de las causas de las demoras en los tiempos de entrega
- Plantear las tablas de análisis AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas) para los equipos, herramientas y procesos implementados en la línea de producción.
- Determinar los pilares de la metodología TPM que conducen a mejorar las condiciones de rentabilidad y productividad de la empresa.
- Desarrollar un plan para la implementación de los pilares del programa TPM establecidos en el objetivo inmediatamente anterior que cubran a los equipos y herramientas del proceso de fabricación y ensamblaje de vehículos.

### **3. Justificación y delimitación**

#### **3.1. Justificación**

Bajo las actuales condiciones económicas del país, la importancia del desarrollo de la industria manufacturera en Colombia no puede ser puesta en tela de juicio, como generadora de empleo y motor de desarrollo (Ángel López et al., 2013). Encontrar en Colombia una industria que pueda competir con la industria extranjera como lo hace Niko Racing (Niko Racing, 2020) es un caso notable. En este caso particular, los niveles de investigación y desarrollo, así como la apropiación de tecnología de la empresa la ubican en un punto promisorio desde la perspectiva económica del sector (Proexport Colombia, 2013).

Sin embargo, esa misma posición de ventaja competitiva en la que busca ubicarse Niko Racing se ve contrariada por dificultades en el orden productivo de la compañía. Para esto es necesario un cambio en la forma de pensar y hacer las cosas dentro del área de producción, sin dejar a un lado los estándares de calidad exigidos por el marco normativo y los clientes de Niko Racing. El propósito es mejorar algunos de sus procesos para así mejorar los índices de calidad y la capacidad de respuesta ante el cliente.

La investigación entregó como resultado en su diagnóstico inicial la necesidad de aumentar la disponibilidad de los que equipos y herramientas del área de producción. Para ello y de acuerdo con los aprendizajes realizados en la especialización gerencia de mantenimiento en la universidad ECCI, se decidió presentar a Niko Racing un plan de implementación de la herramienta TPM con los propósitos anteriormente mencionados.

### 3.2. Delimitación

El alcance último del proyecto es, como se indicó, el planteamiento de una estructura de aplicación que garantice la implementación del plan de TPM específico. Particularmente, la propuesta de implementación se centra en dos de los ocho pilares del TPM, que corresponden al mantenimiento autónomo [*Jishu Hozen*] y a las mejoras enfocadas [*Kobetsu Kaizen*]; ello parte de la aplicación de la herramienta de las 5S (Al-Aomar, 2011; Kumar et al., 2017; Venkatesh, 2015) en el área de fabricación y ensamblaje de los vehículos en la empresa Niko Racing.

### 3.3. Limitaciones

Las limitaciones que determinan la presente investigación se relacionan a continuación:

- El presupuesto de elaboración del plan corre a cargo de los autores de este trabajo y no genera ningún costo para la Universidad ECCI ni para Niko Racing.
- Siguiendo las políticas de confidencialidad de Niko Racing no es posible suministrar al público algunos datos o cifras, por lo cual el plan de implementación se presenta con dichas salvedades.
- El tiempo estipulado para la etapa de evaluación fue de 2 meses.
- Como limitación normativa, se debe dar cumplimiento a los requisitos establecidos por los Ministerios del Trabajo y Seguridad Social, y del Medio Ambiente.
- Limitaciones de infraestructura: el área disponible para la fabricación y ensamblaje no es susceptible de ampliación.
- Limitaciones en la mano de obra disponible: el personal técnico es el mínimo viable y no se cuenta con mano de obra adicional destinada exclusivamente para la ejecución de tareas de mantenimiento diferentes a las del mantenimiento autónomo.

## **4. Marco conceptual**

### **4.1. Estado del arte**

Para el desarrollo apropiado de esta investigación, relacionamos una serie de trabajos académicos y artículos de diversos autores los cuales han expuesto una gran variedad de apartes que van de la mano con nuestro tema de investigación: Plan implementación del TPM en diversas industrias a nivel nacional e internacional.

#### **4.1.1. Estado del arte nacional**

Resaltamos la importancia que ha logrado obtener el TPM en Colombia, lo cual se evidencia en la abundante producción de contenido al respecto. En primer término, la consultora del curso “Mantenimiento productivo total TPM”, Dra. Mónica García, nos explica en su artículo “Implantación del TPM para alcanzar la Excelencia” cómo esta herramienta constituye una filosofía de trabajo y de vida, y cuáles son los objetivos principales al momento de implementarla en la industria (García, 2020).

Por otro lado, se pone en referencia el trabajo de grado “Estudios de casos de implantación exitosa del TPM en industrias ubicadas en el eje cafetero y norte de Cauca”, presentado por la ingeniera Diana Cardona de la universidad EAFIT. Este proyecto está delimitado de manera explícita en el estudio de implementaciones exitosas del TPM y los beneficios que trae la implementación de esta herramienta. Este documento aporta a la presente investigación dado que presenta un enfoque análogo al de los investigadores en cuanto a las implantaciones del TPM focalizadas. Este trabajo validó el objetivo de optimización de tiempos, calidad y costos (Cardona Montoya, 2015)

En cuanto al tema de la implementación, se destaca el trabajo titulado “El mantenimiento productivo total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación”. Se trata de un trabajo de grado presentado en el año 2013 por el ingeniero mecánico Ernesto López Arias de la Pontificia Universidad Javeriana. Este trabajo fue desarrollado con el fin de explicar cómo se implementa un programa TPM soportados gracias a la participación del personal, delegando funciones y responsabilidades. En él se hace énfasis en la participación de todo el personal del área productiva de la empresa y en lo complicado que resulta crear esa filosofía en cada uno de los colaboradores. De cara a nuestra investigación, este documento rescata puntos importantes sobre cómo se puede delegar funciones internamente dentro la compañía para una correcta implementación del TPM (López Arias, 2009).

El siguiente aporte por resaltar es el de la tesis titulada “Implementación de TPM en línea Piloto-Marmitas en la compañía de Botellas Colombia S.A.”, trabajo presentado en el año 2014 en la Universidad Tecnológica de Pereira por Christian Durango, Ingeniero Mecánico. En la tesis presenta una implementación de la herramienta TPM en una línea piloto de producción de salsas en marmitas. Las técnicas con las que se inició esta implementación fueron los análisis de riesgo y criticidad que se realizaron a los equipos de esta línea de producción. La solución planteada partió de tres pilares fundamentales del TPM y su correcta aplicación conlleva al aumento de disponibilidad de equipos una vez aplicada la herramienta (Durango Álvarez, 2017).

Otro texto que tiene relación con el objeto de estudio es el artículo “TPM para la industria colombiana” publicado por el ingeniero Jorge Enrique Pérez Nepta en el año 2018. Este artículo menciona las principales causas por las cuales la filosofía de TPM tiende a decaer en su implementación con el tiempo, que serían la falta de seguimiento y de motivación del personal, especialmente durante la aplicación del primer paso de Mantenimiento Autónomo de TPM. Esto

último iluminó el presente proyecto en torno del pilar de mantenimiento autónomo o *Jishu Hozen* que se utilizó en el presente desarrollo (Pérez Nepta, 2018).

Finalizando la relación de estudios realizados a nivel nacional se presenta el “Estudio longitudinal de los procesos de implantación de TPM en una empresa del sector automotriz (Sofasa), y la dinámica de cambio seguida”. Este documento fue publicado por el Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial de la Universidad EAFIT en el año 2009, por los autores Gustavo Villegas López y Alfonso Vélez Rodríguez, quienes se enfocan en un proceso efectivo de implementación del TPM en una compañía automotriz (Sofasa-Renault). El trabajo explica cuáles de los ocho pilares del TPM son los más efectivos para una implementación rápida y efectiva de la herramienta. Este documento prestó apoyo a los investigadores en la selección de los dos pilares a implementar en el presente proyecto (Villegas López & Vélez Rodríguez, 2009).

#### **4.1.2. Estado del arte Internacional**

En la Universidad Argentina de la Empresa, en Buenos Aires, el Ingeniero Mecánico Maximiliano Noguera Fernández presentó el proyecto titulado “Implementación de la filosofía TPM (Total Productive Maintenance) en una empresa local” en el año 2014. El autor trazó como objetivo la implementación de la herramienta TPM y poder establecer un plan de mantenimiento más adecuado a los equipos de la compañía. El plan se orientó a garantizar la disponibilidad de los equipos críticos de la planta y optimizar el desempeño de tal forma que se mejorase la calidad del producto y los tiempos de respuesta al cliente. Es importante resaltar el uso de los pilares del TPM, priorizando el pilar Mantenimiento Autónomo y mejoras enfocadas (Fernández Negueruela & Rumi, 2014).

Un trabajo que en la visión de los autores genera un aporte significativo para la investigación es el titulado “Diseño de un sistema de mejora continua TPM en una embotelladora y comercializadora de bebidas gaseosas”. Esta tesis de maestría del Ing. César A. Tuárez fue presentada en el año 2013 en la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil. El trabajo presenta una implementación del TPM con personalización de la metodología de 5S, mejoras enfocadas y *Kaizen* “mejora continua”; los principales objetivos del trabajo fueron la optimización de equipos, la reducción de costos de mantenimiento, y la disminución de tiempos de mantenimiento correctivo y preventivo, todo ello orientado a desarrollar mejores prácticas productivas (Tuárez Medranda, 2013).

Respecto de los pilares del TPM, el presente trabajo se apoyó en la tesis titulada “Implementación del mantenimiento autónomo en la Planta de tratamiento de aguas residuales”, del ingeniero mexicano Carlos A. Navarro L., quien desde la Universidad tecnológica de Tula-Tepeji plantea una forma de implementación de esta metodología.

## **4.2. Marco Teórico**

Para comprender el alcance y los beneficios del TPM como herramienta para mejorar la disponibilidad de equipos y herramientas, así como para fundamentar el diseño del plan de implementación del mismo, se contextualizan a continuación los fundamentos teóricos de la metodología TPM como eje de la presente investigación. Se espera demostrar así los beneficios que conlleva la implantación de las herramientas TPM para las compañías manufactureras en general, y para la industria automotriz en particular.

### **4.2.1. Mantenimiento Productivo Total TPM**

Diversas fuentes documentales coinciden en que el origen de la herramienta TPM (Mantenimiento Productivo Total) se encuentra en la industria automotriz japonesa (Venkatesh, 2015). Sin

embargo, la literatura científica reconoce el origen del sistema mismo en los trabajos e influencia del Dr. W. Edwards Deming en dicha industria, quien aplicó el análisis estadístico a la manufactura (Naik, 2013). A partir de allí, la metodología se desarrolló gracias a los esfuerzos de Seiichi Nakajima, funcionario del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) quien definió los conceptos del TPM y los implantó en las manufacturas japonesas (Kiran, 2016).

El TPM está dirigido al equipo o maquinaria como factor clave del cual dependen la productividad, los costos, los inventarios, la seguridad, la salud ocupacional y la calidad. Reconociendo esto, el propio Nakajima estableció dos objetivos primordiales del TPM, o mejor, un objetivo doble: llegar a ***cero fallas*** de máquina y a ***cero defectos*** de producto. Al perseguir esas metas se logran mejoras en las demás áreas. Nakajima categorizó esas áreas empresariales en seis segmentos de resultado o de salidas que se pueden recordar mediante la sigla inglesa PQCDSM, la cual corresponde a **P**roductividad, **C**alidad (**Q**uality), **C**osto, **E**ntrega (**D**elivery) en tiempos e inventarios, **S**eguridad (cero accidentes, cero contaminaciones), y **M**oral (mejores ideas, mejores reuniones). Estos resultados requieren insumos, que esencialmente son dinero aplicado a mano de obra, maquinaria y materiales. Si las seis salidas se cruzan con las tres entradas se obtiene una matriz de productividad así:

**Tabla 1**  
**Matriz gerencial de productividad para la eficiencia global de equipos**

Entradas \ Salidas ↓	Dinero			Métodos gerenciales ↓
	Mano de obra	Maquinaria	Materiales	
Producción (P)				Control de producción
Calidad (Q)				Control de calidad
Costos (C)				Control de costos
Entrega (Delivery) (D)				Control de entregas
Seguridad (S)				Seguridad, Salud y Medio Ambiente
Moral (M)				Recursos Humanos
	Ubicación	Ingeniería de planta y mantenimiento	Control de inventarios	↓ → <b>Productividad</b>

**Fuente:** Introduction to TPM (Nakajima, 1988, p. 13). Traducción propia.

Como todo proceso, esto no se logra de la noche a la mañana, y Nakajima reconoce cuatro *etapas* en el desarrollo del TPM: 1) mantenimiento de fallos, 2) mantenimiento preventivo, 3) mantenimiento productivo y 4) el mantenimiento productivo total propiamente dicho. Nakajima asevera que en una empresa la implantación del TPM sigue esos mismos pasos (Nakajima, 1988, p. 8). Actualmente, el TPM se sistematizó buscando eliminar las ‘seis grandes pérdidas’ en la producción (ver [Análisis del Valor Presente Neto](#)) manteniendo los equipos en disponibilidad para producir a su capacidad máxima y con la calidad esperada (García Garrido, 2011, p. 146). De

forma sucinta, estos tres ejes clave se enuncian *Disponibilidad, Desempeño y Calidad*. Juntos, estos tres indicadores constituyen el indicador clave del TPM: la *Eficiencia Global de los Equipos*, conocida como OEE por sus siglas en inglés (Borris, 2006, p. 24).

#### **4.2.2. Principios del TPM**

El TPM se define como un mantenimiento productivo que implica una participación total. Frecuentemente la gerencia se equivoca al pensar que esto incluye solamente a los operarios, y que solo involucra las actividades autónomas en la planta de manufactura. Eso no es cierto, pues para que el TPM sea efectivo debe abarcar la totalidad de la empresa. El padre del TPM enunció cinco elementos fundamentales de esta práctica empresarial:

- Maximizar la efectividad de los equipos (*Efectividad Total*)
- Establecer un sistema exhaustivo de mantenimiento productivo a todo lo largo de la vida útil de los equipos (*Sistema de Mantenimiento Total*)
- Implementar programas transversales a los departamentos de ingeniería, operaciones y mantenimiento
- Involucrar a todos y cada uno de los empleados de la empresa, desde la alta gerencia hasta los obreros de planta (*Participación Total de los Empleados*)
- Promover el mantenimiento productivo mediante la gerencia motivacional con actividades autónomas en grupos pequeños (Nakajima, 1988, p. 10).

### 4.2.3. Pilares del TPM



**Ilustración 2** Pilares del TPM (Calle, 2020)

Para implantar la cultura del Mantenimiento Productivo Total, Nakajima Seiichi estableció cinco pilares de aplicación del mismo:

- Adoptar actividades de mejora destinadas a aumentar la eficacia general del equipo atacando las seis pérdidas.
- Mejorar los sistemas de mantenimiento planificado y predictivo existentes (cuidado de los activos de mantenimiento).
- Establecer un nivel de auto mantenimiento y limpieza realizado por operadores altamente capacitados (cuidado de los activos del operador).
- Aumentar las habilidades y la motivación de los operadores e ingenieros mediante el desarrollo individual y grupal (desarrollo continuo de las habilidades).
- Iniciar técnicas de prevención del mantenimiento, incluida la mejora de la adquisición de diseños (gestión temprana de equipos). (Willmott & McCarthy, 2001, p. 62)

Posteriormente, el sucesor de Nakajima Seiichi en la dirección de la JIPM, Suzuki Tokutarō, unió la visión de TPM con la de RCM (Benoit, 2005) y estableció un proceso de cuatro fases (preparación, introducción, implementación y consolidación) que corresponden a los doce pasos establecidos por Nakajima. En el paso 5 de la fase de preparación, que corresponde a la formulación de un plan maestro para la implementación, Suzuki mencionó las ocho actividades principales del TPM, que hoy se conocen como los ocho pilares:

- Mejoramiento enfocado
- Mantenimiento autónomo
- Mantenimiento planificado
- Educación y formación
- Gestión temprana
- Mantenimiento de la calidad
- Actividades del departamento administrativo y de apoyo
- Seguridad y gestión ambiental

Otras actividades importantes son:

- Diagnóstico y mantenimiento predictivo
- La gestión del equipo
- Desarrollo de productos y diseño y construcción de equipos (Suzuki, 1994, p. 12)

En cuanto al texto de los pilares del TPM, seguimos la versión de Carola Gómez Santos, a continuación.

*Mejoras Enfocadas (Kobetsu Kaizen)*

Dice Gómez Santos:

“Son actividades que se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objeto de maximizar la Efectividad Global de Equipos, procesos y plantas; todo esto a través de un trabajo organizado en equipos funcionales e interfuncionales que emplean metodologías específicas y centran su atención en la eliminación de cualquiera de los 7 desperdicios, adicional, está soportado en las 5s. Este pilar se logra con el apoyo general de la compañía” (Gómez Santos, 2011, p. 9).

#### *Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)*

Dice Gómez Santos:

“Una de las actividades del sistema TPM es la participación del personal de producción en las actividades de mantenimiento. Este es uno de los procesos de mayor impacto en la mejora de la productividad; su propósito es involucrar al operador en el cuidado del equipamiento a través de un alto grado de formación y preparación profesional, respecto a las condiciones de operación, conservación de las áreas de trabajo libres de contaminación, suciedad y desorden. El mantenimiento autónomo se fundamenta en el conocimiento que el operador tiene para dominar las condiciones del equipo, como los son: mecanismos, aspectos operativos, cuidados y conservación, manejo, averías y entre otras. Con este conocimiento los operadores podrán comprender la importancia de la conservación de las condiciones de trabajo, la necesidad de realizar inspecciones preventivas, participar en el análisis de problemas y la realización de trabajos de mantenimiento liviano en una primera etapa, para luego asimilar acciones de mantenimiento más complejas. Con lo anterior garantizamos la confiabilidad de los equipos y las áreas involucradas en la operación y producción” (Gómez Santos, 2011, p. 9).

*Mantenimiento planificado*

Dice Gómez Santos:

“El objetivo del mantenimiento planificado es eliminar los problemas del equipo a través de acciones de mejora, prevención y predicción. Para una correcta gestión de las actividades de mantenimiento es necesario contar con información, obtención de conocimiento a partir de análisis de datos, capacidad de programación de recursos, gestión de tecnologías de mantenimiento y un poder de motivación y coordinación del equipo humano encargado de estas actividades. Áreas involucradas: Talento Humano y Mantenimiento” (Gómez Santos, 2011, p. 10)

*Mantenimiento de Calidad*

Dice Gómez Santos:

“Esta clase de mantenimiento tiene como propósito mejorar la calidad del producto reduciendo la variabilidad, mediante el control de las condiciones de los componentes y condiciones del equipo que tienen directo impacto en las características de la calidad del producto. Frecuentemente se entiende en el entorno industrial que los equipos producen problemas cuando fallan y se detienen, sin embargo, se pueden presentar averías que no detienen el funcionamiento del equipo, pero producen pérdidas debido al cambio de las características de calidad del producto final. El mantenimiento de calidad es una clase de mantenimiento preventivo orientado al cuidado de las condiciones del producto resultante. Áreas involucradas Calidad” (Gómez Santos, 2011, p. 10).

*Prevención del mantenimiento*

Dice Gómez Santos:

“Son aquellas actividades de mejora que se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos, con el objeto de reducir los costes de mantenimiento durante su explotación. Una empresa que pretende adquirir nuevos equipos puede hacer uso del historial del comportamiento de la maquinaria que posee, con el objeto de identificar posibles mejoras en el diseño y reducir drásticamente las causas de averías desde el mismo momento en que se negocia un nuevo equipo. Las técnicas de prevención de mantenimiento se fundamentan en la teoría de la fiabilidad, esto exige contar con buenas bases de datos sobre frecuencia de averías y reparaciones” (Gómez Santos, 2011, p. 10).

#### *Mantenimiento Áreas de Soporte*

Dice Gómez Santos:

“Esta clase de actividades no involucra el equipo productivo. Departamentos como planificación, desarrollo y administración no producen un valor directo como producción, pero facilitan y ofrecen el apoyo necesario para que el proceso productivo funcione eficientemente, con los menores costes, oportunidad solicitada y con la más alta calidad. Su apoyo normalmente es ofrecido a través de un proceso que produce información. Allí también las pérdidas potenciales a ser recuperadas son enormes” (Gómez Santos, 2011, p. 10).

#### *Entrenamiento y desarrollo de habilidades*

Dice Gómez Santos:

“El TPM consiste esencialmente en un cambio cultural, y no puede haber un cambio en el pensamiento sin un proceso de educación. En este caso, lo que las personas involucradas deben aprender son nuevas habilidades, es decir, formas correctas de interpretar las señales del entorno y de actuar de acuerdo con ellas según lo estipulado para el buen funcionamiento de los equipos y

el cumplimiento de los procesos. En general, una habilidad es conocimiento adquirido a través de la acumulación de reflexión y experiencia en el trabajo” (Gómez Santos, 2011).

Dice Steven Borris:

“Sin el entrenamiento adecuado, el TPM, y el mantenimiento en general, simplemente no funcionan. Este pilar explica qué conocimiento es necesario, cómo enseñarlo, y cómo confirmar que ha sido absorbido y que se ha entendido. Es importante que la competencia del operador se confirme, no simplemente que se traiga un certificado de que han asistido a un curso. [...] Todos los detalles del entrenamiento deben ser registrados. El TPM también reconoce que la ausencia de métodos de entrenamiento adecuados no se limita a la industria, por lo que promueve el uso de procedimientos operativos estandarizados” (Borris, 2006).

De acuerdo con Gómez Santos, el TPM requiere de un personal que haya desarrollado competencias desarrollar diversas actividades especializadas:

- Detectar e identificar problemas en la maquinaria o equipos.
- Comprender el funcionamiento de los equipos.
- Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del producto.
- Analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos.
- Capacidad para conservar el conocimiento y enseñar a otros.
- Habilidad para trabajar y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales

(Gómez Santos, 2011).

*Gestión de Seguridad y Medioambiente*

De los objetivos principales del TPM (*cerro fallos, cerro defectos*) se deriva otro de manera lógica: tener *cerro accidentes*. Esto es crucial. Según Steven Borris:

“Su importancia se ve acentuada por la necesidad de proteger a los operadores, que serán entrenados, inicialmente, para llevar a cabo tareas técnicas sencillas. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los operarios que participan en el Mantenimiento Autónomo no fueron empleados con el mantenimiento en mente, por muy simple que sea. Así pues, debemos cubrir en detalle las evaluaciones de riesgo, los mapas de peligro y algunos otros conceptos de seguridad. Para crear confianza en los operadores, deben ser entrenados en cómo llevar a cabo las evaluaciones de riesgo. También se les anima a ayudar en el desarrollo de los procedimientos de trabajo seguro” (Borris, 2006, p. 7).

De igual manera, el Ingeniero Carlos Alberto Navarro López nos presenta en su trabajo el siguiente panorama respecto de este pilar (p. 41):

“El número de accidentes crece en proporción al número de pequeñas paradas. Por ese motivo el desarrollo del Mantenimiento Autónomo y una efectiva implementación de las 5S son la base de la seguridad. De igual manera, para eliminar riesgos en los equipos es necesario aplicar el mejoramiento enfocado o *Kobetsu Kaizen*. Tampoco se puede olvidar que la capacitación permite mejorar la percepción, lo cual es la base para detectar riesgos de forma preventiva. Todo lo anterior unido genera que el personal adecuadamente formado y trabajando en equipo asuma una seria responsabilidad por su propia seguridad y su salud” (Navarro López, 2013, p. 41).

En general, la práctica de los procesos TPM crean responsabilidad por el cumplimiento de los reglamentos y estándares lo que disminuye las pérdidas y mejora la productividad.

#### **4.2.4. Pasos para implementar el TPM**

Aunque la intención de los autores es aportar al conocimiento sobre este tema, el hecho cierto es que el texto de 1988 de Nakajima-San es tan absolutamente preciso y canónico sobre el tema, que su transcripción resulta infaltable para expresar y absorber el conocimiento necesario para cualquier implementación del TPM. La experiencia del maestro Nakajima quedó plasmada en mármol en sus palabras, de manera que aquí se transcriben sus doce pasos:

##### *PASO 1: Anuncio de la alta dirección de la decisión de introducir el TPM*

Dice la traducción de Álvarez Peña y Oñate Rojas:

“El primer paso en el desarrollo TPM es hacer un anuncio oficial de la decisión de implantar el TPM. La alta dirección debe informar a sus empleados de su decisión e infundir entusiasmo por el proyecto. Esto puede cumplirse a través de una presentación formal que introduce el concepto, metas, y beneficios esperados del TPM, y también incluye propuestas personales de la alta dirección a los empleados sobre las razones que fundamentan la decisión de implantar el TPM. Esto puede seguirse con información impresa en boletines internos. Es esencial en este punto que la alta dirección tenga un fuerte compromiso con el TPM y entienda lo que entraña el compromiso. Como se ha mencionado anteriormente, la preparación para la implantación significa crear un entorno favorable para un cambio efectivo. Durante este período (como en la fase de diseño de un producto), debe crearse un fundamento fuerte de forma que las posteriores modificaciones (como los cambios de diseño que pueden resultar en retrasos de entregas) no sean necesarias.” (Álvarez Peña & Oñate Rojas, 2017, p. 53)

*PASO 2: Lanzamiento de campaña educacional*

Dice la traducción de Álvarez Peña y Oñate Rojas:

“El segundo paso en el programa de desarrollo TPM es el entrenamiento y promoción en el mismo, lo que debe empezar tan pronto como sea posible después de introducir el programa.

El objetivo de la educación es, no solamente explicar el TPM, sino también elevar la moral y romper la resistencia al cambio, en este caso, el cambio al TPM.

La resistencia frente al TPM puede adoptar diferentes formas: algunos trabajadores pueden preferir la división de tareas más convencionales (los operarios manejan el equipo, mientras los trabajadores de mantenimiento lo reparan). Los trabajadores de la línea de producción a menudo temen que el TPM incrementará la carga de trabajo, mientras el personal de mantenimiento es escéptico sobre la capacidad de los operarios de línea para practicar el PM. Adicionalmente, los que están practicando el PM con buenos resultados pueden dudar de que el TPM provea beneficios añadidos” (Álvarez Peña & Oñate Rojas, 2017, p. 53)

*PASO 3: Crear organizaciones para promover el TPM*

Dice la traducción de Álvarez Peña y Oñate Rojas:

“Una vez que se ha completado la educación introductoria al nivel de personal de dirección (de jefes de sección hacia arriba), puede empezar la creación de un sistema promocional del TPM. La estructura promocional TPM se basa en una matriz organizacional, conformada por grupos horizontales tales como comités y grupos de proyecto en cada nivel de la organización vertical de dirección. Es extremadamente importante para el éxito y desarrollo general del TPM. Los grupos se organizan por rangos, por ejemplo, el comité promocional del TPM, los comités promocionales de fábrica y departamento, y los círculos de mantenimiento productivo (PM) al nivel de operarios

de planta. Es crítica la integración arriba-abajo, desde las metas orientadas por la dirección con los movimientos desde abajo, y las actividades de los pequeños grupos en la fábrica.” (Álvarez Peña & Oñate Rojas, 2017, p. 53)

*PASO 4: Establecer políticas y metas para el TPM*

Dice la traducción de Álvarez Peña y Oñate Rojas:

“Las oficinas centrales promocionales del TPM deben empezar estableciendo políticas y metas básicas. Como toma como mínimo tres años moverse hacia la eliminación de defectos y averías a través del TPM, una política de dirección básica debe ser comprometerse con el TPM e incorporar procedimientos concretos de desarrollo del TPM en el plan de dirección general a medio y largo plazo.” (Álvarez Peña & Oñate Rojas, 2017, p. 55)

*PASO 5: Formular un plan maestro para el desarrollo del TPM*

Dice la traducción de Álvarez Peña y Oñate Rojas:

“La siguiente responsabilidad de la oficina central del TPM es establecer un plan maestro para el desarrollo TPM.

1. Mejorar la efectividad del equipo a través de las 5s (realizado por equipos de proyecto).
2. Establecer un programa de mantenimiento autónomo por los operarios (siguiendo un método de siete pasos).
3. Aseguramiento de la calidad.
4. Establecer un programa de mantenimiento planificado por el departamento de mantenimiento.
5. Educación y entrenamiento para aumentar las capacidades personales OK a la primera vez.”

(Álvarez Peña & Oñate Rojas, 2017, p. 55)

*PASO 6: Despegue de la iniciativa*

Dice el maestro Nakajima:

“Una vez que se obtiene la aprobación del plan maestro de TPM, mediante lo cual se confirma la voluntad de ejecución y el compromiso de participación de la gerencia, se inicia una batalla contra las seis grandes pérdidas. El paso 6 ya no es preparatorio sino de implementación y empieza a ser tarea de los trabajadores en planta el asumir rutinas diarias para la práctica del TPM. No habrá observadores sino participantes en toda la empresa.

La idea del lanzamiento de la iniciativa es crear una atmósfera adecuada que suba la moral y aumente la dedicación. Un encuentro general de la fábrica puede ser una idea, tal como se hace en Japón; allí un representante de la gerencia y uno de los trabajadores se unen para explicar las políticas, las metas y el plan para lograrlas.” (Nakajima, 1988, p. 70).

*PASO 7: Mejorar la efectividad del equipo*

Dice el maestro Nakajima:

“El TPM se implementa a través de las cinco actividades de desarrollo básicas del TPM, la primera de las cuales es mejorar la efectividad de cada pieza del equipo que experimenta una pérdida. El staff de ingeniería y mantenimiento, los supervisores de línea, y los miembros de pequeños grupos se organizan en equipos de proyecto que harán mejoras para eliminar las pérdidas. Estas mejoras producirán resultados positivos dentro de la compañía. Sin embargo, durante las fases tempranas de la implantación, habrá personas que duden del potencial del TPM para producir resultados — incluso algunos que hayan visto cómo en otras compañías el uso del TPM incrementa la

productividad y calidad, reduce los costes, mejora los resultados, y crea un entorno favorable de trabajo.” (Nakajima, 1988, p. 70)

*PASO 8: Establecer un programa de mantenimiento autónomo para los operarios.*

Dice el maestro Nakajima:

“La segunda de las cinco actividades de desarrollo del TPM, el mantenimiento autónomo, es el paso octavo del programa de desarrollo. Es importante iniciarlo inmediatamente después de hacer el lanzamiento del TPM.

El mantenimiento autónomo por los operarios es una característica única del TPM; su organización es central para la promoción del TPM dentro de la compañía. Cuanto más antigua es una compañía, más difícil es implantar el mantenimiento autónomo, porque los operarios y el personal de mantenimiento encuentran difícil apartarse del concepto de “Yo opero — tu reparas”. Los operarios están acostumbrados a dedicarse a tiempo completo a la producción, y el personal de mantenimiento espera asumir la plena responsabilidad de este.” (Nakajima, 1988, p. 72)

El mantenimiento autónomo requiere en sí mismo de otros siete pasos dentro de este paso. Antes que nada, lo primero es gestionar las [5S](#): Separar, Situar, Sacudir, Segregar, y Someterse. No se puede pretender aplicarlas superficialmente o por cumplir, por la apariencia. Pintar todo nuevo no soluciona el desorden mental que se traduce en desorden de piezas, ni soluciona el daño de la corrosión y la herrumbre; antes lo empeora (p. 75).

Los operarios deben calificarse paso por paso de forma práctica. De ese modo, se sigue que es importante cumplir con los pasos propuestos por Fumio Goto, consultor de la JIPM (Japan Institute for Plant Maintenance), que son los siguientes:

1. Limpieza inicial: la limpieza es un proceso educativo, pues se aprende sobre la maquinaria y se comprende el funcionamiento. Limpiar es inspeccionar. Lubricar y apretar son técnicas que hay que enseñar y el operario debe desarrollar habilidades para detectar los problemas del equipo.
2. Contramedidas para las causas y efectos del polvo y mugre: en la mentalidad de las 5S, entre más difícil resulte realizar la limpieza inicial, más fuerte el deseo de mantenerla para ahorrar tiempo. Se debe adoptar medidas para eliminar la acumulación de mugre y residuos (como poner tapas o protectores). Si una causa de suciedad no se puede corregir, habrá que diseñar mejores procedimientos de limpieza e inspección. Si cada taller se hace responsable de su maquinaria, las áreas de ingeniería y mantenimiento tienen que ayudarles y apoyar su esfuerzo (p.76).
3. Debe haber estándares de limpieza y de lubricación: de los pasos anteriores, las personas a cargo de TPM pueden establecer tanto la efectividad como los tiempos óptimos para llevar a cabo las tareas de inspección, lubricación, atornillado y limpieza. Si estos tiempos no se pueden cumplir, se debe mejorar las prácticas. Si es necesario innovar, añadir controles visuales, mejorar las posiciones de las aceiteras, etc., los operarios pueden recurrir al soporte y cooperación de los supervisores y los asesores (p. 78).
4. Inspección general: los pasos anteriores tienen el propósito de evitar el deterioro y controlar las condiciones del mantenimiento. Este paso consiste en medir ese deterioro, con un beneficio adicional: a mayor esfuerzo del operario por restaurar el equipo a su condición plena de operación, mayor competencia en el manejo del equipo adquiere. Es necesario crear un manual general de inspección realizado por los

supervisores y líderes. Con este, el equipo humano colabora para atender las áreas problemáticas que se descubran durante la inspección general.

En este paso es importante categorizar los puntos de chequeo: limpieza, lubricación, y atornillado, y desarrollar cada habilidad en ciclos de entrenamiento, aplicación, revisión o auditoría y modificación. Todos los operarios deben lograr la capacidad de detectar anomalías, por lo que este paso puede tomar bastante tiempo, y no debe apresurarse. Al finalizar este paso, cuando todos y cada uno de los operarios adquiera la habilidad de inspección requerida, la empresa debe empezar a ver cambios asombrosos: puede llegarse a una reducción del 80% en las fallas de la maquinaria, o a un incremento igual en la efectividad global del equipo. Si esto no se logra, es mejor empezar de nuevo desde el paso 1 de la limpieza inicial y trabajar para elevar el nivel técnico [del personal] (p. 79).

5. Inspección autónoma: En este paso se comparan y evalúan los estándares de limpieza, lubricación y atornillado establecidos en los pasos 1 a 3 contra los estándares tentativos de inspección del paso 4 para lograr eliminar cualquier inconsistencia y asegurar que las actividades de mantenimiento se ajusten a los tiempos y las metas establecidas. Entretanto, el equipo de mantenimiento prepara un calendario anual de trabajo con sus respectivos estándares. Este se debe comparar con los estándares de mantenimiento autónomo para corregir omisiones y eliminar redundancias, de forma que las responsabilidades de cada grupo queden separadas y que estén definidas de manera que se pueda llevar a cabo una inspección completa de cada categoría de manera integral (p. 79-84).

6. Organización y limpieza: *Seiri*, o *Separación*, significa identificar aspectos del área de trabajo que requieren de estándares de gestión y configuración. Es responsabilidad de los supervisores y gerentes, quienes deben minimizar y simplificar los objetos y condiciones de trabajo. *Seiton*, o *Situar*, significa adherirse a estándares establecidos y es responsabilidad de los operarios. Esta responsabilidad incluye presentar mejoras que hagan que los estándares sean más fáciles de seguir y aplicar. **De este modo se entiende que *Seiri* y *Seiton* (Separar y Situar) son actividades de mejoramiento para simplificar, organizar y mantener los estándares a todo lo largo y ancho de la empresa.**

En los pasos anteriores, 1 a 5, se hace énfasis en *lo que hay que hacer* en términos de *actividades* de inspección y mantenimiento de las condiciones básicas del equipo. En este paso 6 los supervisores y gerentes lideran el perfeccionamiento de la implementación del mantenimiento autónomo mediante la *evaluación del rol* de los operarios y la aclaración precisa de sus responsabilidades. ¿Qué debe hacer el operario para prevenir las pérdidas por fallas y defectos? ¿Cuáles son las habilidades que debe adquirir? Ya conociendo la experiencia de los operarios hasta este punto, los gerentes querrán expandir el alcance de sus actividades en relación con la maquinaria. Además del mantenimiento y la inspección básicos, los operarios pueden encargarse de:

- Corregir la operación y la configuración, estableciendo las condiciones y verificando
- Registrar los datos de la operación, la calidad y las condiciones del proceso
- Dar servicio de mantenimiento menor a las máquinas, moldes, guías, troqueles, soportes y herramientas (p. 85) [Negrilla de los autores].

7. Implementación completa del mantenimiento autónomo: Con las actividades del paso 6, los operarios desarrollan mayor moral y competencia. Al final serán independientes, hábiles y con la confianza en sí mismos para llevar a cabo el monitoreo de su propio trabajo y para implementar mejoras de forma autónoma. En este punto, las actividades de los círculos de mantenimiento se enfocan en eliminar las seis pérdidas e implementar las mejoras que el equipo de proyectos haya adoptado para cada taller (p. 86).

Auditoría del mantenimiento autónomo: Finalmente, el paso 8 se completa al instaurar las acciones para auditar la actividad del sistema completo. El requisito es que los supervisores y oficiales entiendan el ambiente de trabajo de manera íntegra y exhaustiva. Ellos deben dar a los grupos pequeños de trabajo las instrucciones y la motivación adecuados para que los trabajadores adquieran una sensación de logro y realización cuando completen cada paso (p. 86).

*PASO 9: Establecer un programa de mantenimiento para el departamento de mantenimiento.*

Dice el maestro Nakajima:

“El noveno paso en el programa de desarrollo es también una de las cinco actividades básicas TPM -un programa de mantenimiento periódico para el departamento de mantenimiento. Como se ha mencionado anteriormente, el mantenimiento programado realizado por el departamento de mantenimiento debe coordinarse con las actividades de mantenimiento autónomo del departamento de operaciones, de forma que los departamentos puedan funcionar conjuntamente como las ruedas de un vehículo.

Hasta tanto la inspección se convierta en parte de la rutina de los operarios, el departamento de mantenimiento deberá atender un número mayor de solicitudes como consecuencia del desarrollo del programa de TPM. Los operarios van a necesitar más apoyo para señalar las debilidades y diseñar las contramedidas en las áreas problemáticas. Como las fallas no van a desaparecer de inmediato, seguirán siendo un centro de atención. Si es necesario subcontratar o pagar horas extras, es necesario hacerlo para afianzar el compromiso de los operarios: el propósito es que los operarios no pierdan el entusiasmo en desarrollar el mantenimiento autónomo. Una vez disminuyan las fallas, el departamento de mantenimiento debe enfocarse en su propia organización.

El programa de mantenimiento periódico debe empezar a desarrollarse antes de que el paso 4 de inspección se haya completado del todo. Los estándares de ese paso los diseña el departamento de mantenimiento para que durante el paso 5 de inspección autónoma se puedan comparar con los estándares establecidos por los propios operarios. La división clara de responsabilidades entre los dos departamentos es la clave para lograr una inspección efectiva y exhaustiva. Ésta sólo estará completa con los dos conjuntos de estándares para comparar y combinar.

Una característica sobresaliente del sistema de mantenimiento autónomo del TPM son las reuniones de “Línea y Staff” que se llevan a cabo a primera hora de la mañana. Los supervisores de línea y los miembros del staff (supervisores de ingeniería y mantenimiento, por ejemplo) planean y programan conjuntamente las paradas de línea de producción y el trabajo de mantenimiento. La idea es tener rápidamente una programación semanal y mensual de mantenimiento y lograr una gestión más eficiente de las fallas que se presenten en el día a día. Se debe recordar incluir en la programación la solicitud de partes de repuesto a terceros.” (Nakajima, 1988, p. 90).

*PASO 10: Entrenamiento para mejorar capacidades de operación y mantenimiento.*

Dice el maestro Nakajima:

“La mejora de las capacidades de operación y mantenimiento es la cuarta actividad de desarrollo del TPM, [es decir que *es uno de los pilares del TPM* en sí mismo], y también el décimo paso del programa de desarrollo del TPM. En Japón, las grandes corporaciones de acero y de la electrónica proveen a sus empleados con entrenamiento técnico en centros bien equipados, pero otras compañías japonesas subestiman el valor del entrenamiento, especialmente el entrenamiento en técnicas de mantenimiento. La educación y el entrenamiento son inversiones en personal que rinden múltiples beneficios. Una compañía que implante el TPM debe invertir en entrenamiento que permita a los empleados gestionar apropiadamente el equipo. En adición al entrenamiento en técnicas de mantenimiento, los operarios deben afinar también sus capacidades en operación. El personal de mantenimiento es análogo al personal de salud: deben ser competentes o harán que el paciente se empeore. Para eso se crearon en Japón las certificaciones técnicas en mantenimiento, que corresponden a cada uno de los niveles de trabajo: 1) *aprendizaje básico*, que cubre la operación de los equipos mediante el uso de simuladores para obtener experiencia directa; 2) *dominio de habilidades*, que cubre las habilidades básicas para el diagnóstico y remedio de fallas anormales del equipo, también en simuladores; 3) *prueba de habilidades*, que cubre técnicas específicas aplicadas para evaluar la respuesta y desempeño en condiciones seguras, anormales y de optimización económica de la operación; y 4) *gestión avanzada*, que cubre técnicas básicas de modificación de diseño” (Nakajima, 1988, p. 95). [Cursivas de los autores]

*PASO 11: Desarrollo de un programa de gestión temprana de equipos.*

Dice el maestro Nakajima:

“La última categoría [o pilar] del TPM corresponde a la *gestión temprana de equipos*. Cuando se instala el nuevo equipo, a menudo aparecen problemas durante las operaciones de test, y arranque, aunque durante el diseño, la fabricación, y la instalación toda parece marchar normalmente. Puede que los ingenieros de mantenimiento e ingeniería tengan que hacer muchas mejoras antes de que comience la operación normal. Incluso entonces, las reparaciones iniciales, la inspección, el ajuste, la lubricación y limpieza iniciales que pueden prevenir el deterioro y las fallas son a menudo tan difíciles de reparar que los ingenieros de supervisión se desmoralizan completamente. Como resultado, pueden pasarse por alto la inspección, lubricación, y limpieza, lo que necesariamente prolonga las paradas del equipo incluso para las averías menores.

La calidad del mantenimiento productivo subsecuente dependerá mayormente del origen de la tecnología de aseguramiento de confiabilidad y mantenibilidad. Si los departamentos de ingeniería, diseño y mantenimiento desarrollaron esta tecnología a partir de su experiencia y de su propio esfuerzo, las cosas serán diferentes por contraste con el caso en que la tecnología vino de afuera. Así pues, el personal a cargo de la gestión temprana de equipos son los ingenieros de producción y mantenimiento, como parte de su enfoque comprehensivo hacia la prevención del mantenimiento (MP) y el diseño libre de mantenimiento” (Nakajima, 1988, p. 97). Estas metas generan a su vez actividades en las etapas de planeación, diseño, fabricación, instalación, corridas de prueba y puesta en operación (con un flujo real de productos) de la maquinaria. Los objetivos de esas actividades son:

- Lograr los máximos niveles de operación posibles dentro de los límites de la planeación de equipos e inversiones.
- Reducir el periodo de tiempo entre el diseño y la operación estable.
- Realizar progresos durante ese período eficientemente, con mínima mano de obra y sin desbalance de la carga de trabajo.
- Asegurar que los equipos diseñados estén en los más altos niveles de confiabilidad, mantenibilidad, operatividad económica y seguridad.

El staff de ingeniería y mantenimiento puede absorber y aplicar conocimiento sobre el diseño de prevención del mantenimiento trabajando en llave con los ingenieros de diseño durante la puesta en operación para eliminar los problemas directamente en la fuente. [...] La puesta en operación [*commissioning*] es la última oportunidad de detectar y corregir fallas que no se hayan anticipado.

La meta del TPM es maximizar la efectividad del equipo, es decir, lograr un Costo de Ciclo de Vida (LCC) óptimo en economía. Según B.S. Blanchard [...], prácticamente el 95 por ciento del Costo de Ciclo de Vida se determina en la etapa de diseño. [...] Tratar de reducir ese Costo con posterioridad a la etapa de diseño solamente afectará al 5% de la cifra general (Nakajima, 1988, p. 98).

La esencia de los esfuerzos en gestión temprana es la prevención de los problemas de antemano: es emplear esfuerzo y tiempo en las etapas tempranas para reducir ampliamente el número y el costo de los problemas que ocurren después.

*PASO 12: Implantación plena del TPM y contemplar metas más elevadas.*

Dice el maestro Nakajima:

“El paso final en el programa de desarrollo del TPM es perfeccionar la implantación del TPM y fijar metas futuras aún más elevadas. Durante este período de estabilización cada uno trabaja continuamente para mejorar los resultados TPM, de forma que puede esperarse que dure algún tiempo” (Nakajima, 1988, p. 99).

#### **4.2.5. Definición de 5S**

En el nivel más básico de la metodología, y sustentando a los ocho pilares del TPM, se encuentran las 5S japonesas, un conjunto de cinco principios que expresan una filosofía pragmática de la vida y del trabajo que a su vez genera responsabilidad. La idea básica se resume en cuatro puntos:

- 1) Deshacerse de todo lo que sea innecesario.
- 2) Poner lo que sí necesita en su lugar correcto para que esté a mano.
- 3) Mantener el espacio limpio y ordenado en todo momento, reconociendo que la limpieza es pulcritud (una mente/actitud clara), es detectar el deterioro (a través de la inspección), es poner las cosas en orden antes de que se conviertan en catástrofes, es el orgullo propio en el lugar de trabajo, que genera autoestima.
- 4) Transmitir esa disciplina y orden a sus colegas para que todos nos esforcemos por una planta libre de polvo y suciedad (Willmott & McCarthy, 2001, p. 13).

Una vez que se logra limpiar el espacio de trabajo, los posibles problemas empiezan a revelarse por sí mismos, ya que los operarios pueden por fin ver y entender el estado y operación verdadero de sus equipos. De esa manera se inicia el mantenimiento productivo, pues el entrenamiento les permitirá saber de antemano cuándo se necesitará dar servicio a los equipos y hacer ellos mismos lo que esté a su alcance como mantenimiento autónomo. Eso también hace que la gente especializada en mantenimiento se dedique a labores más prioritarias o de mayor nivel y todo el

proceso aumente en eficiencia (Willmott & McCarthy, 2001, p. 67). Cada una de las 5S corresponde a un concepto japonés como se muestra a continuación.

### *Seiri*

Corresponde a *Separar* y organizar. Su esencia es clasificar los elementos en el sitio de trabajo entre necesarios e innecesarios; estos últimos deben eliminarse. También consiste en hacer que el flujo de materiales se integre con el mejor método operacional posible.

### *Seiton*

Corresponde a ordenar o *Situar*. Cada cosa tiene su lugar y debe estar en su sitio, es decir, debe estar almacenada correctamente para encontrarla fácilmente; cada ubicación debe estar claramente definida, presentada y mantenida.

### *Seiso*

Corresponde a limpiar o *Sacudir* (el polvo). Se debe quitar la suciedad periódicamente y mantener siempre un sitio pulcro y seguro.

### *Seiketsu*

Corresponde a *Segregar* visualmente por estandarización lo correcto de lo incorrecto, evitando sucumbir a la desidia y saber prevenir la suciedad.

### *Shitsuke*

Corresponde a *Someterse* mediante la disciplina a la formalidad de la práctica de estos conceptos.

## 5. Marco metodológico

### 5.1. Tipo de investigación.

La metodología general que rige el presente proyecto es la investigación aplicada. De acuerdo con las características esenciales de esta metodología, los investigadores buscaron la solución de una problemática específica, enfocándose en la aplicabilidad de una herramienta: el TPM. Del mismo modo, los objetivos de investigación se orientaron a la atención de la necesidad de un cliente / patrocinador, quien se benefició del presente análisis. Finalmente, la validación de los resultados de este proyecto tiene un carácter externo, ya que es la empresa objeto de estudio la que puede determinar si los resultados le son de utilidad o no (Dudovskiy, 2019).

Para mejor contextualizar el presente trabajo, se enuncian a continuación los subtipos principales de metodología de investigación según la clasificación de Bernal (2010), los cuales se consideran actualmente en diversos proyectos. La Tabla 2 tiene como propósito describir las principales características de cada uno de ellos, para así justificar el subtipo que se estableció como más adecuado para el desarrollo de este proyecto.

**Tabla 2**  
**Tipos de investigación**

<b>Tipo de Investigación</b>	<b>Características</b>
Histórica	Analiza sucesos del pasado, los relaciona con otros de la época y con otros eventos del presente
Documental	Analiza información escrita sobre un determinado tema para “establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento” (Bernal, 2010, p. 111).
Descriptiva	Se aproxima al análisis mediante la descripción, utilizando su “capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de ese objeto” (Bernal, 2010, p. 113)

Tipo de Investigación	Características
Correlacional	Para Bernal “la correlación examina asociaciones, pero no relaciones causales” (2010, p. 114) entre rasgos, cualidades o atributos de la población objeto del estudio.
Explicativa o causal	Da razón del porqué de los fenómenos, analizando causas y efectos de la relación entre variables.
Estudio de caso	“Los estudios de caso, como método de investigación, involucran aspectos descriptivos y explicativos de los temas objeto de estudio, pero además utilizan información tanto cualitativa como cuantitativa” (Bernal, 2010, p. 116)
Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o varias variables independientes sobre otras (dependientes).
Seccional o transversal	Recoge información del objeto de estudio en una oportunidad única. Corresponde generalmente a investigaciones descriptivas o explicativas.
Longitudinal	Recoge información de su objeto en diferentes oportunidades para comparar los datos obtenidos de la misma población a lo largo del tiempo con el fin de evaluar cambios.

**Fuente:** Metodología de la Investigación (Bernal, 2010, p. 110 ss)

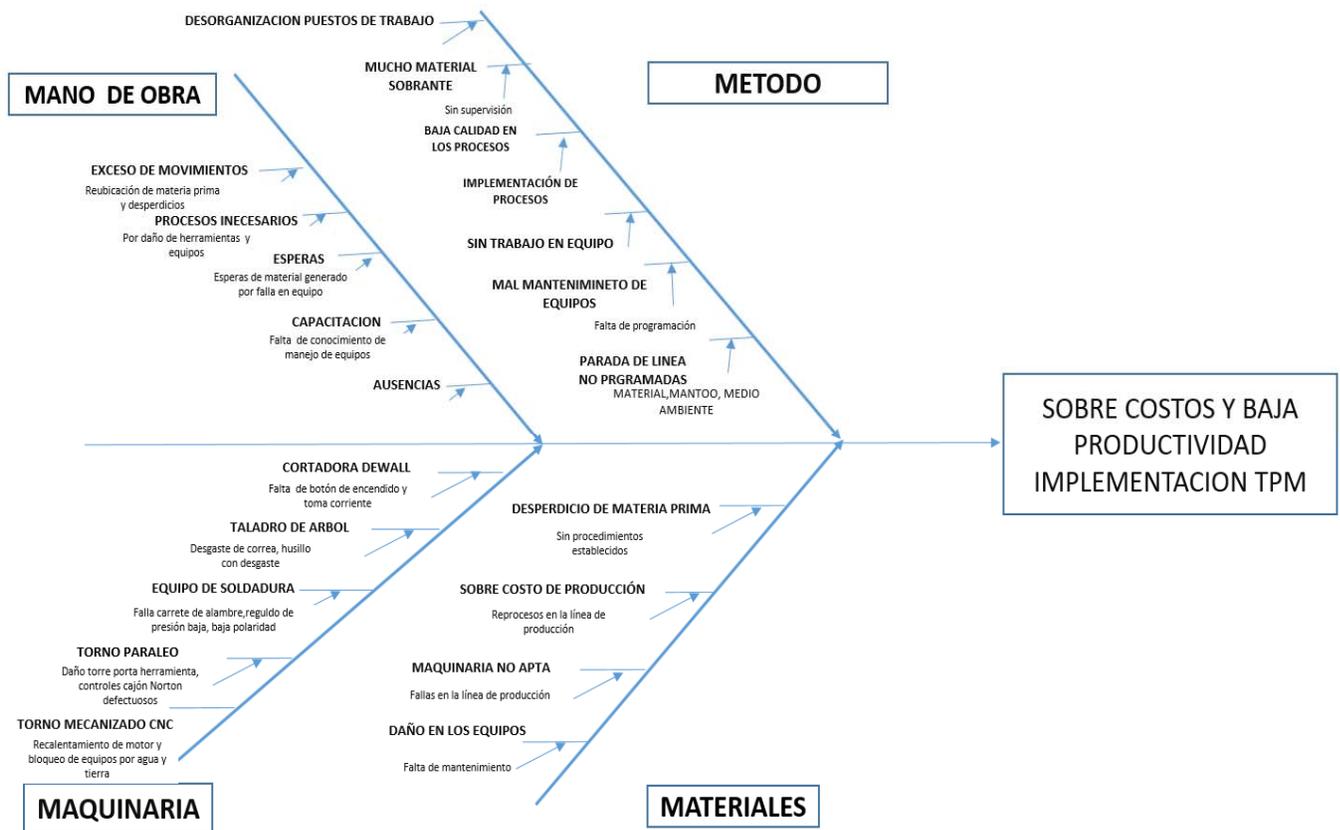
El presente proyecto corresponde a una investigación en parte documental y en parte de estudio de caso. En su parte documental, esta investigación accedió a diversos textos técnicos de referencia en los cuales se habla del TPM, sus pilares y la forma de implementarlos en la industria automotriz. En su parte de estudio de caso, los investigadores visitaron la planta manufacturera, analizaron su situación actual y determinaron un plan de mejoramiento adecuado a esas circunstancias y basado en los documentos teóricos y prácticos encontrados sobre el TPM. De ese modo, el análisis y los resultados fueron de fácil interpretación por parte del personal involucrado en la empresa objeto de estudio.

## **5.2. Recolección de información**

En respuesta a los objetivos específicos de este trabajo se realizó un diagnóstico inicial en la compañía Niko Racing con el fin de poder determinar las condiciones de la misma, así como una revisión documental suficiente para poder generar un plan de implementación del TPM. Esta revisión quedó soportada en fuentes como páginas de internet, manuales TPM, libros y artículos de revistas; en general se compiló todo lo relacionado con el protocolo de implementación del TPM. De este modo se unieron dos vertientes de información para analizar las oportunidades de mejora necesarias para implementar el TPM, obedeciendo procesos ya establecidos a nivel mundial

Finalmente, y del modo propuesto arriba a partir de la recolección de información en el terreno, se generó el plan de implementación del TPM con el fin de mejorar índices de productividad, disponibilidad de equipos y herramientas. El proceso adicionalmente contó con fuentes adicionales, como conversaciones con expertos en implementaciones del TPM a nivel local que han tenido éxito en varias compañías. Estos también fueron insumos esenciales para el desarrollo del proyecto

### 5.2.1. Diagrama de causa y efecto



#### 5.2.1.1 Fuentes y Herramientas

Para el primer momento de investigación documental, las fuentes y herramientas corresponden a las bases de datos bibliográficas, los recursos de información técnica en línea y las bibliotecas universitarias visitadas.

En cuanto a la etapa del estudio de caso, las herramientas de recolección de información que se emplearon corresponden a las propias de la toma de datos en campo: notas tomadas por

observación directa, fotografías, grabación de audio y video. La fuente primaria fue la observación directa de la planta y la secundaria los datos de la empresa. Por confidencialidad no se harán públicos estos últimos.

### **5.2.2. Desarrollo y presentación de la información recopilada**

La evidencia del desarrollo metodológico se presenta a continuación.

#### *5.2.2.1. Descripción del producto que se ensambla en la compañía*



**Ilustración 3** Vehículo Salamandra diseñado por Niko Racing  
**Fuente:** Elaboración propia

<b>Descripción de Producto Salamandra 3</b>	
<p>* Es un auto deportivo monoplaza tipo prototipo para carreras, equipado con motor Suzuki hayabusa de 1.340 c/c. De 205 HP a nivel del mar.</p> <p>*Chasis tubular, estructura de acero especial, con craschbox en honeycomb para mayor seguridad. Su peso es de 520kilos.</p> <p>*Sistema de suspensión delantera y trasera independiente de doble tijera, con amortiguadores enfrentados y barra estabilizadora regulable.</p> <p>*Caja de cambios de 6 velocidades secuencial manual o con sistema de paddle shift.</p> <p>*Sistema de frenos WILWOOD de 260mm /opcional 300mm, discos ventilados fijos, opcionales flotantes.</p> <p>*Transmisión RPE de relaciones intercambiables.</p>	

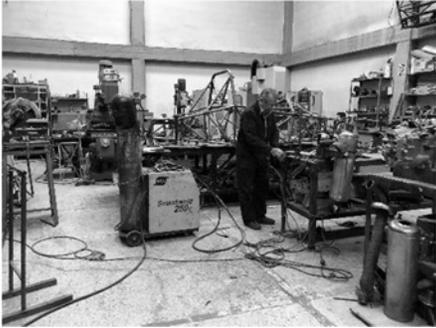
#### **Ilustración 4 Características del vehículo deportivo Salamandra**

Fuente: [Salamandra 3 \(Niko Racing, 2018\)](#)

### *5.2.2.2. Descripción general de equipos y herramientas en el área de producción*

**Tabla 3**  
**Equipos y herramientas**

<b>Herramienta o máquina</b>	<b>Ilustración</b>
<p>Torno Mecanizado CNC programación CAM 100CM5</p>	

Herramienta o máquina	Ilustración
Torno Mecanizado CNC programación CAM 10120 2008 MAZAK	
Torno Paralelo 1000 Colchester	
Equipo soldadura ESAB Smashweld 250	

Herramienta o máquina	Ilustración
Taladro Árbol 1.0 MT ¼ HP 12vol	
Cortadora DE WALT MT600 110 VOL	

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.2.2.3. Localización e identificación de equipos y herramientas

Se identificaron las máquinas y las fallas más recurrentes que afectan su disponibilidad durante proceso de ensamblaje de los Karts.

**Tabla 4**  
**Fallas en equipos y herramientas**

Herramienta o máquina	Fallas Presentadas	Ilustración
Torno Mecanizado CNC programación CAM 100CM5	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Recalentamiento motor de alimentación 220v.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Fuga de Líquido de enfriamiento de corte.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Bloqueo de equipo por presencia de agua y tierra</li> </ul>	
Torno Mecanizado CNC programación CAM 10120 2008 MAZAK	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Fuga de líquido de enfriamiento por manguera.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Presencia de excesiva viruta en rieles y contenedor.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Bloqueo de señal por mal estado de conectores expuestos al polvo y agua.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Daño en control de comandos de manejo del equipo deteriorado.</li> </ul>	
Torno Paralelo 1000 Colchester	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Daño en torre porta herramienta</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Falla en carro porta herramienta</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Controles caja Norton defectuosos en mal estado presencia de polvo agua y tierra</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Falla en selector de velocidades partido.</li> </ul>	
Equipo soldadura Smashweld 250 ESAB	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Falla en carrete de alambre desajustado</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Tobera deteriorada</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Pistola en mal estado golpeada</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Reguladores de presión en mal estado y con presencia de agua</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Daño en botón de regulación de polaridad</li> </ul>	

Herramienta o máquina	Fallas Presentadas	Ilustración
Taladro Árbol 1.0 MT ¼ HP 12vol	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Desgaste en correa</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Husillo con desgaste</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Motor falla permanente</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Conector toma corriente en mal estado</li> </ul>	
Cortadora DE WALT MT600 110 VOL	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Conexión toma corriente en mal estado</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Botón encendido en mal estado falla intermitente</li> </ul>	
Herramientas desorganizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Torques sin calibración</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Pistolas bajas de torque</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Pistolas sin baterías</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Extensiones eléctricas en mal estado</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.2.4. Plan de implementación del TPM

A partir del diagnóstico se seleccionaron los pilares de Mejoras Enfocadas (*Kobetsu Kaizen*) y mantenimiento autónomo en el área de producción. Se planea aplicar el pilar de Mejoras Enfocadas utilizando la herramienta 5s y el mantenimiento autónomo. A continuación se muestra el resultado

del proceso de clasificación y descarte llevado a cabo en el área de producción de Niko Racing. Las imágenes muestran una elevada desorganización y falta de aseo:



**Ilustración 5** Registro fotográfico del área de producción  
**Fuente:** Elaboración propia

El procedimiento para seguir en esta primera parte es generar una identificación clara y el listado de los elementos innecesarios e indicar su ubicación, cantidad encontrada, frecuencia de uso y acción sugerida para su eliminación, se pueden diseñar tarjetas de color. Este tipo de tarjetas se permitirá marcar o "descubrir" que en el área de trabajo existe algo innecesario y que se debe tomar una acción correctiva. Pueden utilizarse tarjetas de color rojo colocando en estas, todos los elementos de poco uso o ningún uso, que deben retirarse del área de producción a continuación (Ilustración 6), muestra la tarjeta de señalización de color rojo para eliminar accesorios, herramientas, etc., del área de trabajo:

No. _____	
<b>TARJETA ROJA 5'S</b>	
Información Gen-	
Propuesta por _____	Responsable de área _____
Área / Depto. _____	
Descripción de artículo _____	
<b>CATEGORIA</b>	
<input type="checkbox"/> Máquina/Equipo	<input type="checkbox"/> Material gastable
<input type="checkbox"/> Herramienta	<input type="checkbox"/> Materia prima
<input type="checkbox"/> Instrumento	<input type="checkbox"/> Trabajo en proceso
<input type="checkbox"/> Partes eléctricas	<input type="checkbox"/> Producto terminado
<input type="checkbox"/> Partes mecánicas	<input type="checkbox"/> Otros
OTROS/COMENTARIO _____	
<b>RAZON DE TARJETA</b>	
<input type="checkbox"/> Innecesario	<input type="checkbox"/> Defectuoso
<input type="checkbox"/> Fuera de especificaciones	<input type="checkbox"/> Otros
Otros _____	
<b>ACCION REQUERIDA</b>	
<input type="checkbox"/> Eliminar	
<input type="checkbox"/> Agrupar en espacio separado	
<input type="checkbox"/> Retornar	
Otros: _____	
Fecha inicio ___/___/___	Final de la acción ___/___/___

**Ilustración 6** Tarjeta Roja 5S (Cruz & Pérez, 2010)

A continuación, encontrará un breve resumen de la forma de diligenciamiento y una descripción de la tarjeta 5S.

**Categoría.** Describe el tipo de artículo en el que está colocada la tarjeta. Este punto está simplificado por medio de literales, para poder ser más fácil su llenado, tales literales son: Maquinaria, accesorios y herramientas, instrumentos de medición, materia prima, producto terminado y equipo de oficina.

- **Nombre del artículo.** Identifica el artículo que está siendo clasificado.
- **Fecha.** Cuando se realizó la clasificación del artículo.
- **Localización.** El lugar donde se encuentra ubicado el artículo dentro del área de producción, para poder ser encontrado fácilmente.
- **Departamento.** División de la planta en la que se encuentra el artículo.

- **Cantidad.** Cuando se trata de varios artículos de un mismo tipo ubicados en el área de producción, para evitar el exceso de tarjetas en una zona.
- **Razones.** Motivos por lo que se requiere eliminar este artículo. Como, por ejemplo: no se necesitan, no se necesita pronto, material de desperdicio, uso desconocido, excedente, obsoleto, contaminante y otro.
- **Modo de eliminación.** Tipo de acción que se tomará para poder eliminar el artículo, entre los cuales se encuentran: Tirar, vender, otros, mover áreas externas o mover a almacén.

Una vez visualizado y marcados con las tarjetas las herramientas o material innecesario, se debe tomar la decisión de mover todo lo seleccionado a una nueva ubicación o eliminar, Luego de la aplicación de cada uno de los pasos anteriores, se procede a realizar una evaluación y un informe final sobre las decisiones tomadas.



**Ilustración 7** Etiquetado con Tarjetas de eliminación. Niko Racing.

**Aplicación de *Seiton* – Situar u “organización”:**

Este hace parte de la herramienta 5s y consiste en reorganizar los elementos que quedaron como necesarios, la aplicación del *Seiton* requiere de la aplicación de métodos simples y desarrollados por los colaboradores, por ejemplo:

- a. Definir un nombre, código o color para cada clase de artículo.
- b. Determinar la cantidad exacta que debe haber de cada artículo.
- c. Decidir donde guardar las cosas tomando en cuenta la frecuencia de su uso.
- c. Crear los medios para asegurar que cada artículo regrese a su lugar.
- d. Colocar las cosas útiles por orden según criterios de: Seguridad / Calidad / Eficacia.
- e. Para que las medidas definidas sean sustentables, se deberán elaborar procedimientos que permitan mantener el orden (Tuárez Medranda, 2013).

***Seiketsu (Segregar para Higiene y Organización):***

La estandarización significa crear un modo consistente de realización de tareas y procedimientos, significa que cualquiera puede operar dicha maquinaria, por lo anterior, el Orden es la esencia de la estandarización, un sitio de trabajo debe estar completamente ordenado antes de aplicar cualquier tipo de estandarización.

Esta metodología que permite mantener los logros alcanzados con la aplicación de las tres primeras “S”. Si no existe un proceso para conservar los logros, es posible que el lugar de trabajo nuevamente llegue a tener elementos innecesarios y se pierda la limpieza alcanzada con nuestras acciones anteriores (Tuárez Medranda, 2013).



**Ilustración 8** Cuarto de herramientas

**Fuente:** <<https://www.pinterest.at/pin/524950900300294039/>>

### **¿Como implantar la limpieza estandarizada?**

*Seiketsu* es la etapa de conservar lo que se ha logrado aplicando estándares a la práctica de las tres primeras “S”. Esta cuarta S está fuertemente relacionada con la creación de los hábitos para conservar el lugar de trabajo en perfectas condiciones.

Para implantar *Seiketsu* se requiere lo siguiente:

#### **Asignar trabajos y responsabilidades**

Para mantener las condiciones de las tres primeras, cada operario debe conocer exactamente cuáles son sus responsabilidades sobre lo que tiene que hacer y cuándo, dónde y cómo hacerlo. Si no se asignan a las personas tareas claras relacionadas con sus lugares de trabajo, *Seiri*, *Seiton* y *Seiso* tendrán poco significado.

Deben darse instrucciones a cada persona sobre sus responsabilidades y acciones a cumplir en relación con los trabajos de limpieza y mantenimiento autónomo, los estándares pueden ser

preparados por los operarios, pero esto requiere una formación y práctica **kaizen (mejora continua)** para que progresivamente se vayan mejorando los tiempos de limpieza y métodos.

Las ayudas que se emplean para la asignación de responsabilidades son:

- a. Diagrama de distribución del trabajo de limpieza preparado en *Seiso*.
- b. Manual de limpieza
- c. Tarjeta TPM de gestión visual diaria donde se registra la inspección diaria.
- d. Programa de trabajo *Kaizen* (mejora continua) para eliminar las áreas de difícil acceso, fuentes de contaminación y métodos de limpieza (Tuarez Medranda, 2013).



**Ilustración 9** Línea de montaje 5S

**Fuente:** <<https://twitter.com/ustaindustrial/status/1113904610677280776/photo/3>>

### **Integrar las acciones *Seiri*, *Seiton* y *Seiso* en los trabajos de rutina.**

El estándar de limpieza de mantenimiento autónomo facilita el seguimiento de las acciones de limpieza, lubricación y control de los elementos de ajuste y fijación. Estos estándares ofrecen toda la información necesaria para realizar el trabajo. El mantenimiento de las condiciones debe ser una parte natural de los trabajos regulares de cada día.

En caso de ser necesaria más información, se puede hacer referencia al Manual de Limpieza preparado para implantar *Seiso*. Los sistemas de control visual pueden ayudar a realizar “vínculos” con los estándares.

Si un trabajador debe limpiar un sitio complicado en una máquina, se puede marcar sobre el equipo con un adhesivo la existencia de una norma a seguir. Esta norma se ubicará en el tablero de gestión visual para que esté cerca del operario en caso de necesidad. Se debe evitar guardar estas normas en manuales y en armarios en la oficina; esta clase de normas y lecciones de un punto deben estar ubicadas en el tablero de gestión y esté muy cerca del equipo.

***Shitsuke (Someterse a Disciplina y Compromiso):***

Las cuatro “S” anteriores se pueden implantar sin dificultad si en los lugares de trabajo se mantiene la Disciplina. Su aplicación nos garantiza que la seguridad será permanente, la productividad se mejore progresivamente y la calidad del producto sea excelente.

*Shitsuke* implica el desarrollo de la cultura del autocontrol dentro de la empresa. Si la dirección de la empresa estimula a que cada uno de los integrantes aplique el Ciclo Deming (Ciclo de Mejora Continua – Chequear, Analizar, Planear y Hacer, CAPDO) en cada una de las actividades diarias, es muy seguro que la práctica del *Shitsuke* no tendría ninguna dificultad. El *Shitsuke* es el puente entre las 5S y el concepto *Kaizen* (mejora continua) como se observa en la Ilustración 10.

**5s en equipos y herramientas:**

Para mejorar los niveles de Productividad, Calidad y Seguridad. Uno de los factores que motivan a las personas a entregar lo mejor de sus competencias, es la calidad del entorno de su trabajo. El método de las 5S mejora las cualidades de orden, limpieza, distribución, accesibilidad, etc. de cada área de trabajo del empleado. Para desarrollar el trabajo en equipo, la meta común es crear y mantener un lugar de trabajo pulcro este será el inicio en la formación de equipos.



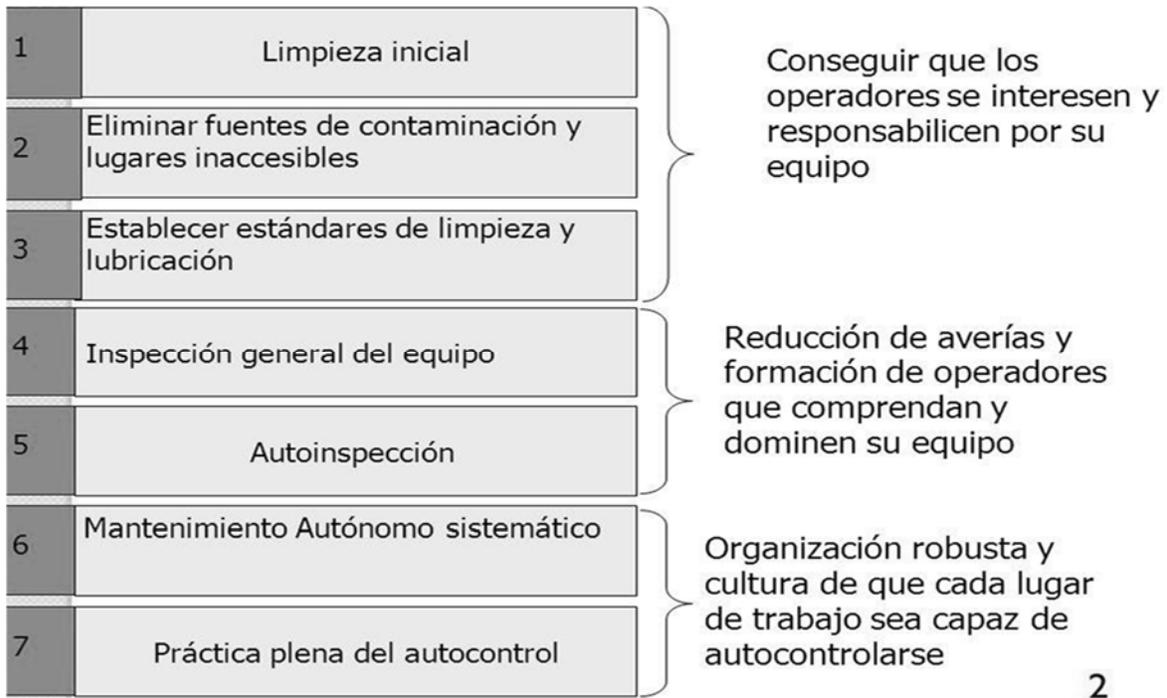
**Ilustración 10** Piso de planta 5S (Evans, 2017)

### **¿Pero cómo aplicamos las 5s en las herramientas y Equipos?**

1. Todos y cada uno de los empleados debe tener claridad sobre ellos. En general se reconocen como propósitos generales, tener lugares de trabajos organizados, limpios y ordenados.
2. Desarrollar la autodisciplina, mediante la mantención del orden y limpieza.
3. Establecer un sistema de mejoramiento continuo de todos los procesos necesarios para el cumplimiento de las metas organizacionales.

### **Mantenimiento Autónomo.**

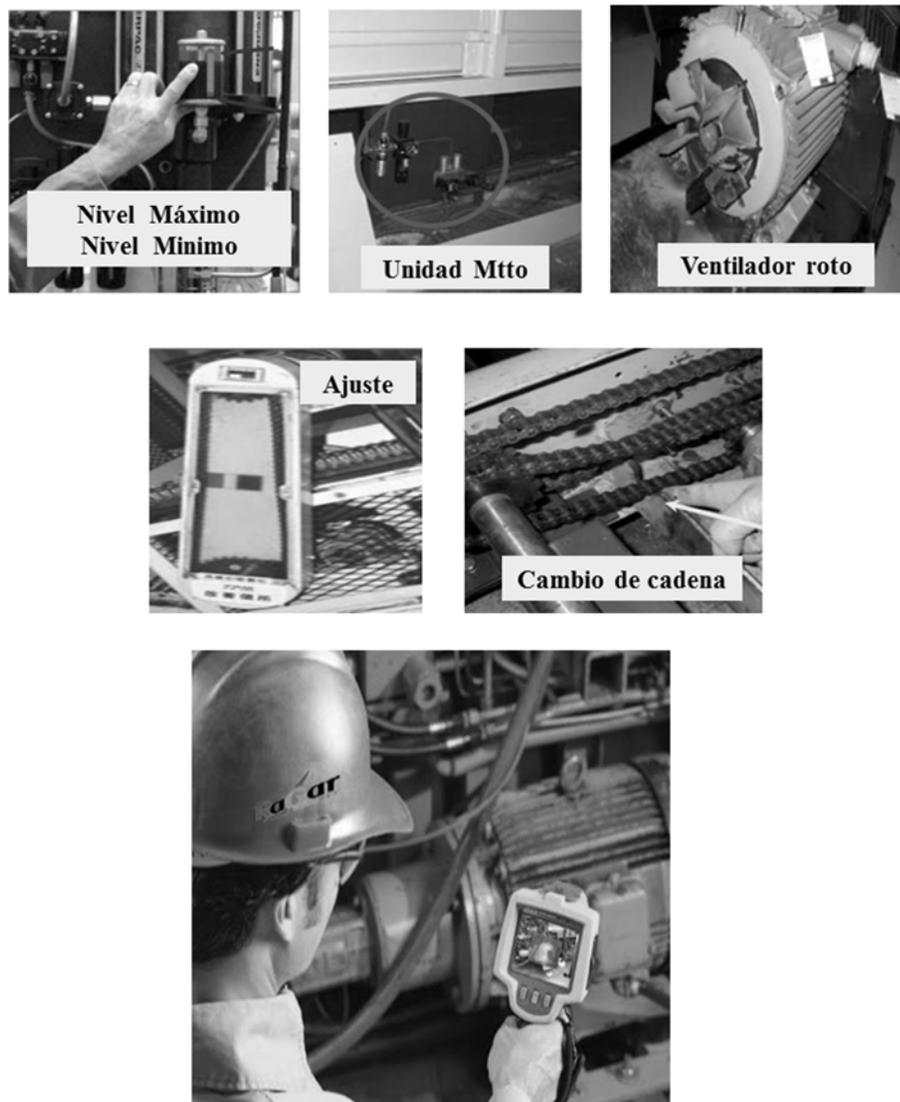
El mantenimiento autónomo es un pilar del TPM y busca que los operadores sean responsables de los mantenimientos más sencillos que requieren los equipos y herramientas, estos son los pasos que se recomiendan para la implementación de mantenimiento autónomo:



**Ilustración 11** Los 7 pasos del Mantenimiento Autónomo (Palencia, 2014, p. 2)

- Limpieza: Limpiar para eliminar polvo y suciedad principalmente en el bastidor del equipo; lubricar y apretar pernos; descubrir problemas y corregirlos.
- Medidas contra la causa de los problemas: prevenir la causa del polvo, suciedad, y difusión de esquirlas, mejorar partes que son difíciles de limpiar y lubricar, reducir el tiempo requerido para limpiar y lubricar.
- Estándares de limpieza y lubricación: establecer estándares que reduzcan el tiempo gastado limpiando, lubricando, y apretando (específicamente tareas diarias y periódicas).
- Inspección general: es la inspección manual se genera instrucción, los miembros de los equipos de trabajo descubren y corrigen defectos menores del equipo.
- Inspección autónoma: desarrollar y emplear listas de chequeo para inspección autónoma.

- Organización: estandarizar categorías de control de lugares de trabajo individuales; sistematizar a fondo el control del mantenimiento, así como también estándares de inspección para limpieza y lubricación, estándares para registrar datos y estándares para mantenimiento piezas y herramientas.
- Auto gestión: desarrollos adicionales de políticas y metas, incrementar regularidad de actividades, registrar resultados análisis MTBF (Mean Time Between Failures) y diseñar contra medidas que afecten la productividad. (Delgado, 2017)



**Ilustración 12** Mantenimiento Autónomo (KAIZEN, TPM Y MANTENIMIENTO, 2013; Metartec, 2011).

Para finalizar, se presentarán los resultados y conclusiones una vez se realice la implementación del TPM, y se harán recomendaciones para futuros desarrollos del TPM.

## 5.2. Análisis de la información

En el siguiente apartado se hará un análisis de la información expuesta mostrando las formas de aplicación para conocimiento explícito.

### 5.2.1. Proyecto 5S

- Reconocer toda el área elegida, mediante un recorrido tomando fotos (Ver Ilustración 5)
- Agrupar por afinidad todos los ítems
- Separar y etiquetar con Tarjeta Roja los artículos que no son necesarios. (ver Ilustración 6 Tarjeta Roja 5S Ilustración 6).
- Identificar equipo que requiere mantenimiento y si fue identificado al momento de realizar 5S etiquetar con la Tarjeta Azul (ver Ilustración 13).

Prepaciado a 5 CM del borde superior

18 cm

7 cm

**Ilustración 13** Tarjeta azul 5S (Olivares, 2013)

- Se elabora un listado con las clasificaciones.

- a) Listado Actual de Equipos
- b) Listado Actual de Repuestos
- c) Listado Actual de Muebles.
- e) Listado Actual de Herramientas

**Tabla 5**

**Clasificación de activos y herramientas**

<b>Clasificación de Equipos y Activos</b>			
<b>Clasificación</b>	<b>Código Interno</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Estado y Observaciones</b>
<b>Equipos</b>			
<b>Repuestos</b>			
<b>Herramientas</b>			
<b>Muebles</b>			
Autorización: Fecha Firma			

**Fuente:** Consulta personal Ing. Mago

Para identificar los equipos a activos críticos es necesario determinar el impacto operacional y la probabilidad de falla para calcular de esta forma el nivel de criticidad y utilizar la matriz correspondiente. Con la determinación de esta condición se puede realizar un plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) si fuera el caso, o un AMEF (Análisis de modo y efecto de falla) de acuerdo con el nivel de severidad, ocurrencia y detección que permite calcular el NPR (Nivel Ponderado de Riesgo). Los elementos críticos en la matriz tienen un color rojo, cuando están en alerta amarillo y si no tienen riesgo son de color verde,

igual que un semáforo. El impacto operacional tiene unos variables relacionadas con los costos y condiciones medioambientales.

Hay que establecer las jerarquías de los sistemas, subsistemas o instalaciones y equipos en función de los criterios técnicos y financieros con el fin de facilitar la toma de decisiones en cuanto a seguridad, ambiente, producción, tiempo para reparar, frecuencia de fallas y costos.



**Ilustración 14** Árbol de Jerarquización (Guevara et al., 2015)

Y ese indicador se refleja en la matriz de riesgo mostrada en la ilustración 14

$$\text{CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA DE FALLAS} * \text{CONSECUENCIA}$$

En la Matriz de Criticidad se identifican con letras los niveles de criticidad:

- B** Criticidad Baja color verde
- M** Criticidad Media color amarillo
- A** Criticidad Alta color rojo

Categoría de Frecuencia	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
	Categoría de Consecuencias	1	2	3	4	5

**Matriz de Criticidad**

**Ilustración 15** Matriz de Criticidad (Guevara et al., 2015, p. 136)

Una vez se identifique los niveles de criticidad llevamos los equipos previamente clasificados a un Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) determinando el NPR (Número Ponderado de Riesgo) midiendo el nivel de severidad, ocurrencia y detección.



- El piso de cada área de trabajo se mantiene limpia y en la medida de lo posible, en seco. Cuando se utilizan procesos húmedos, se debe mantener el drenaje.
- Las superficies de trabajo para caminar se deben mantener libres de peligros tales como objetos afilados o sobresalientes, tableros sueltos, corrosión, fugas y derrames (Verde y Segura Manufactura, 2017, párr. 4).

Para el dimensionamiento de las vías de circulación deben considerarse los siguientes aspectos:

- Vías exclusivamente peatonales las dimensiones mínimas de las vías destinadas a peatones serán de 120 cm para pasillos principales y de 100 cm para pasillos secundarios.
- Vías exclusivas de vehículos de mercancías si son de sentido único su anchura deberá ser igual a la anchura máxima del vehículo o carga incrementada en 100 cm. Si son de doble sentido su anchura será de al menos dos veces la anchura de los vehículos o cargas incrementada en 140 cm.
- Altura de las vías de circulación: la altura mínima de las vías de circulación será la del vehículo o su carga incrementada en 30 cm.
- Vías mixtas: para el caso de vías mixtas de vehículos en un sólo sentido y peatonales en doble sentido la anchura mínima será la del vehículo o carga incrementada en 200 cm (100 cm por cada lado). Para el caso vías mixtas de vehículos en un sólo sentido y peatonales en sentido único la anchura mínima será la del vehículo o carga incrementada en 100 cm más una tolerancia de maniobra de 40 cm. Para el caso de vías de doble sentido de vehículos y peatonales la anchura mínima será la de dos vehículos incrementada en 200 cm más una tolerancia de maniobra de 40 cm.

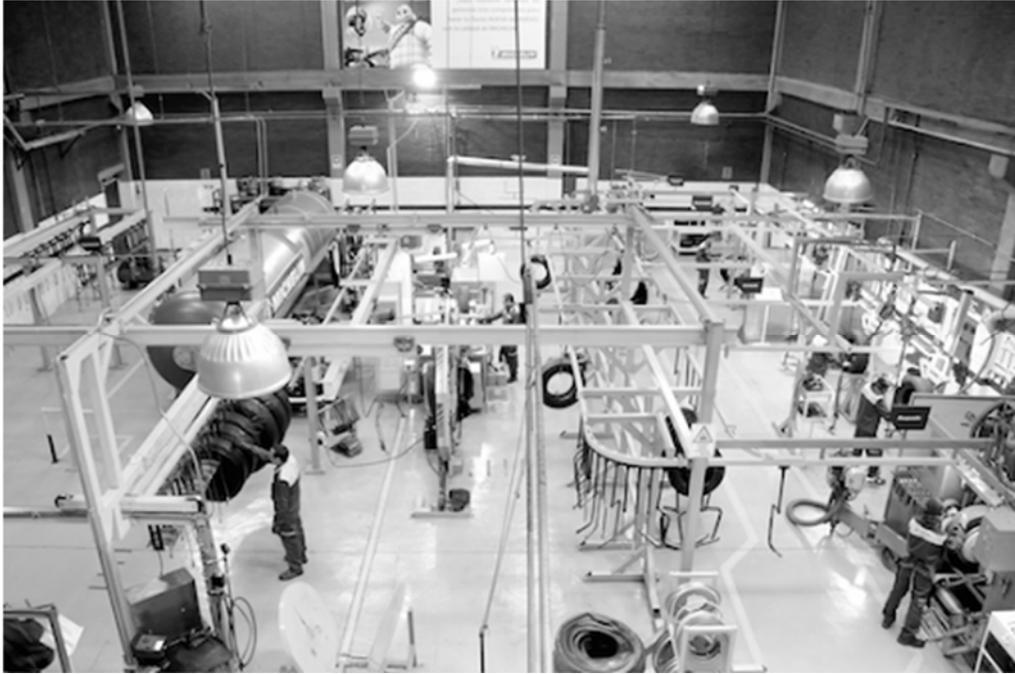
- Separación entre máquinas y pasillos: la separación entre las máquinas y los pasillos no será inferior a 80 cm, contándose desde el punto más saliente de la propia máquina o de sus órganos móviles.
- Acceso a partes de máquinas: la unidad de paso para acceder a puntos de máquinas, aunque sea de forma ocasional, requiere una anchura mínima de 80 cm. (Verde y Segura Manufactura, 2017, párr. 5)



**Ilustración 17** Corredores en planta.

**Fuente:** Instalaciones de la planta de fabricación de GM Colmotores. Natalia Pedraza.

<https://www.elespectador.com/noticias/autos/conozca-donde-se-hacen-dos-de-los-carros-mas-vendidos-en-colombia/>



**Ilustración 18** Planta Renoboy S.A. con implantación TPM <<https://renoboy.com/acerca-de-nosotros/>>

MANUTENÇÃO							
TPM	Número da etiqueta						
	Fase MP	1	2	3	4	5	6
Prioridade		A	B	C			
Anomalia detectada							
Máquina: _____							
Local: _____							
Quem: _____							
Data: _____							
Descrição da Anomalia							

SEGURANÇA							
TPM	Número da etiqueta						
	Fase MA	1	2	3	4	5	6
Prioridade		A	B	C			
Anomalia detectada							
Máquina: _____							
Local: _____							
Quem: _____							
Data: _____							
Descrição da Anomalia							

OPERACIONAL							
TPM	Número da etiqueta						
	Fase MA	1	2	3	4	5	6
Prioridade		A	B	C			
Anomalia detectada							
Máquina: _____							
Local: _____							
Quem: _____							
Data: _____							
Descrição da Anomalia							

**Ilustración 19** Etiquetado TPM < <https://www.manutencaoemfoco.com.br/etiqueta-de-seguranca/>>

**Etiquetas y Señales:** por condiciones de seguridad, operaciones y otros relacionados se colocan etiquetas o señales en forma organizada para mejorar la calidad del trabajo de mantenimiento.

Se recomienda establecer un cronograma para la limpieza de la planta, tal y como se indica en la Tabla 6 mostrada a continuación:

**Tabla 6**  
**Seguimiento diario de TPM**

Mes / Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Limpieza General																										
Inspección de seguridad del equipo																										
Última fecha de Manto del Equipo																										
5s organización puesto de trabajo																										
<b>Firma Operario</b>																										

Fuente: Elaboración propia

**5.2.2. Mantenimiento autónomo**

a). Selección de la Máquina:

se selecciona la máquina y el registro del historial de fallas.

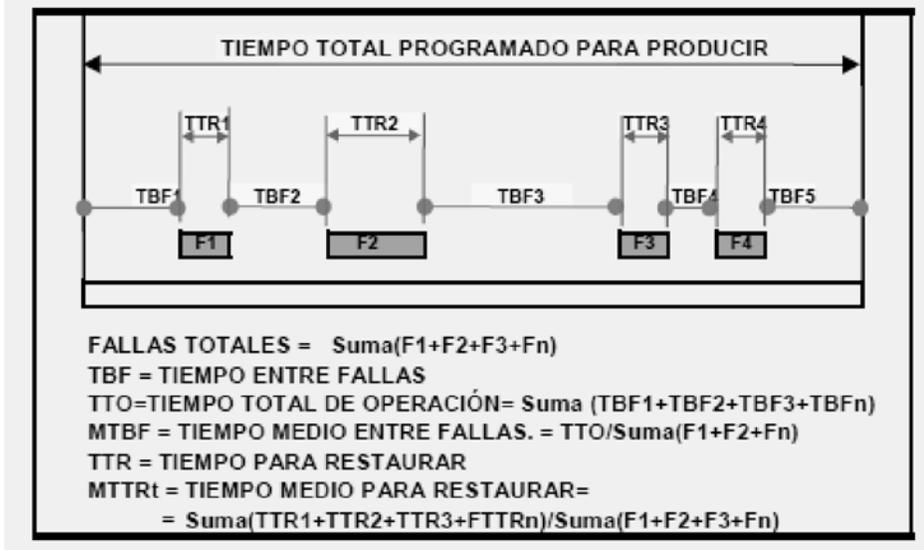
b). Información del Equipo:

se debe cuantificar el tiempo tal y como se indica en la ilustración indicada a continuación.

c). Identificación del Propósito:

es importante indicar función de operación y fallas presentadas (tiempos fuera de servicio)

caracterizando posibles causas



**Ilustración 20** Tiempo total programado para producir (Oncoy, 2008)

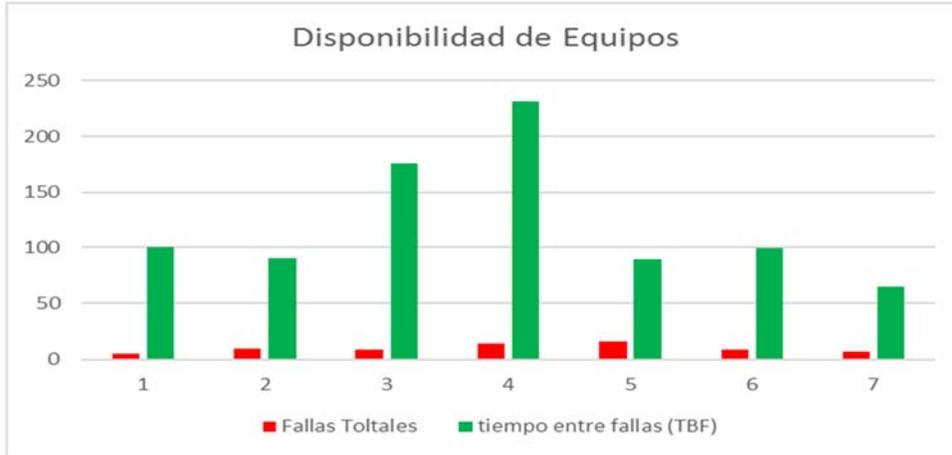
d). Situación Actual. MTBF y MTTR

e). Análisis.

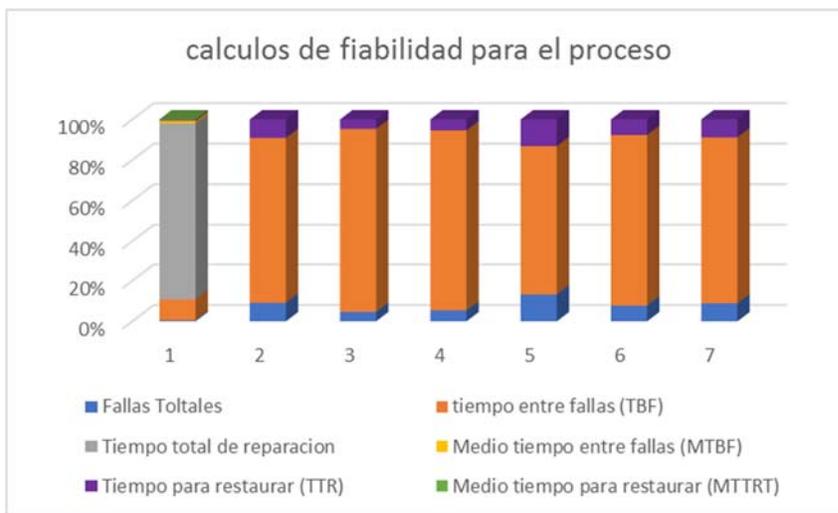
Se realizará una tabulación con los datos recolectados de la siguiente manera con el fin de calcular la fiabilidad del equipo esto se realizará en cada uno de los equipos de la compañía.

Fallas Totales	tiempo entre fallas (TBF)	Tiempo total de reparación	Medio tiempo entre fallas (MTBF)	Tiempo para restaurar (TTR)	Medio tiempo para restaurar (MTTRt)
5	100	850	12,14285714	5	2
10	90			10	
9	176			9	
14	231			14	
16	89			16	
9	99			9	
7	65			7	
70	850			70	

**Ilustración 21** Tabulación de fiabilidad



Disponibilidad = 0.97344



Con base en lo anterior podemos diseñar un plan de mejoras donde se podrá analizar diversos campos de falla utilizando un AMEF e incorporando en los planes de mantenimiento, actividades responsables, Cambios en equipos y tecnología Cumplimiento planes de mantenimiento preventivo y correctivo y así como también de las capacitaciones requeridas.

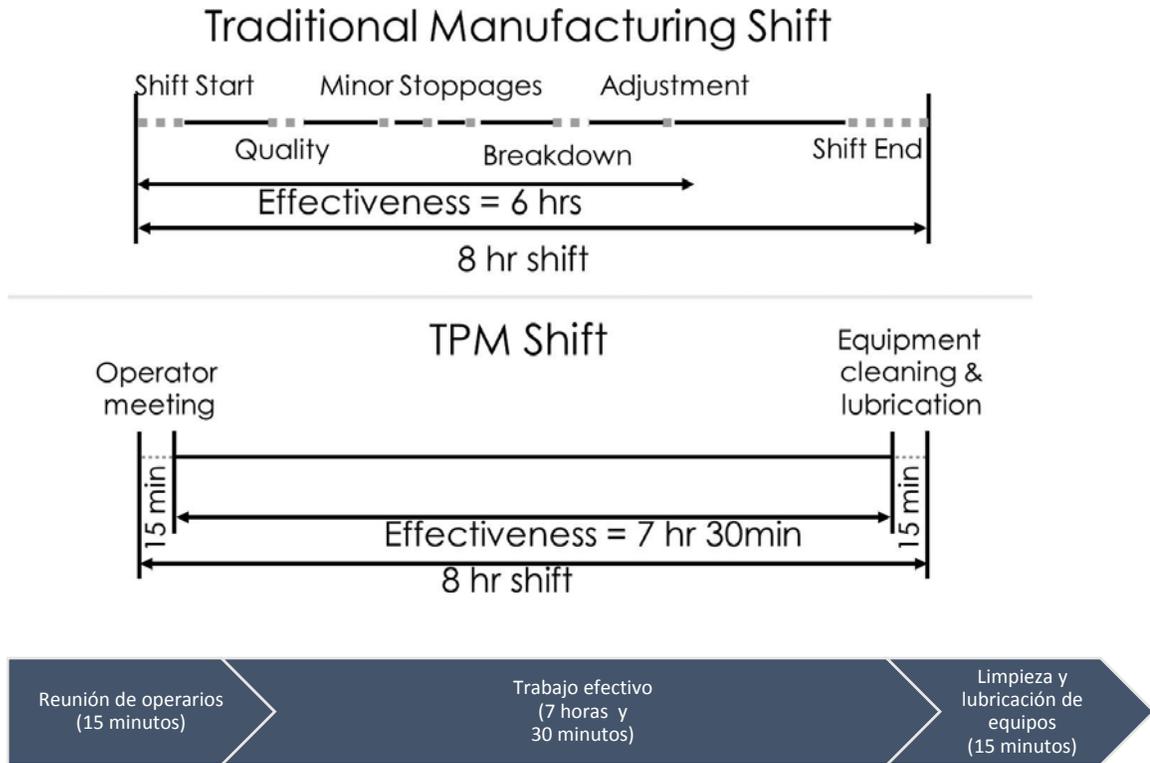
### 5.3. Propuesta de solución

De acuerdo con los resultados de los estudios realizados en la compañía se desea proponer soluciones pequeñas pero efectivas que ayuden con la reducción de los tiempos muertos, defectos de calidad y productividad generados por diferentes situaciones que se presentan en algunas

estaciones de trabajo, provocando una baja capacidad de respuesta que conlleva a afectaciones en los tiempos de entrega del producto al cliente final, productos no conformes e incumpliendo con los indicadores de producción y calidad establecidos por la compañía .

En la actualidad Niko Racing Colombia no cuenta con ningún programa de mejora continua que mejore los indicadores y la productividad de la compañía, para esto se plantea en nuestro proyecto implementar la herramienta TPM de la manera anteriormente explicada en un plazo de un año, evaluando los resultados financieros a lo largo de tres años.

Uno de los objetivos primordiales que se quiere lograr es generar turnos de manufactura que presenten continuidad. Como se muestra en la primera figura de la Ilustración 22, los turnos de manufactura tradicionales (*Traditional Manufacturing Shift*) se ven interrumpidos por paradas menores (*Minor Stoppages*), revisiones diarias de calidad de producto (*Quality*), ajustes (*Adjustments*) y fallas (*Breakdown*) inesperadas. Adicionalmente, si hay problemas de calidad significa que hay reprocesos, lo cual genera una carga adicional en costos, lo cual hay que evitar. En el apartado 7.2. Análisis del Valor Presente Neto., se presentan las seis pérdidas principales a evitar, una de las cuales corresponde a esos defectos de manufactura. El objetivo es optimizar la Efectividad General del Equipo (*Overall Equipment Effectiveness – OEE*), lo cual se logra cubriendo tres frentes: la disponibilidad del equipo (disminuir fallas y tiempos de ajuste y configuración), el desempeño del equipo (evitar la operación lenta, los tiempos muertos y las paradas menores), y la calidad del producto, tanto en defectos de arranque como en defectos de producción (Agustiady & Cudney, 2018)



**Ilustración 22** Objetivo de turnos TPM (Agustiady & Cudney, 2018)

Para el cálculo de la Efectividad General del Equipo (OEE), se lleva a cabo la medición de tiempos productivos, tiempos muertos y ciclos de diseño de las piezas. En la Tabla 7 se presentan los datos a calcular para obtener las tasas de disponibilidad, de desempeño y de calidad, necesarios para calcular el OEE.

**Tabla 7**  
**Hoja de cálculo del OEE**

<b>Cálculo de tiempos y tasas de disponibilidad, de desempeño y de calidad</b>		
<b>A</b>	Tiempo neto disponible (no. de turnos x horas/turno x 60 minutos)	Minutos
<b>B</b>	Tiempo muerto planeado (reuniones de operarios, mantenimiento)	Minutos
<b>C</b>	Tiempo disponible de operación (A-D)	Minutos
<b>D</b>	Pérdidas por paradas (D1+D2+D3)	Minutos
<b>D1</b>	- Fallas	Minutos
<b>D2</b>	- Arranque, configuración y ajuste	Minutos
<b>D3</b>	- Paradas menores	Minutos
<b>E</b>	Tiempo operativo (C-D)	Minutos
<b>F</b>	<b>Tasa de disponibilidad (E/C)</b>	
<b>G</b>	Total de piezas o productos procesados	Unidades
<b>H</b>	Tiempo de ciclo de diseño	Minutos / Unidad
<b>I</b>	<b>Tasa de desempeño (G * H/E)</b>	Minutos
<b>J</b>	Total de piezas o productos rechazados	Unidades

**Cálculo de tiempos y tasas de disponibilidad, de desempeño y de calidad**

<b>K</b>	<b>Tasa de calidad (G-J) / G</b>	
<b>L</b>	<b>OEE = F * I * K * 100</b>	%

Teniendo claro este objetivo principal, y como ya se mencionó, se enfocó la solución en los dos pilares de Mantenimiento Autónomo y Mejoramiento Continuo. A continuación, se presenta el cronograma base de trabajo para implementar el TPM (Ilustración 23).

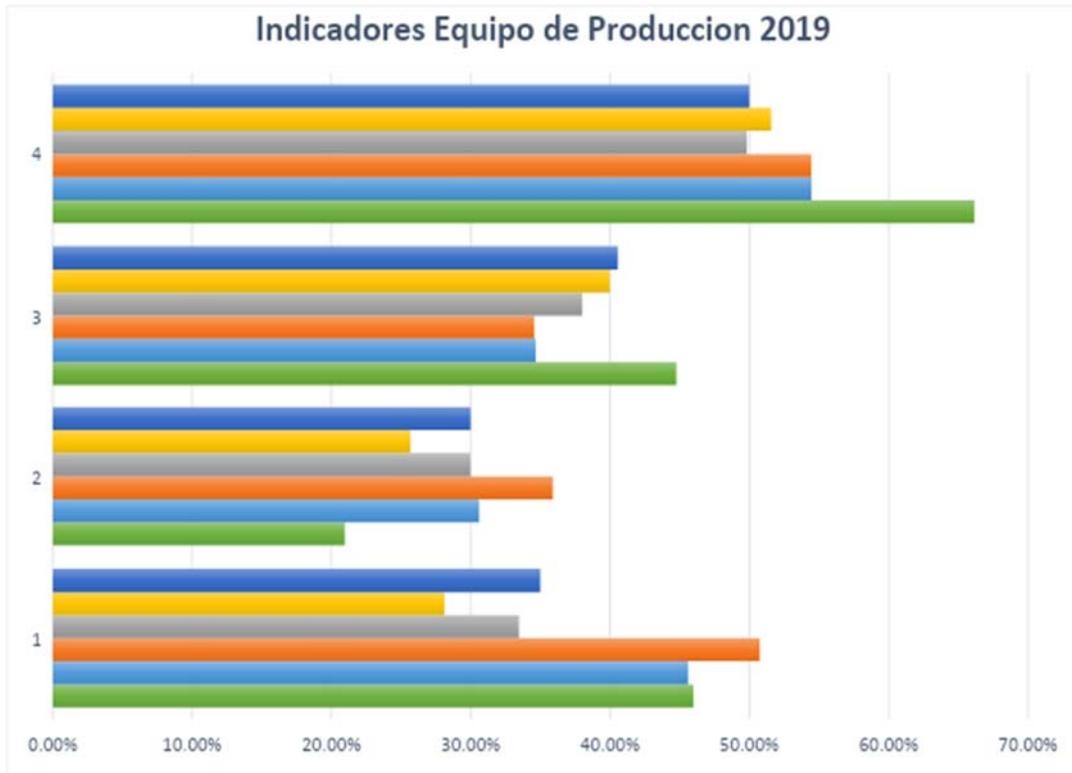
Etapa	Paso	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13
Preparación	Informar a sus empleados de su decisión e infundir entusiasmo por el proyecto.													
	Entrenamiento y promoción.													
	Creación de un sistema promocional del TPM													
	Las oficinas centrales promocionales del TPM deben empezar estableciendo políticas y metas básicas													
	Es establecer un plan maestro para el desarrollo TPM.													
	Lanzamiento de la iniciativa.													
Implementación del pilar de mantenimiento autónomo	Conocimiento del equipo (Diseño, modo de operación, Análisis de fallas)													
	Entrenamiento en ejecución de rutinas de mantenimiento													
	Adecuación de áreas de trabajo (5s).													
	Establecer cronograma de mantenimiento.													
	Desarrollo de un programa de gestión temprana de equipos.													
	Plan estratégico del proceso de implementación. (Políticas y objetivos).													
Implementación del plan del pilar de mejoras Efofocadas	Socialización con las áreas transversales y de apoyo del plan de trabajo.													
	Plan de eliminación de los 7 desperdicios.													
Estabilización	Implantación plena de los 2 pilares del TPM "Mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo".													

**Ilustración 23** Cronograma base de implementación. Elaboración propia.

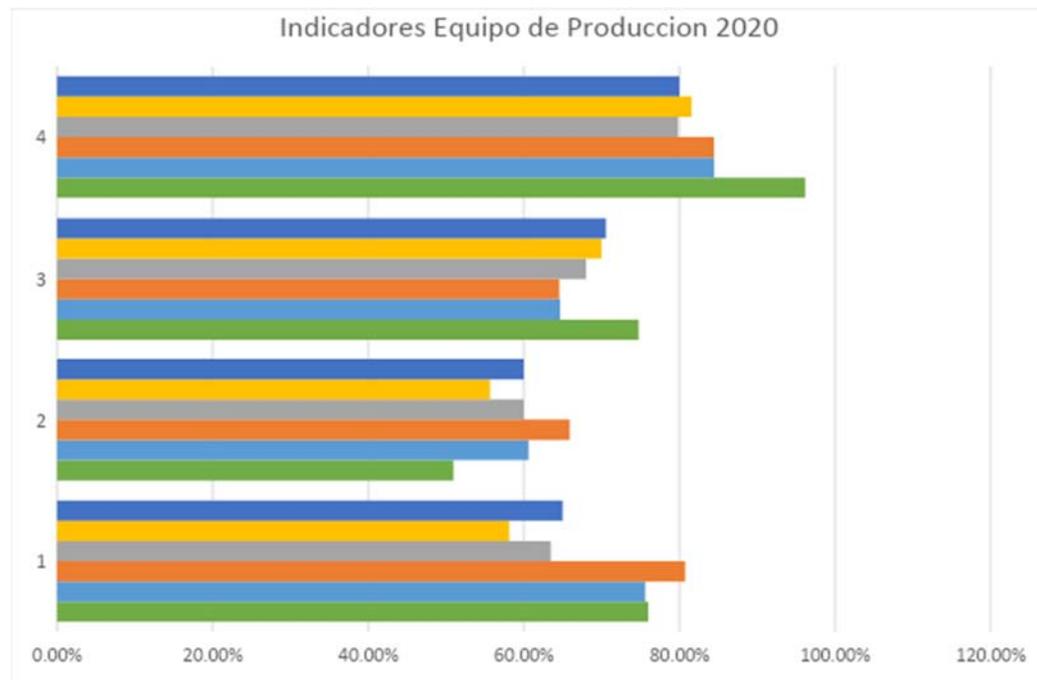
**6. Impactos esperados/generados**

**6.1. Aumento en la efectividad del equipo de producción**

Actualmente la compañía presenta un alto índice de defectos en los vehículos, se espera que con la implementación de la filosofía TPM se reduzcan considerablemente los defectos del equipo de producción y se aumente la confiabilidad del producto.



**Ilustración 24** Indicadores Equipo de producción 2019



**Ilustración 25** Indicadores Equipo de producción 2020

## **6.2. Impactos esperados después de la implementación.**

Se espera mejorar un 30% aproximadamente en cada indicador con respecto al año 2019 gracias a la implementación de la filosofía TPM para el segundo semestre del año 2020.

## 7. Análisis Financiero

Una vez determinadas las características del proyecto de implementación de la herramienta TPM, se procede a analizar la viabilidad financiera del mismo. Para ello se consideran tanto la inversión como el retorno mínimo necesario de la misma.

### 7.1. Inversión asociada con la implementación de la herramienta TPM

Este proyecto fue realizado por los estudiantes de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento Elkin Leonardo Parra y Wilmar Pastor Bernal Forero, quienes se encargaron de reunir toda la información y aplicarla en la herramienta TPM. Se espera que sean ellos mismos quienes posteriormente se encarguen de la ejecución del plan de implementación de la misma a lo largo de un año. En este acápite, se relacionan los costos de implementación del proyecto. Se incluyen dos listados detallados, uno de gastos primarios y otro de secundarios. El costo total proyectado para la implantación es de \$31.245.000<sup>oo</sup>.

#### Gastos Primarios

Descripcion	Valor Mensual	Funciones
Ingeniero de implementacion del TPM	\$ 2.500.000	El ingeniero Wilmar Bernal parra sera el encargado de realizar toda la implementacion de del TPM , sera la persona de realizar las capacitaciones al personal involucrado, diseñara formatos de mantenimiento, standarizacion, 5s, comunicados informativos dentro de la compañía, realizara reuniones mensuales con la gerencia general de la compañía con el fin de informar los avances
Ingeniero de seguimiento y Apoyo	\$ 1.000.000	El ingerniero Elkin Parra sera e encargado de realizar capacitaciones internas de implementacion del TPM, sera aquel que se encargara de difundir todo el material didactico dentro de la compañía, estara a cargo de llevar los indicadores de cumplimineto y avances del proyecto. tendra comunicacion constante con los iefe y colboradores
Costo Mensual	\$ 3.500.000	
Costo total de implemetacion TPM	\$ 21.000.000	

**Fuente:** Elaboración propia. Base de precios: año 2020.

**Gastos Secundarios**

Descripcion	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tablero Kaissen	4	\$ 267.800	\$ 1.071.200
Mesas Equipos de trabajo	4	\$ 234.544	\$ 938.176
Tablero PHVA	4	\$ 399.000	\$ 1.596.000
Tablero electronico Sistema Andon	1	\$ 2.450.600	\$ 2.450.600
Balizas sistema Andon	4	\$ 66.900	\$ 267.600
Diseño y elaboracion marterial corporativo Kaissen		\$ 436.400	\$ 436.400
Papeleria		\$ 244.000	\$ 244.000
Servicios Electricos Instalacion		\$ 2.440.660	\$ 2.440.660
Pintura Azul para estaciones de Trabajo	2	\$ 199.900	\$ 399.800
Pintura Amarilla Para Estaciones de Trabajo	2	\$ 199.900	\$ 399.800
Total Presupuesto 2			\$ 10.244.236

**Fuente:** Elaboración propia. Base de precios: año 2020.

## 7.2. Análisis del Valor Presente Neto.

Para establecer la viabilidad financiera del proyecto de implementación del TPM se llevó a cabo un análisis de valor presente neto (VPN). En este análisis se evalúa el valor del dinero en el tiempo, trayendo a valor presente los flujos de caja futuros del proyecto a la tasa de retorno requerida, comparada con la inversión inicial. Si el VPN es positivo, el proyecto puede considerarse viable (Gallo, 2014). Los siguientes fueron los presupuestos del análisis:

- El trabajo de los ingenieros a cargo del proceso involucra un cambio cultural permanente. Este proceso de ajuste cultural es concomitante con la implementación del plan, por lo cual el trabajo se distribuyó en el tiempo. Inicialmente se planteó para llevarlo a cabo y distribuir el costo y el esfuerzo a lo largo de un año —sin incrementar los costos—. De esta manera se logra mejorar el valor presente neto.

- Como fuente constante de financiación se consideraron los ahorros generados por la implementación del plan de TPM. Estos ahorros se representan en la disminución de las *seis principales fuentes de pérdida productiva*:
  - En cuanto al nivel de productividad: 1) los daños disruptivos y 2) los ajustes de configuraciones o cambio de parámetros;
  - En cuanto al nivel de operación: 3) el tiempo muerto por carga de producto o por fuerza mayor, y 4) las paradas cortas;
  - En cuanto al nivel de calidad: 5) los productos imperfectos o no conformes con la necesidad de producción originan pérdida de tiempo efectivo en actividades de aseguramiento, y 6) los tiempos de retrabajo de los productos (Agustiady, 2016, p. 112).
- Del mismo modo, y a partir de la implementación de las 5S, se prevén ahorros permanentes en el mantenimiento y operación. Esto incluye tanto reducciones en mano de obra, como en insumos directos y en servicios públicos como energía y agua.
- Adicionalmente, se consideró el caso especial de los seguros, los cuales deben ser un componente significativo del costo de operación. Entre los seguros más costosos está el de lucro cesante: se trata de una previsión del riesgo de que la maquinaria se encuentre detenida, y por tanto generando pérdidas por disminución de ingresos. Para mantener la definición técnico legal, se cita textualmente al Dr. Christian Pérez, Magíster en Leyes, y especialista en Derecho Comercial y en Seguros, quien explica que:

«el riesgo asegurado en el seguro de lucro cesante es en realidad el período de indemnidad, esto es, “el lapso de pérdidas o de disminución real de los ingresos, fijado por anticipado en forma razonable, correspondiente al ciclo

de readaptación de la empresa desde la ocurrencia del siniestro hasta el logro de un nivel de productividad similar al antelado a la ocurrencia del siniestro” [...] El seguro de lucro cesante en forma inglesa garantiza al asegurado, dentro del período de indemnidad pactado, el rendimiento económico esperado del respectivo negocio como si no hubiera ocurrido el hecho condicionante [el siniestro o daño en la maquinaria]» (Christian Pérez, 2016, párr. 5–6).

Este rubro no se puede incluir en el primer año de operación del proyecto, puesto que la negociación de las primas de riesgo sólo puede darse con posterioridad a la implementación del plan y a través de una negociación con la aseguradora. En dicha ocasión es necesario que se demuestre la efectividad del plan de TPM con evidencias medibles recopiladas a lo largo de ese primer año.

- Se presentó también la equivalencia en dinero de los incrementos en la producción, que no corresponde precisamente a ahorro, sino a ingresos atribuibles directa o indirectamente a la implementación del proyecto. Estos se pueden contabilizar a partir de los incrementos en utilidades por ventas al producirse más unidades completas en el año.
- En ese mismo orden de ideas, se incluye como parte del rubro de ingresos dentro del flujo de caja, pero sin desglosarlo del anterior, la posibilidad de rentabilizar la mayor disponibilidad de equipo mediante el alquiler a terceros. De esta subcuenta sólo se consideraría el ingreso neto adicional, descontando costos normales de operación en el tiempo adicional.
- El análisis se llevó a cabo considerando un mínimo viable, de modo que cualquier incremento real en el flujo de caja por encima de esos mínimos representa una mejora del

VPN. Se consideró un período de tres años para lograr la amortización del proyecto, lo cual es coherente con la recomendación del propio Nakajima Seiichi, padre del TPM, respecto a los resultados del proceso de implantación (Nakajima, 1988, p. 2).

**Tabla 8**  
**Flujos de caja para el análisis de Valor Presente Neto**

Mes		Ingeniero 1	Ingeniero 2	Inversión	Ahorro Mantenimiento	Ahorro en seguros	Incremento en ventas	Flujo de caja
Jan-2020	1	-\$1,000,000.00		-\$10,244,236.00	\$300,000.00			-\$10,944,236.00
Feb-2020	2		-\$2,500,000.00		\$300,000.00			-\$2,200,000.00
Mar-2020	3	-\$1,000,000.00			\$300,000.00			-\$700,000.00
Apr-2020	4		-\$2,500,000.00		\$300,000.00			-\$2,200,000.00
May-2020	5	-\$1,000,000.00			\$300,000.00			-\$700,000.00
Jun-2020	6		-\$2,500,000.00		\$300,000.00		\$3,400,000.00	\$1,200,000.00
Jul-2020	7	-\$1,000,000.00			\$300,000.00			-\$700,000.00
Aug-2020	8		-\$2,500,000.00		\$300,000.00			-\$2,200,000.00
Sep-2020	9	-\$1,000,000.00			\$300,000.00			-\$700,000.00
Oct-2020	10		-\$2,500,000.00		\$300,000.00			-\$2,200,000.00
Nov-2020	11	-\$1,000,000.00			\$300,000.00			-\$700,000.00
Dec-2020	12		-\$2,500,000.00		\$300,000.00		\$3,400,000.00	\$1,200,000.00
Jan-2021	13				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Feb-2021	14				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Mar-2021	15				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Apr-2021	16				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
May-2021	17				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Jun-2021	18				\$300,000.00	\$100,000.00	\$3,400,000.00	\$3,800,000.00
Jul-2021	19				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Aug-2021	20				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Sep-2021	21				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Oct-2021	22				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Nov-2021	23				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Dec-2021	24				\$300,000.00	\$100,000.00	\$3,400,000.00	\$3,800,000.00
Jan-2022	25				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Feb-2022	26				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Mar-2022	27				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Apr-2022	28				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
May-2022	29				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Jun-2022	30				\$300,000.00	\$100,000.00	\$3,400,000.00	\$3,800,000.00
Jul-2022	31				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Aug-2022	32				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Sep-2022	33				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00

Mes		Ingeniero 1	Ingeniero 2	Inversión	Ahorro Mantenimiento	Ahorro en seguros	Incremento en ventas	Flujo de caja
Oct-2022	34				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Nov-2022	35				\$300,000.00	\$100,000.00		\$400,000.00
Dec-2022	36				\$300,000.00	\$100,000.00	\$3,400,000.00	\$3,800,000.00

Fuente: Los autores.

### Tabla 9

#### Resultado del valor presente neto en la tabla anterior

<b>\$1,698,756.25</b>	<b>Valor presente neto</b>
<b>5.68%</b>	<b>Tasa interna de retorno</b>

## 8. Conclusiones y recomendaciones

- Sabemos que con la implementación de esta herramienta se mejorarán los índices de calidad y producción. El Método del TPM se ha comprobado en la industria japonesa a lo largo de más de treinta años con resultados que garantizan la inversión.
- La implementación del TPM garantiza un aumento significativo en cuanto ingresos económicos se refiere. La rentabilidad del TPM proviene de las categorías PQCDSM presentadas en el acápite [Mantenimiento Productivo Total TPM](#)
- Nosotros como ponentes de este proyecto garantizamos que todo lo escrito se aplicará al pie de la letra para que la implementación del TPM sea todo un éxito y garanticemos que la gerencia general quede satisfecha.
- Se asegura el cumplimiento de incremento del 30% en cada uno de los indicadores para el año 2020
- Se recomienda realizar seguimientos constantes una vez sea implementado el TPM
- Las teorías de mantenimiento funcionan, pero deben adaptarse a las culturas operacionales, revisar las actividades y buscar mejoras aunque todo parezca estar bien. La cultura del cambio debe permanecer sobre todo en los momentos de mayor productividad.
- Con el análisis de causa y efecto se logró determinar que los pilares de mantenimiento autónomo y mejoras enfocadas aseguran el incremento de efectividad y rentabilidad en la línea productiva, además de la reducción de costos y tiempos de entrega.
- Las tablas AMEF planteadas, con un proceso de implementación adecuadas, logran construir y consolidar la información necesaria para la implementación de los dos pilares del TPM: mantenimiento autónomo y mejoras enfocadas.

## 8. Bibliografía

Agustiady, T. K. (2016). *Total Productive Maintenance: Strategies and Implementation Guide* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18641>

Agustiady, T. K., & Cudney, E. A. (2018). Total productive maintenance. *Total Quality Management & Business Excellence*, 0(0), 1–8.  
<https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843>

Al-Aomar, R. A. (2011). Applying 5S Lean Technology: An Infrastructure for Continuous Process Improvement. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 60, 1606–1611.

Alvarez Peña, M. F., & Oñate Rojas, L. E. (2017). *DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE UN SISTEMA TPM PARA LA EMPRESA TIGRE COLOMBIA* [Specialist, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER].  
<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/38379/1/168830.pdf>

Ángel López, L., Duque Gallego, C. A., Velasco Bonilla, A., & Rebolledo Noriega, J. E. (2013). Perfil del sector manufacturero colombiano. *Magazín Empresarial*, 9(19), 49–61.

Benoit, L. E. (2005, octubre 5). Optimizando el TPM, una nueva lección japonesa [Portal]. *Mantenimiento Mundial*.  
<http://www.mantenimientomundial.com/notas/Optimizando.pdf>

Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (Tercera Edición). Pearson Educación.

Borris, S. (2006). *Total productive maintenance*. McGraw-Hill.

- Cardona Montoya, D. L. (2015). *ESTUDIO DE CASOS DE IMPLANTACIÓN EXITOSA DE TPM EN INDUSTRIAS* [Pregrado, Universidad EAFIT].  
[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7783/DianaLorena\\_CardonaMontoya\\_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7783/DianaLorena_CardonaMontoya_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Christian Pérez. (2016, septiembre 23). Seguro de lucro cesante en Colombia y manera de computar su prescripción. *Actualícese.com*. <https://actualicese.com/seguro-de-lucro-cesante-en-colombia-y-manera-de-computar-su-prescripcion-christian-perez/>
- Cruz, J., & Pérez, G. (2010). *MANUAL PARA LA IMPLEMENTACION SOSTENIBLE DE LAS 5S* (Segunda Edición). INFOTEP.
- Delgado, E. (2017, septiembre 18). TPM - 7 pasos del mantenimiento autónomo. SPC Consulting Group. <https://spcgroup.com.mx/tpm-7-pasos-del-mantenimiento-autonomo/>
- Dudovskiy, J. (2019). Applied Research [Blog]. *Research Methodology*. <https://research-methodology.net/research-methodology/research-types/applied-research/>
- Durango Álvarez, C. C. (2017). *Implementación de TPM en línea Piloto-Marmitas* [Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira].  
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/7792>
- Evans, J. (2017). *Creating a Lean Culture of Continuous Improvement and Engagement*. ASQ, St. Louis. <http://www.asqstl.org/wp-content/uploads/2017/07/ASQ-St-Louis-Lean-Culture-2017.pdf>
- Fernández Negueruela, M., & Rumi, F. (2014). *Implementación de la filosofía TPM (Total Productive Maintenance) en una empresa local* [Thesis, Universidad Argentina de la Empresa]. <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/3967>

- Gallo, A. (2014, noviembre 19). A Refresher on Net Present Value. *Harvard Business Review*.  
<https://hbr.org/2014/11/a-refresher-on-net-present-value>
- García Garrido, S. ja. (2011). *La contratación del mantenimiento industrial: Procesos de externalización, contratos y empresas de mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos.
- García, M. (2020). *Implantación del TPM para alcanzar la Excelencia* [Blog]. Iniciativas Empresariales. <https://www.iniciativasempresariales.com/blog/implantacion-del-tpm-para-alcantar-la-excelencia/>
- Gómez Santos, C. (2011). *Mantenimiento Productivo Total. Una visión global*. Lulu.com.
- Guevara, W., Valera Cárdenas, A., & Gómez Camperos, J. A. (2015). Metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales. *Tecnura, 19*(spe), 129–141. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a11>
- KAIZEN, TPM Y MANTENIMIENTO. (2013, noviembre 19). KAIZEN, TPM, INDUSTRY 4.0: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO...LA BASE DE LA EXCELENCIA. KAIZEN, TPM, INDUSTRY 4.0. <https://kaizenytpm.blogspot.com/2013/11/mantenimiento-autonomola-base-de-la.html>
- Kiran, D. R. (2016). *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*. Butterworth-Heinemann.
- Kumar, P., Chauhan, P., Chaudhary, R., & Juneja, D. (2017). IMPLEMENTATION OF 5S AND KOBETSU KAIZEN (TPM PILLAR) IN A MANUFACTURING ORGANIZATION. *ORDE R, 04*(07), 2987–2991.
- López Arias, E. (2009). *El mantenimiento productivo total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación* [Pregrado, Universidad Javeriana].  
<http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7276>

- Metartec. (2011). METARTEC'S THERMAL IMAGING SERVICE DATASHEET [Commercial]. Metartec.  
[https://www.metartec.com/DatabaseDocs/dwn\\_608269\\_\\_metartec\\_-\\_thermal\\_imaging.pdf](https://www.metartec.com/DatabaseDocs/dwn_608269__metartec_-_thermal_imaging.pdf)
- Naik, P. (2013). *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* [Assignment]. National Institute of Technology of Tiruchirappalli.  
[https://www.academia.edu/4503485/Department\\_of\\_Management\\_Studies\\_TOTAL\\_PRODUCTIVE\\_MAINTENANCE\\_TQM\\_Assignment](https://www.academia.edu/4503485/Department_of_Management_Studies_TOTAL_PRODUCTIVE_MAINTENANCE_TQM_Assignment)
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM (Total Productive Maintenance)*. Productivity Press.
- Navarro López, C. A. (2013). *Implementación del mantenimiento autónomo en la Planta de tratamiento de aguas residuales* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA TULA-TEPEJI].  
<http://www.uttt.edu.mx/catalogouniversitario/imagenes/galeria/70a.pdf>
- Niko Racing. (2018, julio 18). Salamandra 3. *Niko Racing: Diseño Mecánico automotriz*.  
<http://nikoracingteam.com/2018/07/salamandra-3/>
- Niko Racing. (2020). *Diseño y programación CAD / CAM - Niko Racing: Diseño Automotriz*.  
Niko Racing: Diseño Mecánico automotriz. <http://nikoracingteam.com/>
- Olivares, W. (2013). Tarjetas TPM +5S. ENGIE ENERGÍA CHILE S.A.  
<https://es.slideshare.net/HighWilliam/charla-uso-tarjetas-tpm-op>
- Oncoy, R. (2008). *DEFINICION DE MTBF & MTTRt*. Tijuana Consultoría, Tijuana.  
[https://www.academia.edu/17528858/MTBF\\_and\\_MTTR](https://www.academia.edu/17528858/MTBF_and_MTTR)
- Palencia, A. (2014). *Mantenimiento autónomo*. <https://slideplayer.es/slide/1051841/>
- Pérez Nepta, J. E. (2018). TPM Para La Industria Colombiana TPM For The Colombian Industry. *Letras ConCiencia Tecnológica*, 70–79.

Proexport Colombia. (2013). *Industria Automotriz en Colombia 2013* (p. 27). Proexport Colombia.

[https://www.inviertaencolombia.com.co/images/Adjuntos/Industria\\_Automotriz\\_en\\_Colombia\\_2013.pdf](https://www.inviertaencolombia.com.co/images/Adjuntos/Industria_Automotriz_en_Colombia_2013.pdf)

Superintendencia de Sociedades de Colombia. (2012, mayo 11). *REORGANIZACIÓN EMPRESARIAL*. Supersociedades.gov.co.

<https://www.supersociedades.gov.co/imagenes/boletin/A%C3%91O%202012/REORGANIZACION/REORGANIZACION%20A%2030%20DE%20ABRIL%20%20DE%202012.htm>

Suzuki, T. (Ed.). (1994). *TPM in process industries*. Productivity Press.

Tuárez Medranda, C. A. (2013). *Diseño de un sistema de mejora continua en una embotelladora y comercializadora de bebidas gaseosas de la ciudad de guayaquil por medio de la aplicación del TPM (Mantenimiento Productivo Total)* [Master Thesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/42147>

Venkatesh, J. (2015, octubre 8). *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Plant Maintenance Resource Center. [http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm\\_intro.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml)

Verde y Segura Manufactura. (2017, agosto 3). Aplicando la normatividad: Pasillo y Corredores. *VSM*. <https://revistavsm.com/aplicando-la-normatividad-pasillo-corredores/>

Villegas López, G., & Vélez Rodríguez, A. (2009). Estudio longitudinal de los procesos de implantación de TPM en una empresa del sector automotriz (Sofasa), y la dinámica de cambio seguida | Cuadernos de Investigación. *Cuadernos de Investigación*, 77, 86.

- Willmott, P., & McCarthy, D. (2001). *TPM: A route to world-class performance*. Butterworth-Heinemann.
- Benoit, L. E. (2005, octubre 5). *Optimizando el TPM, una nueva lección japonesa* [Portal]. Mantenimiento Mundial. <http://www.mantenimientomundial.com/notas/Optimizando.pdf>
- Calle, J. (2020). *Los 8 Pilares del TPM*. BSG Institute. <http://bsginstitute.com/bs-campus/blog/los-8-pilares-del-tpm-1134>
- Cruz, J., & Pérez, G. (2010). *MANUAL PARA LA IMPLEMENTACION SOSTENIBLE DE LAS 5S* (Segunda Edición). INFOTEP.
- Delgado, E. (2017, septiembre 18). TPM - 7 pasos del mantenimiento autónomo. *SPC Consulting Group*. <https://spcgroup.com.mx/tpm-7-pasos-del-mantenimiento-autonomo/>
- Evans, J. (2017). *Creating a Lean Culture of Continuous Improvement and Engagement*. ASQ, St. Louis. <http://www.asqstl.org/wp-content/uploads/2017/07/ASQ-St-Louis-Lean-Culture-2017.pdf>
- KAIZEN, TPM Y MANTENIMIENTO. (2013, noviembre 19). KAIZEN, TPM, INDUSTRY 4.0: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO...LA BASE DE LA EXCELENCIA. *KAIZEN, TPM, INDUSTRY 4.0*. <https://kaizenytpm.blogspot.com/2013/11/mantenimiento-autonomola-base-de-la.html>
- Metartec. (2011). *METARTEC'S THERMAL IMAGING SERVICE DATASHEET* [Commercial]. Metartec. [https://www.metartec.com/DatabaseDocs/dwn\\_608269\\_\\_metartec\\_-\\_thermal\\_imaging.pdf](https://www.metartec.com/DatabaseDocs/dwn_608269__metartec_-_thermal_imaging.pdf)
- Oncoy, R. (2008). *DEFINICION DE MTBF & MTTRt*. Tijuana Consultoría, Tijuana. [https://www.academia.edu/17528858/MTBF\\_and\\_MTTR](https://www.academia.edu/17528858/MTBF_and_MTTR)

