

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**Escuela de Posgrado**



Propuesta de mejora de indicadores de productividad en una  
empresa metal mecánica, mediante herramientas de Lean  
Manufacturing

Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería  
Industrial que presenta:

***Rodríguez Sotelo, Daniel***

Asesor:

***Jonatan Edward Rojas Polo***

Lima, 2022


## Declaración jurada de autenticidad

Yo, **Jonatan Edward Rojas Polo**, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado **Propuesta de mejora de indicadores de productividad en una empresa metal mecánica, mediante herramientas de Lean Manufacturing**, del autor **Daniel Rodríguez Sotelo**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de **13.%**. Asílo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el **09-sept.-2022**.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

**30-noviembre-2022**

Apellidos y nombres del asesor Rojas Polo, Jonatan Edward	
DNI: 42529429	Firma: 
ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5498-4090">https://orcid.org/0000-0001-5498-4090</a>	

## **Agradecimientos**

Mi más profunda gratitud a mi familia por su apoyo emocional, amor y dedicación, por formar parte de mi formación profesional y convertirme en una mejor persona, día tras día.

Asimismo, agradezco a todas las personas involucradas en este proyecto que me permitieron entrevistarlos y recolectar la información pertinente de la empresa.



## Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de investigación a todos aquellos valores humanos que influenciaron y motivaron en culminar este periodo de la Maestría:

A mi Padres, Eduardo y Sara, por ser mi fuente de inspiración, respaldo, confianza y fuerza.

A mi novia Sofía, por su gran apoyo incondicional y amor.

A mis hijos, por ser mi fuerza motriz y motivación.

A todos mis amigos, por otorgarme su amistad y acompañarme en los buenos y malos momentos.

Una especial dedicatoria y agradecimiento a mi compañero de Maestría: Gabriel Vásquez Barrionuevo, por su implacable trayectoria como Ingeniero. Que en paz descanse.



## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo brindar una solución estratégica enfocado en optimizar la baja utilización de la capacidad instalada de una empresa metalmeccánica, dado que invierte un gran porcentaje del tiempo en trabajos de *SETUP* del Centro de Mecanizado, paradas inesperadas de maquinaria por falta de sus mantenimientos respectivos, así como existencias de productos defectuosos. Estos motivos conllevan a tener un impacto negativo económico, teniendo altos costos de oportunidad anuales de S/. 210,000 por Altos tiempos de Set up, S/. 354,000 por paradas inesperadas de maquinarias y, S/ 20,700 por productos defectuosos, dando un costo total anual de S/. 584,700.

Por tal motivo, se propone utilizar la Metodología *SMED* y los Pilares *TPM*, a fin de mejorar la capacidad de utilización de la empresa Metal Mecánica en materia de estudio.

Como parte de los resultados obtenidos, se pudo obtener:

- Incremento de la utilización de la capacidad de la maquinaria a 76 %.
- Reducción de los tiempos de *SETUP* del Torno CNC a 0.5% del total de horas trabajadas.
- Reducción de las horas de parada de máquinas a 1% del total de horas trabajadas.

En conclusión, a través del diagnóstico realizado, se observa que existe un bajo aprovechamiento de la capacidad de maquinaria que tiene instalada la empresa y es factible mejorar los indicadores de productividad, como paradas de máquina y tiempos de *SETUP*, a través de la utilización de la metodología Lean Manufacturing.

# Tabla de contenidos

ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	8
Capítulo 1: Marco teórico .....	9
1.1. Lean Manufacturing .....	9
1.1.1. Reseña histórica Lean Manufacturing .....	9
1.1.2. Descripción Lean Manufacturing .....	11
1.1.3. Objetivos y principios del Lean Manufacturing .....	12
1.2. Herramientas del Lean Manufacturing .....	14
1.2.1. <i>SMED</i> .....	14
1.2.2. Efectividad Total del Equipo (OEE) .....	15
1.2.3. 5 ´S .....	16
1.2.4. <i>TPM</i> .....	17
1.2.5. Diagrama de Pareto .....	20
1.2.6. VSM .....	21
Capítulo 2: Estudio de casos .....	23
2.1. Tipología <i>TPM</i> .....	23
2.2. Tipología <i>SMED</i> .....	24
2.3. Casos de estudio .....	24
• CASO 1: <i>TPM</i> implementation and maintenance strategic plan .....	27
CASO 2: Total productive maintenance ( <i>TPM</i> ) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line .....	28
CASO 3: Success of the <i>TPM</i> Concept in a Manufacturing Unit- A case study .....	30
CASO 4: Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool <i>SMED</i> .....	32
CASO 5: The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study .....	33

CASO 6: Improving the Machining Process of the Metalwork Industry by Upgrading Operative Sequences, Standard Manufacturing Times and Production Procedure Changes .....	34
CASO 7: Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by <i>SMED</i> .....	35
CASO 8: Implementing <i>TPM</i> supported by 5S to improve the availability of an automotive production line .....	37
CASO 9: Optimization of the cold profiling process through <i>SMED</i> .....	38
CASO 10: <i>SMED</i> for quick change over in Manufacturing Industry .....	39
Capítulo 3: Descripción de la empresa .....	41
3.1. Análisis del Sector .....	41
3.2. Misión y Visión .....	41
3.3. Organización de la empresa .....	42
3.4. Productos .....	42
3.7. Clientes .....	44
Capítulo 4: Diagnostico de la empresa .....	45
4.1. Procesos de la empresa .....	45
4.1.1. Proceso de fabricación de placas .....	49
4.2. Identificación del problema .....	60
4.4. Cuantificación del impacto .....	61
4.5. Análisis de causas .....	64
4.6. Indicadores .....	70
4.7. Hipótesis .....	73
4.8. Planteamiento de objetivos .....	73
Capítulo 5: Propuesta de mejora .....	74
5.1. Justificación del modelo .....	74
5.2. Descripción conceptual del modelo .....	78
5.3. Implementación del modelo en caso de estudio .....	80
5.3.1. Componente 1: <i>TPM</i> .....	80
5.3.2. Componente 2: <i>SMED</i> .....	96

Capítulo 6: Análisis de resultados.....	104
6.1. Desarrollo del piloto de implementación.....	104
6.2. Análisis de resultados .....	113
6.2.1. Horas de parada de maquinaria.....	113
6.2.2. Hora de <i>SETUP</i> .....	115
6.2.3. Resultados finales .....	116
Capítulo 7: Evaluación económica .....	118
7.1. Presupuesto de la propuesta .....	118
7.2. Financiamiento de la propuesta.....	119
7.2. Flujo Neto Financiero.....	121
7.3. Viabilidad de la Propuesta.....	123
Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones.....	124
8.1. Conclusiones.....	124
8.1. Recomendaciones.....	125
Bibliografía.....	126
Anexos.....	129



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Los 3 pilares Lean.....	13
<b>Figura 2</b> TPM House .....	18
<b>Figura 3</b> Organigrama de la empresa .....	42
<b>Figura 4</b> Rodillo de pistón.....	43
<b>Figura 5</b> Válvula de llenado.....	43
<b>Figura 6</b> Placa superior/inferior .....	44
<b>Figura 7</b> Clientes de la empresa .....	44
<b>Figura 8</b> Mapa de procesos de la empresa .....	45
<b>Figura 9</b> Ingreso 2020 por la línea de negocio .....	47
<b>Figura 10</b> Mapa de procesos nivel 1 .....	47
<b>Figura 11</b> Distribución de ingresos por tipo de pieza mecanizada.....	49
<b>Figura 12</b> Cálculo de los tiempos normales del proceso de fabricación de placas .....	53
<b>Figura 13</b> DOP de fabricación de placas .....	57
<b>Figura 14</b> VSM del proceso actual.....	59
<b>Figura 15</b> Diagrama de Ishikawa .....	65
<b>Figura 16</b> 5 porqués falta de estandarización del SETUP .....	66
<b>Figura 17</b> 5 porqués mantenimiento preventivo .....	67
<b>Figura 18</b> Pareto de impacto de motivos del problema.....	68
<b>Figura 19</b> Árbol de problemas capstone.....	69
<b>Figura 20</b> Ficha de indicador Horas de paradas de máquinas .....	70
<b>Figura 21</b> Ficha de indicador Horas perdidas en SETUP .....	71
<b>Figura 22</b> Ficha de indicador utilización de la capacidad.....	72
<b>Figura 23</b> Árbol de objetivos .....	73
<b>Figura 24</b> Etapas conceptuales de SMED.....	74
<b>Figura 25</b> Flujograma de propuesta TPM .....	76
<b>Figura 26</b> Árbol de problemas con herramientas de solución .....	78

<b>Figura 27</b> Modelo propuesto de solución.....	79
<b>Figura 28</b> Pilares de TPM a utilizar.....	81
<b>Figura 29</b> Formato ejemplo de declaración de implementación TPM.....	82
<b>Figura 30</b> Organigrama del equipo TPM.....	83
<b>Figura 31</b> Flujo pilar de educación y entrenamiento.....	88
<b>Figura 32</b> Flujo de implementación del pilar de mantenimiento autónomo.....	91
<b>Figura 33</b> AMEF Torno CNC.....	93
<b>Figura 34</b> Flujo de implementación de pilar de mantenimiento de calidad.....	94
<b>Figura 35</b> Flujo de pilar de mantenimiento planificado.....	96
<b>Figura 36</b> Secuencia de implementación.....	96
<b>Figura 37</b> Distribución de tiempo por tipo de actividad SMED.....	99
<b>Figura 38</b> Distribución de tiempos por actividad externalizados SMED.....	101
<b>Figura 39</b> Distribución de tiempos para actividades internalizadas SMED.....	103
<b>Figura 40</b> Tiempos de SETUP inicial VS final.....	103
<b>Figura 41</b> Gantt del piloto.....	105
<b>Figura 42</b> Capacitación de operarios de Torno CNC.....	106
<b>Figura 43</b> Torno CNC luego del mecanizado.....	107
<b>Figura 44</b> Operario realizando el mantenimiento autónomo.....	108
<b>Figura 45</b> Identificando los modos de fallo del torno CNC.....	109
<b>Figura 46</b> Mantenimiento planificado.....	110
<b>Figura 47</b> SETUP torno operario 1.....	111
<b>Figura 48</b> SETUP torno operario 2.....	111
<b>Figura 49</b> Proceso de dibujo de pieza.....	112
<b>Figura 50</b> Comportamiento de las horas de parada prueba piloto.....	114
<b>Figura 51</b> Semáforo de indicador horas de parada.....	115
<b>Figura 52</b> Comportamiento de las horas de SETUP prueba piloto.....	115
<b>Figura 53</b> Semáforo de indicador horas de SETUP.....	116
<b>Figura 54</b> Semáforo de indicador utilización de la capacidad.....	117

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Matriz de enfrentamiento.....	25
<b>Tabla 2</b> Resumen de paper caso 1 .....	27
<b>Tabla 3</b> Resumen de paper caso 2 .....	28
<b>Tabla 4</b> Resumen de pape caso 3 .....	30
<b>Tabla 5</b> Resumen de paper caso 4 .....	32
<b>Tabla 6</b> Resumen de paper caso 5 .....	33
<b>Tabla 7</b> Resumen de paper caso 6 .....	34
<b>Tabla 8</b> Resumen de paper caso 7 .....	35
<b>Tabla 9</b> Resumen de paper caso 8 .....	37
<b>Tabla 10</b> Resumen de paper caso 9 .....	38
<b>Tabla 11</b> Resumen de paper caso 10 .....	39
<b>Tabla 12</b> Lista de maquinaria de la empresa .....	48
<b>Tabla 13</b> Detalle de ingreso por tipo de pieza mecanizada .....	49
<b>Tabla 14</b> Tabla Westinghouse.....	50
<b>Tabla 15</b> Tiempos reales o promedios del proceso de fabricación de placas .....	51
<b>Tabla 16</b> Sistema Westinghouse para calificación de velocidad .....	52
<b>Tabla 17</b> Suplementos constantes según la OIT .....	54
<b>Tabla 18</b> Cálculo de los tiempos estándar para el proceso de fabricación de placas .....	56
<b>Tabla 19</b> Tabla de proceso de fabricación de placas .....	58
<b>Tabla 20</b> Cálculo de producción anual de placas .....	60
<b>Tabla 21</b> Brecha técnica de la empresa.....	61
<b>Tabla 22</b> Histórico de tiempos de SETUP 2020 .....	62
<b>Tabla 23</b> Histórico de horas de parada de máquina 2020.....	62
<b>Tabla 24</b> Histórico de productos defectuosos 2020.....	63
<b>Tabla 25</b> Impacto por motivos del problema .....	64
<b>Tabla 26</b> Resumen de papers justificación del modelo .....	77

<b>Tabla 27</b> Programa de capacitaciones a gestores TPM.....	85
<b>Tabla 28</b> Programa de capacitaciones a facilitadores TPM .....	86
<b>Tabla 29</b> Programa de capacitaciones a multiplicadores TPM .....	87
<b>Tabla 30</b> Instructivo de mantenimiento autónomo .....	89
<b>Tabla 31</b> Cartilla de mantenimiento autónomo .....	90
<b>Tabla 32</b> Plan de mantenimiento planificado .....	95
<b>Tabla 33</b> Listado de actividades de SETUP.....	97
<b>Tabla 34</b> Clasificación de actividades SMED.....	98
<b>Tabla 35</b> Actividades externalizadas SMED .....	100
<b>Tabla 36</b> Actividades internalizadas SMED .....	101
<b>Tabla 37</b> Cronograma de piloto .....	104
<b>Tabla 38</b> Horas de parada diaria de prueba piloto.....	113
<b>Tabla 39</b> Horas semanales de SETUP prueba piloto .....	115
<b>Tabla 40</b> Relación de producción de unidades y utilización en prueba piloto.....	116
<b>Tabla 41</b> Presupuesto de la Propuesta.....	118
<b>Tabla 42</b> Tabla de amortización .....	119
<b>Tabla 43</b> Flujo neto financiero .....	122
<b>Tabla 44</b> Resumen de indicadores financieros.....	123
<b>Tabla 45</b> Distribución de financiamiento .....	123

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo establecer el impacto que tiene la implementación de herramientas de Lean Manufacturing en una empresa del rubro metalmeccánico. Para lograr este resultado, se necesita diagnosticar y evaluar si las herramientas que ofrece el Lean Manufacturing consiguen una mejora en la productividad y la calidad de los productos que ofrece la empresa metalmeccánica, bajo los proyectos que gestiona. El trabajo de investigación presentará una pequeña empresa que se dedica a esta actividad económica. Se explica las características iniciales de la empresa antes y durante la implementación.

En el análisis realizado se plantea el uso de herramientas de Manufactura Esbelta, las cuales son descritas a nivel teórico y conceptual ampliamente en el Primer Capítulo, para poder aumentar el rendimiento de los equipos y máquinas de la empresa en materia de estudio.

Asimismo, en el Segundo Capítulo, se expondrá un resumen de la revisión de investigaciones fehacientes ya realizadas las cuales utilizan las mismas herramientas en Rubros industriales similares al que se presentará en el caso de estudio del presente proyecto de investigación.

En el Tercer Capítulo, se dará una descripción de la Empresa en materia de estudio: su nivel organizacional, productos de mayor producción y sus principales clientes del mercado nacional.

En el Cuarto Capítulo, se dará un diagnóstico de la situación presente de la empresa: se analizarán los procesos, descripción de máquinas y equipos, VSM actual, se identificarán los principales problemas, sus causas e impactos y los costos de oportunidad que estos generan.

Del mismo modo, en el Quinto Capítulo, se propondrán mejoras enfocadas en la metodología Lean Manufacturing para los problemas identificados en el capítulo anterior, dando una descripción del Modelo a gestionar y las herramientas a utilizar.

Por otro lado, en el Capítulo Seis, se analizarán los resultados de esta propuesta de mejora, para lo cual se desarrollará un piloto dentro de la empresa y ver si el Modelo propuesto resulta eficaz o no.

Por otro lado, en el Capítulo Siete, se detallarán los costos implicados en la propuesta de mejora del Piloto, y evaluar si es factible aplicar el Modelo o no tomando como referencia la TIR y el VAN del presente proyecto.

Finalmente, en el Capítulo 8 se detallarán las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación aplicado en la empresa Metalmeccánica.

# Capítulo 1: Marco teórico

En el capítulo 1 se describe el marco conceptual de las principales herramientas de análisis de procesos y de las propuestas usadas en la tesis.

## 1.1. Lean Manufacturing

En esta sección se describe la historia y evolución de lean, su concepto y filosofía, y sus principales herramientas.

### 1.1.1. Reseña histórica Lean Manufacturing

La metodología de la manufactura esbelta evolucionó en paralelo con las revoluciones industriales (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). Antes de la revolución industrial, la producción era elaborada de manera manual, enfocándose en actividades calificadas realizada por obreros experimentados. Estas prácticas dependían notoriamente de las costumbres y valores desarrollados en cada país, destacándose la cultura japonesa (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). Dentro de la filosofía japonesa, existía muchos principios pilares de la filosofía esbelta. Uno de ellos era el principio de “genshi genbutsu”, la solución de un problema inicia cuando se conoce su origen. Otro de sus principios, “hansei”, consistía en identificar lo que estaba mal y especificar pasos para resolver el problema. De la misma manera, tenían un respeto profundo hacia un “sensei”, una persona predecesora que almacenaba el conocimiento y conocía como hacer el trabajo. De esta manera, los antiguos trabajadores manuales siempre solicitaban la asistencia del maestro artesano para resolver cualquier problema (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). En el siglo XIX, el incremento demográfico superó a la producción de comida, por lo que se necesitaba una solución al problema de hambruna. Para los británicos, era imposible importar alimentos de otros países debido a la inexistente producción excedente de alimentos, lo que los obligó a realizar una reforma agrícola. Se utilizó este impulso para incrementar la producción de alimentos y luego adaptar las nuevas técnicas y maquinarias en otros sectores. De esta manera la economía paso por la primera revolución industrial. Se evidenció la primera transición hombre – máquina, cambiando la fuente de energía de humano y máquina, al uso de vapor (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). Por otro lado, este periodo se caracterizó por la mecanización, la especialización y la división del trabajo, el incremento de la productividad, la eficiencia en las transacciones y los avances científicos y tecnológicos (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020).

La segunda revolución industrial empezó en mediados del siglo XIX en Estados Unidos, extendiéndose rápidamente a otras partes del mundo. Desde antes ya se estaban evidenciando tres ideas antecesoras. La primera era la identificación de la contabilidad como

una ciencia para aumentar la rentabilidad de los negocios. La segunda era la utilización de las ciencias exactas en la construcción de puentes y estructuras. La tercera fue el incremento de la competencia entre los manufactureros producto del aumento de la oferta y el consecuente descenso de precios (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). La segunda revolución industrial se caracterizó por la invención de múltiples tecnologías como la electricidad, las máquinas de combustión interna, los hallazgos en la química, la utilización de aleaciones, la explotación del petróleo y otros químicos. Estos permitieron el incremento de la productividad por hora a menor costo (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). Sin embargo, el cambio más notorio fue la implementación de la producción por flujo continuo. Las plantas manufactureras tuvieron que pasar por una transformación enfocada en el control de la velocidad de producción y la minimización de los tiempos muertos. Lamentablemente, las condiciones de trabajo se deterioraron debido a las largas jornadas de trabajo (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). Después de terminar la segunda guerra mundial, la manufactura esbelta fue implementada por los japoneses en la industria automovilística. En este tiempo, había un problema de escasez de materiales, dinero y recursos humanos. En la compañía Toyota, Eiji Toyoda y Taichi Ohno creó el concepto de “Sistema de Producción Toyota” conocido actualmente como “Lean Manufacturing”. El concepto, conocido por la eliminación de desperdicios, se copió en Estados Unidos (Chahal & Narwal, 2017). En este tiempo, Henry Ford estaba introduciendo en las plantas de automóviles un nuevo modelo basado en la división de trabajo, las líneas de producción, la intercambiabilidad de partes y la economía de escala, conocida por hacer grandes plantas para reducir costos. Por otro lado, los japoneses se especializaron en la reducción de los recursos necesarios para la producción. (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). Toyota fue la primera empresa en adaptar el sistema de producción Ford en su primera planta nombrada “Koromo” en 1937. En un inicio, Toyota se enfocó en simplificar las operaciones productivas y obtener maquinaria ajustable a cualquier modelo. En 1949, Taichi Ohno reorganizó los procesos productivos de Toyota mediante los principios de Just in Time y la automatización (Jidoka en japonés). Cada principio requería de sus respectivas herramientas y un enfoque en específico. Por ejemplo, para Just in Time se utilizaron herramientas como *SMED*, *Takt Time*, *Kanban* y un flujo de una pieza. Por otro lado, para Jidoka se requirió del sistema *Andon* y *Poka Yoke*.

Como resultado de la segunda revolución industrial, la producción se orientó a la mecanización. Sin embargo, la tercera revolución denominada “la revolución digital”, añadirá el uso de aparatos electrónicos y digitales apoyados por tecnología de la información (El Abbadi, Elrhanimi, & El Manti, 2020). El pilar de la tercera revolución industrial fue la automatización, mecanizándose las actividades físicas del proceso y vinculando el flujo de información a un sistema computacional. Por otro lado, utilizar una tecnología no idónea y/o

implementarla incorrectamente puede ser desastroso. (El Abbadi, Elrhani, & El Manti, 2020). A pesar de que la automatización contradice los principios de la metodología Lean respecto a la versatilidad, Ohno recomendó automatizar las actividades repetitivas que añaden valor al producto. La integración de las tecnologías de automatización a la metodología Lean se denominó “Automatización Lean”, apareciendo por primera vez en los años 1990 junto con el debut de la manufactura integrada por computadoras (CIM por sus siglas en inglés). En la última década, la automatización se adaptó a “Jidoka”, creando el concepto de “Autonomatización”, que significa que el proceso debe ser automatizado y supervisado por los operarios (El Abbadi, Elrhani, & El Manti, 2020).

Actualmente, estamos viviendo una época de transición a nuevas tecnologías como, robots autónomos, automatización contemporánea, sistemas ciber-físicos, “internet of things”, “internet of services”, entre otros. En otras palabras, se está diseñando sistemas inteligentes con optimizaciones y configuraciones ejecutadas por una IA autónoma; denominándose por primera vez como la industria 4.0 en Alemania (El Abbadi, Elrhani, & El Manti, 2020). En este entorno, la manufactura Lean se ha transformado a un concepto denominado Lean 4.0, incrementando la integración de ITC a las herramientas Lean. De esta manera, los procesos productivos y logísticos se vuelven más eficientes y la metodología Lean se vuelve más flexible (El Abbadi, Elrhani, & El Manti, 2020).

### **1.1.2. Descripción Lean Manufacturing**

Según Kumar & Mathiyazhagan, la manufactura Lean es un sistema orientado al desarrollo del producto, operaciones, cadena de suministro y satisfacción del cliente con recursos optimizados como el ser humano, la máquina, los materiales, el espacio y el capital en el plazo de entrega más corto. Ellos destacan que la implementación no es un proceso directo y que una implementación indebida puede dañar a toda la organización. También puede ser definido como un conjunto de conceptos y herramientas orientadas al “toyonismo” denominado “*just in time*” (El Abbadi, Elrhani, & El Manti, 2020).

Desde otro enfoque, la manufactura Lean se enfoca en la reducción de costos mediante la eliminación de desperdicios categorizados entre 7 y 8 tipos: sobreproducción, transporte o transferencia, espera (tiempo a disposición), defectos, sobre-procesamiento o incorrecto procesamiento, exceso de inventario, movimientos innecesarios, y el no uso de la creatividad empleado (De Oliveira, Oliveira Sousa, & Celso de Campos, 2019).

Chahal y Narwal proponen los siguientes pasos para una implementación efectiva de la manufactura Lean:



- Identificación del desperdicio: Cualquier industria conoce que tiene desperdicios, pero no son capaces de encontrar todos los tipos de desperdicios ocultos y no ocultos.
- Diferenciar los tipos de desperdicios y sus causas: Es muy importante diferenciar todos los tipos de desperdicios y sus causas. Si la causa es eliminada entonces el desperdicio se reducirá. Hay diferentes técnicas para eliminar diferentes desperdicios.
- Escoger la mejor estrategia Lean para el desperdicio indicado: En este paso, se selecciona a la estrategia correcta para el desperdicio identificado. Se debe realizar un plan apropiado para eliminar el desperdicio con las técnicas correctas.
- Implementación del plan: Después de la planificación, se debe poner el plan en marcha.
- Recalcular el indicador del desperdicio: Se debe comparar la situación actual del desperdicio con reportes pasados.
- Medición orientada a la metodología Lean: La aplicación Lean puede ser medida con diferentes técnicas de medición Lean.

### 1.1.3. Objetivos y principios del Lean Manufacturing

El objetivo de la manufactura Lean es eliminar los desperdicios. A continuación, se mencionan los 7 desperdicios categorizados por Taiichi Ohno (Chahal & Narwal, 2017).

- **Sobreproducción:** Elaborar más productos respecto a la demanda desperdicia dinero, tiempo y espacio. La sobreproducción ocurre cuando las empresas producen más productos que los demandados con expectativas a futuro.
- **Espera:** El proceso se define como ineficiente y el tiempo es malgastado cuando un proceso tiene que esperar a que otro finalice para que pueda empezar. La metodología Lean sugiere que las operaciones deben ser fluidas y continuas. Según algunas estimaciones, 99% del tiempo empleado en un producto manufacturado es ocupado en esperas. Esperar por un plan de trabajo, una orden, una parte de maquinaria, un e-mail, un permiso, etc.
- **Transporte:** Mover las herramientas, partes de una máquina, o un producto entre estaciones, es considerado dentro de este tipo. Además de ser costoso, puede generar accidentes. En conclusión, mover algo de una estación de trabajo a otra es un desperdicio de tiempo y dinero.
- **Inapropiado / Sobre procesamiento:** Un producto perfecto es costoso. A veces realizar un proceso perfecto requiere un gasto adicional de mano de obra, materiales, tiempo y dinero. Por otro lado, una mala práctica ocupa un tiempo considerable en ser corregida y, en su mayoría de las veces, todo el flujo es perturbado.

- **Inventario excesivo:** Tener inventario significa pagar gastos de almacenamiento y preservación. También se debe destacar que se hace referencia a todo tipo de inventario, desde la materia prima hasta el producto final.
- **Movimiento innecesario:** Algunas operaciones requieren de torcer, tomar o transportarse largas distancias de una estación a otra. En este tipo suele evaluarse la ergonomía para obtener un entorno de trabajo más capaz. En este tipo también se consideran otras actividades como:
  - Reensamble o arreglo de partes de máquinas para un nuevo lote.
  - Movimiento entre estaciones de trabajo para obtener una herramienta o pieza.
  - Colocar toda la documentación junta
  - Colocar las herramientas lejos
- **Defectos:** Los defectos pueden ocurrir, pero no es una buena idea que sean frecuentes. Los defectos disminuyen la calidad, reduce la satisfacción del cliente y genera pérdidas en general. También afecta a las ventas y al precio del producto. La manufactura esbelta está basada en una combinación de diferentes procesos para realizar una manufactura libre de defectos.

Asimismo, Kumar & Mathiyazhagan plantean que la implementación Lean es sostenida por 3 pilares Lean correspondientes a la gestión, los recursos y la iniciativa de cambio, tal como se puede apreciar en la Figura 1.

Gestión	Recursos	Iniciativa de cambio
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actitudes y comportamientos               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visión</li> </ul> </li> <li>• Calidad de liderazgo               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultura organizacional</li> </ul> </li> <li>• Compromiso y capacidad de gestión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia de conocimiento</li> <li>• Nuevas tecnologías               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque estratégico para la mejora</li> <li>• Recursos adecuados para apoyar los cambios</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participación de los empleados</li> <li>• Desarrollo personal               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrenamiento</li> <li>• Evitar el miedo al fracaso</li> </ul> </li> <li>• Mejora continua</li> </ul>

**Figura 1**  
Los 3 pilares Lean

Nota. Adaptado de Kumar & Mathiyazhagan, 2020.

## 1.2. Herramientas del Lean Manufacturing

En esta parte se describen las principales herramientas Lean Manufacturing que serán de utilidad a fin de poder encontrar soluciones estratégicas a los problemas que atraviesa la empresa en materia de estudio

### 1.2.1. *SMED*

Respecto a las herramientas del Lean Manufacturing, *SMED* (acrónimo de Single Minute Exchange of Dies) es considerada una herramienta utilizada para reducir los tiempos de cambio o configuraciones de la maquinaria mediante la adaptación de pasos o actividades que son realizadas cuando la máquina es detenida (actividades internas), para ser realizadas cuando la máquina está en pleno funcionamiento (actividades externas) (Haddad, W. Shaheen, & Nemeth, 2021). Desde la perspectiva mostrada por Lozano. J y otros, *SMED* es considerada una herramienta lean utilizada para extraer el máximo valor, para el cliente, de los productos manufacturados usando menos recursos e incrementando las ganancias mediante la reducción y estandarización del proceso y tiempo de cambio de las maquinarias.

Unos de los conceptos teóricos del *SMED* consiste en que los tiempos de cambio deben ser los más cortos posibles, así como de una manera estandarizada. Asimismo, al aplicar *SMED*, es necesario distinguir entre las operaciones que deben ser realizadas cuando la máquina está apagada (actividades internas) y las que se pueden realizar cuando la máquina está encendida (actividades externas). Bajo esta premisa Lozano y otros recomienda los siguientes 3 puntos:

- Las actividades internas deben ser convertidas a actividades externas.
- Se deben identificar las tareas que causan cuello de botella, es decir, las tareas más costosas o que requieren de mayores recursos. Deben realizarse las mejoras pertinentes para enfocarse primero en estos elementos.
- Luego de solucionar los 2 primeros puntos, se debe identificar el próximo cuello de botella. El proceso se realiza hasta alcanzar los objetivos previstos.

De esta manera se puede reconocer que existen pasos necesarios para aplicar *SMED* correctamente:

- Identificar la maquinaria donde *SMED* debe ser aplicada. Aquellos con cambios periódicos que provocan alteraciones substanciales en la maquinaria. Por ejemplo, formatos, configuración de maquinaria (para productos con otras características), herramientas, materiales, etc.

- Identificar los puntos o componentes de la maquinaria que deben ser cambiados o modificados.
- Distinguir entre las tareas que se pueden realizar mientras la maquinaria esta en uso de las que necesariamente deben realizarse con la maquinaria parada.
- Establecer acciones para reducir el tiempo en el que debe realizarse el cambio, prefiriendo transformar las operaciones que requieren de la maquinaria parada a otras que puedan hacerse con la maquinaria en operación.

En el caso de *SMED*, los beneficios pueden ser cuantificados en la forma de minimización de costos de producción, incremento de la eficiencia de la línea de producción, incremento global de la maquinaria, aumento de experiencia del personal involucrado en la producción, y la optimización del mantenimiento. Sin embargo, los costos ocultos de la implementación *SMED* deben ser considerados (Lozano, Saenz-Diez, Martinez, Jiménez, & Blanco).

### 1.2.2. Efectividad Total del Equipo (OEE)

Para adoptar una estrategia orientada a la productividad, el paso más importante es identificar y analizar los procesos y sus efectos en los potenciales tiempos muertos. La revisión de la literatura realizada por Haddad, W. Shaheen y Nemeth reveló que el indicador más utilizado para medir la eficacia operacional es el OEE que consiste en tres elementos principales: disponibilidad, rendimiento y calidad. Para hallar el OEE se utiliza la siguiente ecuación.

$$OEE(\%) = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad \times 100\%$$

Según la siguiente medida de desempeño, el indicador se enfocará en los tiempos muertos y/o fallas, los cuales tendrán un impacto y afectarán a la disponibilidad, la eficiencia operacional y la calidad del producto. La disponibilidad es calculada en función del tiempo de funcionamiento y la pérdida de actividad. El rendimiento se calcula según el tiempo operativo neto y la pérdida de velocidad, mientras que la calidad se calcula en función del tiempo operativo completo y la pérdida de calidad. Los 3 elementos mencionados pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \frac{(Tiempo\ total\ disponible - Tiempo\ máquina\ fuera\ de\ acción)}{Tiempo\ total\ disponible}$$

$$Rendimiento = \frac{Número\ de\ unidades\ producidas}{Número\ estimado\ de\ unidades}$$

$$Calidad = \frac{(Número\ de\ unidades\ producidas - Número\ de\ defectos)}{Número\ de\ unidades\ producidas}$$

### 1.2.3. 5 ´S

5 ´S es una técnica de mejora de la gestión organizacional desarrollada en Japón por Hiroyuki Hirano. El término "5 S" define cinco palabras japonesas que describen la organización del lugar del trabajo (Chandrayan, Kumar Solanki, & Sharma, 2019)

- a. Seiri (Clasificar)
- b. El primer paso para la implementación de la técnica. En este paso se seleccionan los elementos necesarios en el lugar de trabajo y los que deben ser descartados colocando una cinta roja en los elementos. La clasificación depende de los objetivos organizacionales y se requiere de un equipo de trabajo especializado para realizar este paso de manera precisa y eficiente. Al finalizar, el área de trabajo debe tener una acumulación mínima de desperdicios y solo artículos importantes y de uso frecuente, con fácil accesibilidad para el usuario.
- c. Seiton (Poner en orden)
- d. En este paso, los objetos clasificados se organizan sistemáticamente de manera que se puedan utilizar de manera fácil para el uso regular, minimizando las molestias y los obstáculos durante la operación. Aquí se asegura de que cada artículo se visualice en gran detalle y sea ubicado en consideración a su uso y conveniencia. El objetivo es reducir el tiempo que ocupa al usuario realizar cierta operación identificando áreas de trabajo y asignando una descripción visual que lo haga ordenado y fácil de entender.
- e. Seiso (Limpiar)
- f. La tercera "S" se ocupa de del proceso de limpieza del área para garantizar la identificación y eliminación de los resultados inesperados. Un ambiente de trabajo limpio fomenta la disciplina, la eficacia y la confiabilidad, además de disponer de un espacio de trabajo estéticamente agradable. La inspección regular del área para verificar su limpieza puede aumentar la moral laboral de los trabajadores y empleados, lo que afecta positivamente al desempeño de la organización.
- g. Seiketsu (Estandarizar)
- h. Después de una correcta implementación de las primeras 3 ´S en el lugar de trabajo, se debe estandarizar y comparar las implementaciones. Este proceso asegura la continuidad de la implementación al establecer los procedimientos y la ética de trabajo de manera visual o verbal para que sea fácil de seguir y comprender. Estos estándares deben ser implementados en todos los niveles de

la organización. Si varias áreas están estandarizadas, se facilitará el proceso de adaptación para nuevos empleados y trabajadores.

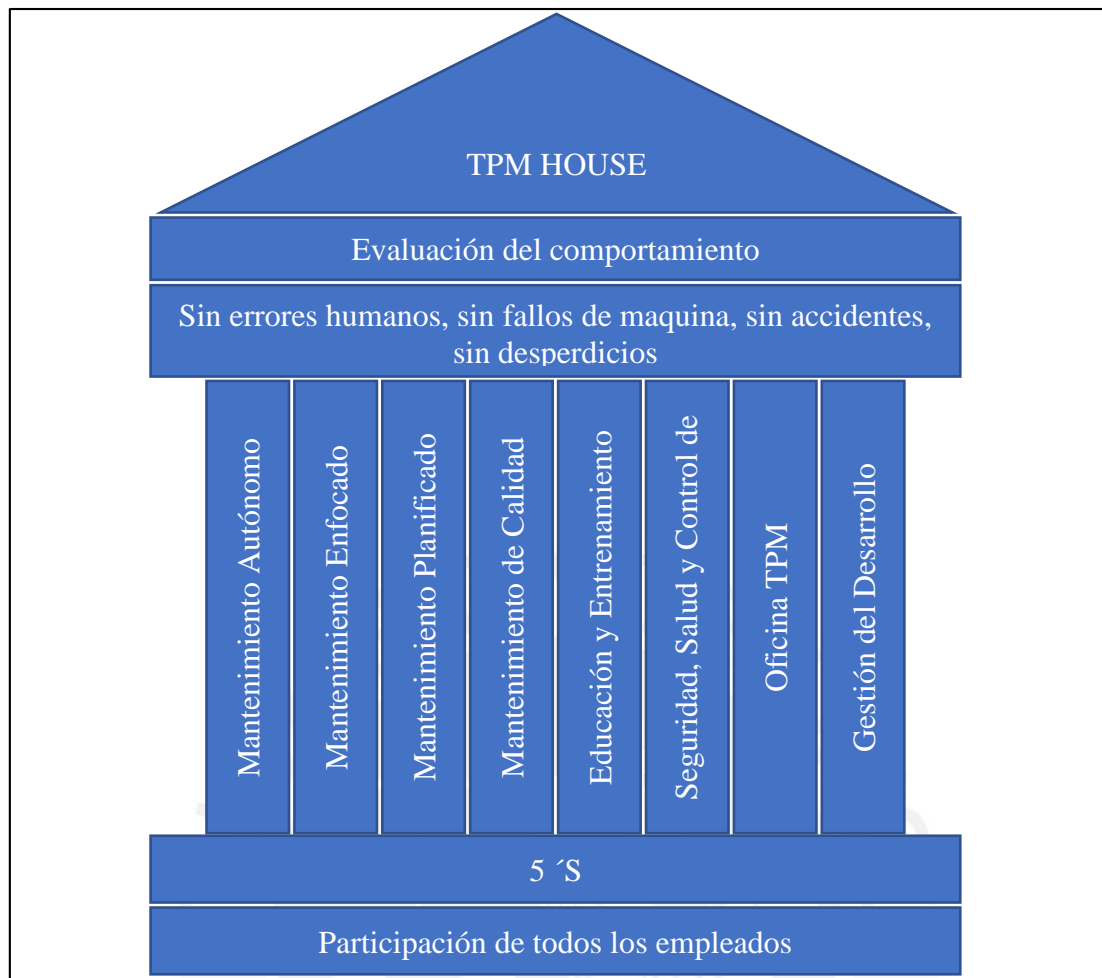
- i. Shitsuke (Sostener)
- j. El último paso de la implementación describe la necesidad de mejorar continuamente el ecosistema de trabajo aplicando continuamente las primeras 4 'S y volverlas un hábito dentro de la organización. La mesa de administrativos lleva a cabo periódicamente diversas capacitaciones, auditorias y disciplina para aumentar la conciencia y las relaciones entre el personal, a la vez que garantiza la aplicación de la técnica en los siguientes años.

#### 1.2.4. TPM

*TPM* es una estrategia enfocada en la eficiencia del equipo durante su uso en las operaciones. Esta técnica se centra en la confiabilidad de las instalaciones de la empresa mediante la participación continua de los empleados, el empoderamiento relacionado a la fabricación, el mantenimiento y la función industrial. El motivo principal de la metodología *TPM* es minimizar el desperdicio incurrido en las operaciones, reduciendo el costo general al mejorar su productividad y generar productos de excelente calidad (P. Mishra, Gupta, & Sharma, 2021).

La herramienta *TPM* es "Total" porque incluye a todos los empleados, no solo a los operarios y el equipo de mantenimiento, además de eliminar todas las no conformidades. "Productivo" porque las actividades se desarrollan según los problemas de la organización para ser reducidos continuamente. "Mantenimiento" porque mantiene los equipos en óptimas condiciones y mantiene un desarrollo consistente de las actividades de mantenimiento como: reparar, limpiar, engrasar, verificar, y otros (Pačaiová & Ižaríková, 2019).

La filosofía *TPM* puede ser vista en la Figura 2 como "*TPM house*", donde los pilares individuales de la casa representan los elementos básicos que permiten la consecución de los objetivos determinados en forma de eliminación de las no conformidades, es decir, cero fallas humanas, fallas de equipo, accidentes y desperdicios (Pačaiová & Ižaríková, 2019),



**Figura 2**  
TPM House

*Nota. Adaptado de (Pačaiová & Ižaríková, 2019)*

Las áreas claves del *TPM* se han clasificado en 8 diferentes actividades, conocidas popularmente como los 8 pilares del *TPM*. Descrito así por el Instituto del Mantenimiento de Planta de Japón (JIPM por sus siglas en inglés), los 8 pilares incluyen el Mantenimiento Autónomo, el Mantenimiento Enfocado, el Mantenimiento Planificado, el Mantenimiento de Calidad, la Educación y Entrenamiento, la Oficina *TPM*, la Gestión del Desarrollo, y Seguridad, Salud y Entorno (Parikh & Mahamuni, 2015).

- ✓ 5'S: La base del *TPM*, consiste en organizar, ordenar, limpiar y estandarizar el lugar de trabajo. De esta manera, un lugar de trabajo organizado nos ayudará a identificar las actividades que de otra manera pasarían desapercibidas.
- ✓ Mantenimiento Autónomo: Este pilar consiste en desarrollar la autonomía del operador. El operador realiza tareas rutinarias para poder desarrollar actividades y dominar su equipamiento, liberando así al personal del mantenimiento calificado. De esta manera ellos podrán invertir más tiempo en reparaciones técnicas y otras

actividades que agreguen valor. En esta actividad, los operadores son responsables de cuidar su equipo para evitar anomalías operativas.

- ✓ Mantenimiento Enfocado (KAIZEN): Plantea que altas cantidades de pequeñas mejoras afectan más que complejas mejoras realizadas en pequeñas cantidades. El principio KAIZEN consiste en buscar pequeñas mejoras. Realizado por personas en todos los niveles de la organización, este pilar tiene como objetivo reducir las pérdidas en el lugar de trabajo causado por cuellos de botella. Utilizando un procedimiento sistemático, las pérdidas se eliminan de manera escalonada. Puede ser implementado tanto en áreas productivas como administrativas y requiere de una inversión casi insignificante.
- ✓ Mantenimiento Planificado: Este pilar está asociado con el aumento de la producción minimizando defectos y fallas junto con la mejora del personal de mantenimiento. El Mantenimiento Planificado sigue el concepto de cero fallas similar a la mejora enfocada. Cero fallas significan, no defectos, no reprocesos y no accidentes. Se pueden utilizar varias metodologías de mantenimiento, como mantenimiento de averías, prevención del mantenimiento y mantenimiento correctivo.
- ✓ Mantenimiento de Calidad: El enfoque de este pilar es satisfacer al cliente con la más alta calidad por medio de una fabricación libre de errores. Igual que la Mejora Enfocada, el objetivo es eliminar las no conformidades de manera sistemática. Esto ayuda a reconocer que partes del equipo perturban la calidad del producto y ayuda al operador a erradicar los problemas de calidad actuales antes de que se conviertan en problemas de calidad potenciales.
- ✓ Educación y Entrenamiento: Empleados con alta moral y conocimientos favorecen notablemente a la compañía. Enfocado en convertir a los empleados en fuerzas de trabajo dinámicas y polifacéticas, estos se entusiasmarán más con su trabajo y realizarán sus funciones de manera más efectiva e independiente. Esto se consigue al involucrar a los operadores en diversas formas de trabajo para mejorar sus actividades.
- ✓ Seguridad, Salud y Control del Entorno: Este pilar se enfoca en conseguir un lugar de trabajo seguro y evitar que los procesos o procedimientos lo dañen. Es un pilar importante que juega un papel crucial en el desarrollo de los pilares restantes a un ritmo regular. Se crea un comité independiente para este pilar que está compuesto por representantes de varios operadores y administrativos. La seguridad se vuelve incondicionalmente importante en la planta con un gerente



que vele por ellas. Con el fin de crear conciencia entre los empleados, se organizan a intervalos regulares concursos, slogans. Quiz, Dramas, Carteles y otros anuncios enfocados en la seguridad.

- ✓ Oficina *TPM*: Tiene como objetivo mejorar la productividad y eficiencia de las funciones administrativas mediante la identificación y eliminación de pérdidas. Incluye actividades como analizar los procedimientos y procesos para una mayor autonomía en oficinas. Se enfocan en varias pérdidas importantes en el trabajo administrativo, como costos y pérdidas de procesamiento de datos en las áreas de contabilidad, ventas, adquisiciones y marketing que originan inventarios altos.
- ✓ Gestión del Desarrollo: Este pilar tiene como objetivo hacer uso de los conocimientos previos aprendidos en el desarrollo de prácticas de mantenimiento de nuevos sistemas. Consiste en minimizar los problemas ocurridos en el sistema existente para evitar que se repitan los mismos para los nuevos.

### 1.2.5. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto fue nombrado como el primero que utilizó el economista italiano Vilfredo Pareto en el trabajo estadístico de la distribución de la propiedad comunitaria. El Dr. Durán aplicó este principio a la gestión de la calidad y considera que los productos no conformes causados por una pequeña cantidad de problemas representan la mayor parte del producto no conforme total.

El procedimiento para el análisis de data para la gráfica de Pareto generalmente consiste en los siguientes pasos:

- (1) Clasificar los elementos de los datos recolectados por alguna particularidad de su contenido como  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ ;
- (2) Consolidar los elementos de la data y calcular la frecuencia acumulada  $e_i$ , luego organízalos de la siguiente manera:  $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$
- (3) Trazar los ejes horizontales y verticales, colocar los datos de izquierda a derecha según el grado de influencia (la frecuencia acumulada), y entonces graficar un histograma con una columna indicando la frecuencia acumulada en cada ítem.
- (4) Calcular la importancia de varios tipos de datos (el ratio de frecuencia de aparición) y su importancia acumulada.

$$f_i = \frac{e_i}{\sum_{j=1}^i e_j}$$

$$F_i = \sum_{j=1}^i f_j$$

- (5) Dibujar la curva acumulativa (Curva de Pareto), luego trazar una línea horizontal a la altura de  $F_i \approx 80\%$ , entonces los datos ubicados  $X_i$  al lado izquierdo del punto de intersección P de la curva de Pareto pueden ser definidas como los factores claves.

### 1.2.6. VSM

El concepto de representar visualmente el flujo de materiales e información fue introducido originalmente por Taichi Ohno en Toyota. Un flujo de valor es definido como todas las acciones (que añaden y no añaden valor) que se requiere para llevar un producto a través de los principales flujos, desde la materia prima hasta el cliente, y el diseño fluye desde el concepto hasta el lanzamiento (Ramesh & Kodali, 2012).

Diversas alternativas han sido encontradas en la literatura, a continuación, se mencionan las 7 herramientas del mapeo del flujo de valor:

- a. Mapa de Procesos y Actividades: Una herramienta de ingeniería industrial para el estudio del proceso de flujo, identificación de residuos, consideración de la reordenación del proceso, consideración de la reordenación del flujo, análisis de la ocurrencia de actividad.
- b. Matriz de respuesta de la cadena de suministro: Representa en un diagrama simple las limitaciones críticas del tiempo de entrega para un proceso en particular. Puede trazar un diagrama simple que indique el tiempo de espera acumulado del inventario frente al tiempo de espera del proceso en varias etapas. Ayuda a orientar cada una de las cantidades de inventario y tiempo de entrega en diferentes etapas de la mejora.
- c. Embudo de variantes de producción: Traza el número de variantes de producto en cada etapa de fabricación. Ayuda a decidir donde apuntar la reducción de inventario y realizar cambios en el procesamiento de productos. Proporciona una descripción general de la empresa.
- d. Mapeo de filtros de calidad: Esta herramienta está diseñada para identificar problemas de calidad en el proceso de cumplimiento de pedidos o en la cadena de suministros. El mapa muestra la ocurrencia de los 3 tipos de defectos (defectos del producto, chatarra y defectos del servicio) en el flujo de valor.

- e. Mapeo de amplificación de la demanda: Este gráfico muestra el tamaño del lote del producto en varias etapas del proceso de producción (dentro de una empresa o cadena de suministro). También puede mostrar la retención de inventario en varias etapas en el tiempo.
- f. Análisis de puntos de decisión: El análisis de puntos de decisión es de uso particular para plantas "T" o para cadenas de suministro que exhiben características similares, aunque puede usarse en otras industrias. Indica el punto en el que los productos dejan de fabricarse de acuerdo con la demanda real y, en su lugar, se fabrican solo contra el pronóstico
- g. Mapa de estructura física: Útil para comprender cómo se ve una cadena de suministro en particular a nivel general o industrial y cómo funciona; en particular, al dirigir la atención a áreas que pueden no estar recibiendo suficiente atención de desarrollo.



## Capítulo 2: Estudio de casos

En el capítulo anterior se detalla sobre las herramientas y conceptos que serán utilizados en esta investigación. Ahora, en el capítulo 2 se expondrá un resumen de la revisión de investigaciones ya realizadas las cuales utilizan las mismas herramientas en contextos similares al que se presentará en el caso de estudio del presente proyecto de investigación.

### 2.1. Tipología *TPM*

De la literatura revisada se puede decir que *TPM* es una herramienta ampliamente usada en empresas tanto manufactureras como metal mecánicas. Esta herramienta, a través de sus pilares, abarca problemas relacionados a la disponibilidad de máquinas, eficiencia de estas y calidad producida; incluso desde su pilar de educación y entrenamiento logra impulsar un cambio de mentalidad organizacional para enfocar los esfuerzos y la cultura de la empresa hacia una más involucrada con el mantenimiento y sus buenas prácticas. Tal como lo presenta (Dos Reis et al., 2019) al implementar un plan de mantenimiento basado en *TPM* para incrementar la confiabilidad de una línea de producción automotriz. En dicha investigación se tuvo especial detalle al identificar el problema de la empresa y su justificación. De igual forma el estudio de (I. M. Ribeiro et al., 2019) identifica la problemática haciendo uso de indicadores como MTBF y MTTR para luego llevarlos a un análisis de OEE. (Tsarouhas & Besseris, 2017) y (Tsarouhas, 2019) de igual forma propone en su investigación estudios aún más profundos del tiempo de reparación (TTR), confrontando la data recogida con análisis estadísticos. Por su lado, (Bataineh et al., 2019) desarrolla un estudio muy profundo en relación a su metodología, en esta, propone una estructura de desarrollo de la propuesta que incluye 6 pasos y el uso de 3 pilares de *TPM* junto a 6S y AMEF. Esta investigación tiene gran importancia para el presente trabajo de investigación pues marca una pauta para tener en cuenta para implementar la metodología. No son los únicos autores que proponen utilizar *TPM* junto a AMEF, (Saleem et al., 2017) hace lo mismo proponiendo acciones correctivas a los problemas con mayor riesgo (RPN) identificado. Así como algunos autores optan por implementar toda la metodología, algunos otros utilizan solo algunos pilares para lograr sus objetivos; ese es el caso de (Guariente et al., 2017) que implementa únicamente el pilar de mantenimiento autónomo y consigue elevar hasta en 12 puntos porcentuales el OEE. De igual forma lo hace (Singh et al., 2018) al implementar el pilar de mantenimiento móvil en una industria manufacturera y conseguir incrementar el OEE en 17.08%. Otros autores por su parte identifican los pilares a utilizar según la identificación de los problemas, ese es el caso de

(G. Pinto et al., 2020) y (Morales Méndez & Rodríguez, 2017) que orientan el uso de las herramientas según la causa de los problemas encontrados.

## 2.2. Tipología *SMED*

Por el lado de la herramienta *SMED*, esta se utiliza mucho para incrementar la productividad/disponibilidad de las máquinas reduciendo sus tiempos de *SETUP*. Los problemas relacionados al uso de la herramienta suelen ser de disponibilidad, sin embargo, el primer paso es la identificación del problema. Autores como (Monteiro, Ferreira, Fernandes, Silva, et al., 2019) realizan este proceso de manera muy detallada. Muchas veces esta herramienta usa conceptos como 5S para acompañar su implementación, tal es el caso de (P. Ribeiro et al., 2019) y (Vieira et al., 2019) que combinan e integran el uso de la herramienta *SMED* con 5S como parte de su desarrollo y propuesta de solución. Otras herramientas además de 5S son utilizadas junto a *SMED*, la herramienta lean VSM es utilizada también en la literatura encontrada. Autores como (Sousa et al., 2018) y (Monteiro, Ferreira, Fernandes, Silva, et al., 2019) combinan ambas herramientas y logran reducir casi en 50% sus tiempos de *SETUP*. Para utilizar esta herramienta muchos autores usan como indicador base el OEE, (G. F. L. Pinto et al., 2019) y (Dresch et al., 2019) quienes en base a este indicador sientan la base de la identificación del problema y miden el logro de su propuesta. Si bien la herramienta puede ir acompañada de otras, esta es especialmente importante por la forma en la que se implementa, suele hacerse por fases o etapas así como lo muestra (Bhade & Hegde, 2020) en cuya investigación logra reducir de 52 a 30 los minutos que toma hacer el reajuste de la máquina. Luego, (Singh & Singh, 2017) nos muestra una implementación etapa por etapa denotando los logros obtenidos en cada una de ella, al final logró incrementar el OEE en 4 puntos porcentuales. Por último, una de las implementaciones o metodologías más detalladas nos la entrega (Morales Méndez & Silva Rodríguez, 2016) al utilizar la herramienta en una fábrica de ejes automotrices, consiguiendo reducir más del 40% de los tiempos de cada actividad de la línea en estudio.

## 2.3. Casos de estudio

A continuación, se presentan 10 casos de estudio, en industrias manufactureras que son afines a la empresa en materia de estudio. Se investigaron un total de 20 papers de las mejores revistas por encima de un cuartil 3 y de reciente año de publicación. Estos 20 se encuentran desde el Anexo 1 al Anexo 20. En la siguiente tabla, se puede apreciar un resumen del análisis relacionado a las herramientas Lean utilizadas por estas empresas y el resultado positivo obtenido una vez aplicados en sus procesos productivos.

Ver Tabla 1.

**Tabla 1**  
Matriz de enfrentamiento

N°	Autores	Problema	SM ED	5 S	TP M	Mtto. Autónomo	Action- Research	Standart Work	VSM	AMEF	Poka Yoke	OEE
1	(G. Pinto et al., 2020)	Altos tiempos de parada por falta de equipo		√	√	√						
2	(Morales Méndez & Rodríguez, 2017)	Altos tiempos de paradas de mantenimiento no planificadas			√	√				√		
3	(Singh et al., 2018)	OEE bajo, OEE muy bajo en forjado			√							
4	(Monteiro, Ferreira, Fernandes, Sá, et al., 2019)	Oportunidades de mejora	√				√		√			
5	(Sousa et al., 2018)	Altos tiempos de <i>SETUP</i> en máquina de pegado	√	√					√			
6	(P. Ribeiro et al., 2019)	Bajo OEE en las líneas de producción	√	√	√		√	√				
7	(Dos Reis et al., 2019)	Perdidas por fallas en las máquinas			√							
8	(G. F. L. Pinto et al., 2019)	Desempeño irregular de maquinaria	√	√								
9	(Monteiro, Ferreira, Fernandes, Silva, et al., 2019)	No conformidades excesivas en mecanizado	√				√	√				
10	(Bhade & Hegde, 2020)	Bajo OEE en empaquetado	√	√							√	
11	(I. M. Ribeiro et al., 2019)	OEE decreciente		√		√						
12	(Bataineh et al., 2019)	Incrementar OEE		√	√	√						
13	(Tsarouhas, 2019)	Altos tiempos de parada por interrupciones										√

14	(Tsarouhas & Besseri, 2017)	Oportunidades de mejora										√
15	(Saleem et al., 2017)	Altos índices de tiempo de parada, calidad perdida								√		
16	(Morales Méndez & Silva Rodríguez, 2016)	Oportunidades de mejora en tiempos de parada	√					√				
17	(Vieira et al., 2019)	Bajo OEE en las líneas de producción	√	√								
18	(Singh & Singh, 2017)	Altos tiempos de Set Up en Maquinaria y Forjado	√									
19	(Dresch et al., 2019)	Oportunidades de mejora OEE	√									
20	Elaine Aspinwall and Maged Elgharib	Estándares operativos bajos, baja confiabilidad en equipos			√							
Total			10	8	7	4	3	3	2	2	1	2

Nota. Elaboración propia.

- Como se puede apreciar en el cuadro resumen, en un total de 10 Papers de investigación, la principal herramienta utilizada fue *SMED*, dado que ataca dos problemas en común: los altos tiempos de *SETUP* y el bajo OEE en las operaciones. En estas investigaciones se desarrolló una metodología en común: Diagnosticar el problema, planteamiento de solución usando *SMED* y monitorear periódicamente la solución propuesta.
- Asimismo, se utiliza la herramienta *TPM* en 7 papers de investigación con la finalidad de solucionar problemas de paradas y pérdidas de producción. En estos estudios desarrollaron una metodología afín: Identificar problemas, analizar sus causas raíces, definir acciones correctivas y monitorear resultados.
- Los 10 Papers que a continuación se explicarán han sido seleccionados por presentar condiciones, problemas o circunstancias similares al de la Empresa en materia de estudio, también se eligieron por el correcto desarrollo de su herramienta y por sus eficientes resultados en el ámbito de investigación.

- **CASO 1: TPM implementation and maintenance strategic plan** – a case study  
– Anexo 1

**Tabla 2**  
*Resumen de paper caso 1*

<p>Motivación:</p> <p>La compañía presenta problemas en términos de organización y limpieza, originando averías en el área de mecanizado y tornos CNC.</p>
<p>Aporte:</p> <p>Este trabajo implementa un sistema de gestión de mantenimiento en una empresa metalúrgica. La literatura permite una mayor eficiencia en aspectos relacionados con el mantenimiento, pudiendo contribuir a la reparación de un mal funcionamiento de manera más rápida, evitar la repetición del problema y eliminar la causa; resultando en una reducción de costos, mayor disponibilidad de equipos y un aumento de la vida útil de maquinarias.</p>
<p>Metodología:</p> <p>Paso 1: Determinar los problemas principales y sus causas. Luego de un seguimiento a las fallas, se asoció los problemas con el llenado de tanque de refrigerante y con el deslizamiento de puerta de seguridad de la máquina.</p> <p>Paso 2: Análisis de las causas. Con la ayuda del personal de mantenimiento, producción y administrativo, se encontró que el problema del llenado de tanque de refrigerante está asociado a fugas en el circuito del líquido debido a fallas humanas. Por otro lado, la puerta de seguridad presenta malfuncionamientos producidos por la suciedad acumulada.</p> <p>Paso 3: Definir e implementar acciones correctivas. Se decidió instalar un sistema de auto rellenado y filtración de refrigerante en las máquinas, complementado con un control semanal de concentración del líquido. Además, se implementó un procedimiento de limpieza diaria, con indicadores visuales para los sitios críticos.</p> <p>Paso 4: Crear y normalizar. Con el objetivo de estandarizar, se implementó actividades periódicas para la inspección de las actividades propuestas. Se distribuyó manuales de equipos a los trabajadores y se capacitó a los operarios para implementar buenas prácticas en 5 ´S. Adicionalmente, cualquier empleado de la compañía es responsable de notificar una anomalía en los equipos.</p>



Métrica:		
	Tornos CNC	Centros de mecanizado CNC
MTTR (%)	-28	-27
MTBF (%)	+21	+14
Disponibilidad (%)	+2	+2
OEE (%)	+5	+5
Clasificación de solución: Implementación		

Nota. Recuperado de (G. Pinto et al., 2020)

**Conclusión del caso:** Se redujeron las paradas por falla de la línea CNC lathes en 28% y 27% para la línea CNC del Centro de Mecanizado. Esto generó un incremento en la disponibilidad de 2% y OEE en 5% para ambas maquinas respectivamente. En caso las mejoras relacionadas a 5S, se logró mejorar la organización del área de trabajo y el propio proceso de producción. A su vez, se obtuvieron mejoras no medibles, como la cooperación entre los involucrados en el *TPM*, la mejora de la autonomía de los operarios de máquina, la mejor comunicación entre estos y los técnicos de mantenimiento y la mayor sensación de responsabilidad de los operarios con sus máquinas.

**CASO 2: Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line – [Anexo 2](#)**

**Tabla 3**  
Resumen de paper caso 2

<p>Motivación:</p> <p>La compañía presenta un OEE de 64%, lo cual es considerado muy bajo e impacta negativamente a la disponibilidad de la línea.</p>
<p>Aporte:</p> <p>Este trabajo implementa una estrategia de mantenimiento productivo total. El documento ofrece a la literatura un ejemplo didáctico de <i>TPM</i> clasificado por la implementación de cada</p>

pilar. Esta aplicación ofrece un riguroso seguimiento de cada evento acompañado de mediciones efectivas con el objetivo de alcanzar el 100% de disponibilidad.

#### Metodología:

Paso 1: Preparación del piloto. Se reporta al presidente de la compañía. Se estudia y se entrena en *TPM* a los responsables. Se selecciona la maquina piloto.

Paso 2: Implementación 5 ´S, como reacondicionamiento, por un semestre.

Paso 3: Implementación del pilar de entrenamiento y educación. Se realiza un entrenamiento repasando las bases de los pilares *TPM*, la gestión de la limpieza de las máquinas, el manejo de fallas leves y mantenimiento autónomo.

Paso 4: Implementación del pilar de mantenimiento enfocado. Por medio de un diagrama de Pareto, se determinó las principales averías mecánicas y eléctricas en los últimos 2 años. Después se determina el análisis de las causas por medio del FMEA. Para el proceso contorneado abrasivo, se detectó un movimiento irregular en la cuchilla giratoria del torno, por lo que se adaptaron buenas prácticas al torneado. Por otro lado, la variación de excentricidad de la junta fija no está cumpliendo con los requisitos de calidad admisibles, por lo que determino un procedimiento estándar para la utilización de la junta.

Paso 5: Implementación del pilar de mantenimiento planeado. Se consolidó la utilización de MTBF y MTTR como indicadores oficiales de la organización. Se estableció nuevos registros preventivos. Se destinó los recursos para el nuevo programa de mantenimiento planificado. Se integraron auditorias *TPM* en el programa general.

Paso 6: Implementación del pilar del mantenimiento autónomo. Se formaron pequeños equipos formados por operarios de máquina, un técnico de mantenimiento y un técnico de procesos. Estos brindarán soluciones inmediatas a los problemas generados en el área de trabajo.

Paso 7: Implementación del pilar de gestión de calidad. Se mantienen la calidad obtenida por aplicar los pilares mencionados anteriormente.

Paso 8: Implementación del pilar de seguridad, salud y entorno. Adicionalmente a la implementación de 5 ´S, se realizó un estudio de riesgos en el lugar de trabajo, un programa de guardado e inspección para las máquinas y entrenamiento para los operadores de las máquinas.

Paso 9: Implementación del pilar administrativo. Se brindó soporte al proyecto piloto. Se gestionó los repuestos y suministros destinados en la operación. Se asignó un programa

de entrenamiento a los operadores relacionado al mantenimiento autónomo y técnicas de mantenimiento.

Paso 10: Implementación del pilar de mantenimiento preventivo. Se seleccionó las marcas de componentes hidráulicos y eléctricos con mejor desempeño en la extensión de vida útil. Se realizó un modelo de prevención de fugas tempranas de aceite y un modelo de limpieza.

Métrica:

MTTR (%)	-30.2
MTBF (%)	+108
Disponibilidad (%)	+8.9
Eficiencia (%)	+8.9
Calidad (%)	+8.9
OEE (%)	+18.75

Clasificación de solución: Piloto

*Nota. Recuperado de (Morales Méndez & Rodríguez, 2017)*

**Conclusión del caso:** Luego de un año de implementación se logró reducir de 334.4 a 111 horas de mantenimiento no programado. Además, incrementó la disponibilidad de 0.82 a 0.9, la eficiencia de 0.84 a 0.86 y la calidad de 0.94 a 0.98; logrando un OEE de 0.76, es decir 18.75% mejor que el inicial.

### **CASO 3: Success of the TPM Concept in a Manufacturing Unit- A case study –**

[Anexo 3](#)

**Tabla 4**  
*Resumen de pape caso 3*

Motivación:

La frecuencia de averías en el taller de forja es bastante alta debido a problemas relacionados con el mantenimiento (en forma de electricidad y mecánica)

Aporte:

Este trabajo implementa una estrategia de mantenimiento móvil en una industria manufacturera de herramientas manuales. El documento ofrece a la literatura una recolección evolutiva de indicadores durante la implementación de la propuesta, destacando un análisis riguroso de la problemática propuesta.

**Metodología:**

Paso 1: Observar todas las operaciones de la máquina y su proceso de mantenimiento actual.

Paso 2: Registro de los datos detallados de la producción, incluyendo rechazos, tiempo de averías para su análisis posterior.

Paso 3: Realizar un seminario sobre conceptos del mantenimiento móvil a todo el personal de producción y mantenimiento.

Paso 4: Capacitar al personal de producción y mantenimiento para mejorar las capacidades técnicas.

Paso 5: Implementar este mantenimiento en un periodo de prueba continua por 10 días y sugerir mejoras

Paso 6: Implementar el mantenimiento móvil continuamente y mantener el seguimiento

**Métrica:**

Producción (%)	+15.63
Tiempos de avería (%)	-23.14
Rechazos (%)	-17.94
OEE (%)	+17.08

Clasificación de solución: Implementación

*Nota.* Recuperado de (Singh et al., 2018)

**Conclusiones del caso:** Luego de implementar el mantenimiento móvil en la empresa, la línea de forjado logró incrementar su OEE promedio de 29.64% a 35.71%. De igual forma, las líneas de corte y punzado incrementaron su eficiencia en más de 5 puntos porcentuales

**CASO 4: Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool *SMED* – [Anexo 4](#)**

**Tabla 5**  
Resumen de paper caso 4

<p>Motivación:</p> <p>Mejorar sus operaciones en un entorno de alta competencia, para ello busca eliminar los desperdicios de sus líneas de producción.</p>											
<p>Aporte:</p> <p>Utilizando el Action-Research los autores hacen uso de herramientas Lean para identificar oportunidades de mejora, proponer e implementar soluciones en el sector metalmeccánico.</p>											
<p>Metodología:</p> <p>Paso 1: Utilizar VSM para identificar oportunidades de mejora</p> <p>Paso 2: Recojo y procesamiento de data.</p> <p>Paso 3: Definir e implementar acciones correctivas. A partir de la técnica <i>SMED</i> se mejoró los tiempos de las 2 máquinas involucradas.</p>											
<p>Métrica:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Antes</th> <th>Después</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tiempo promedio de máquina 1 (mm:ss)</td> <td>09:51</td> <td>05:52</td> </tr> <tr> <td>Tiempo promedio de máquina 2 (mm:ss)</td> <td>19:04</td> <td>08:14</td> </tr> </tbody> </table>				Antes	Después	Tiempo promedio de máquina 1 (mm:ss)	09:51	05:52	Tiempo promedio de máquina 2 (mm:ss)	19:04	08:14
	Antes	Después									
Tiempo promedio de máquina 1 (mm:ss)	09:51	05:52									
Tiempo promedio de máquina 2 (mm:ss)	19:04	08:14									
<p>Validación de solución: Implementación</p>											

*Nota.* Recuperado de (Monteiro, Ferreira, Fernandes, Sá, et al., 2019)

**Conclusiones del caso:** Sobre las mejoras mencionadas en la sección anterior, se tomaron los nuevos tiempos del subproceso de fresado. Se logró reducir en 40% los tiempos de *SETUP* para la máquina 1 y 57% para la máquina 2.

**CASO 5: The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study – Anexo 6**

**Tabla 6**  
Resumen de paper caso 5

<p>Motivación:</p> <p>Una empresa dedicada al rubro de plásticas tiene tiempo de ciclo muy largos y dos de sus líneas con un OEE de 31% y 51% respectivamente.</p>											
<p>Aporte:</p> <p>Los autores utilizan herramientas lean para cada aspecto de mejora identificado.</p>											
<p>Metodología:</p> <p>Paso 1: Levantar información del proceso para ambas líneas en estudio, identificar los problemas a partir de esta.</p> <p>Paso 2: Análisis e identificación de causas.</p> <p>Paso 3: Proponer tratamientos para cada causa que incluyan la herramienta lean a utilizar.</p> <p>Paso 4: Implementar soluciones, se presentó la metodología 5S a los trabajadores, el plan de implementación y las fechas límite. Esto mismo se realizó con los operarios de maquinaria para implementar la herramienta <i>SMED</i>.</p> <p>Paso 5: Se condujo auditorías 5S para monitorear su implementación y se crearon procedimientos para los cambios propuestos a partir de <i>SMED</i>.</p>											
<p>Métrica:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Proceso de inyección</th> <th>Proceso de pintado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OEE antes de la implementación</td> <td>31%</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>OEE después de la implementación</td> <td>48%</td> <td>67%</td> </tr> </tbody> </table>				Proceso de inyección	Proceso de pintado	OEE antes de la implementación	31%	51%	OEE después de la implementación	48%	67%
	Proceso de inyección	Proceso de pintado									
OEE antes de la implementación	31%	51%									
OEE después de la implementación	48%	67%									
<p>Validación de solución: Implementación</p>											

*Nota.* Recuperado de (P. Ribeiro et al., 2019)

**Conclusión del caso:** Luego de implementar la mejora, se logró reducir en 36.79% los tiempos de set up. Además, se redujo las paradas no programadas de 12% a 5%, se incrementó en 10% la calidad del proceso de inyección de la línea de guardas de llantas, etc. Todo esto significó un incremento en el OEE de ambas líneas, en el caso de la primera su subproceso de inyección subió un 18% y el de pintado en 16%, para el caso de la segunda, 17%.

**CASO 6: Improving the Machining Process of the Metalwork Industry by Upgrading Operative Sequences, Standard Manufacturing Times and Production Procedure Changes – [Anexo 9](#)**

**Tabla 7**  
*Resumen de paper caso 6*

<p>Motivación:</p> <p>La empresa metalmeccánica presenta problemas con sus tiempos de ciclo, secuencias operativas incorrectas y no conformidades.</p>
<p>Aporte:</p> <p>Los autores utilizan e integran herramientas lean para solucionar problemas productivos en una empresa del sector metalmeccánico.</p>
<p>Metodología:</p> <p>Paso 1: Diagnostico del problema a través de un mapeo del proceso y un análisis de la data recogida</p> <p>Paso 2: Planeamiento de la solución haciendo uso de herramientas lean, para el caso de los tiempos productivos se propone utilizar <i>SMED</i>.</p> <p>Paso 3: Implementación de la propuesta para cada uno de los problemas identificados.</p> <p>Paso 4: Evaluación de las mejoras obtenidas</p>
<p>Métrica:</p> <p>Se evaluaron los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo tiempo de ciclo</li> <li>• Secuencias incorrectas</li> </ul>

- Tiempos de producción incorrectos
- Quejas

Validación de solución: Implementación

*Nota.* Recuperado de (Monteiro, Ferreira, Fernandes, Silva, et al., 2019)

**Conclusiones del caso:** En relación al bajo tiempo de ciclo, se obtuvo una mejor comunicación y autonomía incrementada, reduciendo en 59% el tiempo requerido para mover piezas. En relación a las secuencias incorrectas, se obtuvo un trabajo estandarizado con información compartida. Para los tiempos de producción incorrectos, se mejoró la calidad y la validez de la información. Finalmente, en relación a las quejas, los colaboradores obtuvieron mayor confianza en su trabajo y entrenamiento técnico, lo cual se manifestó en -2.04% de quejas registradas y -3.99% de no conformidades.

## **CASO 7: Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by SMED –**

[Anexo 10](#)

**Tabla 8**  
*Resumen de paper caso 7*

Motivación:

Luego de identificar las pérdidas en productividad, identificó pérdidas en Set up, paradas no planificadas y defectos durante el proceso.

Aporte:

El caso de estudio presenta un caso práctico de los pasos a seguir para aplicar *SMED* en una empresa de moldeado por inyección. Además, define la teoría para considerar las pérdidas en el cálculo del OEE.

Metodología:

Paso 1: Recolección de data. Se realizó una recolección de data de producción. Indicadores como OEE, producción por piezas, tiempo de inactividad programado y tiempo de inactividad no programado fueron calculados.

Paso 2: Identificación de pérdidas en productividad. Se calculó la producción teórica y se comparó con la producción real.



Paso 3: Identificación de mayores pérdidas. Mediante el diagrama de Pareto se clasificó las perdidas según su grado de importancia. De análisis se concluyó que las pérdidas en Set up, paradas no planificadas y defectos durante el proceso impactan en mayor medida a la producción.

Paso 4: Implementación *SMED*. LA herramienta *SMED* es conocida por eliminar las pérdidas en un proceso productivo, por lo que se aprovechará esta característica para mejorar los procesos productivos de la empresa de moldeado por inyección.

Paso 3.1: Identificación de actividades internas y externas. Se identificaron los procesos usados en la maquinaria.

Paso 3.2: Convertir las actividades internas en externas. Se transfirieron actividades como limpieza, producción manual, reunión de herramientas y accesorios, entre otros.

Paso 3.3: Reorganizar el entorno para el cambio de máquina. El entorno de trabajo se organizó apropiadamente. Se dispuso de herramientas para que las actividades se realicen de forma rápida, se impidan reprocesos y se eviten accidentes.

Paso 3.4: Configuración de las actividades en paralelo. Se estandarizó las actividades para que puedan ser realizadas durante la producción. Se entrenó y capacitó a los trabajadores sobre los principios *SMED*.

Métrica:

Indicadores	Antes	Después
Set up promedio (min)	52	30
OEE (%)	58.74	68.41
Prod. teórica	21542	23569
Cantidad producida	16953	21299
% pérdidas	21	10

Validación de solución: Implementación

*Nota.* Recuperado de (Bhade & Hegde, 2020)

**Conclusiones del caso:** Luego de implementar las mejoras se consigue incrementar el OEE de 58.74% a 68.41%, superando incluso la meta inicial de 65%. A su vez, se consigue incrementar la productividad y reducir las pérdidas de 21% a 10%.

**CASO 8: Implementing *TPM* supported by 5S to improve the availability of an automotive production line – [Anexo 11](#)**

**Tabla 9**  
*Resumen de paper caso 8*

<p>Motivación:</p> <p>La empresa manufacturera verificó que siempre tienen un cierto número de máquinas con algún mal funcionamiento.</p>														
<p>Aporte:</p> <p>Los autores mencionan en su trabajo el impacto que tiene la correcta aplicación de las herramientas <i>TPM</i> y 5 ´S en una empresa productora de automóviles.</p>														
<p>Metodología:</p> <p>Paso 1: Seleccionar la línea crítica. Para la aplicación del proyecto, se realizó un seguimiento de 3 meses y con una gráfica de Pareto se identificó las máquinas críticas según la distribución de fallas por equipos tecnológicos. Se identificó que la mayoría de los malfuncionamientos en los vehículos provienen desde la producción del cárter intermedio.</p> <p>Paso 2: Plan de mejora del mantenimiento. Según el análisis realizado en las máquinas responsables de la pieza con malfuncionamiento, se identificaron oportunidades de mejora.</p> <p>Paso 3: Implementación del mantenimiento autónomo. La aplicación del nuevo programa fue complementada con la filosofía 5 ´s y la implementación de la gestión visual de materiales.</p>														
<p>Métrica:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Indicadores</th> <th>Antes</th> <th>Después</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MTBF (horas)</td> <td>124</td> <td>155</td> </tr> <tr> <td>MTTR (horas)</td> <td>5.26</td> <td>4.56</td> </tr> <tr> <td>Disponibilidad (%)</td> <td>95.9%</td> <td>97.1%</td> </tr> </tbody> </table>			Indicadores	Antes	Después	MTBF (horas)	124	155	MTTR (horas)	5.26	4.56	Disponibilidad (%)	95.9%	97.1%
Indicadores	Antes	Después												
MTBF (horas)	124	155												
MTTR (horas)	5.26	4.56												
Disponibilidad (%)	95.9%	97.1%												
<p>Validación de solución: Implementación</p>														

*Nota.* Recuperado de (I. M. Ribeiro et al., 2019)

**Conclusiones del caso:** Se logró incrementar el MTBF de 124 a 155 para el primer trimestre luego de implementar la mejora. De igual forma el MTTR se redujo de 5.26 a 4.56, lo que en conjunto llevo a un incremento de la disponibilidad de 95.9% a 97.1%.

**CASO 9: Optimization of the cold profiling process through SMED – [Anexo 17](#)**

**Tabla 10**  
Resumen de paper caso 9

<p>Motivación:</p> <p>Reducir los desperdicios de <i>SETUP</i> del proceso de perfilado en frío de una empresa metalmeccánica portuguesa.</p>										
<p>Aporte:</p> <p>Los autores implementan el pensamiento Lean a través del uso de la herramienta <i>SMED</i> en una línea de perfilado en frío.</p>										
<p>Metodología:</p> <p>Fase 1: Recoger la data</p> <p>Fase 2: Enlistar y clasificar las actividades entre internas y externas</p> <p>Fase 3: Convertir todas las actividades internas posibles en externas</p> <p>Fase 4: Agilizar las actividades (5S) y eliminar el máximo número de ellas</p> <p>Fase 5: Implementar mejoras al proceso para reducir los errores y la probabilidad de accidentes</p>										
<p>Métrica:</p> <table border="1" data-bbox="496 1581 1094 1921"> <thead> <tr> <th>Fase</th> <th>Tiempo del proceso (mm:ss)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>6:41</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6:11</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4:57</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4:22</td> </tr> </tbody> </table>	Fase	Tiempo del proceso (mm:ss)	1	6:41	2	6:11	3	4:57	4	4:22
Fase	Tiempo del proceso (mm:ss)									
1	6:41									
2	6:11									
3	4:57									
4	4:22									
<p>Validación de solución: Implementación</p>										

*Nota.* Recuperado de (Vieira et al., 2019)

**Conclusiones del caso:** Individualmente, cada máquina de la línea de perfilado en frío incrementó su OEE. Como promedio de mejora, se logró incrementar el OEE en 10.8%.

**CASO 10: SMED for quick change over in Manufacturing Industry – A case study –**

[Anexo 18](#)

**Tabla 11**  
Resumen de paper caso 10

<p>Motivación:</p> <p>Pequeña empresa manufacturera afronta largos tiempos de <i>SETUP</i> en su línea de forjado.</p>																				
<p>Aporte:</p> <p>El paper demuestra la aplicación práctica de <i>SMED</i> y muestra cómo puede aportar avances reales en la reducción del tiempo de configuración en la fabricación a pequeña escala</p>																				
<p>Metodología:</p> <p>Paso 1: Identificación de las áreas con tiempos de <i>SETUP</i> críticos</p> <p>Paso 2: Calcular tiempos de <i>SETUP</i> y sus costos asociados</p> <p>Paso 3: Identificar las actividades <i>SMED</i> para reducir los tiempos</p> <p>Paso 4: Implementación</p>																				
<p>Métrica:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Actividades principales del proceso</th> <th>Tiempo antes de <i>SMED</i> (min)</th> <th>Tiempo después de <i>SMED</i> (min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Retirar bloqueador inferior</td> <td>2.45</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>Descarga del troquel con paquete</td> <td>1.25</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>Limpieza</td> <td>1.14</td> <td>1.14</td> </tr> <tr> <td>Toma de medidas del paquete</td> <td>2.57</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Carga de nuevo bloqueador inferior con paquete</td> <td>3.10</td> <td>3.10</td> </tr> </tbody> </table>			Actividades principales del proceso	Tiempo antes de <i>SMED</i> (min)	Tiempo después de <i>SMED</i> (min)	Retirar bloqueador inferior	2.45	1.20	Descarga del troquel con paquete	1.25	1.25	Limpieza	1.14	1.14	Toma de medidas del paquete	2.57	0	Carga de nuevo bloqueador inferior con paquete	3.10	3.10
Actividades principales del proceso	Tiempo antes de <i>SMED</i> (min)	Tiempo después de <i>SMED</i> (min)																		
Retirar bloqueador inferior	2.45	1.20																		
Descarga del troquel con paquete	1.25	1.25																		
Limpieza	1.14	1.14																		
Toma de medidas del paquete	2.57	0																		
Carga de nuevo bloqueador inferior con paquete	3.10	3.10																		

Sujeción de ajuste de embalaje	3.41	2.20
Revisión de brecha	2.30	2.30
Calentar	10.28	0
Forja de prueba	5.32	3.30
Validación de solución: Implementación		

*Nota. Nota. Recuperado de (Singh & Singh, 2017)*

**Conclusiones del caso:** Luego de implementar la herramienta se logró reducir los tiempos de *SETUP* de 209.36 minutos a 167.09 minutos, es decir, se redujo 42.27 minutos.



## Capítulo 3: Descripción de la empresa

En el presente Capítulo, se dará a explicar cómo está compuesto la organización de la empresa en materia de estudio, el sector al cual pertenece, su misión y visión, los principales productos de fabricación a considerar dentro del análisis y sus principales clientes del mercado peruano.

### 3.1. Análisis del Sector

El sector Metalmecánico tiene una gran relevancia en la economía del País por su gran relación que tiene con los diversos sectores industriales ya que abastece de bienes intermedios y bienes finales de capital a industrias importantes como la manufacturera, automotriz, agrícola y minera. Debido al fuerte golpe que ha traído la Pandemia del Covid-19, muchos sectores económicos se han visto paralizados. El sector metalmecánico no ha sido la excepción a este gran impacto económico, pese a ya estar afectado por la ausencia de proyectos de infraestructura del 2019. Su reactivación ha sido paulatina y por partes. Sin embargo, gracias a la reactivación económica, muchas empresas del sector están empezando a sobresalir y entrar en el mercado peruano.

El presente caso de estudio representa una empresa peruana del rubro Metalmecánico, enfocada a la fabricación de piezas metálicas, estructuras metálicas y servicios de mantenimiento de infraestructura metálica. La empresa viene laborando en el Perú desde hace 15 años en el sector Industrial, minero y consumo masivo.

### 3.2. Misión y Visión

A continuación, se procederá a explicar la Misión y Visión de la empresa, referenciada por el Gerente General de la Compañía.

**Visión:** La empresa Metalmecánica en materia de estudio aún no tiene definido la Visión de la empresa oficialmente; sin embargo, por diversas conversaciones formales con el cuerpo directivo y el personal operativo, se puede inferir una Visión que están enfocada en la integridad, alto compromiso con la excelencia y trabajo en equipo.

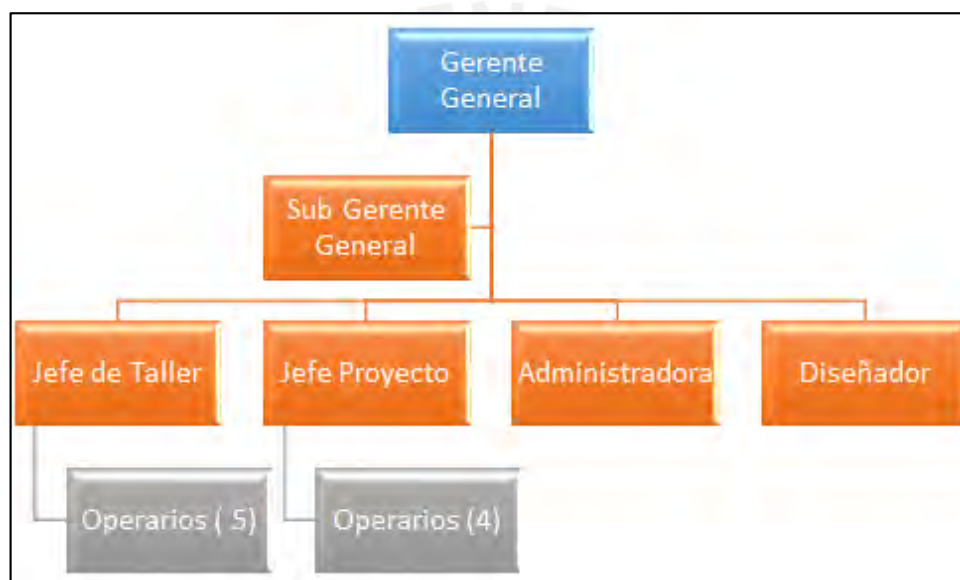
**Misión:** Del mismo modo, la empresa Metalmecánica en cuestión aún no tiene definido la Misión de la compañía oficialmente, no obstante, por las comunicaciones con el cuerpo directivo y operativo, se puede inferir una misión que está enfocada en ser una organización especializada en brindar soluciones de piezas metalizadas y servicios de manufactura metálica, comprometida con el desarrollo de su personal, con enfoque en la generación de valor para los clientes y accionistas.

### 3.3. Organización de la empresa

Los objetivos organizacionales que se plantea la empresa son los siguientes:

- Proceso: Estandarizar procesos con altos estándares de calidad.
- Cliente: Brindar productos y servicios con altos índices de calidad y servicio postventa.
- Capacitación y Aprendizaje: Crear un equipo multidisciplinario que pueda afrontar los mayores retos competitivos.
- Financiera: Crear una organización de mayor valor, a través del desempeño óptimo de sus indicadores de gestión.

✓ Organigrama de la Compañía. Ver a continuación la Figura 3.



**Figura 3**

*Organigrama de la empresa*

*Nota. Elaboración Propia.*

### 3.4. Productos

La empresa en materia de estudio está enfocada principalmente en la fabricación de piezas metálicas para la industria de bebidas, maquinas embotelladoras y sopladoras. Dentro de los principales productos que fabrica, son los siguientes:

- Rodillos de Pistón



**Figura 4**  
*Rodillo de pistón*

*Nota: La empresa.*

- Válvula de llenado



**Figura 5**  
*Válvula de llenado*

*Nota: La empresa*



- Placa Superior / Inferior



**Figura 6**  
*Placa superior/inferior*

*Nota: La empresa.*

### 3.7. Clientes

Dentro de los principales clientes se encuentran las principales empresas embotelladoras del mercado.



**Figura 7**  
*Clientes de la empresa*

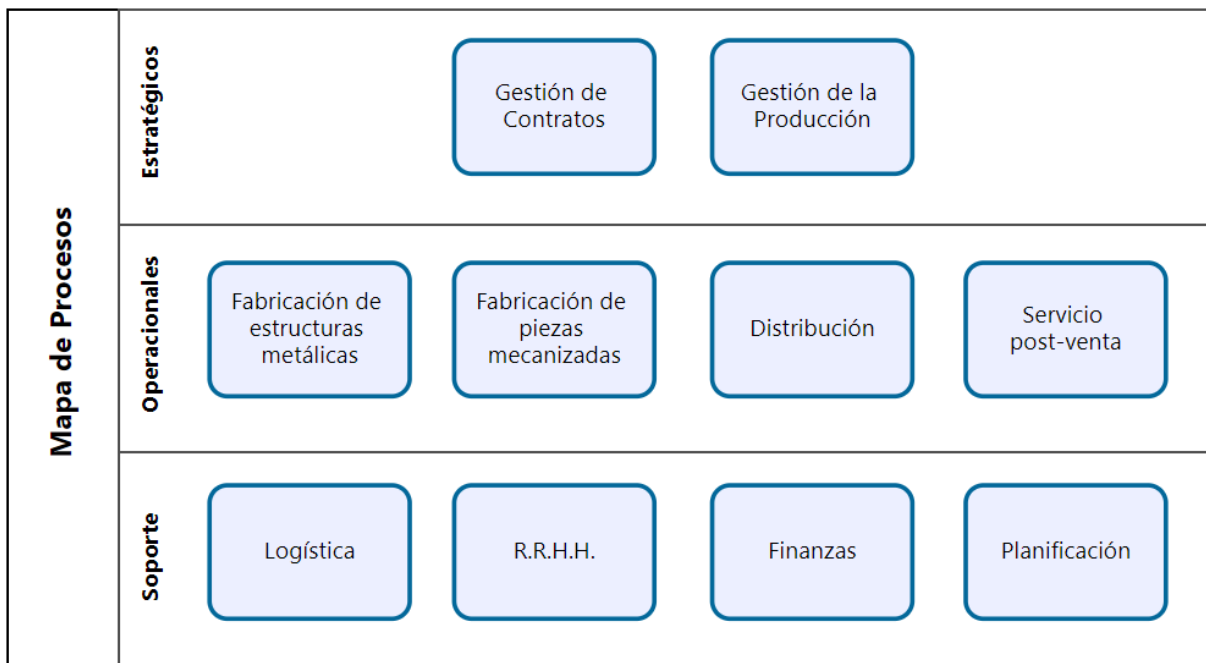
Elaboración propia.

# Capítulo 4: Diagnostico de la empresa

En el capítulo 4 se describe el diagnóstico de la empresa tomada de caso de estudio para el desarrollo de este proyecto.

## 4.1. Procesos de la empresa

Para representar el conjunto de procesos que componen a la empresa, se utiliza un mapa de procesos el cual está dividido en 3 categorías, los procesos estratégicos, los operacionales o Core y los de soporte o apoyo. Ver Figura 8.



**Figura 8**  
*Mapa de procesos de la empresa*

Elaboración propia.

La empresa metalmecánica tiene dentro de sus procesos estratégicos a dos importantes macro procesos.

- **Gestión de contratos:** Se encarga de coordinar y supervisar la atención de los pedidos de los clientes. Este macro proceso está a cargo del gerente con apoyo del jefe de proyecto. Aquí, se postula a las solicitudes de los clientes y se oferta para ganar el contrato, a partir del cual se generan ordenes de pedidos y la supervisión de dichos pedidos.
- **Gestión de la producción:** Se encarga de supervisar todo el proceso productivo y tomar decisiones de planificación, adquisición o tercerización. Al igual que el macro proceso anterior, está a cargo del gerente, pero esta vez con apoyo del jefe de taller.

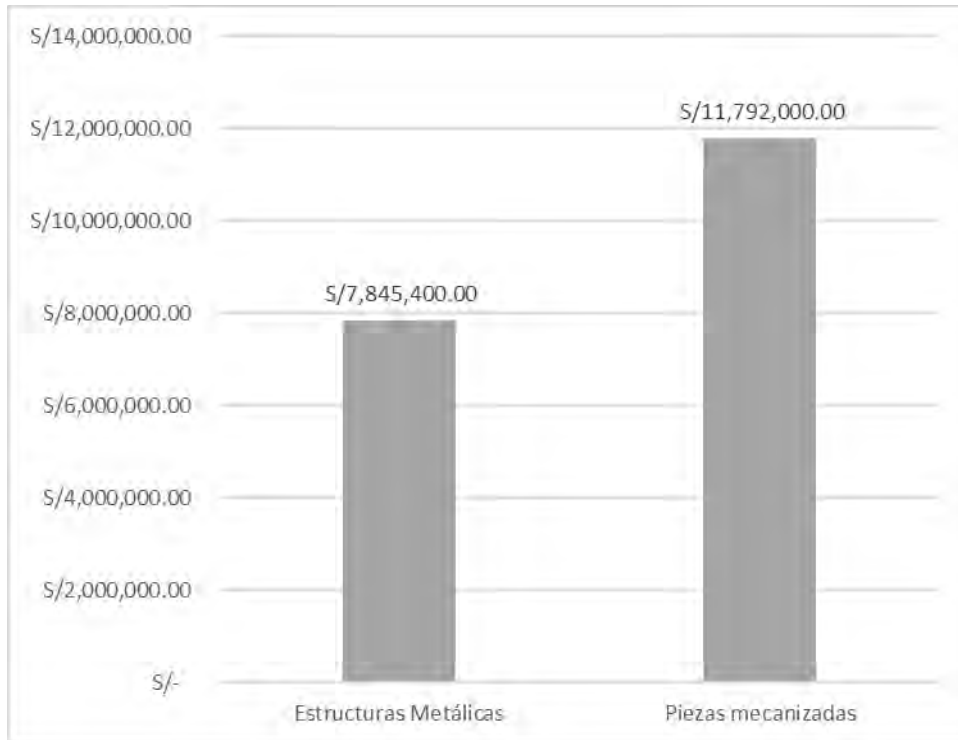
Dentro de la categoría de procesos operacionales, existen 4 macro procesos:

- Fabricación de estructuras metálicas: Transforma los insumos de entrada como aceros, barras, ángulos, etc.; en estructuras metálicas en función de las solicitudes de los clientes. Este proceso es dirigido por el jefe de taller con apoyo de los operarios y el diseñador.
- Fabricación de piezas mecanizadas: Transforma los insumos de entrada como aceros, planchas, ruedas guías, etc.; en componentes mecanizados de máquinas mayores para los clientes, en las medidas solicitadas. El proceso es dirigido por el jefe de taller con apoyo de los operarios y el diseñador.
- Distribución: Envía los productos terminados de los 2 procesos anteriores a los talleres o plantas de los clientes. Está a cargo del jefe de proyecto con apoyo de los operarios.
- Servicio postventa: Atiende quejas o reclamos de los clientes, incluye servicios adicionales como instalación en campo o reparación en campo. Está a cargo del jefe de proyecto con apoyo de los operarios.

La última categoría de procesos del mapa es la soporte o apoyo. Esta cuenta con 4 macro procesos:

- Logística: Aprovechona a la empresa de los insumos y herramientas necesarias, además gestiona los servicios tercerizados cuando son necesarios. Es responsabilidad de la administradora de la empresa.
- Recursos humanos: Adquiere el talento humano en función de la carga laboral del taller. Es llevado a cabo principalmente por la administradora, pero el gerente tiene cierto grado de participación.
- Finanzas: Lleva las cuentas de la empresa y gestiona los préstamos y financiamientos con bancos. Además, emite las facturas y se encarga de pagar al personal, a los servicios tercerizados y al estado. Es realizado por la administradora.
- Planificación: Proyecta la carga laboral del siguiente periodo según las ordenes de pedido, coordina con R.R.H.H. para la gestión de personal y con logística para el aprovisionamiento. Está a cargo del gerente general con apoyo del jefe de taller y de proyectos.

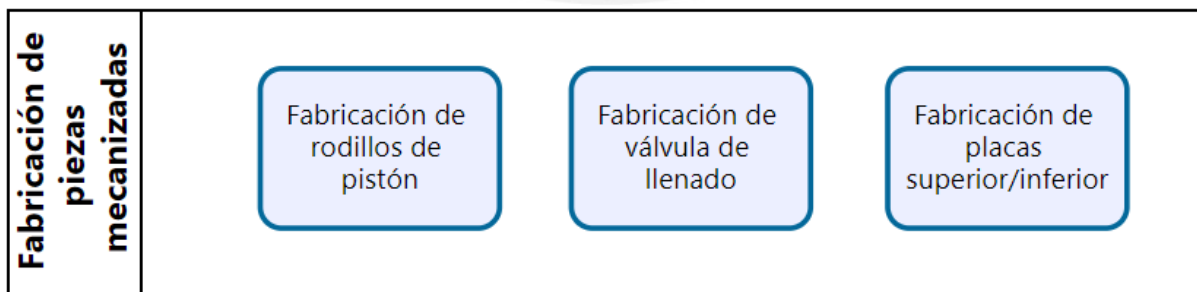
Dado que la empresa pertenece al rubro metalmecánico, esta centra la mayor cantidad de actividades que agregan valor en su etapa productiva. Es así, que se procede a evaluar sus dos líneas de negocio: la de estructuras metálicas y la de componentes mecanizados, es la que más impacto genera en la empresa. Ver figura 9.



**Figura 9**  
Ingreso 2020 por la línea de negocio

Elaboración propia.

Luego de realizar un estudio del impacto económico que genera cada una de las dos líneas de negocio de la empresa, se encontró que la línea de fabricación de piezas mecanizadas es la que más ingresos generó durante el 2020, representando el 60% de los ingresos durante dicho año. Con la línea de negocio crítica definida, se elabora un mapa procesos nivel 1 para observar con mayor profundidad el proceso productivo de dicha línea de negocio. Como se mostró en el capítulo anterior la empresa cuenta con 3 productos estándar para los cuales tiene seteado su proceso de producción. Ver figura 10.



**Figura 10**  
Mapa de procesos nivel 1

Elaboración propia.

Cómo se observa en la figura, los 3 productos estándar son los rodillos de pistón, la válvula de llenado y las placas superior/inferior.

- Fabricación de rodillos de pistón: Este proceso se realiza mediante mecanizado del material y el objetivo es formar una pieza capaz de servir de guía a un vástago durante su ciclo de apertura y cierre.
- Fabricación de válvula de llenado: Este proceso se realiza mediante mecanizado del material y el objetivo es elaborar una pieza capaz de regular el suministro de líquido de manera eficiente.
- Fabricación de placas superior/inferior: Este proceso se realiza mediante mecanizado del material y el objetivo es formar una pieza capaz de servir de guía para los carros transversales de las máquinas.

Una vez conocidos los productos que se fabrican en la empresa, es importante conocer a las máquinas que hacen posible esta fabricación. A continuación, se presenta la tabla de maquinaria de la empresa en la que se incluyen las marcas de las máquinas, la cantidad de estas y sus características principales. Ver tabla 12.

**Tabla 12**  
*Lista de maquinaria de la empresa*

Ítem	Máquinas	Marca	Cantidad	Medidas
1	Tornos CNC	MAZAC	2	Entre puntas 500 mm , volteo 550 mm
2	Tornos CNC	GSK	1	Entre puntas 800 mm , volteo 350mm
3	Cnc	JOHNNFORD	1	Xyz = 600x400x350 mm
4	Taladro Fresador	NP	2	1 m x 300 mm
5	Fresadora Universal	NP	1	1.2 m x 400 mm
6	Soldadora	ARCOTIG	1	Corriente continua
7	Torno Convencional	NP	2	Entre puntas 2m , volteo 750 mm

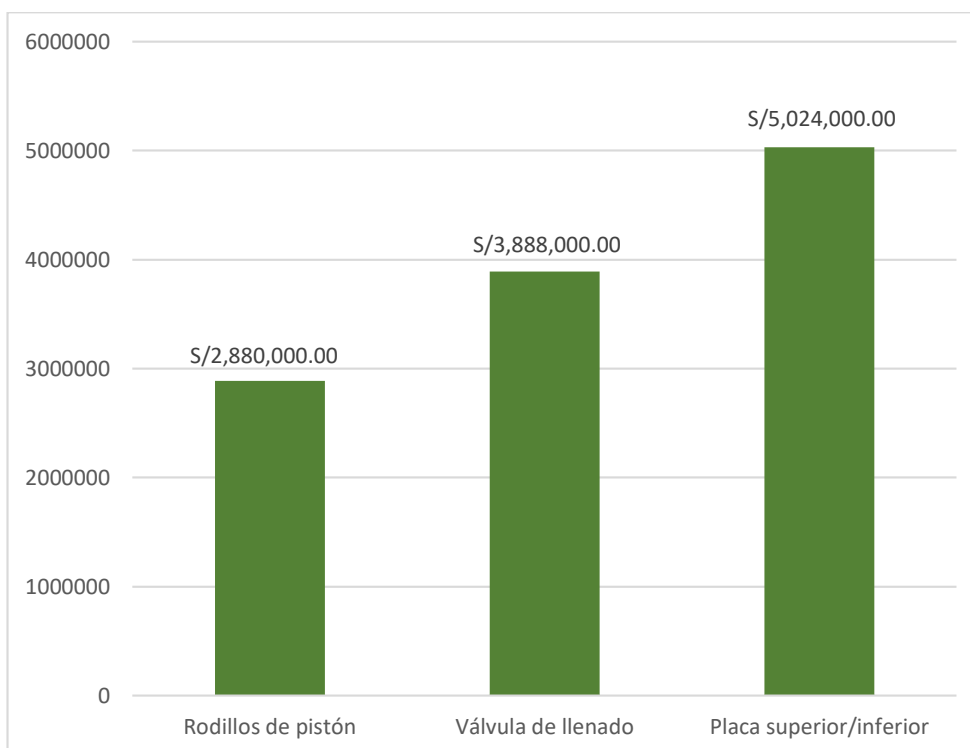
Elaboración propia.

Antes de iniciar el análisis del proceso productivo es importante identificar cuál de los 3 productos es el que genera mayor impacto en la empresa. Para ello, se analizan las ventas y los ingresos que generan cada uno de ellos. Ver Tabla 13 y figura 11.

**Tabla 13**  
*Detalle de ingreso por tipo de pieza mecanizada*

<b>Pieza mecanizada</b>	<b>Ventas (und)</b>	<b>Precio de venta</b>	<b>Ingreso</b>
Rodillos de pistón	4800	S/ 600.00	S/ 2,880,000.00
Válvula de llenado	2430	S/1,600.00	S/ 3,888,000.00
Placa superior/inferior	5024	S/1,000.00	S/ 5,024,000.00

Elaboración propia.



**Figura 11**  
*Distribución de ingresos por tipo de pieza mecanizada*

Elaboración propia.

Es así que se conoce que el producto estrella de la empresa son las placas (superiores e interiores), acumulando aproximadamente el 43% de los ingresos por la línea de negocio. Para este producto se describe a continuación su análisis, este incluye su estudio de tiempos, su DOP y su tabla de proceso.

#### **4.1.1. Proceso de fabricación de placas**

El primer paso para elaborar las placas es programar el torno CNC, esta programación dura 1.5 horas y debe hacerse siempre al iniciar el proceso. Luego, haciendo uso del equipo de oxicorte con plasma se corta el acero kwb 86 para luego darle un cilindrado exterior con un

torno. Posterior a esto, utilizando el torno CNC se le da el refrentado a la primera cara, se taladra y se cilindra la parte interior, la broca utilizada es de una pulgada, y se ranura axialmente. El operario debe voltear la pieza y centrarla dentro del torno para que se dé inicio al refrentado de la segunda cara, otro cilindrado exterior y un rebaje de la cara axial. A partir de este punto, se terminan las actividades realizadas con el torno CNC y se le da el set up final a la máquina. Luego, con una fresadora se trabaja el espacio entre caras de la placa, se prensa y se centra para ser taladrada y por último contorneada.

Con el fin de sentar las bases para la investigación se realiza un estudio de tiempos para el proceso de fabricación de placas. Se consideran 30 observaciones que superan al mínimo sugerido por la Tabla de Westinghouse (García Criollo, 1998), conociendo que el tiempo por pieza según cuello de botella es menor a 0.5 horas. Ver tabla 14.

**Tabla 14**  
*Tabla Westinghouse*

Tiempo por pieza o ciclo	Número mínimo de ciclos a estudiar		
	Actividad más de 10,000 por año	1,000 a 10,000	Menos de 1,000
1.000 horas	5	3	2
0.800 horas	6	3	2
0.500 horas	8	4	3
0.300 horas	10	5	4
0.200 horas	12	6	5
0.120 horas	15	8	6
0.080 horas	20	10	8
0.050 horas	25	12	10
0.035 horas	30	15	12
0.020 horas	40	20	15
0.012 horas	50	25	20
0.008 horas	60	30	25

<b>0.005 horas</b>	80	40	30
<b>0.003 horas</b>	100	50	40
<b>0.002 horas</b>	120	60	50
<b>Menos de 0.002 horas</b>	140	80	60

*Nota.* Recuperado de (García Criollo, 1998).

A partir de las observaciones de Toma de Tiempos , detalladas en el **Anexo 21**, se tiene la siguiente relación de tiempos reales o promedios. Ver tabla 15.

**Tabla 15**  
*Tiempos reales o promedios del proceso de fabricación de placas*

<b>Proceso</b>	<b>T Real (seg.)</b>
Corte	122.80
Cilindrado	953.13
Refrentado	131.20
Taladrado	312.60
Cilindrado 2	318.90
Ranurado Axial	370.10
Centrado	316.47
Refrentado 2	242.50
Cilindrado 3	317.30
Rebaje	127.87
Fresado	313.03
Prensar	925.90
Centrado 2	606.13



Taladrar	987.60
Rebajar	930.83

Elaboración propia.

Una vez hallados los tiempos reales, se procede al cálculo de los tiempos normales. Estos se vuelven la base del cálculo de los tiempos normales, para los cuales se consideran las calificaciones de velocidad. Esto para hallar los tiempos que normalmente demoraría una persona en elaborar una pieza o completar un ciclo. Para ello se utiliza las calificaciones de velocidad del Sistema Westinghouse el cual considera 4 categorías para las velocidades de producción: la habilidad, el esfuerzo, las condiciones y la consistencia. Ver tabla 16.

**Tabla 16**  
*Sistema Westinghouse para calificación de velocidad*

<b>Calificación de velocidad Sistema Westinghouse</b>					
<b>Habilidad</b>			<b>Esfuerzo</b>		
+0.15	A1	Extrema	+0.13	A1	Excesivo
+0.13	A2	Extrema	+0.12	A2	Excesivo
+0.11	B1	Excelente	+0.10	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente	+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena	+0.05	C1	Bueno
+0.03	C2	Buena	+0.02	C2	Bueno
0.00	D	Regular	0.00	D	Regular
-0.05	E1	Aceptable	-0.04	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable	-0.08	E2	Aceptable
-0.16	F1	Deficiente	-0.12	F1	Deficiente
-0.22	F2	Deficiente	-0.17	F2	Deficiente
<b>Condiciones</b>			<b>Consistencia</b>		
+0.06	A	Ideales	+0.04	A	Perfecta
+0.04	B	Excelentes	+0.03	B	Excelente
+0.02	C	Buenas	+0.01	C	Buena
0.00	D	Regulares	0.00	D	Regular
-0.03	E	Aceptables	-0.02	E	Aceptable
-0.07	F	Deficientes	-0.04	F	Deficiente

*Nota.* Recuperado de (García Criollo, 1998).

Considerando un nivel D de habilidad para todas las actividades puesto que en general los operarios tienen experiencia, pero la empresa cuenta con muy pocos “maestros” como para que la habilidad promedio de los operarios sea buena. En el caso del esfuerzo, se considera

valores variados según cada actividad pues cada operario realiza sus actividades con entusiasmo distinto. En el caso de las condiciones se consideran valores entre deficientes y aceptables, pues la empresa tiene muchos problemas de orden en sus áreas de trabajo. Por último, en la consistencia se colocan valores por encima del regular. Ver figura 12.

**Figura 12**  
Cálculo de los tiempos normales del proceso de fabricación de placas

Actividades	Prom. Real	Calificación de Velocidad								Calificación total	Tiempo normal
		Habilidad		Esfuerzo		Condiciones		Consistencia			
Corte	122.80	D	0	D	0	F	-0.07	D	0	-0.07	114.20
Cilindrado	953.13	D	0	D	0	E	-0.03	D	0	-0.03	924.54
Refrentado	131.20	D	0	E2	-0.1	E	-0.03	C	0.01	-0.12	115.46
Taladrado	312.60	D	0	E1	-0.05	E	-0.03	C	0.01	-0.07	290.72
Cilindrado 2	318.90	D	0	D	0	E	-0.03	D	0	-0.03	309.33
Ranurado Axial	370.10	D	0	D	0	F	-0.07	C	0.01	-0.06	347.89
Centrado	316.47	D	0	F1	-0.12	E	-0.03	D	0	-0.15	269.00
Refrentado 2	242.50	D	0	F1	-0.12	F	-0.07	D	0	-0.19	196.43
Cilindrado 3	317.30	D	0	D	0	F	-0.07	D	0	-0.07	295.09
Rebaje	127.87	D	0	A2	0.12	F	-0.07	B	0.03	0.08	138.10
Fresado	313.03	D	0	D	0	F	-0.07	C	0.01	-0.06	294.25
Prensar	925.90	D	0	F1	-0.12	E	-0.03	D	0	-0.15	787.02
Centrado 2	606.13	D	0	F1	-0.12	F	-0.07	D	0	-0.19	490.97
Taladrar	987.60	D	0	D	0	F	-0.07	D	0	-0.07	918.47
Rebajar	930.83	D	0	A2	0.12	F	-0.07	B	0.03	0.08	1005.30

Elaboración propia.

Luego del cálculo de los tiempos normales, se observa que el tiempo del proceso es de 1.8 horas donde la actividad cuello de botella se mantiene en el último: rebajado. A partir de los tiempos normales se calculan los tiempos estándar, estos tiempos indican en promedio cuanto tardaría completar todas las actividades del ciclo productivo en una jornada laboral considerando factores como las necesidades básicas, la fatiga, las condiciones de trabajo y la repetitividad de la labor. Para ello, se utiliza la tabla de suplementos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) en la que se describen dos tipos de suplementos, los constantes y los variables (García Criollo, 1998).

En la sección de suplementos constantes se debe asignar el valor que defina el género de los trabajadores, basta que haya 1 una mujer y se debe colar el valor para ellas, sin importar que el resto sean varones. Luego, en los suplementos variables se decide el valor que refleje la ejecución de las actividades y el género del personal que la realiza. Es así, que se debe designar valores por trabajar de pies, por la postura de trabajo, por la fuerza muscular

necesaria, por la iluminación de la zona de trabajo, las condiciones atmosféricas, la concentración que requiere el trabajo, el ruido que genera la ejecución, la tensión mental que demanda, la monotonía del trabajo y el tedio. Ver tabla 17.

**Tabla 17**  
Suplementos constantes según la OIT

1. Suplementos Constantes		Homb re	Mujer		
<b>A. Suplementos por necesidades personales</b>		5	7		
<b>B. Suplemento base por fatiga</b>		4	4		
<b>2. Suplementos Variables</b>					
		Hombre	Mujer	Homb re	Muj er
<b>A. Suplemento por trabajar de pie</b>		2	4		
<b>B. Suplemento por postura anormal</b>				<b>F. Concentración intensa</b>	
Ligeramente incómoda	0	1	Trabajos de cierta precisión	0	0
Incómoda (inclinado)	2	3	Trabajos precisos o fatigosos	2	2
Muy incómoda (echado/estirado)	7	7	Trabajos de gran precisión o muy fatigosos	5	5
<b>C. Uso de fuerza/energía muscular</b>				<b>G. Ruido</b>	
(Levantar, tirar, empujar)			Continuo	0	0
Peso levantado (kg)			Intermitente y fuerte	2	2
2.5	0	1	Intermitente y muy fuerte	5	5
5	1	2	Estridente y fuerte	5	5
10	3	4	<b>H. Tensión mental</b>		
25	9	20	Proceso bastante complejo	1	1
35.5	22	--	Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos	4	4
<b>D. Mala iluminación</b>			Muy complejo	8	8
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0	<b>I. Monotonía</b>		
Bastante por debajo de la potencia calculada	2	2	Trabajo algo monótono	0	0
Absolutamente insuficiente	5	5	Trabajo bastante monótono	1	1
			Trabajo muy monótono	4	4
			<b>J. Tedio</b>		

<b>E. Condiciones atmosféricas</b>				
	Índice de enfriamiento Kata		Trabajo algo aburrido	0 0
			Trabajo bastante aburrido	2 1
	16	0	Trabajo muy aburrido	5 2
	8	10		
	4	45		
	2	100		

*Nota.* Recuperado de (García Criollo, 1998).

Para el cálculo de los tiempos estándar, se consideró 9% de suplementos constantes puesto que todos los trabajadores son varones. El trabajo se desarrolla de pie para todas las actividades por lo que se considera 2% para el primer suplemento variable. No se requiere realizar ninguna postura incómoda y los componentes con los que se trabajan no pesan más de 5 kg, por lo que en el tercer ítem se consideró 0% y 1% respectivamente. Para la iluminación de la zona de trabajo se considera un valor adecuado igual que las condiciones atmosféricas por lo que el porcentaje para estos ítems es de 0%. Respecto a la concentración que amerita el proceso, por lo general es baja, pero en algunas actividades se puede considerar fatigosa, es así como, se considera 0% para la mayoría de las actividades y 2% para otras pocas. Luego, en el caso del ruido, la tensión mental, la monotonía y el tedio; todos estos suplementos son muy bajos o inexistentes por lo que se considera un valor de 0% para todos en todas las actividades. Ver tabla 18.

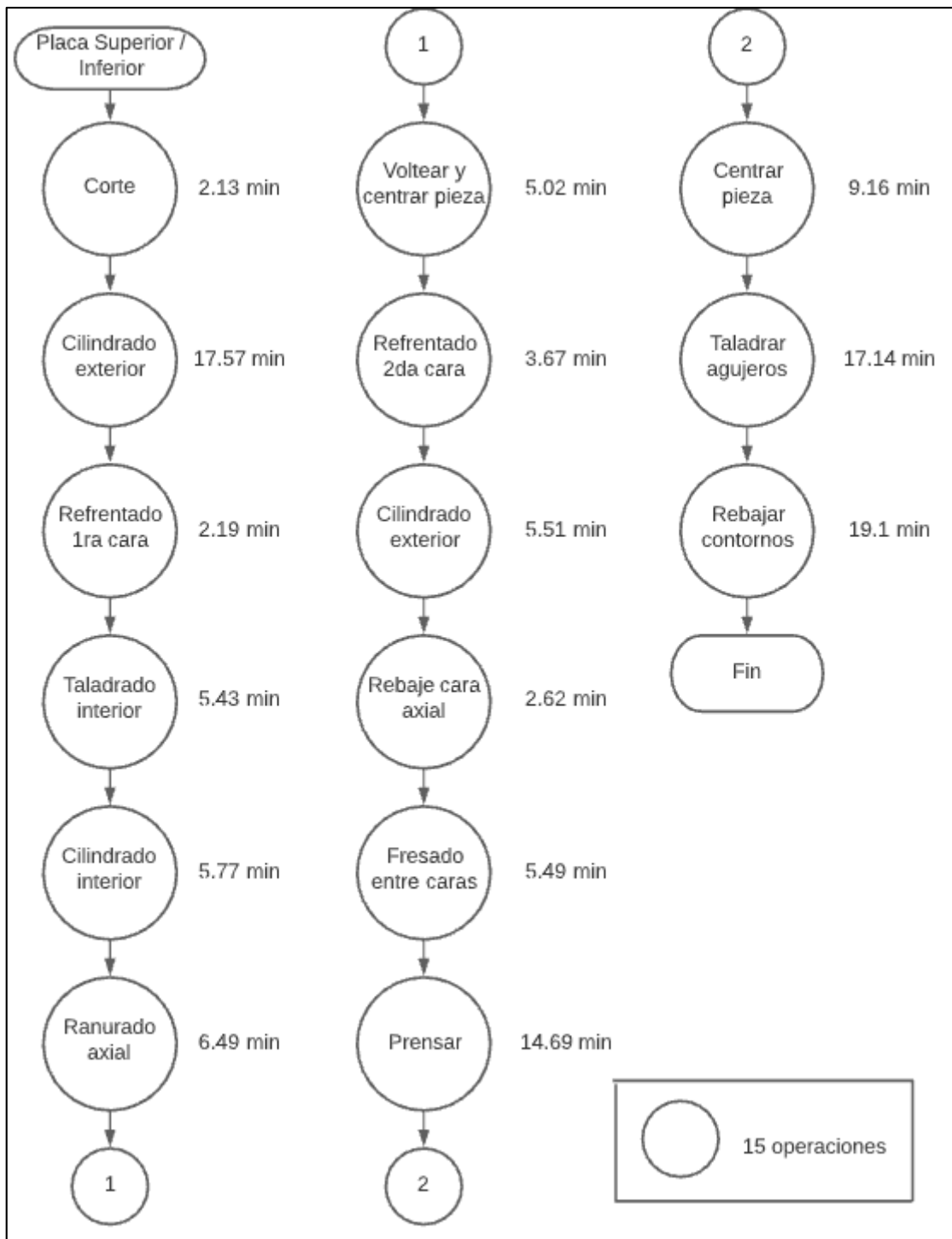
**Tabla 18**  
Cálculo de los tiempos estándar para el proceso de fabricación de placas

Actividades	Tiempo normal	Supl. Constantes	Suplementos Variables										Suplemento Final	
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
Corte	114.20	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Cilindrado	924.54	9%	2%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	14%
Refrentado	115.46	9%	2%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	14%
Taladrado	290.72	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Cilindrado 2	309.33	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Ranurado Axial	347.89	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Centrado	269.00	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Refrentado 2	196.43	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Cilindrado 3	295.09	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Rebaje	138.10	9%	2%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	14%
Fresado	294.25	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Prensar	787.02	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Centrado 2	490.97	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Taladrar	918.47	9%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
Rebajar	1005.30	9%	2%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	14%

Elaboración propia.

Al calcular los tiempos estándar, se tiene que todo el proceso tiene una duración de 2.03 horas de las cuales 0.32 horas, es decir, el 15.66% pertenecen al cuello de botella de rebaje final. Considerando que el tiempo de ciclo está definido por el cuello de botella, se puede afirmar que este es 0.32 horas, es decir, dentro de la empresa se produce una placa superior/inferior cada 0.32 horas aproximadamente.

Para representar mejor el proceso, se elabora un Diagrama de operaciones del proceso, en este se detalla el paso a paso de las actividades y el tiempo estándar para cada una. En total, el proceso de fabricación de placas consta de 15 operaciones y tiene una duración total de 2.03 horas. Ver Figura 13.



**Figura 13**  
DOP de fabricación de placas

Elaboración propia.

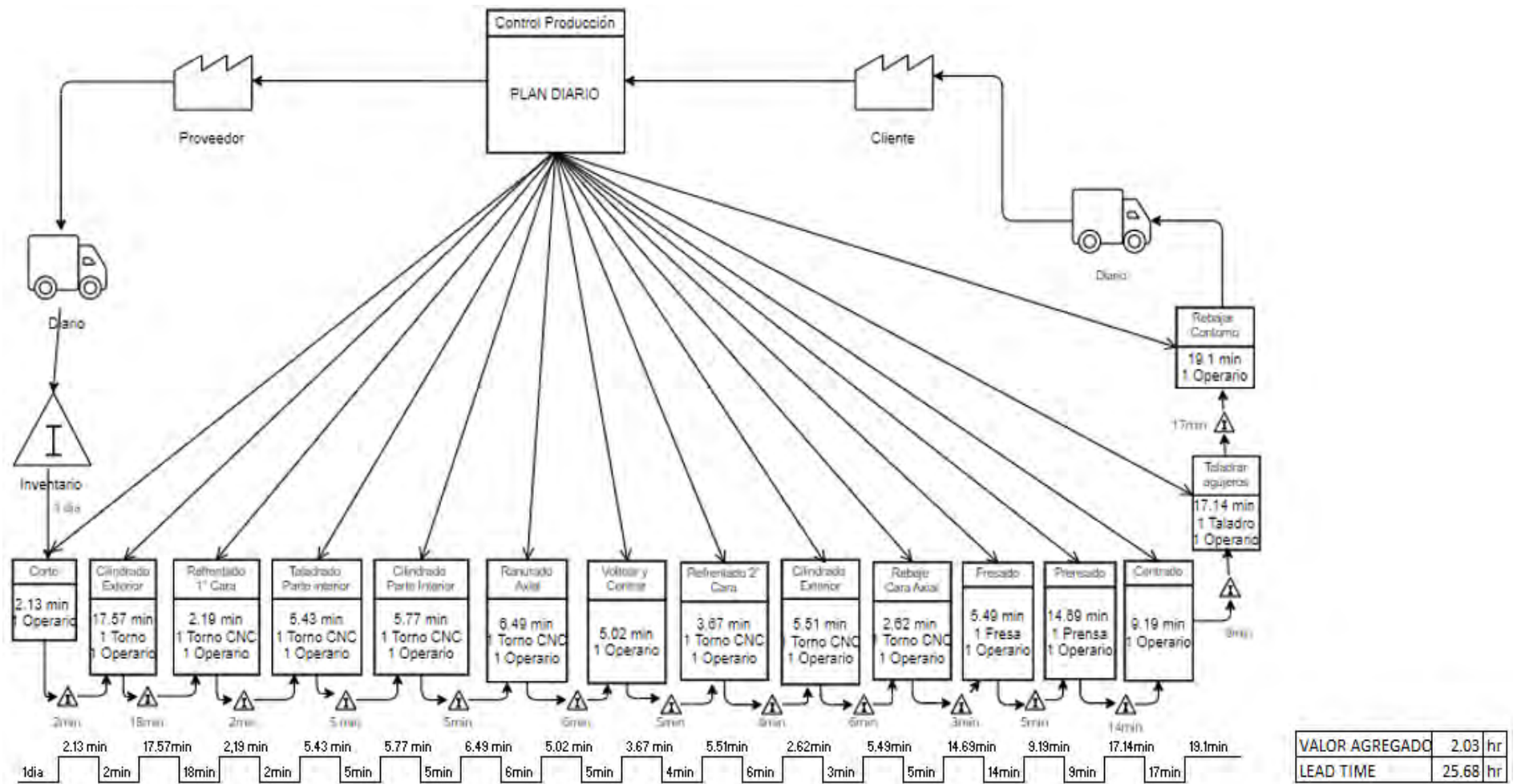
Partiendo del DOP se elabora la tabla del proceso donde se detallan los tiempos y los detalles de las actividades, entre las cuales se incluyen los recursos, las máquinas y las observaciones de las actividades que lo requieran. Ver tabla 19.

**Tabla 19**  
*Tabla de proceso de fabricación de placas*

Recursos	Actividad	Tiempo	Observación
Operario	Set up torno CNC - Programación	-	Operario especializado
Maquina	Corte - Oxicorte	2.13 min	Plasma
Op y Máq	Cilindrado exterior- Torno tradicional	17.57 min	
Op y Máq	Refrentado 1ra cara - Torno CNC	2.19 min	
Op y Máq	Taladrado parte interior - Torno CNC	5.43 min	Broca 1 pulgada
Op y Máq	Cilindrado parte interior - Torno CNC	5.77 min	
Op y Máq	Ranurado Axial - Torno CNC	6.49 min	
Operario	voltear pieza y centrar	5.02 min	
Op y Máq	Refrentado 2da cara - Torno CNC	3.67 min	
Op y Máq	Cilindrado exterior- Torno CNC	5.51 min	
Op y Máq	Rebaje Cara Axial -Torno CNC	2.62 min	
Operario	Set up torno CNC - Programación	-	Operario especializado
Op y Máq	Fresado entre caras	5.49 min	
Op y Máq	Sujetar (prensa)	14.69 min	
Op y Máq	Centrado pieza	9.19 min	
Op y Máq	Taladrar agujeros	17.14 min	
Op y Máq	Rebaje contorneado	19.1 min	

Elaboración propia.

La última herramienta de diagnóstico que se usará en esta sección es el *Value Stream Map*, con ella podremos ver de manera gráfica una representación de la situación actual. Ver Figura 14. A través de esta herramienta se podrá calcular el Lead Time actual del proceso, así como el Tiempo de Valor agregado para poder producir una pieza. Para tal fin, primero se diagrama los procesos actuales, con sus respectivos tiempos de ciclos, tiempos de espera, tiempos de inventario, la cantidad de operarios por proceso y tipo de maquina a utilizar durante la actividad. El *Lead Time* (LT) es calculado como la suma de todas las esperas durante procesos y los inventarios. El tiempo de valor agregado es la suma de todos los tiempos que dan valor al producto directamente.



**Figura 14**  
*VSM del proceso actual*  
 Nota. Elaboración propia.



## 4.2. Identificación del problema

Una vez hallado el tiempo de ciclo del proceso, se puede calcular la capacidad máxima de producción. Para esto se enlistan las actividades con sus tiempos estándar en segundos y se los pasa a producción por hora por actividad, esto al dividir los 3600 segundos de una hora entre el tiempo estándar. Luego, se pasa esta producción por hora a producción anual para cada actividad, se consideran 8 horas, 6 días a la semana, 4 semanas por mes y 12 meses al año. El resultado es la producción anual por capacidad, sin embargo, la producción anual de placas de la empresa es la de la actividad cuello de botella que en este caso es el rebajado final el cual produce 7237 piezas al año, lo que convierte a esta cantidad en la capacidad máxima de producción de placas de la empresa. Ver tabla 20.

**Tabla 20**  
*Cálculo de producción anual de placas*

Actividades	Tiempo Estándar	Producción Hora	Producción Anual
Corte	127.91	28.15	64846.00
Cilindrado	1053.97	3.42	7869.00
Refrentado	131.62	27.35	63017.00
Taladrado	325.60	11.06	25473.00
Cilindrado 2	346.45	10.39	23940.00
Ranurado Axial	389.64	9.24	21287.00
Centrado	301.28	11.95	27530.00
Refrentado 2	220.00	16.36	37702.00
Cilindrado 3	330.50	10.89	25096.00
Rebaje	157.43	22.87	52686.00
Fresado	329.56	10.92	25167.00
Prensar	881.46	4.08	9409.00
Centrado 2	549.88	6.55	15083.00
Taladrar	1028.68	3.50	8063.00
Rebajar	1146.04	3.14	7237.00

*Nota.* Elaboración propia.

A pesar de que la empresa puede producir hasta 7237 unidades de placas, en la actualidad produce solamente 5024 unidades al año. Esto indica que su porcentaje de utilización es de 69.41%, se llega a este número dividiendo la producción real entre la capacidad máxima. Al revisar los datos del sector, se encuentra que la utilización promedio del sector es de 75.82% (INEI, 2016). Ver tabla 21.

**Tabla 21**  
*Brecha técnica de la empresa*

<b>Índice</b>	<b>Utilización De La Capacidad</b>
Promedio del Sector	75.82%
Empresa	69.41%
Brecha Técnica	6.41%

Elaboración propia.

Comparando la utilización de la capacidad del promedio del sector con el de la empresa, se encuentra que la brecha técnica es 6.41%.

#### **4.4. Cuantificación del impacto**

Para analizar el impacto generado por el problema de baja utilización de la capacidad, es importante evaluar las causas que lo generan. La empresa tiene registrados los motivos del problema, ha llevado un seguimiento de sus históricos dentro de sus indicadores del proceso.

Cabe señalar que, dentro de los registros de la empresa, se han registrado, por tener un mayor número de incidencias, tres razones que puedan estar causando la baja utilización: altas horas de *SETUP*, paradas continuas de maquinaria y productos defectuosos. Si bien existen otras causas registradas, como falta de materia prima, tardanza de trabajadores o ausentismo, hay un mínimo de históricos registrados al respecto, por lo tanto, no justifica materia de análisis para el presente trabajo de investigación.

El primer motivo de la baja utilización de la capacidad son los tiempos de *SETUP*, para este histórico se tuvieron en cuenta las horas trabajadas mes a mes y las horas de *SETUP* en dicho mes. Cabe resaltar que dichas horas de *SETUP* son el acumulado de todas las corridas del proceso durante el mes, y son originadas en la programación del torno CNC al iniciar y terminar el proceso. Ver tabla 22.

**Tabla 22**  
*Histórico de tiempos de SETUP 2020*

<b>Mes</b>	<b>Horas trabajadas</b>	<b>Horas de SETUP</b>	<b>%</b>
Enero	186	5.4	2.9%
Febrero	194	6	3.1%
Marzo	183	5.3	2.9%
Abril	192	5.6	2.9%
Mayo	190	5.3	2.8%
Junio	181	5.5	3.0%
Julio	187	5.5	2.9%
Agosto	193	5.5	2.8%
Setiembre	194	6.1	3.1%
Octubre	189	5.3	2.8%
Noviembre	198	6.4	3.2%
Diciembre	188	5.1	2.7%
<b>Total</b>	<b>2275</b>	<b>67</b>	<b>2.95%</b>

*Nota.* Elaboración propia.

Los tiempos de *SETUP* varían alrededor 5.6 horas al mes en promedio llegando a acumular 67 horas durante el año 2020, esto significa que el 2.95% del tiempo de trabajo del 2020 fue destinado a la programación del torno CNC.

Luego, el segundo motivo identificado fue el de las paradas de maquinaria por averías durante el proceso. Estas averías ocurren en el torno CNC, si bien es cierto, las herramientas del taller suelen fallar, estas tienen reemplazos y no suele tomar tiempo continuar con el proceso cuando ellas fallan, caso muy distinto al del torno CNC. Al igual que con el motivo anterior, se tiene un histórico mensual durante el transcurso del 2020. Ver tabla 23.

**Tabla 23**  
*Histórico de horas de parada de máquina 2020*

<b>Mes</b>	<b>Horas trabajadas</b>	<b>Horas de parada</b>	<b>%</b>
Enero	186	8.30	4.5%
Febrero	194	3.80	2.0%
Marzo	183	12.70	6.9%
Abril	192	5.20	2.7%
Mayo	190	6.30	3.3%
Junio	181	9.90	5.5%
Julio	187	18.10	9.7%
Agosto	193	20.70	10.7%
Setiembre	194	15.70	8.1%
Octubre	189	3.30	1.7%
Noviembre	198	5.40	2.7%

Diciembre	188	3.60	1.91%
<b>Total</b>	<b>2275</b>	<b>113</b>	<b>4.97%</b>

Elaboración propia.

En promedio el torno suele estar parado por averías 9.4 horas al mes, alcanzando las 113 horas durante el 2020. Casi el 5% de las horas trabajadas durante el 2020 fueron horas de parada por averías en el torno CNC.

El último motivo en cuestión es el de los productos defectuosos generados durante el proceso, estos son ocasionados por el torno CNC en el transcurso de sus actividades de trabajo. Se tiene el siguiente registro para los productos defectuosos. Ver tabla 24.

**Tabla 24**  
*Histórico de productos defectuosos 2020*

Mes	Productos terminados	Productos defectuosos	%
Enero	386	5	1.3%
Febrero	364	6	1.6%
Marzo	412	5	1.2%
Abril	401	5	1.2%
Mayo	378	5	1.3%
Junio	409	6	1.5%
Julio	514	7	1.4%
Agosto	553	8	1.4%
Setiembre	418	6	1.4%
Octubre	414	5	1.2%
Noviembre	409	6	1.5%
Diciembre	366	5	1.37%
<b>Total</b>	<b>5024</b>	<b>69</b>	<b>1.37%</b>

Elaboración propia.

Según el histórico se elaboran en promedio 5.8 productos defectuosos al mes y durante el 2020 se elaboraron 69, el 1.37% de la producción de dicho año fue defectuosa. Es importante recalcar que estos productos defectuosos no cuentan como una pérdida total, la empresa considera que se pierde la materia prima principal equivalente a 300 soles por unidad defectuosa.

A partir de esta información, se puede calcular el impacto de cada motivo de la baja utilización de la capacidad de la empresa. En el caso de los tiempos de *SETUP* y las paradas de máquina por averías, se calcula a partir de las horas perdidas, se transforman dichas horas en unidades producidas utilizando el ratio de producción basado en el tiempo de ciclo del proceso en horas. Luego, se toma en cuenta el costo por unidad no producida para los primeros dos motivos y el costo de la materia prima pérdida en el caso de los productos defectuosos. Con este

procedimiento se obtiene el impacto por motivo de la baja utilización de la capacidad, y así, el impacto del problema. Ver Tabla 25.

**Tabla 25**  
*Impacto por motivos del problema*

Motivos	Horas	Producto (und)	Pérdida por unidad	Impacto por motivo	% de Impacto
Altos tiempos de set up	67	210	S/ 1,000	S/ 210,000	36
Paradas de maquinaria	113	354	S/ 1,000	S/ 354,000	60
Producto defectuoso	-	69	S/ 300	S/ 20,700	4
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 584,700</b>	

Elaboración propia.

De esta forma se obtiene que el principal motivo es el de paradas de máquina por averías con 60% del total del impacto, seguido de los tiempos de *SETUP* con 36% y por último los productos defectuosos con mínimo 4% de impacto en el problema. En total, el problema genera pérdidas de S/584,700.0 partiendo de los datos reunidos durante el 2020.

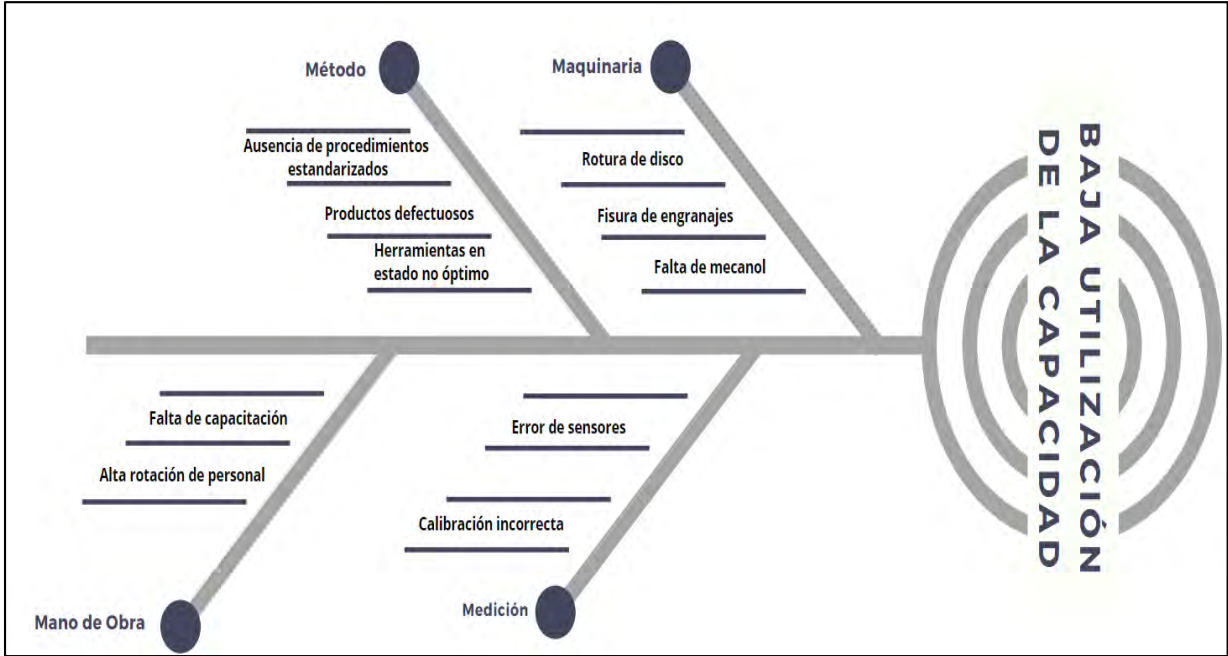
#### 4.5. Análisis de causas

Para profundizar en el diagnóstico es necesario determinar las causas raíz del problema, estas serán los inicios causales de los motivos, así como estos son del problema principal de este proyecto de investigación. Para ello, necesitamos estudiar las relaciones causa efecto que se crean a partir del problema principal. Es así, que se hace uso una herramienta gráfica que permita organizar las ideas y variables de manera que se puedan establecer relaciones casuales, esta es, el diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado. En esta, se considera 4 ramas o categorías causales: Método, maquinaria, mano de obra y medición. Es importante mencionar que este diagrama fue elaborado luego de varias visitas al espacio de trabajo o “Gemba” del problema y en comunicación con los dueños del proceso. Ver Figura 15.

Para la categoría causal de método se consideró en primer lugar a la falta de procedimientos estandarizados dentro de la empresa, la mayoría de las operaciones se da siguiendo la pericia adquirida y si bien existe cierto estándar al realizar las actividades no es suficiente pues se generan variaciones al enfrentar distintos escenarios durante el proceso, esto se refleja con más fuerza en la programación del torno CNC, cada operario encargado de esta tiene su propia manera de realizarla. El siguiente ítem para esta categoría son los productos defectuosos, estos reducen la utilización de la empresa pues termina siendo tiempo desperdiciado, suele ocurrir en las operaciones realizadas por el torno y se debe principalmente a una mala lubricación de la máquina. Luego, se tiene el estado deficiente de las herramientas de trabajo, esto genera tiempos perdidos por cambio de herramientas o

esperar que una en mejor estado se desocupe. No representa un tiempo especialmente significativo, pero sin duda influye en la baja utilización de la capacidad de la empresa.

La siguiente categoría causal para tener en cuenta es la de maquinaria, en esta sobresalen las averías que sufre la máquina como las roturas de discos y las fisuras de los engranajes. Si bien han ocurrido otros tipos de averías, estas dos son las más frecuentes dentro del taller. Luego, se tiene a la falta de mecanol que va de la mano con la mala lubricación de la categoría anterior. Estos problemas responden en conjunto a un deficiente o inexistente plan de mantenimiento o un mal cumplimiento de este.



**Figura 15**  
*Diagrama de Ishikawa*

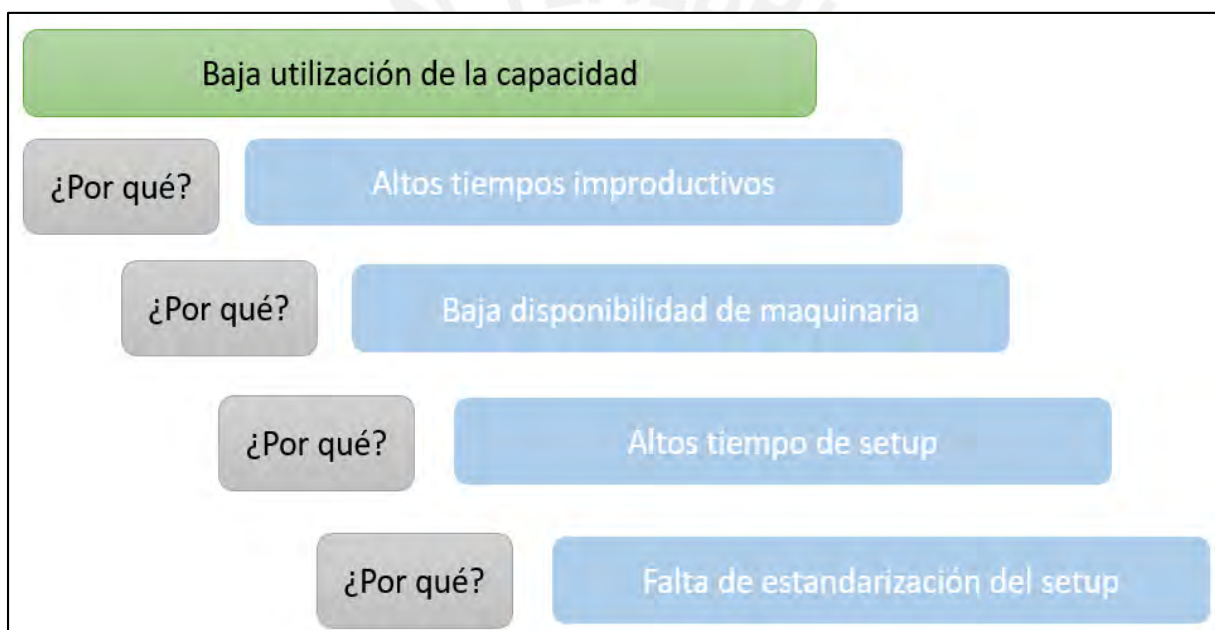
Elaboración propia.

La tercera categoría causal es la mano de obra, en ella se presentan dos causas que agrupan cada una distintos problemas. Por ejemplo, la primera la falta de capacitación representa el escaso o nulo conocimiento de los trabajadores sobre estándares, procedimiento o instructivos para las actividades que se realizan en el taller. La siguiente, la alta rotación de personal refleja que gran porcentaje de los trabajadores de la empresa no está realmente comprometido con esta. Estas dos causas tienen un impacto en la baja utilización de la capacidad de la empresa, sin embargo, el último de estos está más relacionado a un tema de gestión de personal y cultura organizacional.

Por último, la categoría causal de medición presenta a las incorrectas calibraciones y los errores de sensores como sus postulados a causas del problema. Respecto a los sensores, esto se debe a un tema de mantenimiento al igual que en el caso de las herramientas de calibración.

Una vez descrito el diagrama de Ishikawa elaborado, se cuenta con un importante banco de posibles causas del problema. Todas tienen cierto grado de influencia en el problema, sin embargo, no todas pueden ser tratadas en el presente proyecto de investigación. Por ello, se busca una relación de precedencia entre las ideas descritas para hallar las causas raíz de la baja utilización de la capacidad del taller.

Es así, que se utiliza los 5 porqués como una importante herramienta de diagnóstico casual para hallar la relación de consecuencia entre las ideas. Ver Figura 16.

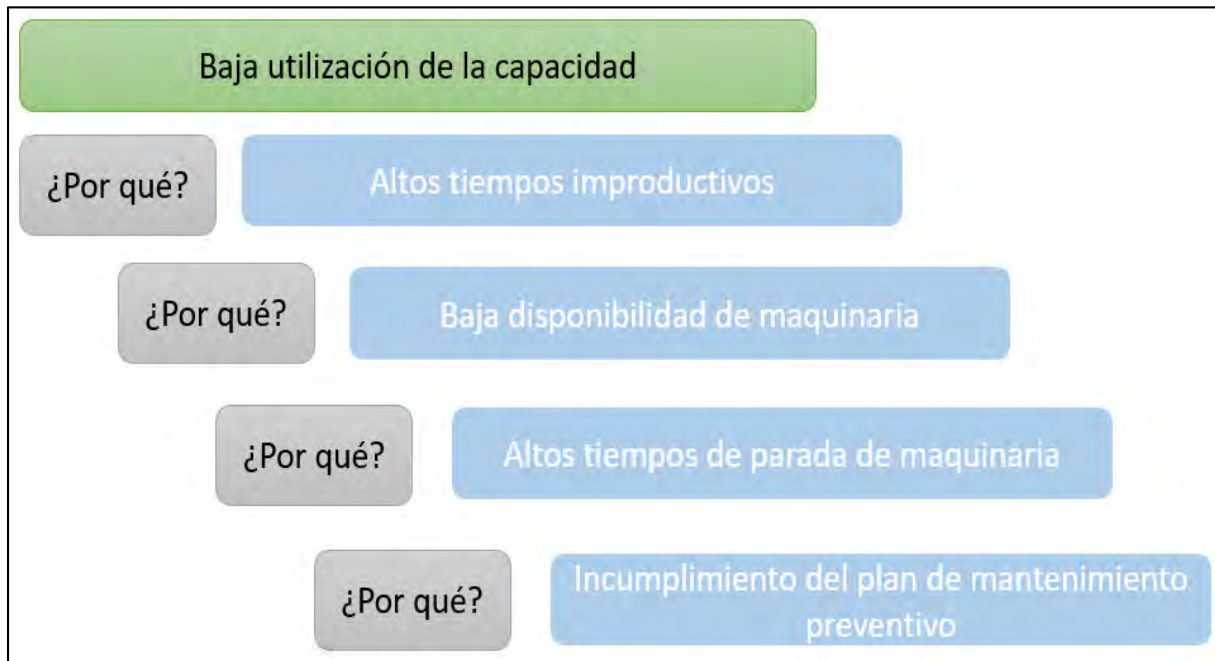


**Figura 16**  
5 porqués falta de estandarización del *SETUP*

Elaboración Propia

Respondiendo a la pregunta de por qué ocurre una baja utilización de la capacidad del taller, se llega a que existen una gran cantidad de tiempos improductivos, afirmación que está respaldada por el diagnóstico de la cuantificación del impacto. Luego, en base a esta misma afirmación se llega a que existe una baja disponibilidad de la maquinaria del taller. El siguiente paso es preguntarse por qué existe esta baja disponibilidad, la respuesta que nace del diagrama de Ishikawa es que existe un alto tiempo de set up y esto es generado por la falta de estandarización de este. Entonces, una causa raíz del problema es la poca o nula estandarización del proceso de *SETUP* del torno CNC.

Sin embargo, esta única causa raíz no es suficiente para justificar todo el peso del problema, es por ello por lo que se repite el procedimiento de los 5 porqués partiendo de la baja disponibilidad de la maquinaria. Ver Figura 17.



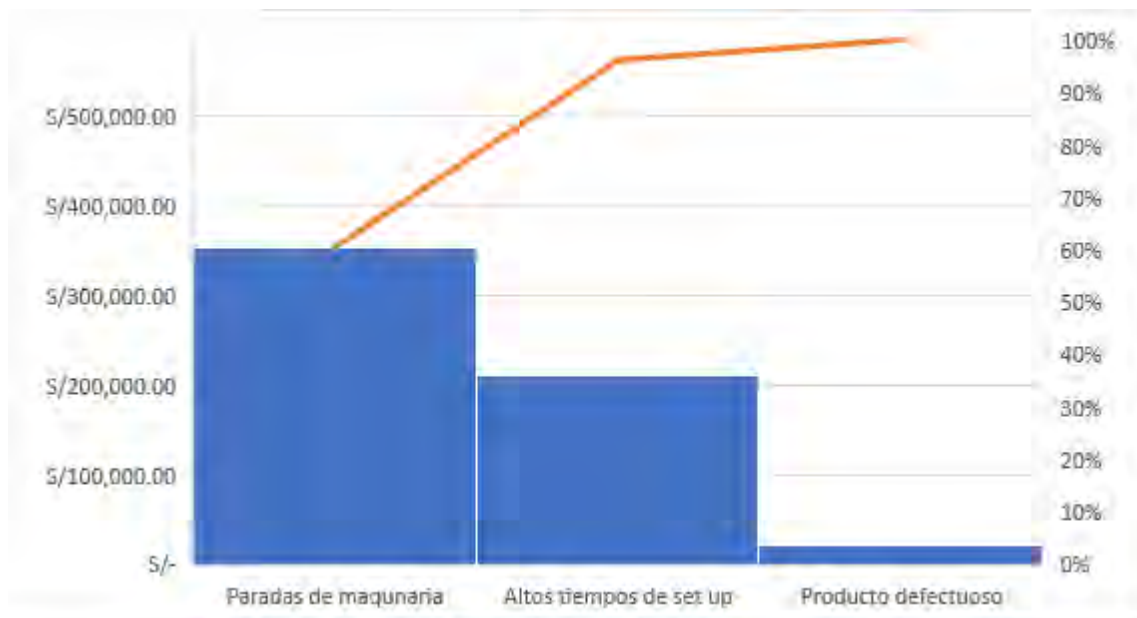
**Figura 17**  
*5 porqués mantenimiento preventivo*

Elaboración propia.

Partiendo de la baja disponibilidad de la maquinaria, se busca una ruta alterna a la tomada en el ejercicio anterior. Es así, que se llega a que la causa son los altos tiempos de parada de máquina, esto partiendo del diagnóstico en la cuantificación del impacto y lo encontrado al elaborar el diagrama de Ishikawa. Este último, tiene como causa el incumplimiento de su plan de mantenimiento preventivo. Este incumplimiento consta de dos factores, el deficiente seguimiento al mismo y el mal diseño de este al considerar los intervalos de mantenimiento. Es por ello por lo que ocurren averías durante el proceso y no se le da la lubricación adecuada al torno. De esta forma, se tiene como las siguientes causas raíz del problema son el deficiente seguimiento del plan de mantenimiento y los errores en los intervalos de mantenimiento. Una tercera causa raíz se presenta cuando evaluamos el punto de unión entre los productos defectuosos y la falta de mantenimiento preventivo, esto es, la falta de lubricación que genera piezas con mal acabado y medidas incorrectas.

Ahora, una vez establecidas las causas del problema es importante medir la importancia de cada motivo para definir el target de la propuesta de solución. Para ello se toma en cuenta el impacto por motivos del problema principal. Ver Figura 18.





**Figura 18**  
*Pareto de impacto de motivos del problema*

Elaboración propia.

Es así, que puede afirmar que los principales motivos del problema son las paradas de máquinas y los altos tiempos de *SETUP* del torno CNC. El primero acumula el 61% del impacto en el problema y el segundo el 36%. El tercero solo alcanza 4% del impacto por lo que dejaremos fuera del estudio a este motivo y su causa raíz. De hecho, se espera que al mejorar los primeros 2 motivos se solucione en conjunto el tercero, sin embargo, sus cálculos e implicaciones no serán parte de esta investigación.

Es así como se cuentan con todos los datos necesarios para representar gráficamente el problema de investigación a través de un árbol de problemas tipo capstone que permita reflejar la situación actual, la evidencia del problema, su impacto, sus causas y la distribución del porcentaje de impactos. Ver Figura 19.

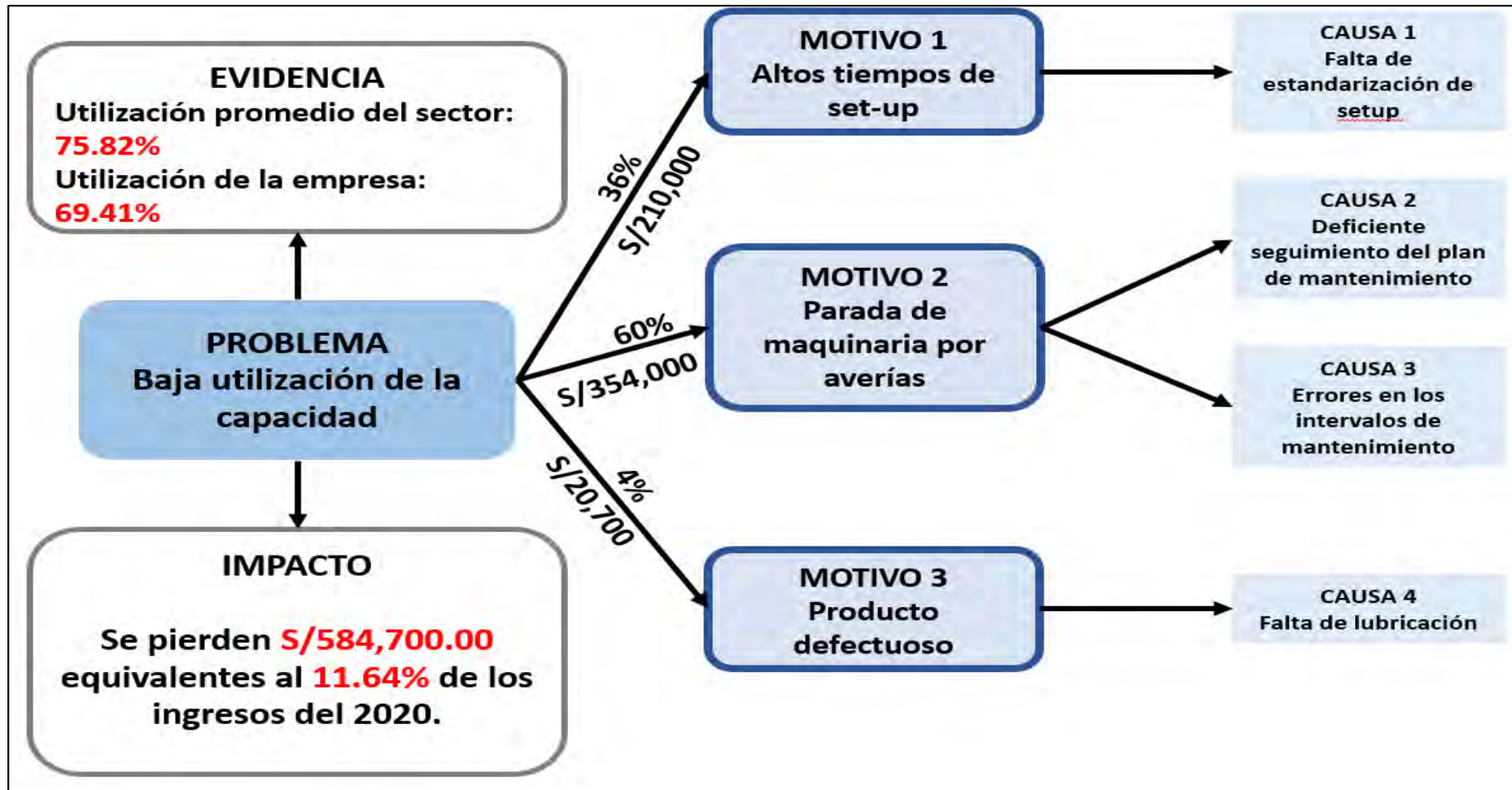

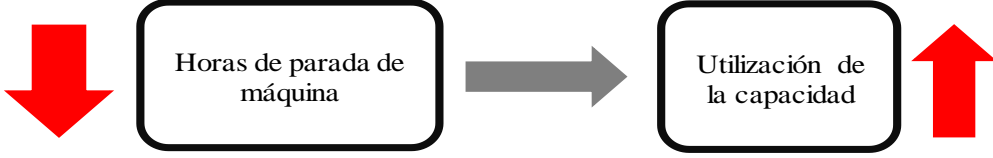


Figura 19  
Árbol de problemas capstone

Elaboración propia.


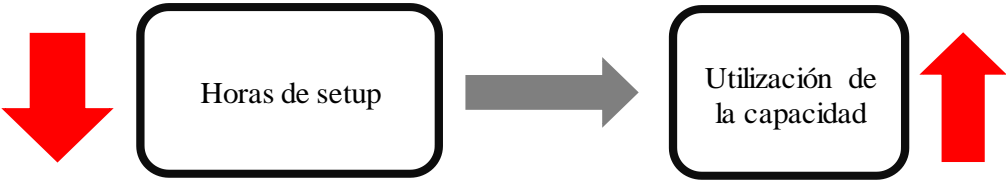
#### 4.6. Indicadores

Para medir la eficacia de la solución que será propuesta es necesario establecer unidades de medida que permitan monitorear el avance de la solución del problema. Para ello, se crean las siguientes fichas de indicadores.

LOGO DE LA EMPRESA	<b>FICHA DE DETALLE DE INDICADOR: HORAS DE PARADA DE MÁQUINA</b>	Fecha:	
		Código:	
		Versión:	
<b>1. Obejtivo del indicador</b>			
Comprobar el promedio de horas diarias de parada de máquina			
<b>2. Cálculo del indicador</b>			
$Prom. Hrs. Pard. Maq. = \frac{\sum Hrs. diarias pard. maq.}{\#Días evaluados}$			
<b>3. Interpretación del indicador</b>			
			
<p>&lt;0.10</p> <p>&lt;0.17</p> <p>&lt;0.25</p>			
<b>4. Responsable del indicador</b>			
Jefe de Taller			
<b>5. Medición y reporte</b>			
Frecuencia de medición		Cada cierre de día de trabajo	
Reporte:		Finalizando el día	
Responsable:		Jefe de Taller	
<b>6. Usuarios</b>			
Jefe de Taller, Jefe de Proyecto, Gerente General			
<b>7. Relación causa y efecto</b>			
			
<b>8. Observaciones</b>			
Esta ficha de indicador se baso en el paper de Bataineh et. al. 2019.			


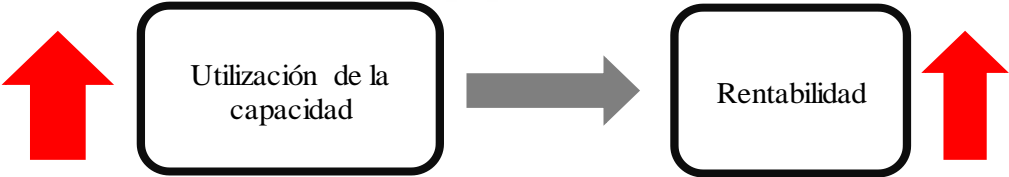
**Figura 20**  
Ficha de indicador Horas de paradas de máquinas

Elaboración propia.

LOGO DE LA EMPRESA	<b>FICHA DE DETALLE DE INDICADOR: HORAS PERDIDAS EN SETUP</b>	Fecha:	
		Código:	
		Versión:	
<b>1. Obejtivo del indicador</b>			
Comprobar el promedio de horas semanales de setup			
<b>2. Cálculo del indicador</b>			
$Prom. Hrs. Setup. Maq. = \frac{\sum Hrs. sem. setup. maq.}{\#Semanas evaluadas}$			
<b>3. Interpretación del indicador</b>			
 <0.2 <0.5 <1.0			
<b>4. Responsable del indicador</b>			
Jefe de Taller			
<b>5. Medición y reporte</b>			
Frecuencia de medición	Cada cierre de día de trabajo		
Reporte:	Finalizandoel último día de la semana		
Responsable:	Jefe de Taller		
<b>6. Usuarios</b>			
Jefe de Taller, Jefe de Proyecto, Gerente General			
<b>7. Relación causa y efecto</b>			
			
<b>8. Observaciones</b>			
Esta ficha de indicador se baso en el paper de Singh & Singh, 2017			

**Figura 21**  
Ficha de indicador Horas perdidas en SETUP

Elaboración propia.

LOGO DE LA EMPRESA	<b>FICHA DE DETALLE DE INDICADOR: UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD</b>	Fecha:	
		Código:	
		Versión:	
<b>1. Obejtivo del indicador</b>			
Comprobar la utilización de la capacidad			
<b>2. Cálculo del indicador</b>			
$Uti. Cap. = \frac{Producción\ real}{Producción\ teórica} \times 100\%$			
<b>3. Interpretación del indicador</b>			
 <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-left: 20px;"> <p>76%&lt;</p> <p>73%&lt;</p> <p>70%&lt;</p> </div>			
<b>4. Responsable del indicador</b>			
Jefe de Taller			
<b>5. Medición y reporte</b>			
Frecuencia de medición	Cada cierre de día de trabajo		
Reporte:	Finalizandoel último día de la semana		
Responsable:	Jefe de Taller		
<b>6. Usuarios</b>			
Jefe de Taller, Jefe de Proyecto, Gerente General			
<b>7. Relación causa y efecto</b>			
			
<b>8. Observaciones</b>			
Esta ficha de indicador se baso en el paper de Singh & Singh, 2017			

**Figura 22**  
Ficha de indicador utilización de la capacidad

Elaboración Propia

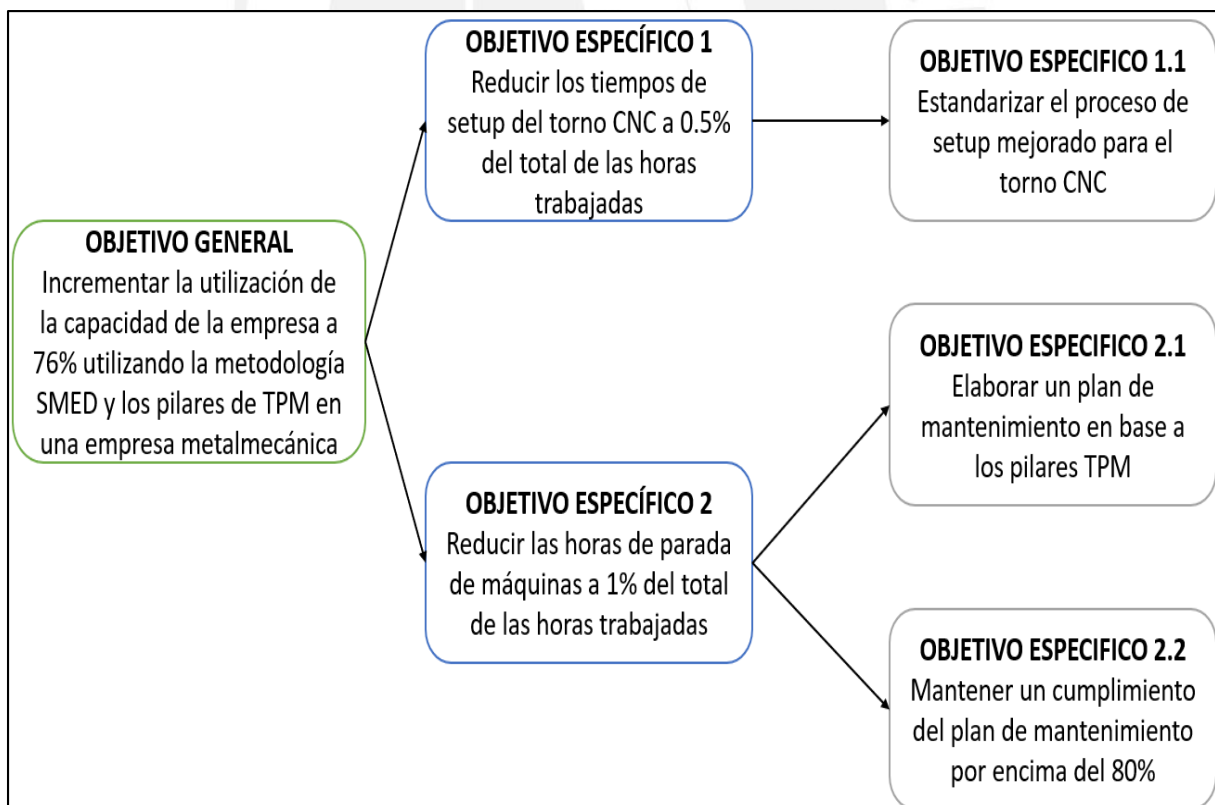
## 4.7. Hipótesis

La hipótesis planteada para este proyecto de investigación es el siguiente:

*“Utilizando la metodología SMED y los pilares de TPM se puede incrementar la utilización de la capacidad de una empresa metalmeccánica.”*

## 4.8. Planteamiento de objetivos

Para lograr solucionar el problema identificado, es necesario tener clara la meta que se desea conseguir para ser capaces de dar seguimiento a la propuesta de mejora que será planteada en el siguiente capítulo y medir su éxito en función a resultados objetivos. En primer lugar, lo que se desea es alcanzar el promedio de utilización de capacidad del sector, por lo que se busca llegar al menos a un 76%. Para que esto sea posible, es necesario reducir los tiempos de *SETUP* de 2.95% a 0.5% y las horas de paradas de 4.97% a 1% de las horas totales trabajadas. Cada uno de estos objetivos específicos tienen sus sub-objetivos específicos que sentarán las bases de la mejora. Es importante resaltar que los objetivos expuestos fueron apoyados por la empresa en función a su interés en llegar al promedio sectorial de utilización de capacidad. Ver Figura 23.



**Figura 23**  
Árbol de objetivos

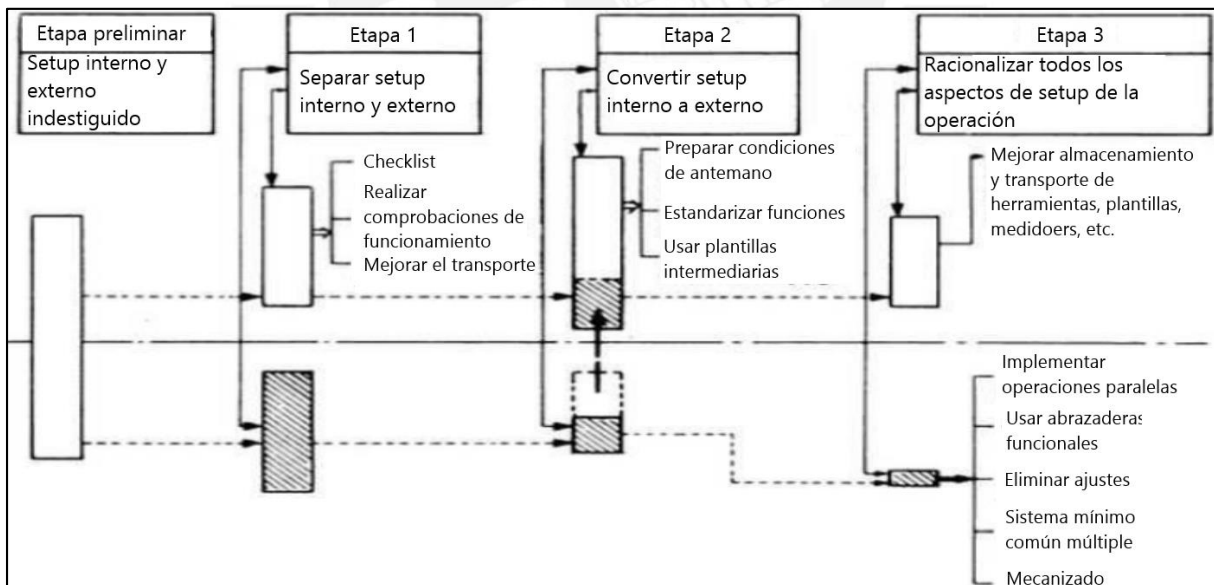
Elaboración propia.

## Capítulo 5: Propuesta de mejora

En el capítulo anterior se estudió las características de la empresa y se identificó el problema principal, se abordaron sus posibles causas y se establecieron las causas raíces. Además, se desarrolló el cálculo de la brecha técnica de la empresa respecto al sector para luego hallar el impacto que genera este problema y luego calcular el porcentaje de impacto de cada causa encontrada. Ahora, en el presente capítulo se presenta la revisión de literatura realizada para hallar la mejor solución para los problemas encontrados. Luego, se presenta el modelo de solución a utilizar para corregir las causas y por ende el problema principal. Con el modelo presentado, se inicia la descripción específica del modelo utilizando las herramientas definidas y recalando los datos relevantes. A la par, se establece un seguimiento a los indicadores relacionados al árbol de objetivos planteados en el capítulo 2.

### 5.1. Justificación del modelo

Durante la revisión de la literatura, se pudo identificar ciertas propuestas que abarcan desde la planificación, ejecución y verificación de proyectos basados en herramientas Lean hasta solo la ejecución simulada del proyecto. Tal es el caso de (Singh & Singh, 2017) en donde se propone un esquema de implementación de la herramienta *SMED*, como se muestra a continuación en la Figura 24.



**Figura 24**  
Etapas conceptuales de SMED

Adaptado de (Singh & Singh, 2017)

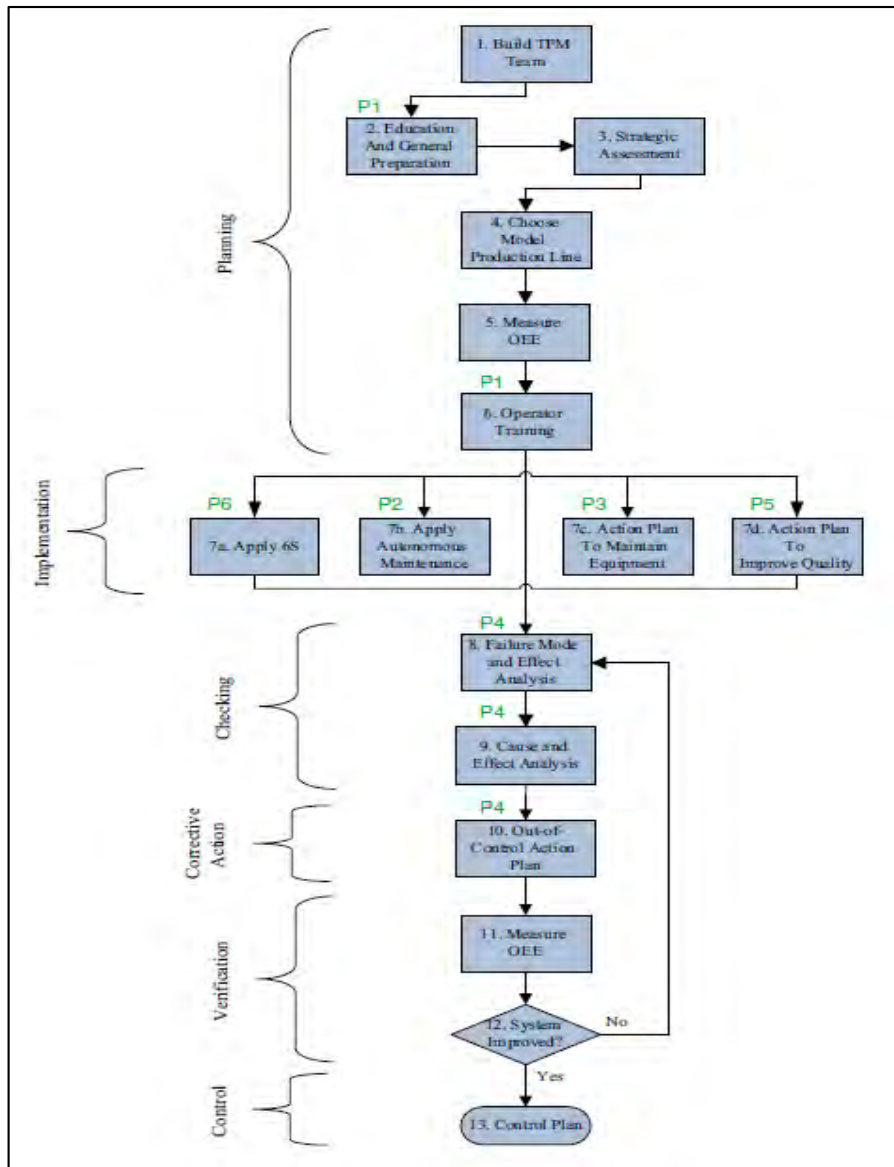
En este caso, el autor logró reducir los tiempos de actividades que no agregan valor durante el *SETUP* de 209.36 minutos a 167.09 min y el de otras actividades relacionadas al *SETUP*

de 30 minutos a 12 minutos, incrementando el OEE en 4% respecto a su etapa inicial. Otro caso de éxito importante de la implementación de la herramienta *SMED* para reducir tiempos de *SETUP* e incrementar la eficiencia, es el de (Bhade & Hegde, 2020) en el cual los autores implementan la herramienta y logran reducir en 12 minutos los tiempos promedios de *SETUP*, incrementando así el OEE de 58.74% a 65% en una empresa de inyección de moldes. Luego, se tiene el caso de la investigación realizada por (Sousa et al., 2018) el cual soluciona un problema de largos tiempos de parada por *SETUP* de máquinas. En este, los autores implementan la herramienta *SMED* y logran reducir los tiempos de *SETUP* de 66:52 minutos a 37:59 minutos, llevando a la empresa a ahorrar 2340 euros al mes.

Dada la información obtenida en la revisión de literatura, se concluye que la herramienta ideal para solucionar el problema de altos tiempos de parada por *SETUP* de la empresa es *SMED*, puesto que ha tenido gran éxito en su aplicación en otras empresas de rubros muy parecidos.

Por otro lado, se desea resolver las paradas de maquinaria por fallas o averías y para esto se recurre a la literatura. La revisión dio como resultado que la herramienta *TPM* es la que mejor calza en la solución del problema, autores como (Bataineh et al., 2019) implementan a través de la adaptación de un ciclo PHVA la herramienta *TPM* complementada con otras dentro de un esquema específico que detalla el paso a paso. Utilizando este esquema el autor logro incrementar el OEE de la empresa en cuestión de 35.27% a 57.42% en 9 meses. Ver Figura 25.





**Figura 25**  
Flujograma de propuesta TPM

Recuperado de (Bataneh et al., 2019)

Luego, autores como (Singh et al., 2018) implementaron *TPM* en una empresa de la industria de manufactura italiana. Utilizando los pilares de *TPM* el autor logro incrementar en 17.08% la eficiencia de los equipos, reduciendo los tiempos de parada gracias al mantenimiento móvil. También se cuenta con el caso de la investigación de (Morales Méndez & Rodriguez, 2017) el cual desarrolla una implementación *TPM* muy detallada dentro de su investigación sacando el máximo provecho a los pilares. De esta investigación se rescata que no se debe usar todos los pilares a la vez, se debe definir primero qué pilares aportan a la solución del problema. En este caso el autor hace uso de los pilares de mantenimiento focalizado, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mantenimiento de calidad, mantenimiento preventivo y

la oficina *TPM*. Esto permitió que la empresa incremente su OEE en 18.75% equivalente a producir 2127 piezas más por mes.

Es así, que la literatura dirige la selección de la herramienta hacia *TPM* pues presenta amplio rango de éxito en su implementación y demuestra ser muy eficiente y con resultados rápidos.

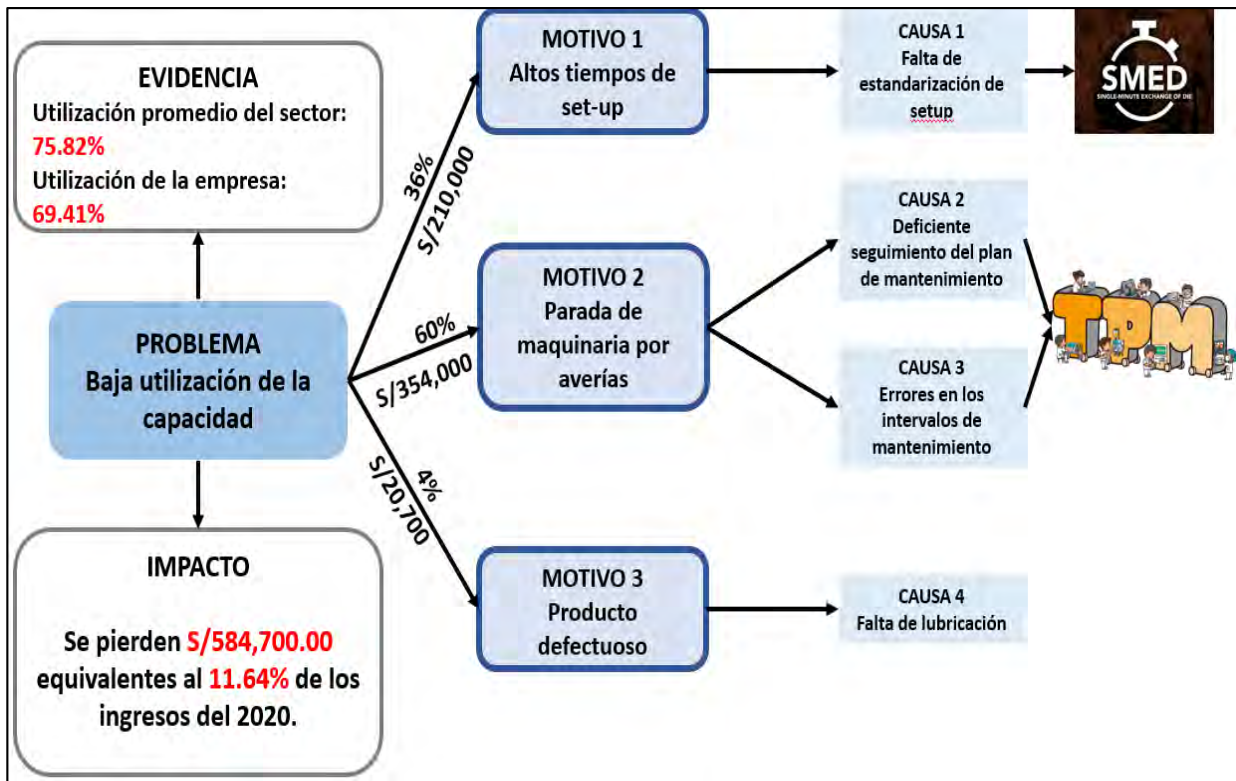
Para resumir la literatura utilizada para motivar la elaboración del modelo de solución desarrollado se presenta la siguiente tabla. Ver tabla 26.

**Tabla 26**  
*Resumen de papers justificación del modelo*

Papers	Autor	Problema: Baja eficiencia operativa de máquina		
		<i>TPM</i>	<i>SMED</i>	OEE
Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by <i>SMED</i>	(Bhade & Hegde, 2020)		X	X
<i>SMED</i> for quick change over in Manufacturing Industry – A case study	(Singh & Singh, 2017)		X	X
<i>TPM</i> implementation and maintenance strategic plan - A case study	(G. Pinto et al., 2020)	X		X
A sequential <i>TPM</i> -based scheme for improving production effectiveness presented with a case study	(Bataneh et al., 2019)	X		X
Success of <i>TPM</i> concept in a manufacturing unit – a case study	(Singh et al., 2018)	X		X
Total productive maintenance ( <i>TPM</i> ) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line	(Morales Méndez & Rodriguez, 2017)	X		X
Applying <i>SMED</i> methodology in cork stoppers production	(Sousa et al., 2018)		X	X

*Nota.* Elaboración propia.

De esta forma, se justifica el uso de las herramientas seleccionadas pues demuestran ser capaces de solucionar el problema principal diagnosticado en la empresa caso de estudio de este proyecto de investigación. La vinculación de herramientas de solución con causas del problema se presenta en el siguiente árbol de problemas. Ver Figura 26.



**Figura 26**  
Árbol de problemas con herramientas de solución

Elaboración propia

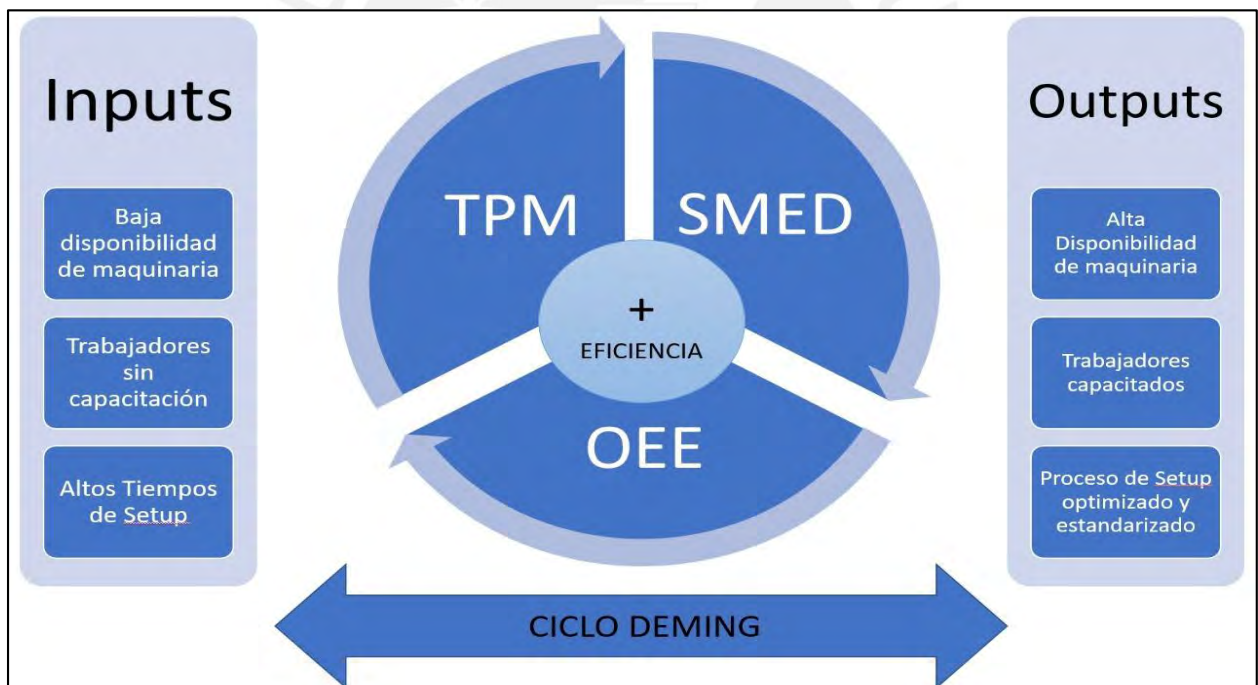
## 5.2. Descripción conceptual del modelo

Tomando en cuenta los 3 esquemas mostrados anteriormente, se procederá a elaborar un esquema de implementación que combine las herramientas *SMED* y *TPM* de forma efectiva, basado en la filosofía Lean y en pro de alcanzar los objetivos planteados en el capítulo anterior en el árbol de objetivos en función al OEE.

El modelo presentado debe responder a la necesidad de superar los problemas de altos tiempos de *SETUP* por falta de estandarización, paradas de máquina por averías debido a un deficiente seguimiento del plan de mantenimiento por falta de capacitación de los trabajadores y errores de diseño del plan en los intervalos de mantenimiento. Para ello, se propone utilizar las herramientas *TPM* y *SMED* para atacar los problemas por separado, *TPM* para las paradas de máquina y la falta de capacitación en mantenimiento de maquinaria y *SMED* para los tiempos de *SETUP*. Estas herramientas orientan sus esfuerzos hacia un incremento del OEE general, en el caso de *TPM* se utilizan sus pilares de mantenimiento autónomo, preventivo y de calidad, además del pilar de educación y entrenamiento como etapa preliminar, todo bajo

un permanente seguimiento del OEE para confirmar la eficacia de la implementación. Del mismo modo, la implementación de la metodología *SMED* implica un seguimiento constante de los indicadores.

El modelo propuesto opera sobre la base metodológica del ciclo de Deming, esto para asegurar que el mismo mantenga un estado de constante mejora y que los problemas que puedan presentarse sean tomadas como oportunidades para fortalecer el modelo a través del tiempo. De esta forma, lo que se espera del modelo es que incrementa la disponibilidad de la maquinaria cuello de botella de la empresa, entrene y capacite al personal para ser capaces de dar mantenimiento autónomo a la maquinaria y tenga los conocimientos necesarios para concientizar sobre la cultura organizacional *TPM*. Luego, gracias a las mejoras en el proceso de *SETUP*, obtenidas usando la metodología *SMED*, establecer procedimientos que permitan mantener una ejecución óptima del *SETUP*. Se espera que todas estas mejoras, una a una, incrementen la eficiencia operativa de la máquinas. Ver Figura 27.



**Figura 27**  
*Modelo propuesto de solución*

*Elaboración propia*

### 5.3. Implementación del modelo en caso de estudio

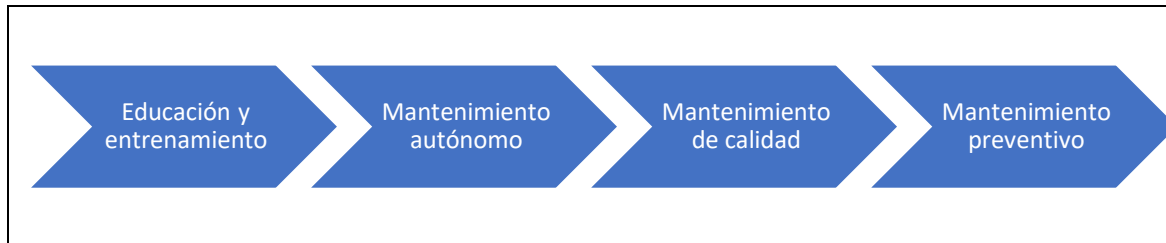
A continuación, se procederá a explicar los dos principales componentes para la implementación del modelo en la empresa en materia de estudio: *TPM* y *SMED*.

#### 5.3.1. Componente 1: *TPM*

Cómo se mencionó en la primera sección del capítulo, se utilizará específicamente 4 pilares del *TPM*, de los cuales para este proyecto de investigación se espera lo siguiente:

- Educación y entrenamiento: Capacitar a los colaboradores en la base teórica de las técnicas y herramientas que se utilizarán. Esta asegura la efectividad del componente práctico de la metodología. Además, sentar las bases del cambio organizacional hacia un enfoque del mantenimiento como actividad que genera valor, partiendo de la directiva hasta los operarios.
- Mantenimiento autónomo: Busca evitar el deterioro y/o desgaste que se da con cada uso de las máquinas. Es decir, mantenerlas en su estado óptimo de uso y establecer procedimientos que la mantengan en ese estado.
- Mantenimiento de calidad: Identificar las actividades críticas de mantenimiento en función a las averías recurrentes en la maquinaria.
- Mantenimiento preventivo: Busca evitar fallos o averías antes que estas ocurran. Planifica con antelación los mantenimientos para asegurar el buen funcionamiento de las máquinas.

Se inicia con el pilar de educación y entrenamiento para capacitar, no solo a los operarios, sino también al gerente y los jefes pues estos cumplen un rol crucial en la implementación de *TPM*. Luego, se establecen las condiciones y parámetros para el mantenimiento autónomo y se desarrollan condiciones que permitan mantenerlo en el tiempo. De igual manera, con el pilar de mantenimiento de calidad se identifican las fallas críticas que generan las averías de la maquinaria y es partir de esto que se desarrolla el pilar de mantenimiento preventivo teniendo en cuenta las fallas críticas, recurrentes y las guías de mantenimiento de la maquinaria en función al tiempo de uso. Para esto, se diseñará un plan de mantenimiento preventivo que considere tiempo de uso, realización del mantenimiento y las observaciones encontradas. Ver Figura 28.



**Figura 28**  
*Pilares de TPM a utilizar*

Elaboración propia.

### 5.3.1.1. Pilar de educación y entrenamiento

#### **Declaración de implementación *TPM***

El primer paso para implementar la metodología *TPM* en una empresa es plantear y comunicar el compromiso de la directiva con la implementación. Para esto es necesario que la empresa formalice su compromiso con un documento para que luego este sea difundido a todos los colaboradores y se generalice la intención de cambio. Este compromiso no solo implica la participación de la gerencia, sino también impulsar y motivar a los empleados la adopción de esta metodología. Una carta firmada por la gerencia que se exponga a vista de todos los trabajadores podrá iniciar la implementación. A continuación, se presenta un modelo de un documento formal que presenta la intención de una empresa de emprender en la implementación *TPM* en sus operaciones. Ver Figura 29.

**DECLARACIÓN DE INTENCIÓN DE IMPLEMENTACIÓN**  
**TPM**

El presente documento expresa formalmente la intención de la empresa \_\_\_\_\_ identificada con el RUC \_\_\_\_\_ de implementar la metodología TPM dentro de sus operaciones. Esta decisión esta soportada por la directiva e implica un esfuerzo conjunto de todas las áreas de la empresa.

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma

**Figura 29**

*Formato ejemplo de declaración de implementación TPM*

*Elaboración propia*

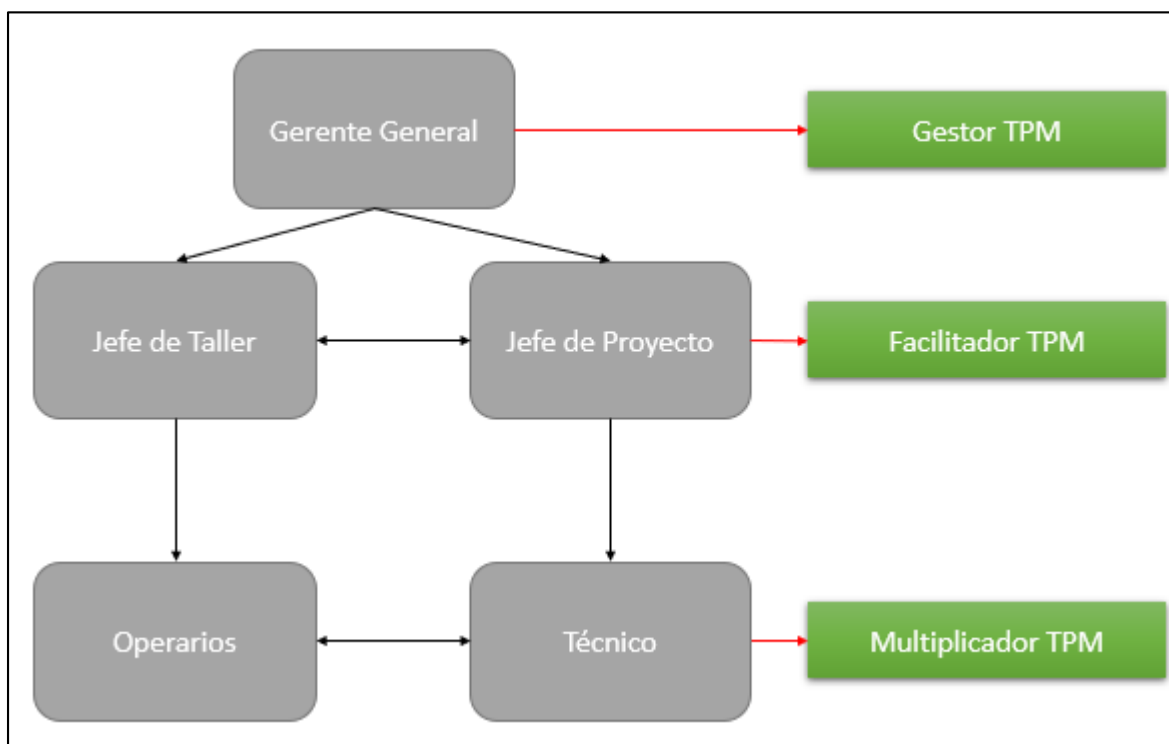
### **Formación del equipo *TPM***

Para una adecuada implementación todos los trabajadores deben cumplir un, desde operarios hasta gerentes. Se debe concientizar sobre los problemas de la empresa para luego explicar cuál será el papel de cada uno en sus soluciones. Para ello, se tienen definidos tres roles:

- Gestores *TPM*: Gerencia y directivos que dan soporte y seguimiento a la implementación

- Facilitador *TPM*: Jefes y supervisores que guían la planificación e implementación
- Multiplicador *TPM*: Operarios y demás miembros que apliquen las mejoras y/o cambios

Para la implementación en el caso de estudio, se propone el siguiente organigrama para el equipo *TPM*. Ver Figura 30.



**Figura 30**  
*Organigrama del equipo TPM*

*Elaboración propia*

Esto quiere decir, que la gerencia general se encargará de aprobar y dar soporte a la implementación, además de supervisarla. Luego, los jefes de taller y proyecto se encargarán de guiarla, asegurar su cumplimiento y proponer mejoras. Por último, los operarios serán quienes implementen los cambios realizados, cumplan con los procedimientos, instructivos e interioricen la cultura *TPM* junto a sus superiores.

### **Capacitaciones de cultura organizacional**

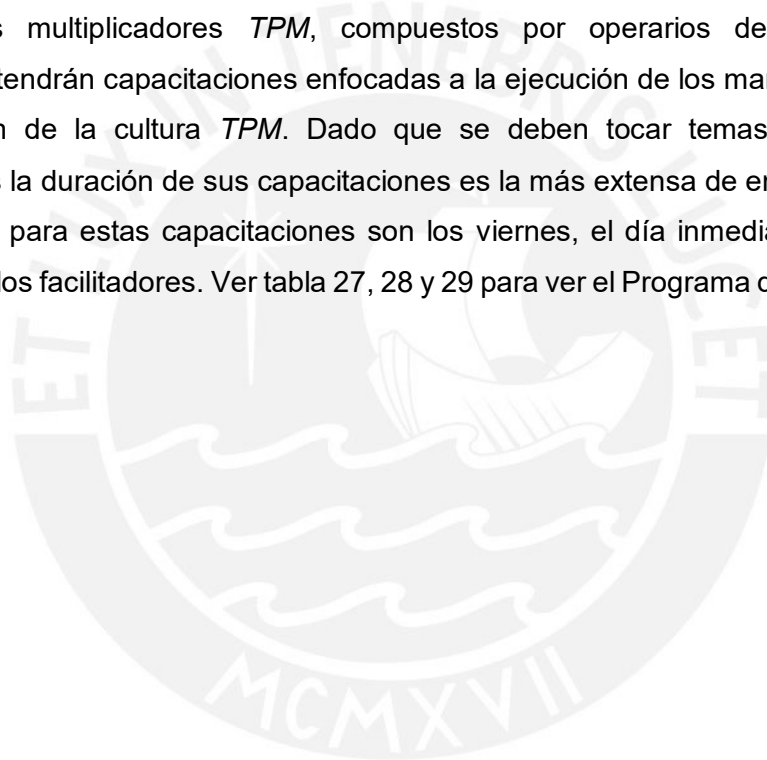
Una vez realizadas las actividades preliminares a la implementación el primer paso propio de la metodología es la capacitación del personal dentro de sus roles para concientizarlos sobre la necesidad del cambio, su importancia y sus responsabilidades en esta implementación. Estas capacitaciones serán impartidas de manera independiente para cada rol, empezando con la de los gestores quienes serán los encargados de guiar al resto de colaboradores a través de su ejemplo y compromiso. Además, durante estas se deben tomar decisiones que



pueden afectar a las capacitaciones de los demás roles. Los días programados para las capacitaciones de este rol son los lunes. Las capacitaciones para los gestores están pensadas para ser rápidas y que no tomen mucho del tiempo de los directivos. Para fines prácticos del proyecto de investigación se considera que el proyecto está pensado iniciarse en enero del 2022.

Luego, para los facilitadores, es decir, jefes y supervisores, se establecen los jueves. Por lo general, las capacitaciones a este rol están enfocadas en cómo supervisar y guiar la implementación y seguimiento de la metodología. Durante estas se deben designar responsabilidades para desarrollar actividades relacionadas a la implementación, por ello, la duración de sus capacitaciones son algo más extensas que las de los gestores.

Por último, los multiplicadores *TPM*, compuestos por operarios del proceso y de mantenimiento, tendrán capacitaciones enfocadas a la ejecución de los mantenimientos y de la interiorización de la cultura *TPM*. Dado que se deben tocar temas más técnicos y procedimentales la duración de sus capacitaciones es la más extensa de entre los tres roles. Los días fijados para estas capacitaciones son los viernes, el día inmediato siguiente a la capacitación de los facilitadores. Ver tabla 27, 28 y 29 para ver el Programa de Capacitaciones al personal.



**Tabla 27**  
Programa de capacitaciones a gestores TPM

Programa de capacitaciones a gestores TPM			
Tema	Objetivo	Fecha	Duración (h)
¿Por qué necesitamos TPM?	Explicar la urgencia de solucionar los problemas. Lograr que la gerencia directiva de la empresa alinee los objetivos de cada área a los de TPM.	10/01/2022	1
Implicancias del TPM	Explicar los pilares de TPM a utilizar y lo que se necesitará de parte de los corporativos.	17/01/2022	1
Consideraciones de la implementación TPM	Se profundiza en las herramientas de TPM y se profundiza en la ejecución de la implementación.	24/01/2022	1.5
Monitoreo de la implementación	Delegar las responsabilidades de monitoreo y se define qué indicadores guiarán este seguimiento.	31/01/2022	0.75
TPM solución permanente	Estandarizar los procesos TPM para asegurar la ejecución constante de la metodología.	7/02/2022	0.75

Nota. Elaboración propia

**Tabla 28**  
Programa de capacitaciones a facilitadores TPM

Programa de capacitaciones a facilitadores TPM			
Tema	Objetivo	Fecha	Duración
¿Por qué necesitamos TPM?	Explicar la urgencia de solucionar los problemas. Lograr que jefes y supervisores de la empresa alineen sus objetivos a los de TPM.	16/07/2021	2
¿Hacer mantenimiento es ser eficiente?	Interiorizar que el mantenimiento es parte crucial de la eficiencia de una empresa.	23/07/2021	2
¿Qué debo supervisar?	Se explican y los formatos y actividades que deberán llenarse y realizarse en la ejecución del TPM.	30/07/2021	1.5
¿Cuáles son mis indicadores?	Explicar los indicadores a dar seguimiento y establecer métodos para calcularlos de manera eficiente.	6/08/2021	1.5
TPM llegó para quedarse	Elaborar, ejecutar y velar por el cumplimiento de los procedimientos TPM.	13/08/2021	1.5

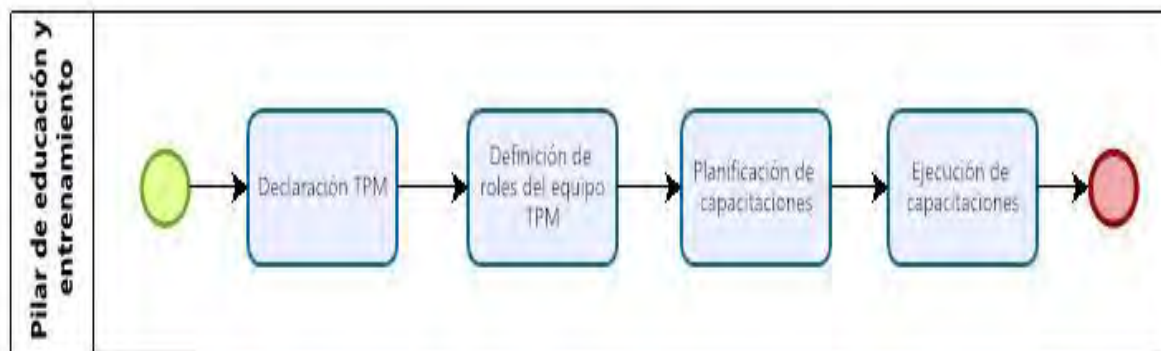
Nota. Elaboración propia

**Tabla 29**  
Programa de capacitaciones a multiplicadores TPM

Programa de capacitaciones a multiplicadores TPM			
Tema	Objetivo	Fecha	Duración
¿Por qué necesitamos TPM?	Explicar la urgencia de solucionar los problemas. Lograr que los operarios interioricen los objetivos TPM.	19/07/2021	2
¿Cómo debo encontrar la máquina?	Explicar lo que significa estado óptima de una máquina y comunicar las bases del mantenimiento preventivo.	26/07/2021	2
¿Cómo debo dejar la máquina?	Actividades de mantenimiento preventivo, cuáles son los procedimientos por seguir y qué importancia tienen.	2/08/2021	2
Formatos de mantenimiento	Explicar los formatos a llenar para las actividades de mantenimiento preventivo y autónomo.	9/08/2021	2
Mejora continua en mi mantenimiento	Interiorizar la importancia de comunicar problemas o posibles mejoras, como dueños del proceso quien mejor entiende la situación soy yo.	16/08/2021	2

Nota. Elaboración propia

En síntesis, en este primer pilar de la implementación *TPM* se inicia formalizando y comunicando la intención de la directiva para luego definir los roles que cada colaborador tendrá en este proceso de implementación como miembros del equipo *TPM*. Estos pasos preliminares son requisitos indispensables para una implementación *TPM*, una vez realizados se planifica el cambio de cultura organizacional a través de capacitaciones, las cuales además de impulsar un cambio de valores respecto al mantenimiento, también busca establecer las rutas de acción que se tomarán en la implementación para cada rol del equipo. Estas capacitaciones son programadas para durar 5 semanas y siguen una ruta que asegura la correcta implementación *TPM* y las bases para su monitoreo. Ver Figura 31.



**Figura 31**  
*Flujo pilar de educación y entrenamiento*

*Elaboración propia*


### 5.3.1.2. Pilar de mantenimiento autónomo

Este pilar consiste en definir y asignar actividades a los operarios del día a día de la maquinaria, de forma que sean ellos quienes apliquen actividades básicas de mantenimiento. Estas estarán relacionadas con el cuidado y limpieza de las máquinas después de cada uso, así como de las revisiones generales funcionales. Sin embargo, no se le puede exigir a los operarios que realicen estas actividades de manera brusca, la aplicación debe ser paulatina. Iniciando con aplicaciones quincenales, luego semanales, luego diarias y finalmente con aplicaciones después de cada uso.

El primer paso para implementar mantenimiento autónomo en las operaciones de la empresa es el establecimiento de qué actividades serán las que se realicen como parte de este mantenimiento. Para ello es necesario consultar con el manual de la máquina además de revisar otras fuentes de información. El instructivo debe contener la información básica acerca la maquinaria, una imagen referencial y las actividades que serán consideradas dentro del

mantenimiento autónomo con sus frecuencias de ejecución y las herramientas necesarias. Ver tabla 30.

**Tabla 30**  
*Instructivo de mantenimiento autónomo*

LOGO	<b>INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO DE TORNO CNC</b>		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	
<b>Preparado por:</b> Daniel Rodríguez	<b>Aprobado por:</b>	<b>Fecha:</b> 10/11/2021	<b>Versión:</b> IMA-1	
<b>DESCRIPCIÓN FÍSICA:</b>	Máquina que mecaniza piezas de revolución mediante un software de manera automática. Ocupa 2.5 metros de largo, 0.6 metros de ancho y 1.6 metros de alto.			
<b>MODELO:</b>	XXX		<b>FECHA DE COMPRA:</b> XXX	
<b>MARCA:</b>	XXX			
<b>SERIAL:</b>	XXX			
<b>Actividades</b>		<b>Frecuencia</b>	<b>Herramienta</b>	<b>FOTO</b>
1	Revisión de líquido refrigerante	Cada uso	Visual	
2	Revisión de nivel de tanque de lubricante	Cada uso	Visual	
3	Limpiar virutas en vías	Cada uso	Cepillo de nylon	
4	Limpiar viruta en torretas, extensión y unión	Cada 8 horas de uso	Cepillo de nylon	
5	Revisión de manómetro	Cada 40 horas de uso	Visual	
6	Limpiar superficies exteriores	Cada 40 horas de uso	Limpiador no solvente	
<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/> Firma				

*Elaboración propia*

Para el instructivo propuesto se consideraron 6 actividades de mantenimiento autónomo a realizar por los operarios en distintas frecuencias. Tres de las actividades serán realizadas después de cada uso de la maquinaria, estas son las revisiones de líquido refrigerante para

evitar que se hayan generado fugas o se hayan dado derrames durante el proceso de mecanizado. Otra de ellas es la revisión del tanque de lubricante del torno, el lubricante es uno de los insumos más importante para le ejecución de las actividades de la maquinaria, asegurar el oportuno reabastecimiento del tanque es vital para su correcto funcionamiento. La última actividad de estas primeras tres es la de la limpieza de las virutas en las vías del torno, estas virutas generas productos defectuosos o trabajos imprecisos, incluso pueden, si se descuidan lo suficiente, llegar a dañar las partes internas de la máquina. Luego, se tiene una cuarta actividad de limpieza virutas, a diferencia de la anterior, esta se concentra en las torres, tubos de extensión y uniones giratorias de la máquina; todas las mencionadas son partes sensibles y las virutas pueden dañar su funcionamiento. Todas las limpiezas de viruta deben realizarse con un cepillo de cerdas de nylon teniendo cuidado de que las cerdas no se atoren en los engranajes. Es por ello, que se considera dentro del mantenimiento autónomo en una frecuencia de cada 8 horas de uso o al final de un horario de trabajo. Las últimas dos actividades son consideradas a realizar con una frecuencia de 40 horas o al culminar una semana de trabajo, estas son la revisión del manómetro y la limpieza de las superficies del torno, esta última debe realizarse con limpiador suave no solvente para que dañe el material del torno.

Sin embargo, solo un instructivo no es suficiente para asegurar el cumplimiento de los mantenimientos autónomos y, a la vez, es insuficiente para un seguimiento y control adecuados. Es por ello, que a partir de el instructivo elaborado se elabora una cartilla de mantenimiento autónomo que deberá ser ubicada en un espacio visible cerca de la máquina para asegurar un control visual del mismo. Ver tabla 31.

**Tabla 31**  
*Cartilla de mantenimiento autónomo*

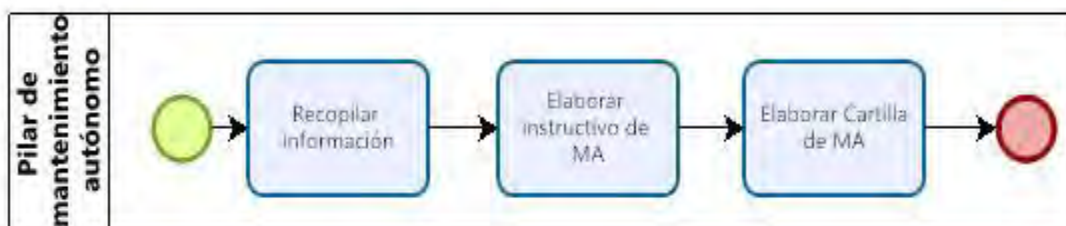
Cartilla de mantenimiento autónomo				
Máquina:	Código:	Fecha:		
Autor:	Firma:	Turno:		
ítem	Actividad	Herramienta	Si	No
1	Revisión de líquido refrigerante	Visual		
2	Revisión de nivel de tanque de lubricante	Visual		

3	Limpiar virutas en vías	Cepillo de nylon	
4	Limpiar viruta en torretas, extensión y unión	Cepillo de nylon	
5	Revisión de manómetro	Visual	
6	Limpiar superficies exteriores	Limpiador no solvente	
Firma Supervisor			

*Elaboración propia*

Gracias a esta cartilla de mantenimiento se puede hacer un seguimiento continuo a los mantenimientos autónomos realizados. La aplicación de estos es clave para que no ocurran fallas inesperadas que desestimen los tiempos programados para los mantenimientos preventivos que serán propuestos. Es por ello, que velar por su cumplimiento será una tarea importante para los facilitadores y gestores. Una forma eficaz de mantener un seguimiento será realizar inspecciones recurrentes, para que, con el tiempo, poco a poco, se instale la cultura *TPM* en la empresa hasta el punto en que no sea necesario realizar inspecciones frecuentes pues el cumplimiento de estos mantenimientos autónomos se volverá parte del ADN de la empresa y sus operarios.

Para resumir la implementación del pilar de mantenimiento autónomo de la metodología *TPM* para el caso de estudio, se inició recopilando información sobre el torno CNC. Se usaron fuentes de información internas a la empresa como el manual de la máquina y la experiencia de los involucrados. Además, se consultó fuentes externas como páginas web de empresas fabricantes de este tipo de maquinarias. Luego, con esta información se armó el instructivo de autónomo que dicta las actividades que deberán ser realizadas, como parte de este tipo de mantenimiento, por los operarios al cumplirse el tiempo de uso respectivo según actividad. A partir de este instructivo se elabora la cartilla de mantenimiento autónomo que facilitará la supervisión de la ejecución de las actividades. Ver Figura 32.



**Figura 32**  
*Flujo de implementación del pilar de mantenimiento autónomo*

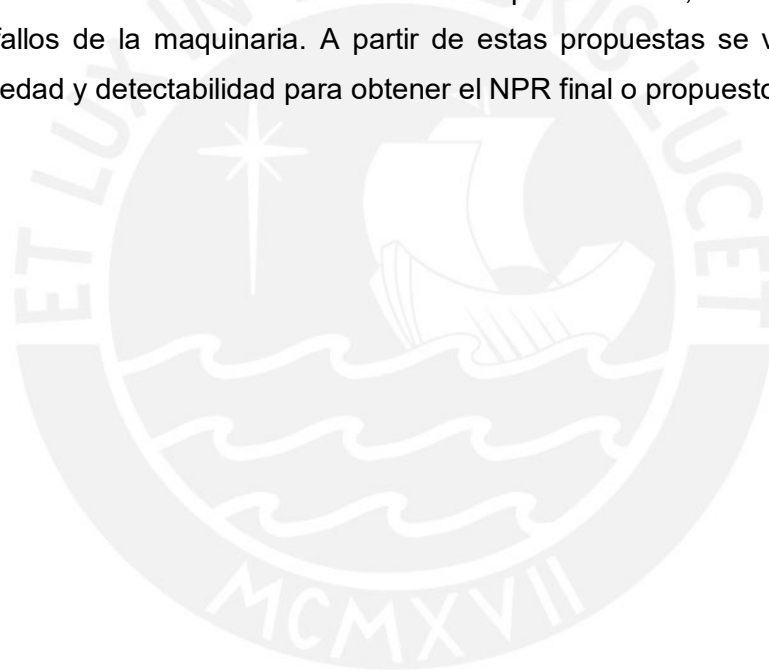
*Elaboración propia*



### 5.3.1.3. Mantenimiento de calidad

El pilar de mantenimiento calidad tiene como objetivo mejorar y mantener las condiciones de los equipos e instalaciones en su mejor estado, para ello se vale de diversos principios como la clasificación de defectos y la identificación de sus contextos, el análisis de las fallas del equipo que pueden generar defectos, establecimientos de rangos de calidad aceptados, etc. Para el presente trabajo de investigación se usará el principio de análisis de falla para identificar los modos de fallo de la máquina y la gravedad de sus efectos. Con ello se tendrá la base suficiente para armar un plan de mantenimiento preventivo adecuado que se adapte a la empresa.

Para ello, se utilizó la herramienta AMEF para listar los modos de fallos, sus efectos, sus causas y medir el número prioritario de riesgo a partir de su ocurrencia, detectabilidad y gravedad. A partir del resultado se tomarán medidas para eliminar, trasladar o mitigar los efectos de los fallos de la maquinaria. A partir de estas propuestas se vuelve a medir la ocurrencia, gravedad y detectabilidad para obtener el NPR final o propuesto. Ver Figura 33.



## ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y SUS EFECTOS (AMEF)

<b>Nombre del Sistema (Título):</b> Máquina Torno CNC	<b>Fecha AMEF inicial</b>	8/11/2021
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	<b>Última revisión</b>	8/11/2021
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	<b>Área de mantenimiento</b>	

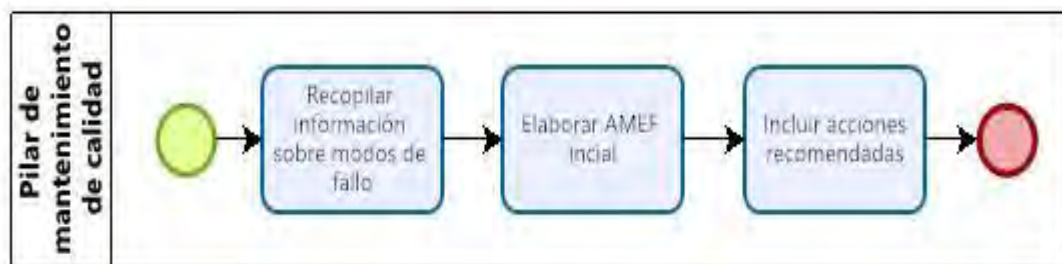
Modo de Fallo	Efecto	Causas	Controles actuales	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR inicial	Acciones recomend.	Área Responsable de acción	Acción Tomada	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR final
Acabado imperfecto	Reproceso	Desgaste de rodamiento	Inspección	7	8	6	<b>336</b>	Aplicar MTTO Auto.	Operaciones	Aplicar MTTO Auto.	7	3	5	<b>105</b>
Rayaduras en producto	Reproceso	Empaques desgastados	Inspección	5	8	6	<b>240</b>	Aplicar MTTO Auto.	Operaciones	Aplicar MTTO Auto.	5	2	4	<b>40</b>
Mecanizado incorrecto	Reproceso	Desgaste de herramientas	Inspección	5	9	7	<b>315</b>	Aplicar MTTO. Prev.	Mantenimiento	Aplicar MTTO. Prev.	5	2	4	<b>40</b>
Medidas incorrectas	Reproceso o deshecho	Mala sujeción de piezas	Inspección	6	7	6	<b>252</b>	Aplicar MTTO. Prev.	Mantenimiento	Aplicar MTTO. Prev.	6	3	5	<b>90</b>
Medidas incorrectas	Reproceso o deshecho	Descalibración	Inspección	5	8	7	<b>280</b>	Aplicar MTTO. Prev.	Mantenimiento	Aplicar MTTO. Prev.	5	2	4	<b>40</b>

**Figura 33**  
AMEF Torno CNC

*Elaboración propia.*

Con el AMEF presentado se cuenta con la información suficiente para proponer un adecuado plan de mantenimiento preventivo que prevenga, valga la redundancia, los modos de fallos críticos de la maquinaria.

En síntesis, el pilar de mantenimiento de calidad tiene como primer paso la identificación de modos de fallo, sus causas y efectos; a partir de la recopilación de información de los encargados de mantenimiento y entendidos de la maquinaria. Luego, se elabora el AMEF teniendo en cuenta los detalles de cada falla y las ideas de los expertos de la empresa. Ver Figura 34.



**Figura 34**  
*Flujo de implementación de pilar de mantenimiento de calidad*

*Elaboración propia*

#### 5.3.1.4. Mantenimiento planificado

El pilar de mantenimiento planificado o mantenimiento preventivo tiene como objetivo principal llegar al umbral de “cero averías”. Para ello orienta sus esfuerzos en la creación de planes de mantenimiento que tengan en cuenta la data histórica de los fallos de maquinaria para el correcto diseño de un plan que incluya los tiempos adecuados de mantenimiento, actividades precisas de mantenimiento, las acciones específicas de mantenimiento y las condiciones.

Por ello, teniendo en cuenta lo encontrado en el pilar de mantenimiento de calidad y la data recolectada de los operarios y personal de mantenimiento, se elabora el siguiente plan de mantenimiento que considera la actividad a realizarse, la frecuencia de uso de la máquina y las columnas para el seguimiento de la prestación del mantenimiento. Ver tabla 32.

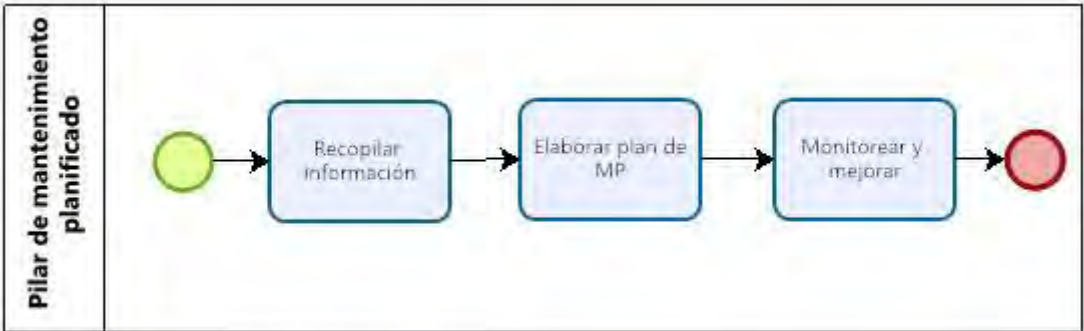
**Tabla 32**  
*Plan de mantenimiento planificado*

<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO</b>						
<b>Máquina</b>	<b>Actividad</b>	<b>Consideraciones</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Ejecutado</b>	<b>Firma</b>	<b>Observaciones</b>
TORNO CNC	Inspección de circuitos y cableados	Desenergizar la máquina	160 horas de uso			
	Ajuste de tuercas y tornillos	Usar herramientas de bronce	160 horas de uso			
	Limpiar tanque de refrigerante	Retirar la bomba del tanque	160 horas de uso			
	Cambio de rodamientos y empaques	Desenergizar la máquina	160 horas de uso			
	Cambiar filtros de refrigerante	Retirar la bomba del tanque	480 horas de uso			
	Revisión de voltaje	Desenergizar la máquina	960 horas de uso			
	Ajuste de bandas	Desenergizar la máquina	960 horas de uso			
	Revisión de mangueras	Retirar tuberías y vaciar sistema hidráulico	960 horas de uso			
	Cambiar aceite de transmisión	Desenergizar la máquina	1920 horas de uso			
	Limpieza del motor eléctrico	Desenergizar la máquina	1920 horas de uso			
	Calibración de máquina	Utilizar herramientas de precisión	1920 horas de uso			
	Verificar grietas y anomalías	Revisión de máquina energizada y desenergizada	1920 horas de uso			

*Elaboración propia*

Partiendo del plan de mantenimiento preventivo propuesto, se debe mantener un monitoreo de su cumplimiento. Cada ejecución debe ser documentada y anotada en este plan y las observaciones relevantes escritas donde corresponde. Esto para crear cierto nivel de trazabilidad a los mantenimientos realizados y las fallas o averías puedan ser explicadas con mayor facilidad. Este plan está sujeto a mejoras si los facilitadores así lo creen conveniente, la idea es sentar la base de un mantenimiento planificado que impulse la eficiencia de la maquinaria.

En síntesis, la implementación del pilar de mantenimiento planificado consta de 3 pasos: Recopilar información acerca de las fallas más recurrentes de la maquinaria, elaborar un plan que ataque las fallas más recurrentes e impulse un funcionamiento “cero averías” de la maquinaria, y por último monitorear la ejecución del plan y mejorarlo constantemente. Ver Figura 35.

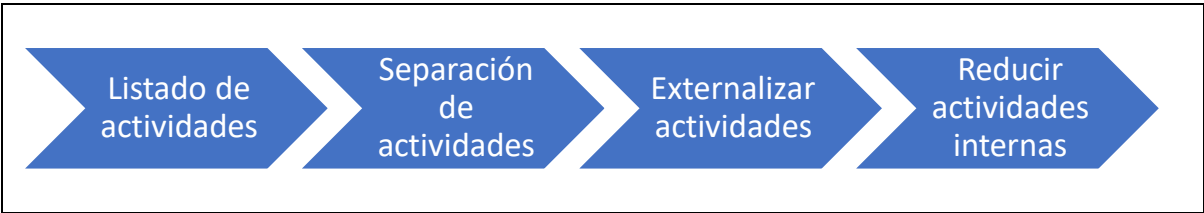


**Figura 35**  
Flujo de pilar de mantenimiento planificado

*Elaboración propia*

5.3.2. Componente 2: *SMED*

Para poder solucionar la demora en los tiempos de preparación, es importante para la realización de esta conocer el estado actual del proceso a mejorar. La ruta de implementación a seguir es la siguiente. Ver Figura 36.



**Figura 36**  
Secuencia de implementación

*Elaboración Propia.*

### 5.3.2.1. Listado de actividades

En esta etapa se procede a realizar una identificación de cada una de las actividades en la operación de preparación del torno CNC. Para esta etapa se tomaron los tiempos que se tardan en cada uno de los pasos de la preparación. A continuación, se presenta cada una de las actividades. Ver tabla 33.

**Tabla 33**  
*Listado de actividades de SETUP*

Ítem	Actividades	Tiempo (seg.)	Observación
1	Apagar máquina	30	
2	Buscar herramientas	660	Ubican y trasladan las herramientas
3	Preparar herramientas	300	
4	Preparar punzón	420	
5	Preparar mordazas	780	
6	VB del supervisor	600	
7	Preparar Chuck de sujeción	1320	
8	VB del supervisor	30	
9	Revisión de aceite	360	
10	Revisión de nivel de grasa	480	
11	Revisión de empaquetaduras	360	
12	Dibujar en CAD	3720	
13	VB del supervisor	600	
14	Reconocer dibujo en CAM	3060	
15	VB del supervisor	600	
16	Ingresar MP	660	
17	Encender máquina	30	

*Elaboración propia*

La preparación del torno inicia con el apagado de la máquina, inmediatamente después el operario va en busca de las herramientas necesarias y las lleva a la zona de preparación. Luego, se preparan las herramientas simples para luego prepara el punzón. Se preparan las mordazas y se espera el visto bueno del supervisor para continuar con la preparación de la máquina. Se prepara el Chuck de sujeción y se espera el visto bueno. Estos vistos buenos se realizan porque las herramientas pueden averiar la maquinaria si se usan o preparan de manera incorrecta. Siguen las revisiones de la máquina, primero la de aceite, luego la de grasa y por último las empaquetaduras. Se prosigue con el dibujo en CAD de la pieza solicitada por el cliente, este se aprueba y pasa a ingresarse al CAM del torno. Una vez subido al CAM se confirma con el supervisor y se inicia la carga de MP para iniciar la mecanización encendiendo la máquina. A partir del listado elaborado, se puede afirmar que los tiempos de *SETUP* totales son de 3.89 horas o 233.5 minutos. Las actividades de más duración son la del dibujo en CAD y la lectura de este en el torno mediante el CAM.

#### 5.3.2.2. Separación de actividades

En esta etapa se diferencian las actividades listadas entre internas o externas. Las actividades internas son aquellas que se realizan o solo pueden realizarse mientras la máquina está apagada; por otro lado, las externas son aquellas que se realizan o pueden realizarse mientras la máquina está encendida. Es así, que se presentan a detalle los tiempos de cada una y el detalle de su clasificación. Ver tabla 34.

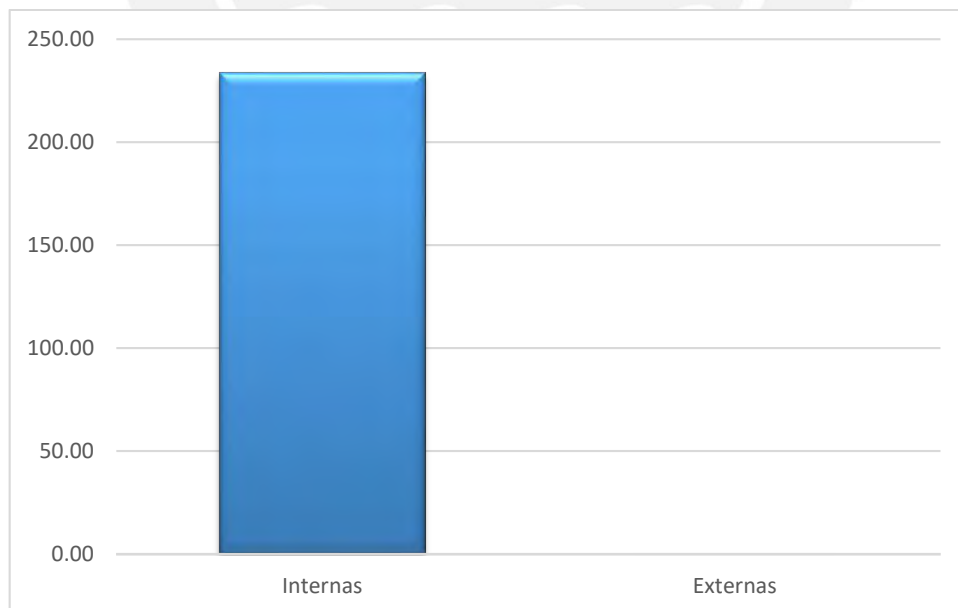
**Tabla 34**  
*Clasificación de actividades SMED*

Ítem	Actividades	Tiempo (seg.)	Clasificación
1	Apagar máquina	30	INTERNA
2	Buscar herramientas	660	INTERNA
3	Preparar herramientas	300	INTERNA
4	Preparar punzón	420	INTERNA
5	Preparar mordazas	780	INTERNA
6	VB del supervisor	600	INTERNA
7	Preparar Chuck de sujeción	1320	INTERNA
8	VB del supervisor	30	INTERNA
9	Revisión de aceite	360	INTERNA
10	Revisión de nivel de grasa	480	INTERNA

11	Revisión de empaquetaduras	360	INTERNA
12	Dibujar en CAD	3720	INTERNA
13	VB del supervisor	600	INTERNA
14	Reconocer dibujo en CAM	3060	INTERNA
15	VB del supervisor	600	INTERNA
16	Ingresar MP	660	INTERNA
17	Encender máquina	30	INTERNA

*Elaboración propia*

Para la preparación/programación del torno CNC de la empresa caso de estudio, se encuentran actividades innecesarias o que interrumpen el flujo, cómo los vistos buenos del supervisor que solo reflejan la falta de confianza en el personal por la falta de capacitación de estos. Por otra parte, existen tiempos altos en la búsqueda de herramientas y largas esperas en el diseño del dibujo en CAD. En el estado actual, la empresa realiza el total de sus actividades de *SETUP* del torno cuando apagan la máquina, es decir, todas sus actividades son internas en el estado actual del proceso de *SETUP*. En total, el tiempo de *SETUP*, que equivale a la sumatoria de los tiempos de las actividades internas, es de 233.5 minutos. Ver Figura 37.



**Figura 37**  
*Distribución de tiempo por tipo de actividad SMED*

*Elaboración propia*



### 5.3.2.3. Externalizar actividades

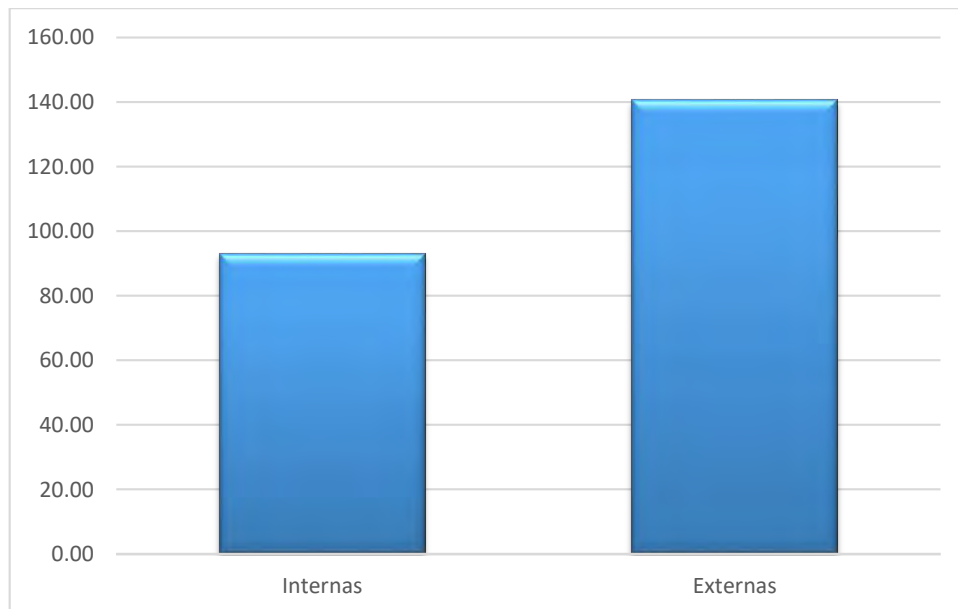
En la etapa de externalización de actividades se propone un nuevo orden para las actividades de *SETUP* del torno CNC. Este nuevo orden propone que ciertas actividades se realicen previo al apagado de la maquinaria ya que no es indispensable que la máquina se detenga para que estas puedan realizarse. El nuevo orden propuesto se presenta a continuación. Ver tabla 35.

**Tabla 35**  
*Actividades externalizadas SMED*

Ítem	Actividades	Tiempo (seg.)	Clasificación
1	Dibujar en CAD	3720	EXTERNA
2	VB del supervisor	600	EXTERNA
3	Buscar herramientas	660	EXTERNA
4	Preparar herramientas	300	EXTERNA
5	Preparar punzón	420	EXTERNA
6	Preparar mordazas	780	EXTERNA
7	VB del supervisor	600	EXTERNA
8	Preparar Chuck de sujeción	1320	EXTERNA
9	VB del supervisor	30	EXTERNA
10	Apagar máquina	30	INTERNA
11	Revisión de aceite	360	INTERNA
12	Revisión de nivel de grasa	480	INTERNA
13	Revisión de empaquetaduras	360	INTERNA
14	Reconocer dibujo en CAM	3060	INTERNA
15	VB del supervisor	600	INTERNA
16	Ingresar MP	660	INTERNA
17	Encender máquina	30	INTERNA

Nota. *Elaboración propia*

De esta forma, las primeras 9 actividades de *SETUP* se realizan mientras la máquina sigue operando. Dentro de estas se encuentra el diseño del dibujo en CAD la cual era la actividad con mayor duración de todo el proceso. Además, se incluye la búsqueda y las preparaciones de herramientas con sus respectivos vistos buenos pues en esta etapa solo se externaliza mas no se eliminan actividades. En total, el tiempo de *SETUP* en esta segunda etapa es de solo 93 minutos, equivalente a 40% del tiempo original. Ver Figura 38.



**Figura 38**  
*Distribución de tiempos por actividad externalizados SMED*

*Elaboración propia*

#### 5.3.2.4. Reducir actividades internas

La última etapa de la implementación de *SMED* es la reducción de los tiempos internos a través de inclusión de herramientas, eliminaciones o mejoras a las actividades. Cabe resaltar que no se realizó un diagrama Bimanual dado que solo enfoca las tareas, mientras que la metodología *SMED* se enfoca directamente en las actividades del proceso. En este caso la lista propuesta es la siguiente, como podemos ver en la tabla 36.

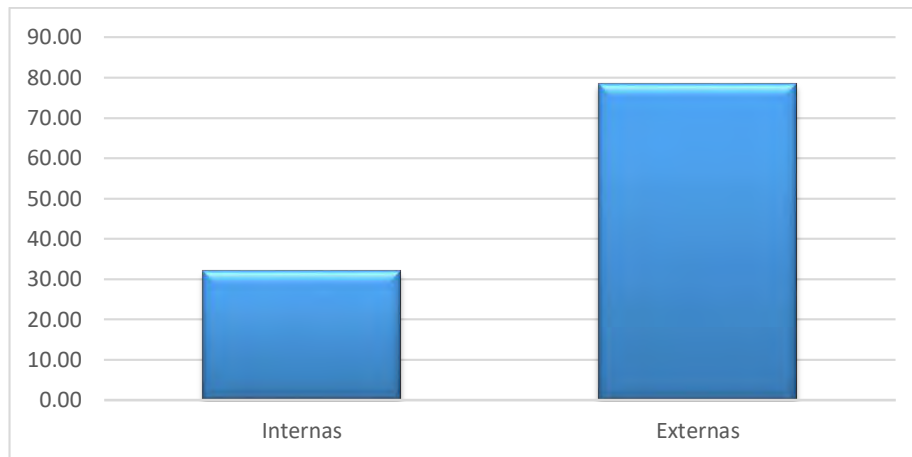
**Tabla 36**  
*Actividades internalizadas SMED*

Ítem	Actividades	Tiempo (seg.)	Clasificación
1	VB del supervisor	600	EXTERNA
2	Buscar herramientas	660	EXTERNA

3	Preparar herramientas	300	EXTERNA
4	Preparar punzón	420	EXTERNA
5	Preparar mordazas	780	EXTERNA
6	VB del supervisor	600	EXTERNA
7	Preparar Chuck de sujeción	1320	EXTERNA
8	VB del supervisor	30	EXTERNA
9	Reconocer dibujo en CAM	3060	EXTERNA
10	Apagar máquina	30	INTERNA
11	Revisión de aceite	360	INTERNA
12	Revisión de nivel de grasa	480	INTERNA
13	Revisión de empaquetaduras	360	INTERNA
14	Ingresar MP	660	INTERNA
15	Encender máquina	30	INTERNA

*Elaboración propia*

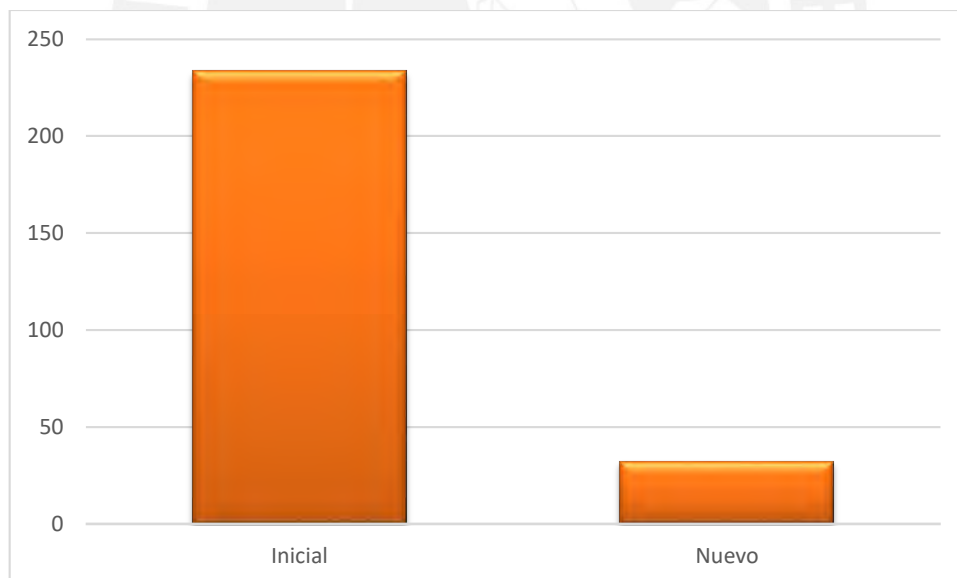
La primera gran mejora es la eliminación del listado a la actividad de dibujo en CAD, pues este puede ser tomado como un proceso distinto a realizarse partiendo de una planificación general. Si bien no es una reducción de tiempo de las actividades internas, es una mejora importante que se debe tener en cuenta. Luego, se eliminó el reconocimiento del dibujo en el CAM pues esta actividad pasa a considerarse externa, nuevamente, esta no es una reducción de los tiempos internos, pero es una mejora que solo puede estar dentro de esta última etapa por considerarse crítico. Asimismo, se elimina su visto bueno y con ello nos queda 32 minutos de actividades internas y 78.5 de externas. Ver Figura 39.



**Figura 39**  
*Distribución de tiempos para actividades internalizadas SMED*

*Elaboración propia.*

Con esto se culmina la implementación de *SMED* logrando reducir los tiempos de *SETUP* al 14% de la cantidad inicial. Esta reducción fue progresiva partiendo de un listado con una reorganización, luego externalizar algunas actividades y por último reducir los tiempos internos. Ver Figura 40.



**Figura 40**  
*Tiempos de SETUP inicial VS final*

*Elaboración propia.*

## Capítulo 6: Análisis de resultados

En el capítulo anterior se desarrolló el modo de implementación del modelo propuesto, se justificó la elección de las herramientas y se las vinculó con los problemas de la empresa caso de estudio. A partir de ello se propuso el modelo de solución al problema y se detalla el paso a paso de su implementación tanto para la metodología *TPM* como para la herramienta *SMED*. En el presente capítulo se analizarán los resultados de esta solución propuesta, para ello se realiza un piloto de implementación dentro de la empresa caso de estudio. Se relata el modo de implementación y se revisan los resultados para determinar si lo propuesto es eficaz o no.

### 6.1. Desarrollo del piloto de implementación

Para implementar a modo de piloto la solución propuesta se establece en primer lugar un cronograma de implementación, que además de servir de guía para los pasos, servirá de indicador de avance. Para este cronograma se tomó en cuenta los pasos descritos en el capítulo anterior y el alcance que tendrá este piloto. Ver tabla 37.

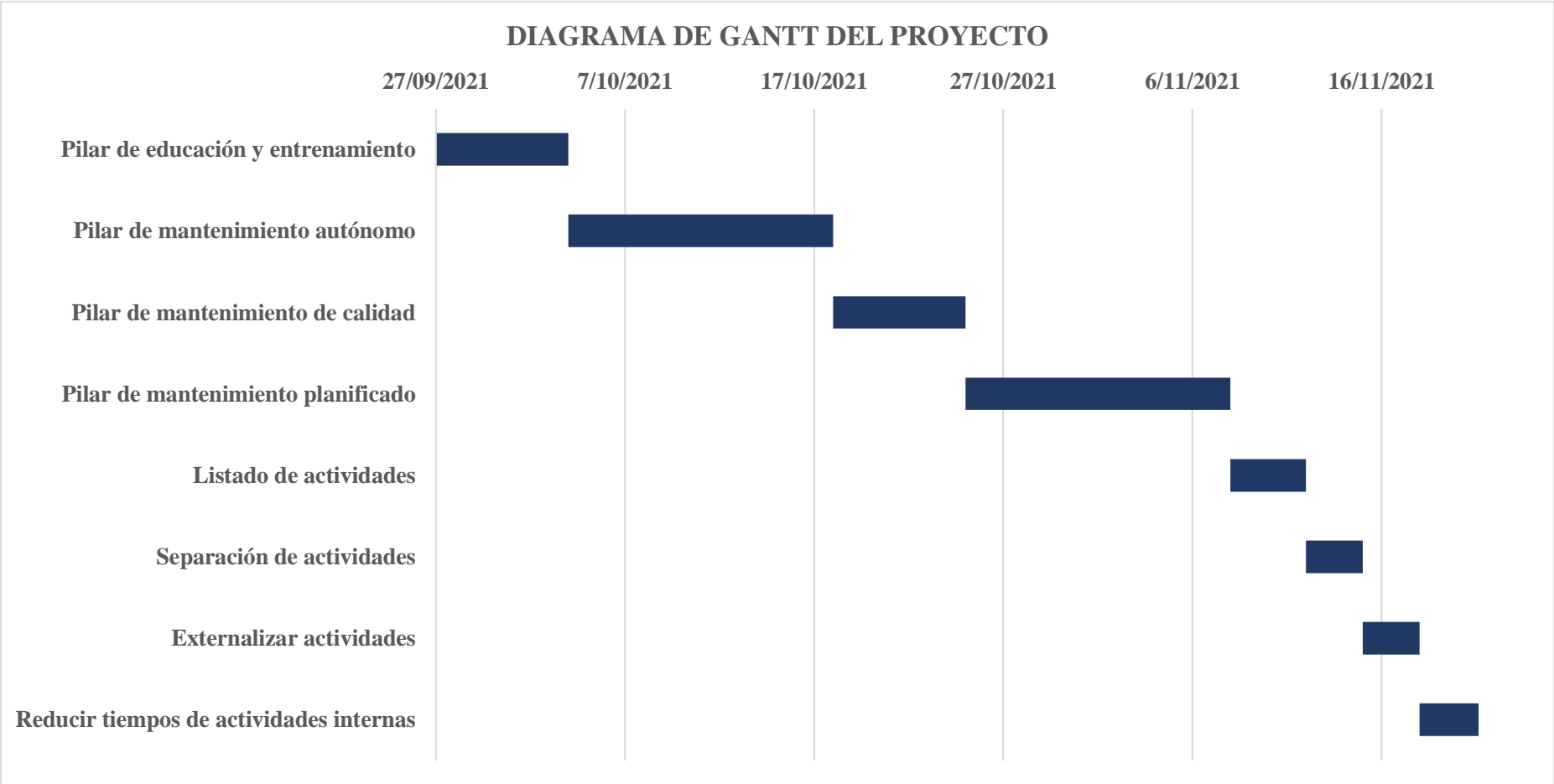
Las fechas propuestas para el piloto es el siguiente:

**Tabla 37**  
*Cronograma de piloto*

Hitos	Actividades	Fecha Inicio	Duración Días	Fecha Fin
<i>TPM</i>	Pilar de educación y entrenamiento	27/09/2021	7	3/10/2021
	Pilar de mantenimiento autónomo	4/10/2021	14	17/10/2021
	Pilar de mantenimiento de calidad	18/10/2021	7	24/10/2021
	Pilar de mantenimiento planificado	25/10/2021	14	7/11/2021
<i>SMED</i>	Listado de actividades	8/11/2021	4	11/11/2021
	Separación de actividades	12/11/2021	3	14/11/2021
	Externalizar actividades	15/11/2021	3	17/11/2021
	Reducir tiempos de actividades internas	18/11/2021	4	21/11/2021

Nota. *Elaboración propia*

Partiendo de este cronograma se elabora el siguiente Gantt para el piloto. Ver Figura 41.



**Figura 41**  
*Gantt del piloto*

*Elaboración propia*

Tal como se presenta en el cronograma de implementación del piloto, se inicia con el Pilar de educación y entrenamiento de la metodología *TPM*. Dentro del alcance del piloto se capacita únicamente a los operarios del torno CNC más no a los supervisores o jefes de la planta, es decir, se capacita únicamente a los multiplicadores *TPM* más no a los facilitadores ni mucho menos a los gestores. A estos se les capacita en la urgencia de interiorizar los objetivos *TPM* además se solucionaron los problemas identificados, también se les capacita en el concepto de estado óptimo de una máquina y las bases del mantenimiento preventivo autónomo y de calidad. Partiendo de estas bases se explica los procedimientos a seguir los formatos a llenar y los medios de comunicación que deberán utilizar para reportar inconvenientes obstáculos en la aplicación. Con esta información base los operarios se encuentran preparados para implementar los conceptos y las actividades desarrolladas dentro de la metodología *TPM* en sus actividades con el torno CNC. En la siguiente figura se evidencia a un grupo de operarios recibiendo su capacitación sobre las bases del mantenimiento autónomo y sobre el estado óptimo de las máquinas. Ver Figura 42.



**Figura 42**  
*Capacitación de operarios de Torno CNC*

*Elaboración propia*

Una vez capacitados los operarios se inicia la aplicación de lo enseñado sobre mantenimiento autónomo. Dentro de las actividades de mantenimiento autónomo se tiene la revisión del líquido refrigerante, la revisión del nivel del tanque de lubricante, la limpieza de virutas en las vías el torno, la limpieza de virutas en las torretas y extensiones, las revisiones de manómetro y la limpieza superficial externa de la máquina si es que es necesario. Los operarios realizan

estas actividades con las herramientas designadas y deben llenar un formato conocido como la cartilla de mantenimiento autónomo la cual permitirá dar un seguimiento a su realización. En la siguiente figura se presenta al torno CNC luego de una actividad de mecanizado, la máquina presenta virutas en sus carriles y en sus torretas. Ver Figura 43.



**Figura 43**  
*Torno CNC luego del mecanizado*

*Elaboración propia.*

En esta segunda imagen se presenta a un operario revisando el estado del manómetro y de las torretas y uniones del torno luego de su uso, en caso encuentre virutas o restos de mecanizado este procederá a realizar una limpieza superficial y en caso encuentre un problema o una situación que complique la próxima operación de la maquinaria deberá reportarlo a su jefe inmediato. Ver Figura 44.





**Figura 44**  
*Operario realizando el mantenimiento autónomo*

*Elaboración propia.*

Posterior al Pilar de mantenimiento autónomo, se desarrolla el Pilar de mantenimiento de calidad. En este, se identifican los modos de Falla sus causas y efectos de tal manera que se los pueda priorizar a través de niveles de ocurrencia, gravedad y detección. Para ello se conversó con los dueños de los procesos, con los supervisores y con los operarios involucrados. Tal es el caso de la siguiente figura en la que se evidencia al supervisor de planta y a un operario de torno CNC discutiendo sobre los posibles modos y efectos de Falla de este. Luego de esta identificación se discute junto a ellos los niveles otorgados a los criterios de ocurrencia, gravedad y detección. Asimismo, se proponen medidas de control que ayuden a reducir los niveles de criticidad de estos modos de fallas detectados. Ver Figura 45.



**Figura 45**

*Identificando los modos de fallo del torno CNC*

*Elaboración propia.*

A partir de los fallos identificados en el desarrollo del Pilar de mantenimiento de calidad, se elabora un plan de mantenimiento preventivo para el torno CNC considerando los modos de falla y las principales causas de para maquinaria. El resultado de este ejercicio se presenta en la **Tabla 32**. En esta, se programan inspecciones, ajustes, limpiezas, cambios y revisiones a los distintos componentes y partes de la maquinaria, resaltando las herramientas o comentarios para cada una y remarcando el tiempo de uso que será tomado como frecuencia de realización para cada actividad de mantenimiento planificado. En la siguiente figura, se observa a los operarios de mantenimiento revisando las mangueras del torno, el cual ha sido desmantelado para una limpieza completa, cambio de sensores, rodamientos y empaques. Ver Figura 46.



**Figura 46**  
*Mantenimiento planificado*

*Elaboración propia.*

Posterior a la implementación de la metodología *TPM* se procede a la aplicación de la herramienta *SMED* para la programación del torno CNC. En ese caso, al igual que en el anterior, se mantiene el orden propuesto en el capítulo 5. Es así como se inicia con un listado de actividades de *SETUP* donde se identifica el paso a paso de la programación de la maquinaria al iniciar un nuevo proceso de mecanizado para un nuevo cliente con una forma distinta para el material. Asimismo, se toma los tiempos de cada actividad y se ubica toda esta información en una tabla, esta es la **Tabla 33**. Para tomar estos datos su ejemplo la programación realizada por 2 operarios distintos para mecanizados distintos, si bien las máquinas no son las mismas, éstas operan de la misma forma, y deberían ser programadas de la misma manera. En las Figuras 47 Y 48 presentadas a continuación se encuentran los operarios programando el mecanizado de sus respectivos tornos.



**Figura 47**  
*SETUP torno operario 1*

*Elaboración propia*



**Figura 48**  
*SETUP torno operario 2*

*Elaboración propia*

Luego de enlistar las actividades de *SETUP*, se procede a clasificarlas como externas e internas dependiendo de si son realizadas cuando la máquina está en funcionamiento o cuando es apagada. Esta clasificación es presentada en la **Tabla 34**. Luego de clasificarlas, se procede a reorganizar el orden en el que son realizadas y se las externaliza para que la mayoría de las actividades sean externas de manera que el tiempo perdido por programación cuando la maquinaria está apagada sea el menor posible. La propuesta de externalización se encuentra presentada en la **Tabla 35**. Por último, se reduce el tiempo de las actividades internas, ya sea eliminándolas, cambiándolas o mejorándolas. Siguiendo este objetivo, se elimina la actividad de dibujo en CAD y su respectivo ingreso en el CAM del torno, del conjunto de actividades de *SETUP*. De esta forma, la lista de actividades de programación de la maquinaria queda como la presentada en la **Tabla 36**. En la siguiente figura se presenta a un trabajador realizando el dibujo en CAD como un proceso aparte de la programación, dentro de los procesos de planificación de la producción. Este importante cambio nos permite reducir a casi un 14% los tiempos de programación de la maquinaria respecto a los tiempos iniciales. Ver Figura 49.



**Figura 49**  
*Proceso de dibujo de pieza*

*Elaboración propia.*

Con ello culmina la implementación del piloto dentro de la empresa caso de estudio y se procede a evaluar los resultados obtenidos para corroborar que la propuesta de solución es eficaz en solucionar los problemas incrementando la utilización de la capacidad de la empresa.

## 6.2. Análisis de resultados

Para medir la eficacia del modelo de solución propuesto debemos evaluar el comportamiento de nuestros indicadores, presentados en el capítulo anterior. De esta forma se mide el promedio de las horas de parada de maquinaria por día y el promedio de las horas de *SETUP* por semana.

### 6.2.1. Horas de parada de maquinaria

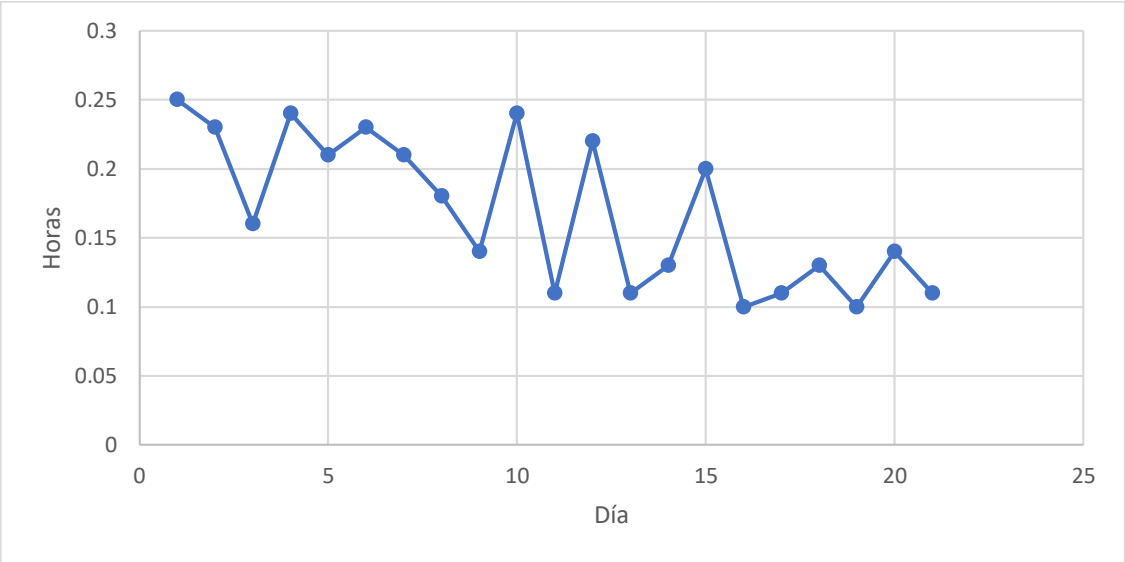
En concordancia con lo dispuesto en la ficha de indicador de horas de parada de máquina, se hace un seguimiento diario a los tiempos de parada durante las 3 semanas de seguimiento del piloto. Los tiempos fueron los siguientes. Ver tabla 38.

**Tabla 38**  
*Horas de parada diaria de prueba piloto*

Día	Horas de parada de máquina
1	0.25
2	0.23
3	0.16
4	0.24
5	0.21
6	0.23
7	0.21
8	0.18
9	0.14
10	0.24
11	0.11
12	0.22
13	0.11
14	0.13
15	0.2
16	0.1
17	0.11
18	0.13
19	0.1
20	0.14
21	0.11

Nota. *Elaboración propia*

En promedio las horas de paradas diarias fueron de 0.17, acumulando 3.55 horas durante los 21 días de seguimiento. Estos tiempos fueron cortos a comparación a lo encontrado en el diagnóstico, siendo apenas una prueba piloto de alcance incompleto ya se observa una mejora en la disponibilidad de la maquinaria gracias a los pilares del *TPM*. Gráficamente el comportamiento de los tiempos fue el siguiente. Ver Figura 50.



**Figura 50**  
*Comportamiento de las horas de parada prueba piloto*

*Elaboración propia*

A partir de la gráfica se puede afirmar que las horas de parada van disminuyendo conforme pasan los días. Esto puede deberse a la curva de aprendizaje de los operarios y a la interiorización de las nuevas prácticas de mantenimiento. En comparación con el tiempo del diagnóstico del capítulo 2, este ha disminuido en 50% comparado con el promedio encontrado en la prueba piloto, alcanzando la “luz amarilla” del semáforo descrito en la ficha de indicador. Existe justificación suficiente para afirmar que la propuesta de implementación de la metodología *TPM* es eficaz y logra reducir los tiempos de parada de máquina del torno CNC. Ver Figura 51.



**Figura 51**  
Semáforo de indicador horas de parada

*Elaboración propia.*

### 6.2.2. Hora de **SETUP**

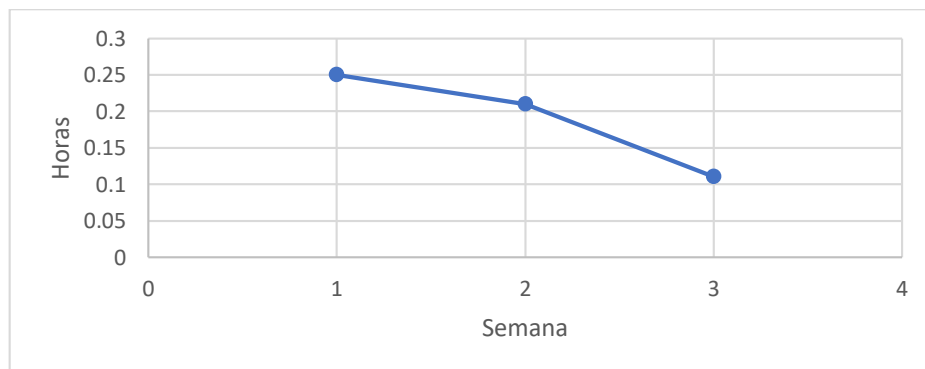
Respetando lo establecido en el indicador de horas perdidas en **SETUP**, se da seguimiento a las horas semanales invertidas en **SETUP** del torno CNC durante las 3 semanas de estudio del piloto. La relación de horas es la siguiente, acorde a la tabla 39.

**Tabla 39**  
Horas semanales de **SETUP** prueba piloto

Semana	Horas semanales
1	0.25
2	0.21
3	0.11

Nota. *Elaboración propia*

Para observar mejor el comportamiento de los tiempos se elabora la siguiente gráfica. Ver Figura 52.



**Figura 52**  
Comportamiento de las horas de **SETUP** prueba piloto

*Elaboración propia*



Con el pasar de las semanas los tiempos disminuyen considerablemente, con un promedio de 0.19 horas semanales. Con el pasar de las semanas estos tiempos van disminuyendo conforme los operarios interiorizan las nuevas actividades de *SETUP* y el orden en el que se realizan. Esta cantidad alcanza la “luz verde” del semáforo descrito en la ficha de indicador. Es así, que se confirma que la propuesta de utilizar *SMED* para reducir los tiempos de *SETUP* fue acertada. Ver Figura 53.



**Figura 53**  
Semáforo de indicador horas de *SETUP*

*Elaboración propia.*

### 6.2.3. Resultados finales

Considerando lo obtenido en la prueba piloto, el resultado de la utilización es la producción obtenida en dichas semanas entre la producción teórica por semana. Esta última tiene un valor de 144 unidades de placa superior/inferior, lo producido en las 3 semanas de estudio del piloto se presenta en la tabla 40.

**Tabla 40**  
*Relación de producción de unidades y utilización en prueba piloto*

Concepto	Unidad
<b>Producción semanal teórica</b>	104
<b>Producción semana 1</b>	100
<b>Utilización semana 1</b>	69%
<b>Producción semana 2</b>	107

<b>Utilización semana 2</b>	74%
<b>Producción semana 3</b>	113
<b>Utilización semana 3</b>	78%

Nota. *Elaboración propia*

La utilización de la capacidad promedio obtenida durante la prueba piloto fue de 74%, esta cantidad supera en más de 4 puntos porcentuales al porcentaje obtenido inicialmente. Este resultado final refleja la eficacia de la propuesta de solución, logra incrementar el indicador del objetivo general hasta un punto entre lo aceptable y lo ideal definido en el semáforo de indicador propuesto en el capítulo 4. Ver Figura 54.



**Figura 54**  
Semáforo de indicador utilización de la capacidad

*Elaboración propia.*

## Capítulo 7: Evaluación económica

En el presente Capítulo, se detallará el presupuesto de la propuesta de mejora, con la finalidad de aplicar la metodología Lean *SMED* y *TPM* en la empresa en materia de estudio. Para tal fin, se realiza una simulación de un préstamo bancario a través de un financiamiento a cuotas por 5 años. Asimismo, se realizará un Flujo neto de caja, así como el análisis de la VAN y la TIR para evaluar la viabilidad del Proyecto de implementación.

### 7.1. Presupuesto de la propuesta

Para el modelo de solución propuesto se consideran los siguientes costos de implementación. Ver tabla 41.

**Tabla 41**  
Presupuesto de la Propuesta

Actividad	Unidad	Costo	Cantidad	Subtotal
<b>1. TPM</b>				<b>S/ 44,200.00</b>
1.1. Pilar de educación y Entrenamiento				S/ 17,200.00
1.1.1. Reuniones	H-H	270	15	S/ 4,050.00
1.1.2. Capacitaciones	H-H	500	23.5	S/ 11,750.00
1.1.3. Consultoría	H-H	70	20	S/ 1,400.00
1.2. Pilar de Mantenimiento Autónomo				S/ 13,600.00
1.2.1. Reuniones	H-H	170	10	S/ 1,700.00
1.2.2. Herramientas MA	NA	7000	NA	S/ 7,000.00
1.2.3. Recopilación de información	H-H	140	20	S/ 2,800.00
1.2.4. Consultoría	H-H	70	30	S/ 2,100.00
1.3. Pilar de Mantenimiento de Calidad				S/ 8,500.00
1.3.1. Reuniones	H-H	170	15	S/ 2,550.00
1.3.2. Recopilación de información	H-H	140	25	S/ 3,500.00
1.3.3. Consultoría	H-H	70	35	S/ 2,450.00
1.4. Pilar de Mantenimiento Preventivo				S/ 4,900.00
1.4.1. Reuniones	H-H	210	15	S/ 3,150.00
1.4.1. Consultoría	H-H	70	25	S/ 1,750.00
<b>2. SMED</b>				<b>S/ 21,600.00</b>
2.1. Listar Actividades				S/ 4,450.00
2.1.1. Reuniones	H-H	170	20	S/ 3,400.00
2.1.2. Consultoría	H-H	70	15	S/ 1,050.00
2.2. Separar actividades				S/ 5,250.00
2.2.1. Reuniones	H-H	210	20	S/ 4,200.00
2.2.2. Consultoría	H-H	70	15	S/ 1,050.00
2.3. Externalizar actividades				S/ 6,650.00

2.3.1. Reuniones	H-H	210	25	S/ 5,250.00
2.3.2. Consultoría	H-H	70	20	S/ 1,400.00
2.4. Reducir actividades internas				S/ 5,250.00
2.4.1. Reuniones	H-H	210	20	S/ 4,200.00
2.4.2. Consultoría	H-H	70	15	S/ 1,050.00
<b>Total</b>				<b>S/65,800.00</b>

*Nota. Elaboración propia*

## 7.2. Financiamiento de la propuesta

El costo total de la implementación será cubierto por un financiamiento bancario, es decir, la empresa debe considerar las cuotas mensuales a las que será sometido como parte de la implementación de la propuesta. Asumiendo una TEA de 8% equivalente a una TEM de 0.54% para las 60 cuotas mensuales. Bajo estos criterios los cálculos para los pagos mensuales son los siguientes: El primer cálculo realizado es el de las cuotas mensuales para los 60 meses en cuestión, luego el interés es la multiplicación de la TEM por el valor residual de la deuda y la amortización la resta entre la cuota y el interés. De esta forma, con el pasar de los meses el valor del interés se va reduciendo y el de las amortizaciones se va incrementando. Ver tabla 42.

**Tabla 42**  
Tabla de amortización

Mes	Balance Inicial	Interés	Amortización	CUOTA	Balance Final
0					S/65,800.00
1	S/65,800.00	S/423.36	S/902.05	S/1,325.41	S/64,897.95
2	S/64,897.95	S/417.56	S/907.86	S/1,325.41	S/63,990.09
3	S/63,990.09	S/411.71	S/913.70	S/1,325.41	S/63,076.39
4	S/63,076.39	S/405.84	S/919.58	S/1,325.41	S/62,156.81
5	S/62,156.81	S/399.92	S/925.49	S/1,325.41	S/61,231.32
6	S/61,231.32	S/393.96	S/931.45	S/1,325.41	S/60,299.87
7	S/60,299.87	S/387.97	S/937.44	S/1,325.41	S/59,362.43
8	S/59,362.43	S/381.94	S/943.47	S/1,325.41	S/58,418.95
9	S/58,418.95	S/375.87	S/949.54	S/1,325.41	S/57,469.41
10	S/57,469.41	S/369.76	S/955.65	S/1,325.41	S/56,513.76
11	S/56,513.76	S/363.61	S/961.80	S/1,325.41	S/55,551.96
12	S/55,551.96	S/357.42	S/967.99	S/1,325.41	S/54,583.97
13	S/54,583.97	S/351.19	S/974.22	S/1,325.41	S/53,609.75
14	S/53,609.75	S/344.93	S/980.49	S/1,325.41	S/52,629.26
15	S/52,629.26	S/338.62	S/986.79	S/1,325.41	S/51,642.47
16	S/51,642.47	S/332.27	S/993.14	S/1,325.41	S/50,649.32
17	S/50,649.32	S/325.88	S/999.53	S/1,325.41	S/49,649.79
18	S/49,649.79	S/319.45	S/1,005.96	S/1,325.41	S/48,643.82

19	S/48,643.82	S/312.98	S/1,012.44	S/1,325.41	S/47,631.39
20	S/47,631.39	S/306.46	S/1,018.95	S/1,325.41	S/46,612.44
21	S/46,612.44	S/299.91	S/1,025.51	S/1,325.41	S/45,586.93
22	S/45,586.93	S/293.31	S/1,032.11	S/1,325.41	S/44,554.82
23	S/44,554.82	S/286.67	S/1,038.75	S/1,325.41	S/43,516.08
24	S/43,516.08	S/279.98	S/1,045.43	S/1,325.41	S/42,470.65
25	S/42,470.65	S/273.26	S/1,052.16	S/1,325.41	S/41,418.49
26	S/41,418.49	S/266.49	S/1,058.93	S/1,325.41	S/40,359.57
27	S/40,359.57	S/259.67	S/1,065.74	S/1,325.41	S/39,293.83
28	S/39,293.83	S/252.82	S/1,072.60	S/1,325.41	S/38,221.23
29	S/38,221.23	S/245.92	S/1,079.50	S/1,325.41	S/37,141.74
30	S/37,141.74	S/238.97	S/1,086.44	S/1,325.41	S/36,055.30
31	S/36,055.30	S/231.98	S/1,093.43	S/1,325.41	S/34,961.86
32	S/34,961.86	S/224.95	S/1,100.47	S/1,325.41	S/33,861.40
33	S/33,861.40	S/217.87	S/1,107.55	S/1,325.41	S/32,753.85
34	S/32,753.85	S/210.74	S/1,114.67	S/1,325.41	S/31,639.17
35	S/31,639.17	S/203.57	S/1,121.85	S/1,325.41	S/30,517.33
36	S/30,517.33	S/196.35	S/1,129.06	S/1,325.41	S/29,388.26
37	S/29,388.26	S/189.08	S/1,136.33	S/1,325.41	S/28,251.94
38	S/28,251.94	S/181.77	S/1,143.64	S/1,325.41	S/27,108.30
39	S/27,108.30	S/174.42	S/1,151.00	S/1,325.41	S/25,957.30
40	S/25,957.30	S/167.01	S/1,158.40	S/1,325.41	S/24,798.90
41	S/24,798.90	S/159.56	S/1,165.86	S/1,325.41	S/23,633.04
42	S/23,633.04	S/152.06	S/1,173.36	S/1,325.41	S/22,459.68
43	S/22,459.68	S/144.51	S/1,180.91	S/1,325.41	S/21,278.78
44	S/21,278.78	S/136.91	S/1,188.50	S/1,325.41	S/20,090.27
45	S/20,090.27	S/129.26	S/1,196.15	S/1,325.41	S/18,894.12
46	S/18,894.12	S/121.57	S/1,203.85	S/1,325.41	S/17,690.27
47	S/17,690.27	S/113.82	S/1,211.59	S/1,325.41	S/16,478.68
48	S/16,478.68	S/106.02	S/1,219.39	S/1,325.41	S/15,259.29
49	S/15,259.29	S/98.18	S/1,227.23	S/1,325.41	S/14,032.06
50	S/14,032.06	S/90.28	S/1,235.13	S/1,325.41	S/12,796.93
51	S/12,796.93	S/82.34	S/1,243.08	S/1,325.41	S/11,553.85
52	S/11,553.85	S/74.34	S/1,251.08	S/1,325.41	S/10,302.77
53	S/10,302.77	S/66.29	S/1,259.12	S/1,325.41	S/9,043.65
54	S/9,043.65	S/58.19	S/1,267.23	S/1,325.41	S/7,776.42
55	S/7,776.42	S/50.03	S/1,275.38	S/1,325.41	S/6,501.04
56	S/6,501.04	S/41.83	S/1,283.59	S/1,325.41	S/5,217.46
57	S/5,217.46	S/33.57	S/1,291.84	S/1,325.41	S/3,925.62
58	S/3,925.62	S/25.26	S/1,300.16	S/1,325.41	S/2,625.46
59	S/2,625.46	S/16.89	S/1,308.52	S/1,325.41	S/1,316.94
60	S/1,316.94	S/8.47	S/1,316.94	S/1,325.41	S/0.00
		<b>S/13,724.78</b>	<b>S/65,800.00</b>	<b>S/79,524.78</b>	

Nota. *Elaboración propia*

## 7.2. Flujo Neto Financiero.

A continuación, se presentará la tabla de flujo neto de caja, que incluye los ingresos extra que contraerán por el incremento de la utilización de la capacidad de la empresa. Además, se tienen en cuenta los costos variables que esto implica, como los costos de materia prima y los costos de mano de obra. Los gastos fijos que se incluyen son los gastos de implementación de la propuesta que se distribuyen a través de los 5 años evaluados en el flujo. Para esta inversión se considera un CPPC de 8%, equivalente al riesgo financiero calculado por el banco. Es este, el que se considera como TEA para los cálculos de la amortización. Todos los costos de la implementación de la propuesta son cubiertos por el banco y únicamente se considera como inversión intelectual. Ver tabla 43.



**Tabla 43**  
Flujo neto financiero

<b>FLUJO NETO FINANCIERO</b>						
<b>Concepto</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Incremento de Producción (placa superior-inferior)		371	371	371	371	371
Valor de venta por und	S/1,000.00					
Ingresos por venta		S/371,000.00	S/371,000.00	S/371,000.00	S/371,000.00	S/371,000.00
Costos variables por und	S/748.00	-S/277,508.00	-S/277,508.00	-S/277,508.00	-S/277,508.00	-S/277,508.00
Gastos Fijos		-S/30,000.00	-S/10,000.00	-S/10,000.00	-S/10,000.00	-S/8,500.00
Gastos de publicidad		-	-	-	-	-
Costo de oportunidad		-	-	-	-	-
Depreciación Activo Fijo		-	-	-	-	-
Utilidad Operativa		S/63,492.00	S/83,492.00	S/83,492.00	S/83,492.00	S/84,992.00
Gastos Financieros		-S/4,688.92	-S/3,791.64	-S/2,822.57	-S/1,775.98	-S/645.66
Utilidad antes de participaciones e impuestos		S/58,803.08	S/79,700.36	S/80,669.43	S/81,716.02	S/84,346.34
Participación trabajadores 10%		-S/5,880.31	-S/7,970.04	-S/8,066.94	-S/8,171.60	-S/8,434.63
Utilidad antes de Impuestos		S/ 52,922.77	S/ 71,730.33	S/ 72,602.48	S/ 73,544.42	S/ 75,911.70
Impuesto a la Renta		-S/ 15,612.22	-S/ 21,160.45	-S/ 21,417.73	-S/ 21,695.60	-S/ 22,393.95
<b>Utilidad Neta</b>		<b>S/37,310.55</b>	<b>S/50,569.88</b>	<b>S/51,184.75</b>	<b>S/51,848.81</b>	<b>S/53,517.75</b>
+ Depreciación de Act. Fijo		-	-	-	-	-
- Amortización de la deuda		-S/11,216.03	-S/12,113.32	-S/13,082.38	-S/14,128.97	-S/15,259.29
Flujo de Efectivo Neto (a)		S/26,094.52	S/38,456.56	S/38,102.37	S/37,719.84	S/38,258.46
Inversión en maquinaria		-				
Inversión en capital trabajo		-S/65,800.00				
+ Valor de rescate de la maquinaria						
+ Recuperación del capital de trabajo						
Flujo de Inversiones (b)		-S/65,800.00	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>Flujo de Efectivo Neto (a) + (b)</b>		<b>-S/65,800.00</b>	<b>S/26,094.52</b>	<b>S/38,456.56</b>	<b>S/38,102.37</b>	<b>S/37,719.84</b>
			<b>S/38,258.46</b>			

Nota. Elaboración propia

### 7.3. Viabilidad de la Propuesta

Los resultados se presentan optimistas generando ganancias desde el primer año de implementación y con resultados similares para los demás años. Esto significa que la propuesta parece ser viable económicamente y podría ser implementada sin riesgo a pérdida. Para tener la certeza de que esta inversión es rentable, es necesario calcular los indicadores financieros como el **VAN** y el **TIR**.

Partiendo de los resultados obtenidos en el flujo neto financiero, se calculan los indicadores que dictarán la rentabilidad de la propuesta. Ver tabla 44 y 45.

**Tabla 44**  
Resumen de indicadores financieros

Tasa de descuento CPPC =	8.00%
Valor Presente Neto VAN =	S/75,342.06
Tasa Interna de Retorno TIR=	42.74%

Nota. *Elaboración propia*

**Tabla 45**  
Distribución de financiamiento

Distribución	Deuda	Participación	Costo	Costo Pond.
Pasivos	S/ 65,800.00	100.00%	8.00%	8.000%
Patrimonio	\$ 0	0.00%	20.00%	0.000%
	\$ 65,800	<b>100.00%</b>		<b>8.000%</b>

Nota. *Elaboración propia*

Es así, que se calcula el VAN obteniendo un valor de S/75,342.06 lo que supera con creces el valor invertido y representa lo rentable de la implementación. Luego, se calcula el valor del TIR con un resultado de 42.74% que refleja la viabilidad de la propuesta. De esta forma, con ambos indicadores se comprueba la rentabilidad y así la viabilidad de implementar el modelo de solución propuesto.



# Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones

## 8.1. Conclusiones

- El giro de negocio de la empresa en materia de estudio enfoca principalmente dos negocios: estructuras mecánicas y fabricación de piezas mecanizadas. Dado que esta última representa un volumen del 60% de las ventas anuales, enfocaremos el análisis de mejoras aplicando metodologías Lean en este negocio.
- La empresa fabrica principalmente 3 productos mecanizados: Rodillos de Pistón, válvulas de llenado y Placa Superior / Inferior. En el 2020, el producto que más se vendió y fabricó fue la Placa Superior / Inferior, dando ingresos anuales de S/ 5,024,000.00, lo cual representa el 43% de las ventas anuales de piezas mecanizadas. Por tal motivo, el enfoque de mejoras estará orientado en los procesos de fabricación del producto en mención.
- Para poder calcular los tiempos estándares, se realizaron Tomas de Tiempos reales de los procesos, que con las calificaciones de velocidad del Sistema Westinghouse se obtuvieron los tiempos Normales de trabajo. Luego, con la tabla de suplementos de la Organización Internacional del Trabajo, se obtuvieron dichos tiempos estándares del proceso productivo. A través de este procedimiento, se concluye que el proceso total demora 2.03 horas.
- Al calcular la capacidad máxima de producción usando los tiempos estándares, se concluye que la capacidad la dirige el proceso que genera el cuello de botella, que en este caso es el Proceso de Rebajado, lo cual da un total 7237 unidades año. Actualmente, la empresa fabrica apenas 5024 unidades, lo cual refleja que la utilización es de 69.41%.
- Al identificar las principales causas de la baja utilización, evaluamos tres principales factores: altos tiempos de *SETUP*, Paradas recurrentes de máquina y productos defectuosos. Los tiempos de *SETUP* varían alrededor 5.6 horas al mes en promedio llegando a acumular 67 horas durante el año 2020, esto significa que el 2.95% del tiempo de trabajo del 2020 fue destinado a la programación del torno CNC. Asimismo, el torno suele estar parado por averías 9.4 horas al mes en promedio, alcanzando las 113 horas durante el 2020. Casi el 5% de las horas trabajadas durante el 2020 fueron horas de parada por averías en el torno CNC. Finalmente, según el histórico se elaboran en promedio 5.8 productos defectuosos al mes y durante el 2020 se elaboraron 69, el 1.37% de la producción de dicho año fue defectuosa.

- Los costos de los impactos por la baja utilización son los siguientes: S/. 210,000 por altos tiempos de *SETUP*, S/354,000 por Paradas de maquinaria y, S/. 20,700 por productos defectuosos, lo cual da un total de S/584,700.0
- Al realizar un análisis de causa raíces de los principales problemas que ocasiona la baja utilización de la maquinaria, podemos indicar que los altos tiempos de *SETUP* son causados por falta de estandarización del proceso de *SETUP*; las paradas de máquinas son causados principalmente por un mal seguimiento del plan de mantenimiento y, los productos defectuosos por una mala lubricación de la maquinaria.
- Una vez aplicado la propuesta de mejoras durante el piloto de evaluación, se obtuvieron resultados favorables: En promedio las horas de paradas diarias fueron de 0.17, acumulando 3.55 horas durante los 21 días de seguimiento del Piloto, En comparación con el tiempo diagnóstico del capítulo 2, este ha disminuido en 50% comparado con el promedio encontrado en la prueba piloto.
- En relación a los tiempos de *SETUP*, Con el pasar de las semanas los tiempos disminuyen considerablemente, con un promedio de 0.19 horas semanales, estos tiempos van disminuyendo conforme los operarios interiorizan las nuevas actividades de *SETUP* y el orden en el que se realizan.
- La utilización de la capacidad promedio obtenida durante la prueba piloto fue de 74%, esta cantidad supera en más de 6 puntos porcentuales al porcentaje obtenido inicialmente. Este resultado final refleja la eficacia de la propuesta de solución
- Por último, en el capítulo 7 se pone a prueba la viabilidad económica de la propuesta logrando un TIR de 42.6% y un VAN de S/74,694.31. Estos resultados indican que la propuesta es rentable y conllevará a futuras ganancias para la empresa en caso sea aplicado de manera completa.

### 8.1. Recomendaciones

- Se recomienda que la empresa mantenga esta filosofía Lean de siempre buscar mejorar los procesos. El liderazgo de la Alta Gerencia será importante en este sentido, dado que deberá alimentar con este espíritu a los colaboradores recurrentemente.
- El impacto positivo de la aplicación de las herramientas Lean en la empresa en materia de estudio puede verse vulnerable en el tiempo y se podría ver afectada, por tal motivo, se sugiere a la Alta Gerencia que puedan incluir, dentro de los parámetros de Gestión anual, la Filosofía Lean como parte de la Directriz de la Compañía.
- Asimismo, es recomendable que la Alta Gerencia pueda visualizar a futuro el implementar nuevas herramientas Lean Manufacturing que no se incluyeron en este

trabajo de investigación, con la finalidad de que sus procesos y productos generen Valor en el tiempo, y tengan un gran impacto en sus clientes.

## Bibliografía

- Bataineh, O. A.-H. (2019). A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25, 144-161. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2017-0045>
- Bhade, S. &. (2020). Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by SMED. *Materials Today: Proceedings*, 24(2), 463–472. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.298>
- Chahal, V., & Narwal, M. (2017). An empirical review of lean manufacturing and their strategies. *Management Science Letters*, 7, 321-336.
- Chandrayan, B., Kumar Solanki, A., & Sharma, R. (2019). Study of 5S lean technique: a review paper. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 26(4), 469-491.
- De Oliveira, R. I., Oliveira Sousa, S., & Celso de Campos, F. (2019). Lean manufacturing implementation: bibliometric analysis 2007–2018. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 979-988.
- Dos Reis, M. D. (2019). A TPM strategy implementation in an automotive production line through loss reduction. *Procedia Manufacturing*, 38, 908–915. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.173>
- Dresch, A. V. (2019). Inducing Brazilian manufacturing SMEs productivity with Lean tools. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68, 69-87. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2017-0248>
- El Abbadi, L., Elrhani, S., & El Manti, S. (2020). A Literature Review on the Evolution of Lean Manufacturing. *Journal of System and Management Sciences*, X(4), 13-30. doi:10.33168/JSMS.2020.0402
- García Criollo, R. (1998). *Estudio del Trabajo* (Segunda ed., Vol. I). Mc Graw Hill.
- Guariente, P. A. (2017). Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer. *Procedia Manufacturing*, XIII, 1128–1134. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.174>

- Haddad, T., W. Shaheen, B., & Nemeth, I. (2021). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach. *Manufacturing Technology*, 21(1), 56-64.
- INEI. (2016). Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>
- Kumar, N., & Mathiyazhagan, K. (2020). Sustainability in lean manufacturing: a systematic. *International Journal of Business Excellence*, 20(3).
- Lozano, J., Saenz-Diez, J., Martinez, E., Jiménez, E., & Blanco, J. (s.f.). Centerline-SMED integration for machine changeovers improvement in food industry. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*, 30(9), 764-778.
- Monteiro, C. F. (2019). Improving the Machining Process of the Metalwork Industry by Upgrading Operative Sequences, Standard Manufacturing Times and Production Procedure Changes. *Procedia Manufacturing*, 38, 1713-1722. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.106>
- Monteiro, C. F. (2019). Improving the machining process of the metalworking industry using the lean tool SMED. *Procedia Manufacturing*, XLI, 555–562. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.043>
- Morales Méndez, J. D. (2017). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 1013–1026. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4>
- P. Mishra, R., Gupta, G., & Sharma, A. (2021). Development of a Model for Total Productive Maintenance Barriers to Enhance the Life Cycle of Productive Equipment. *Procedia CIRP*, 241-246.
- Pačaiová, H., & Ižaríková, G. (2019). Base Principles and Practices for Implementation of Total Productive Maintenance in Automotive Industry. *Quality Innovation Prosperity*, 45-59.
- Parikh, Y., & Mahamuni, P. (2015). Total Productive Maintenance: Need & Framework. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 2(2), 126-130.
- Pinto, G. F. (2019). Continuous improvement in maintenance: A case study in the automotive industry involving Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 38, 1582–1591. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.127>

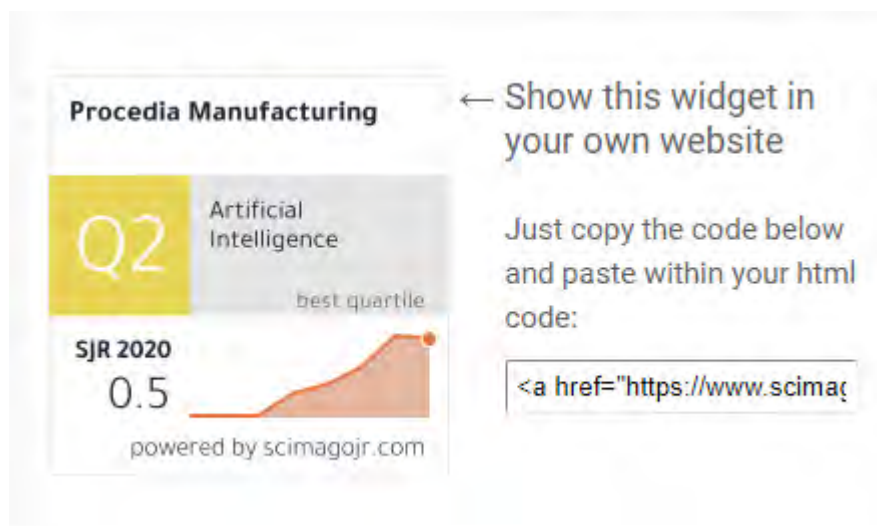
- Pinto, G. S. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan - A case study. *Procedia Manufacturing*, 51, 1423–1430. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>
- Ramesh, V., & Kodali, R. (2012). A decision framework for maximising lean manufacturing performance. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2234-2251.
- Ribeiro, I. M. (2019). Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line. *Procedia Manufacturing*, 38, 1574–1581. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.128>
- Ribeiro, P. S. (2019). The impact of the application of lean tools for improvement of process in a plastic company: A case study. *Procedia Manufacturing*, 38, 765–775. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.104>
- Singh, J. S. (2018). SMED for quick changeover in manufacturing industry – a case study. *Benchmarking: An International Journal*, 25(7), 2065-2088. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2017-0122>
- Singh, J. S. (2018). Success of TPM concept in a manufacturing unit – a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(3), 536–549. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2017-0003>
- Sousa, E. S. (2018). Applying SMED methodology in cork stoppers production. *Procedia Manufacturing*, 17, 611–622. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.103>
- Tsarouhas, P. &. (2017). Maintainability analysis in shaving blades industry: a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(4), 581–594. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/ijqrm-06-2014-0072>
- Tsarouhas, P. (2019). Improving operation of the croissant production line through overall equipment effectiveness (OEE): A case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(1), 88–108. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2018-0060>
- Vieira, T. S. (2019). Optimization of the cold profiling process through SMED. *Procedia Manufacturing*, 38, 892–899. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.171>

# Anexos

## Anexo 1

### “TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study” (2020)

- **Autor:** G. Pinto, F. J. G. Silva, A. Baptista, Nuno O. Fernandes, R. Casais, C. Carvalho
- **Revista:** Procedia Manufacturing



- **Problema:**

A pesar de que el mantenimiento es clave para que las empresas logren sus objetivos y sean competitivas en sus sectores, muchas de ellas aun necesitan implementar un plan estratégico de mantenimiento en contra a lo recomendado por la literatura. Este es el caso de una empresa dedicada a la fabricación de embragues y controles hidráulicos, se enfrenta un problema de altos tiempos de parada por fallas de equipo. Estas llegan a acumular 21 por trimestre con un total de 171 horas perdidas por mes. Por ello, el objetivo de esta investigación es implementar un plan de mantenimiento que incluya conceptos de *TPM* y *5S*.

- **Metodología:**

Para implementar el plan de mantenimiento estratégico el primer paso fue diseñarlo, para esto se usó los pilares del *TPM* para planificar los conceptos que se deben tener en cuenta. Luego, se recolecto la data de las máquinas por 3 meses y se halló sus motivos de falla. A partir de esto, se inició la implementación sistemática del plan de mantenimiento. Primero se determinaron los problemas principales y sus causas para luego poner en práctica acciones

correctivas y estandarizarlas. Luego, se incluyó un plan de mantenimiento autónomo que incluye limpiezas e inspecciones, con esto se buscó mejorar los estándares. Por último, se implementó el plan de mantenimiento preventivo teniendo en cuenta los pedidos de intervenciones de mantenimiento correctivo. A la par, se implementó conceptos de 5S para mejorar la organización del área trabajo.



## **Anexo 2**

**“Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line” (2017)**

- **Autor:** Jonathan David Morales Méndez & Ramon Silva Rodriguez
- **Revista:** International Journal of Advanced Manufacturing Technology

International Journal of Advanced Manufacturing...

Q1 Computer Science Applications  
best quartile

SJR 2020  
0.95

powered by scimagojr.com

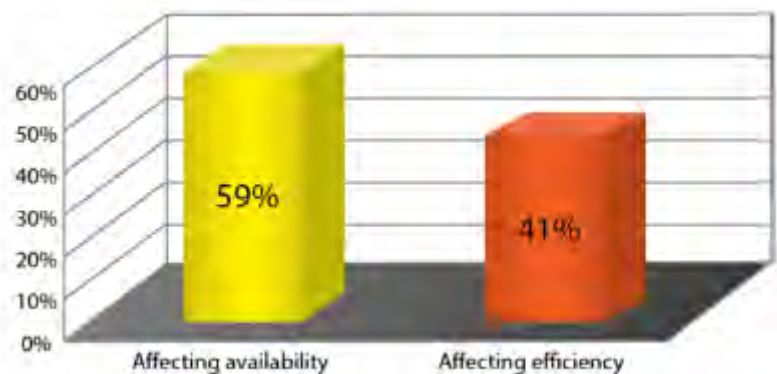
← Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

```
<a href="https://www.scimaç
```

- **Problema:**

En países de economías emergentes, particularmente en América Latina, la pobre gestión de mantenimiento de equipos es evidente en el sector productivo. Es así, que una de las más importantes pérdidas de tiempo y eficiencia son los tiempos de falla. Esta investigación abarca el estudio de una empresa de la industria automotriz, específicamente en la línea de mecanizado de “juntas fijas”, componente principal de los ejes de velocidad. Esta línea es un cuello de botella para la cadena productiva de la empresa, presenta un tiempo de paradas de mantenimiento no planificadas de 334.4 horas en 6 meses, lo que equivale a 3184.76 piezas perdidas al mes.



- **Metodología:**

El primer paso fue el diseño de la implementación del TPM, se localizó los puntos de mantenimiento focalizado a través de una identificación de los problemas y un AMEF para hallar sus causas raíz, a partir del o cual se creó acciones correctivas. Luego, se implementó el mantenimiento programado a través de cronogramas. Para el pilar de mantenimiento



autónomo se creó pequeños equipos responsables de la atención inmediata de los problemas del área a cargo de inspección continuas sobre un formato establecido.

### **Anexo 3**

#### **“Success of the *TPM* Concept in a Manufacturing Unit- A case study” (2018)**

- **Autor:** Jonathan David Morales Méndez & Ramon Silva Rodriguez
- **Revista:** International Journal of Productivity and Performance Management



- **Problema:**

Una empresa mediana dedicada a la fabricación de herramientas manuales de todo tipo ha tenido problemas con sus líneas de máquinas de forjado, recorte y punzado. Estas, han presentado una baja eficiencia, en especial la de forjado con OEE especialmente bajo. Esto representa una importante pérdida en rechazos, tiempos de parada y eficiencia.

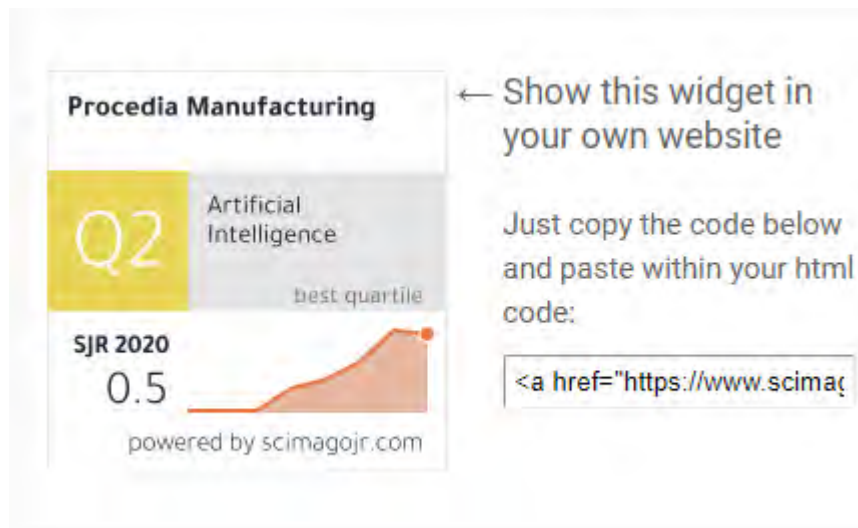
- **Metodología**

Para solucionar el problema se implementó el mantenimiento móvil, un concepto de *TPM*. El mantenimiento móvil implica la formación de un pequeño equipo de mantenimiento que incluye al menos 1 técnico especializado. Este equipo fue capacitado para dar mantenimientos rápidos a las máquinas en estudio, equipados con herramientas, piezas e insumos para limpiar, engrasar o reemplazar piezas de la máquina.

## Anexo 4

### “Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool *SMED*” (2019)

- **Autor:** Carlos Monteiro, Luís P. Ferreira, Nuno O. Fernandes, J. C. Sá, M. T. Ribeiro, F. J. G. Silva
- **Revista:** Procedia Manufacturing



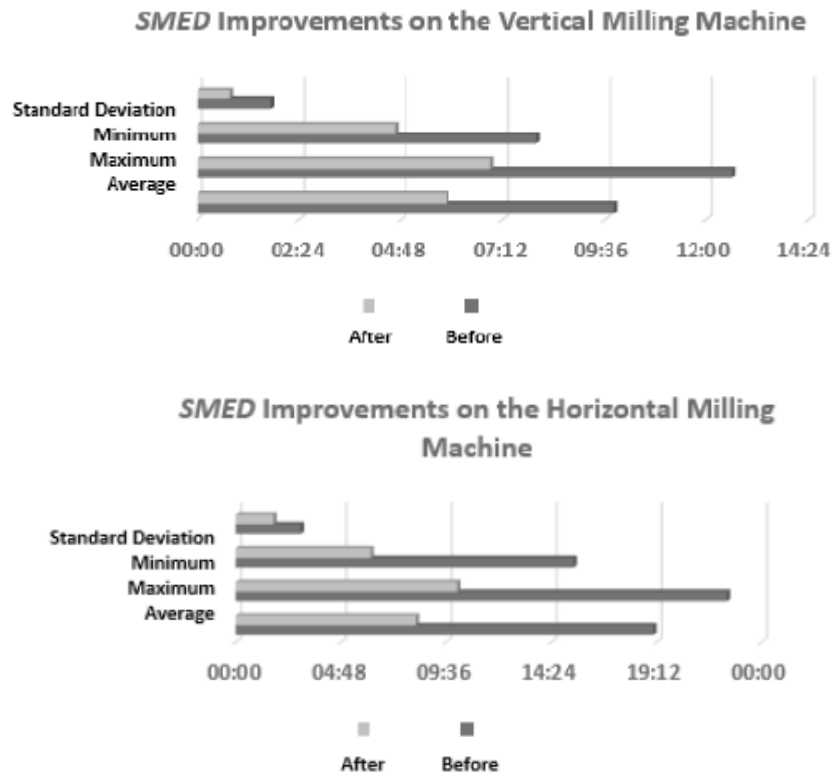
- **Problema:**

En aras de mantenerse competitivo, una empresa de la industria metalmecánica busca mantener un enfoque de mejora continua. Ante esta premisa, la empresa no busca solucionar un problema específico, si no, investigar en su propio proceso de producción para hallar oportunidades de mejora e implementarlas. Al realizar este ejercicio se identifican mejoras requeridas en el sector de maquinaria, sobre esta se busca eliminar los desperdicios e incrementar la productividad utilizando las herramientas de Lean Manufacturing VSM y *SMED*.

- **Metodología:**

Este estudio adopta la metodología “Action-Research” (A-R), la cual se basa en solucionar problemas inmediatos a través de soluciones graduales. El primer paso del estudio fue mapear el proceso a través de un VSM para luego identificar los problemas principales, de esto se concluyó que el subproceso de fresado era el que poseía la mayor cantidad de oportunidades de mejora. Se levantó los datos de las dos máquinas de este proceso para luego hallar sus estadísticos. Se implementaron mejoras en los procedimientos de *SETUP*,

personal adicional para las tareas de *SETUP*, alteración de los espacios de trabajo para la minimización del movimiento del operario.



## **Anexo 5**

### **“Applying *SMED* methodology in cork stoppers production” (2018)**

- **Autor:** E. Sousa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, M. T. Pereira, R. Gouveia, R. P. Silva
- **Revista:** Procedia Manufacturing



Procedia Manufacturing

Q2 Artificial Intelligence  
best quartile

SJR 2020  
0.5

powered by scimagojr.com

Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

```
<a href="https://www.scimagojr.com">
```

- **Problema:**

Una empresa perteneciente a la industria del corcho busca reducir sus tiempos de *SETUP* de su máquina de pegado de tapas de corcho. Se recopiló la data del último año y se observó que solo durante el mes de octubre se perdieron 533 minutos en *SETUP*, esto equivale a 4500 euros de valor monetario. Esto debido a que esta máquina pega tapas de distinta forma y tamaño y debe setearse para cada una.



- **Metodología:**

En este estudio el primer paso fue recopilar la información, a partir de esta se elaboró un VSM que representa la situación actual de la empresa. Luego, se propuso el proyecto de mejora *SMED* bajo el modelo A3. Se consultó con los trabajadores para encontrar mejoras en el proceso y filmar el proceso para luego ser analizado junto a las personas clave. Con la información obtenida de los análisis se implementaron soluciones acordes a lo encontrado e incluso se utilizó algunos conceptos de 5S en la organización del área de trabajo.



- **Resultado**

Luego de implementar las mejoras se logró reducir los tiempos de *SETUP* promedios de 66 minutos con 52 segundo a 37 minutos con 59 segundos. Además, se redujo el número de fases de 66 a 47. Esto significa para la empresa un ahorro de 2340 euros al mes.

Changeover Time Before Improvements	66:52 min
Changeover Time After Improvements	37:59 min
Monthly Average Changeovers	10
Financial savings in each changeover	234 €
Financial savings per month	2340 €

### Anexo 6

**“The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study” (2019)**

- **Autor:** P. Ribeiro, J. C. Sá, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, M. T. Pereira, G. Santos
- **Revista:** Procedia Manufacturing



- **Problema:**

El estudio es realizado sobre una planta de manufactura de productos de plástico. Específicamente en las líneas de sus principales productos, guardas de llantas y parachoques. El objetivo es reducir los tiempos de ciclo utilizando las herramientas de Lean Manufacturing como 5S, SMED, OEE, etc. Actualmente, ambas líneas de producción tienen un OEE de 31% y 51% respectivamente, debido principalmente a la calidad de los productos finales lo que se refleja en su nivel de rechazo de 5%.

- **Metodología:**

Esta investigación responde a la metodología Action-Research, el primer paso es identificar los problemas levantando la información y procesándola. Luego los autores proponen un análisis e identificación de causas y tratamientos para cada una. Las soluciones propuestas incluyen las herramientas de Lean y otras que escapan de esta metodología.

Cause	Treatment
Corrective Maintenance Policy	Implementation of Preventive correction plans in moulds and machines
Instability of the teams in the painting area	Training, 5S, Standard Work, Visual Management
Losses in mould change	SMED
Quality control failures due to injection colour	Adding the Master to Gray to Improve Detection
Disorganization, disarray and cleaning of the factory	5S e Visual Management
The stock of Vamish cans disorganized	5S and other improvement action

Task	Time	Action	Time
Turn off the machine and let it cool down	00:15:22		00:15:22
Go get tools to remove mould	00:04:12	Switch to external	00:00:00
Remove water from hoses and circuits	00:05:48		00:05:48
Loosen back mould and connections	00:02:20		00:02:20
Place the ring in the mould and secure the crane	00:01:12		00:01:12
Unscrew the front of the mould	00:02:49		00:02:49
Remove mould from machine and land at cleaning place	00:03:33		00:03:33
Go get the new mould	00:06:52	Switch to external	00:00:00
Go fetch missing tools to place the mould	00:01:32	Switch to external	00:00:00
Put washers	00:00:52		00:00:52
Place mould in the machine	00:01:06		00:01:06
Press mould front	00:01:42		00:01:42
Install the extractor bolt	00:00:31		00:00:31
Tighten the mould tightening	00:02:00		00:02:00
Tighten the back of the mould	00:01:38		00:01:38
Open mould	00:00:05		00:00:05
Tighten extractor	00:00:12		00:00:12
Go get the parts and equipment for the connections	00:04:32	Switch to external	00:00:00
Check the elements and make corrections	00:01:30	Switch to external	00:00:00
Turn on temperature controllers	00:00:30		00:00:30
Check and open water circuit	00:00:56		00:00:56
Turn on and fine-tune the heaters and controller	00:00:50		00:00:50
Allow warming the mould	00:10:00	Switch to external	00:00:00
Prepare workbench for the operator	00:04:55	Switch to external	00:00:00
Enter standard parameters and check raw material in greenhouses	00:03:00		00:03:00
Approval of the part by the quality manager	00:05:00		00:05:00
<b>Total</b>	<b>01:22:59</b>		<b>00:49:26</b>

## Anexo 7

**“A TPM strategy implementation in an automotive production line through loss reduction” (2019)**

- **Autor:** M. D. O. dos Reis, R. Godinab, C. Pimentel, F. J. G. Silva, J. C. O. Matias
- **Revista:** Procedia Manufacturing

**Procedia Manufacturing**

Q2


Artificial Intelligence

best quartile

**SJR 2020**

0.5

powered by scimagojr.com



← Show this widget in your own website

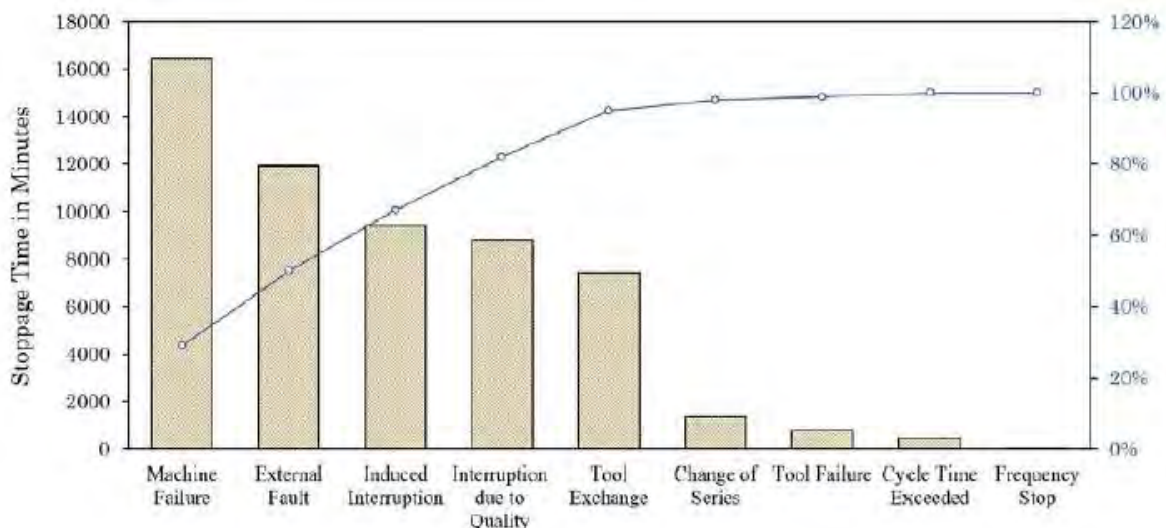
Just copy the code below and paste within your html code:

```
<a href="https://www.scimaç
```

*Nota.* Recuperado de Scimago Journal Ranking.

- **Problema:**

En una empresa de producción automotriz de mecanizado y ensamblaje, la línea de producción considerada crítica para la industria tiene un severo problema de confiabilidad, superando los 16000 minutos perdidos por falla de máquinas. Dentro de las cuales se encontró que 5 máquinas son responsables del 75% del número total de fallas.



- **Metodología:**

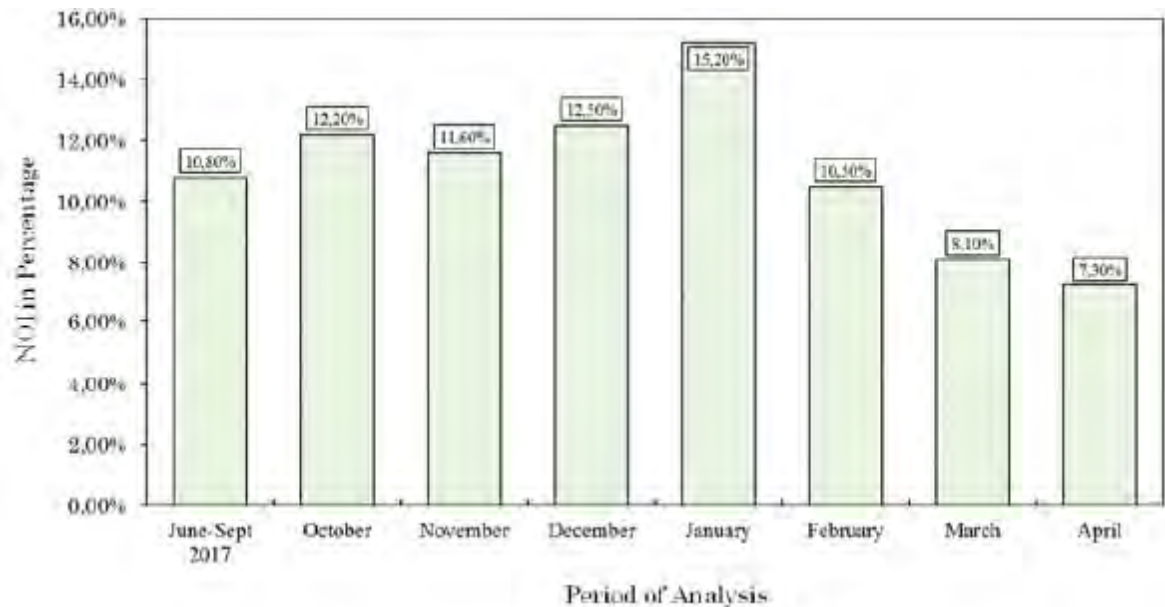
La estrategia utilizada es la reducción de pérdidas ocasionadas por fallas en las máquinas, cuyo foco es el desarrollo de acciones de identificación de problemas como degradaciones aceleradas, degradaciones forzadas y subsiguiente corrección de anomalías. Otro foco es el



restablecimiento del estado de referencia, en caso de estar acorde con el proceso actual, y el desarrollo de acciones para evitar la ocurrencia de nuevos desperfectos y fallas.

- **Resultado:**

El objetivo inicial de la investigación fue elevar los ingresos operativos a un 87%, sin embargo, debido a la aparición de nuevos problemas, no se logró. No obstante, se logró incrementar en un 18.5% los ingresos operativos.



## **Anexo 8**

**“Continuous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean tools” (2019)**

- **Autor:** G. F. L. Pinto, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, R. B. Casais, A. J. Fernandes, A. Baptista
- **Revista:** Procedia Manufacturing

**Procedia Manufacturing**

Q2 Artificial Intelligence  
best quartile

SJR 2020  
0.5

powered by scimagojr.com

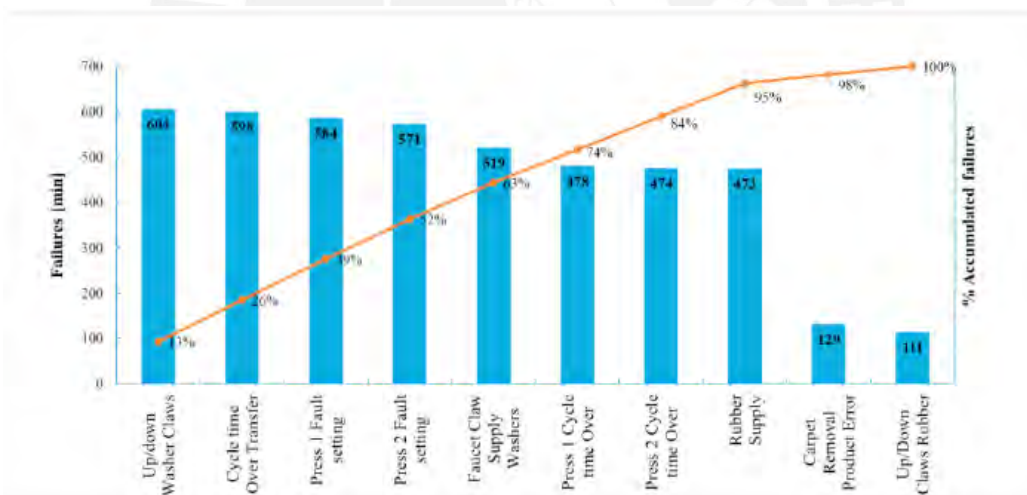
Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

```
<a href="https://www.scimaç
```

- **Problema:**

Una empresa del sector automotriz sufre una falta de control del desempeño de sus equipos, tiempo desperdiciado en cambios de set up, movimientos innecesarios, etc. Estas fallas acumulan 604 minutos en el periodo de estudio para las “Up/Down Washer Claws”. Además, la disponibilidad de sus máquinas está por debajo del 90% deseado por la empresa.



- **Metodología:**

Se implementó la técnica *SMED* en algunos procesos, utilizando los conceptos de 5S para agilizar los tiempos de *SETUP* de la empresa. Se reorganizo el espacio de trabajo de manera conveniente y se etiqueto las herramientas. Además, se cambiaron las políticas de acceso al almacén lo que agilito y mantuvo confiable la organización para los cambios de moldes.

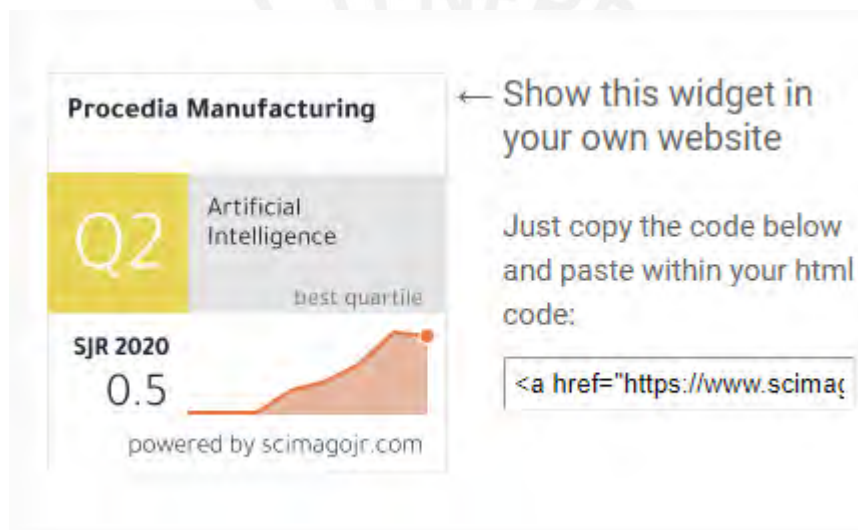
- **Resultados:**

Utilizando *SMED* y *5S* se logró reducir el tiempo de *SETUP* en 11%, esto junto a los cambios implementados lograron incrementar la disponibilidad a 90.22%, una cantidad por encima de lo deseado por la empresa.

## Anexo 9

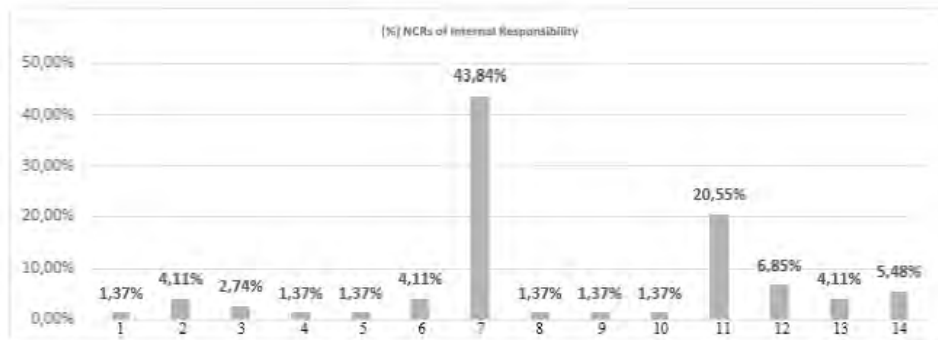
### “Improving the Machining Process of the Metalwork Industry by Upgrading Operative Sequences, Standard Manufacturing Times and Production Procedure Changes” (2019)

- **Autor:** Carlos Monteiro, Luís P. Ferreira, Nuno O. Fernandes, F. J. G. Silva, Ivo Amaral
- **Revista:** Procedia Manufacturing



- **Problema:**

Este estudio se centra fundamentalmente en el área de Producción en el sector de Mecanizado de la empresa, desde la entrada de Materia Prima hasta la salida del Producto Terminado. Este proceso presenta problemas relacionados a bajos tiempos de ciclo de mecanizado, secuencias operativas incorrectas, no conformidades internas y externas.



Legend: 1-Steel Warehouse; 2-Cell 2; 3-Cell 3; 4-Information Systems M.; 5-Technical and Quality M.; 6-General Management; 7-Machining Production; 8-Cutting Tools; 9-Braga Branch; 10-Lisbon Branch & Porto Branch; 11-Internal Logistics; 12-Structure Machining; 13-RamCutting; 14-Internal Sales Ovar

### • Metodología:

Para realizar este estudio, se adoptó el método de investigación Acción-Investigación (A-R). Esta contuvo 5 fases, el diagnóstico, planeamiento, implementación, evaluación y especificación de aprendizaje. Es así, que se mapeo el proceso para luego implementar *SMED*, reorganización del área de trabajo, modo de transporte, redefinición de secuencias de operaciones.

Process	Problems Identified	Solution
Machining	Low machining productive times	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduction of setup times by implementing the lean tool <i>SMED</i></li> <li>Alteration of work allocation and daily management of work</li> <li>Improvement of means used to transport material</li> </ul>
	Undefined/incorrect operative sequences	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definition of new operative sequences</li> </ul>
	Inadequate/unreliable theoretical production times	<ul style="list-style-type: none"> <li>Creation of new calculation formulae for production times</li> <li>Update of machining parameters</li> </ul>
	Occurrence of internal and external Non-Conformities	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operators' training</li> <li>An additional final check (double control)</li> </ul>

### Anexo 10

#### “Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by *SMED*” (2018)

- **Autor:** Suveg Bhade, Sriharsha Hegde
- **Revista:** Materials Today

**Materials Today**

Q1

Condensed Matter Physics

best quartile

**SJR 2020**

8.07

powered by scimagojr.com

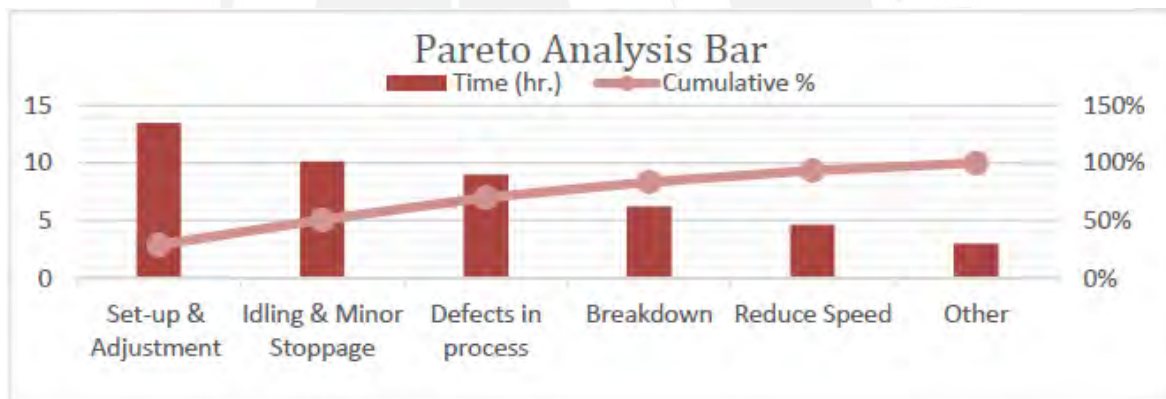
← Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

```
<a href="https://www.scimagojr.com
```

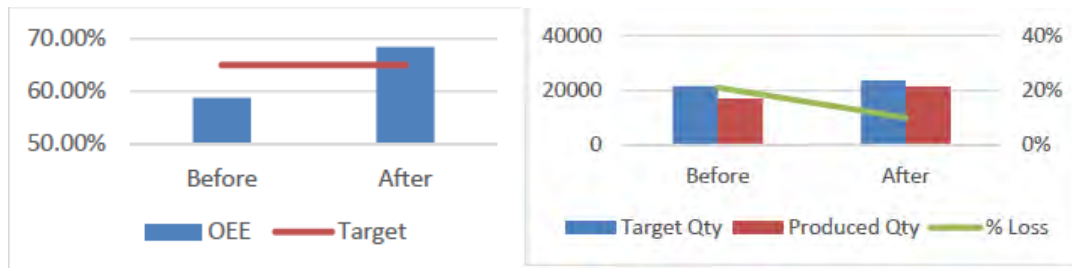
- **Problema:**

En una compañía de automóviles se busca incrementar el ratio de producción y así los ingresos financieros. Sin embargo, presenta serios problemas principalmente en la línea de empaquetado. Entre estos tiene la parada de máquinas, largos tiempos de *SETUP*, micro paradas, pérdida de velocidad, defectos del proceso y defectos de entrada.



- **Metodología:**

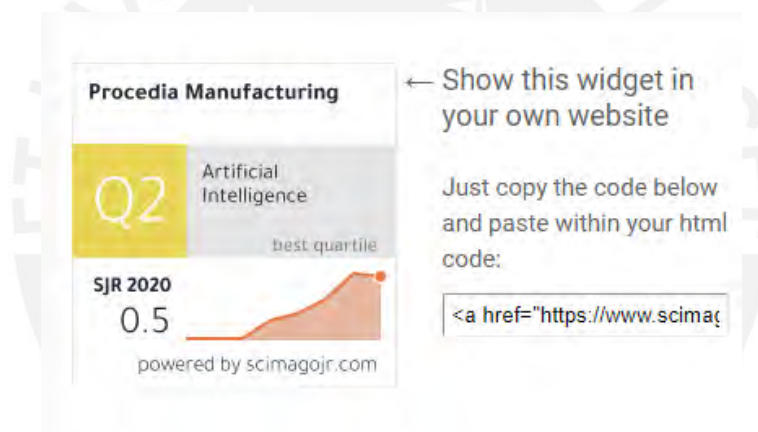
El principal indicador de esta investigación es el OEE, se inicia recolectando la información del estado actual de la empresa e identificando los problemas principales. Luego, se implementa la herramienta *SMED* para reducir los tiempos de *SETUP*, se externaliza las actividades y se las paraleliza de ser posible. Para esto, se utiliza conceptos y herramientas como 5S y Poka Yoke.



## **Anexo 11**

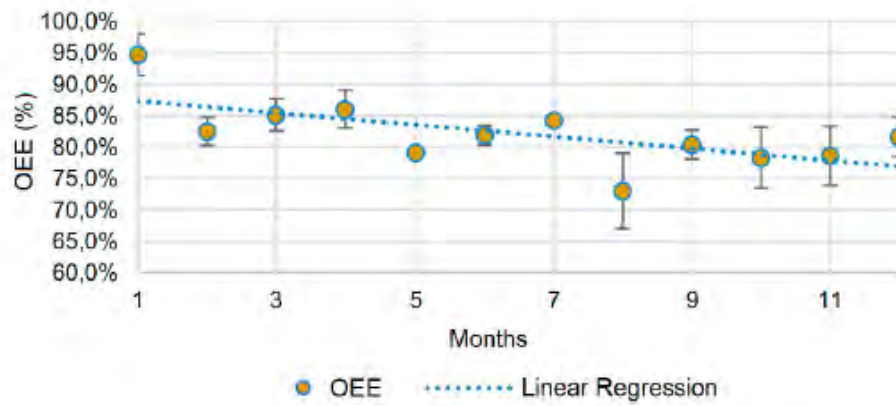
### **“Implementing *TPM* supported by *5S* to improve the availability of an automotive production line” (2019)**

- **Autor:** I. M. Ribeiro, R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, J. C. O. Matias
- **Revista:** Procedia Manufacturing



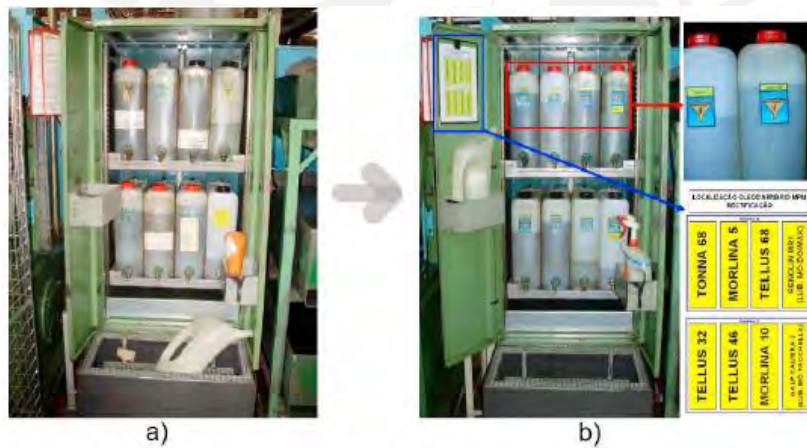
- **Problema:**

El objetivo de este paper es mejorar la disponibilidad de una línea crítica de producción dentro de una empresa automotriz. Se identifican un alto número de fallas de máquina durante el periodo de estudio. Analizando estos resultados se obtiene que el OEE promedio variaba por debajo de lo esperado, un estudio determino que existía una alta variación del OEE. Esto se debía a que la disponibilidad de la máquina responsable de la línea de producción tenía una tendencia negativa.



• **Metodología:**

Una vez iniciada la investigación, al recoger los datos se identificaron muchas oportunidades de mejora. Entre estas, se implementó una mejora del mantenimiento autónomo que reducía las horas anuales de 214 a 24 horas. Luego, se hizo uso de los conceptos 5S para mejorar el espacio de trabajo y la organización de los materiales.

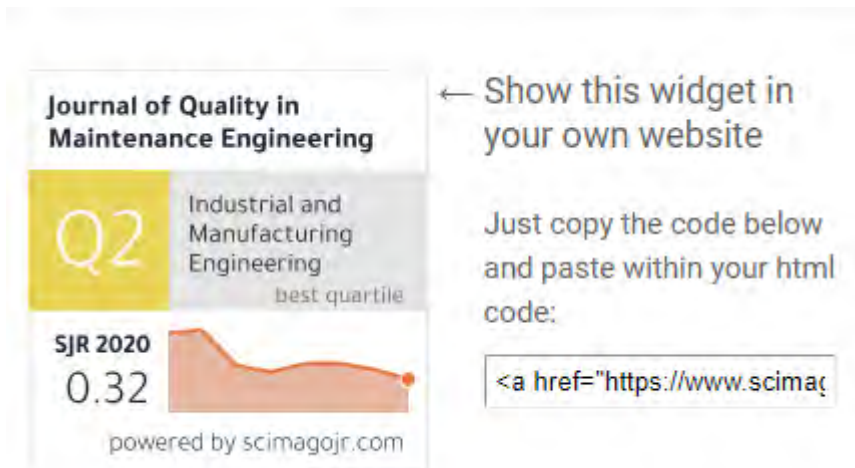


	MTBF (hrs)	MTTR (hrs)	Availability (%)
Average of the last 2017 trimester	124	5.26	95.9 %
Average of the first 2018 trimester	155	4.56	97.1 %

**Anexo 12**

“Sequential *TPM*-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study” (2018)

- **Autor:** Omar Bataineh, Tarek Al-Hawari, Hussam Alshraideh & Dorid Dalalah
- **Revista:** Journal of Quality in Maintenance Engineering



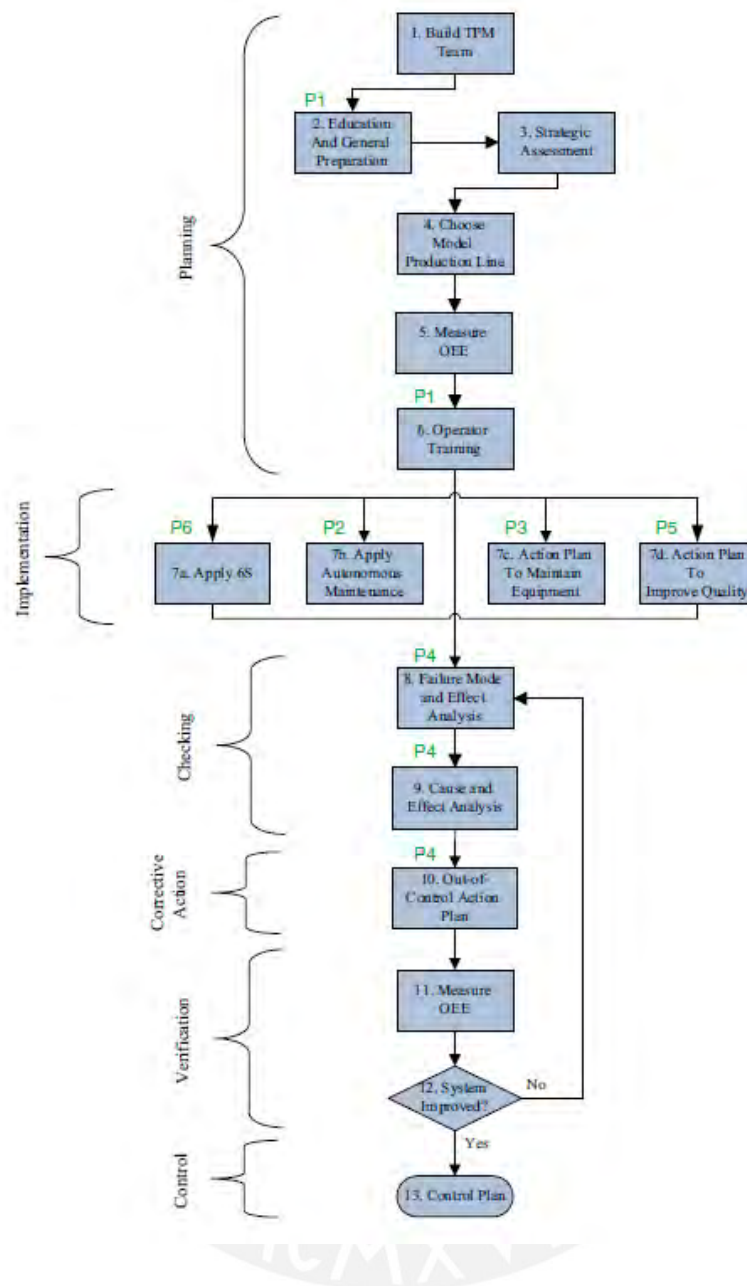
- **Problema:**

La empresa “United Beverage Company in Kuwait” (KSCC) tiene 11 líneas de producción las cuales llenan botellas de distintos brebajes. El objetivo es implementar el desempeño de la empresa utilizando un esquema basado en *TPM*. Se buscó incrementar el OEE a través de sus 3 factores: calidad, disponibilidad y eficiencia.

- **Metodología:**

Para lograr el objetivo se utilizó un esquema de implementación basado en *TPM*, este fue diseñado a un alto nivel aplicativo bajo un enfoque de mejora continua, el cual detalla el uso de la herramienta desde el diseño, la preparación y la selección; pasando por la implementación de 6S, mantenimiento autónomo, planes de acción de mantenimiento y de calidad; terminando en acciones correctivas y verificación de los objetivos.





## • Resultados

Siguiendo el esquema planteado se consiguió incrementar la calidad de la línea elegida de 99.82% a 99.87%, la disponibilidad de 68.60% a 77.51% y el rendimiento de 51.50% a 74.18%; llegando a elevar el OEE de 35.27% a 57.42%.

Performance measure	March (%)	December (%)
Quality	99.82	99.87
Availability	68.60	77.51
Efficiency	51.50	74.18
OEE	35.27	57.42

## Anexo 13

### “Improving operation of the croissant production line through overall equipment effectiveness (OEE)” (2018)

- **Autor:** Panagiotis Tsarouhas
- **Revista:** International Journal of Productivity and Performance Management



International Journal of Productivity and Performance Management

Q2 Business, Management and Accounting... best quartile

SJR 2020 0.42

powered by scimagojr.com

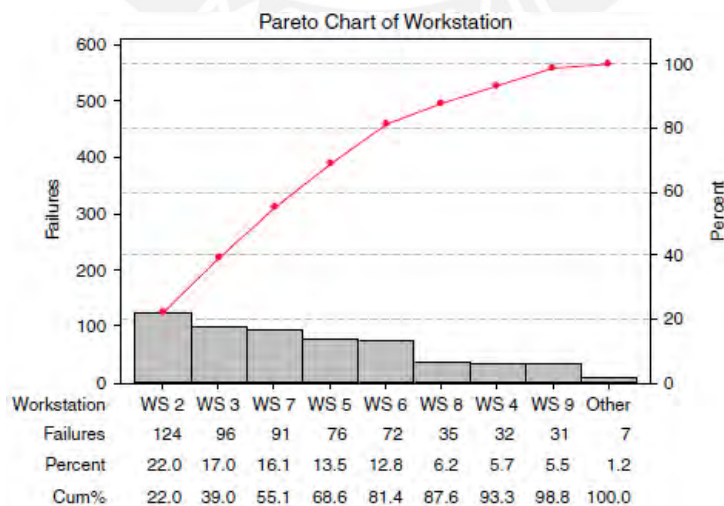
Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

```
<a href="https://www.scimagoj...
```

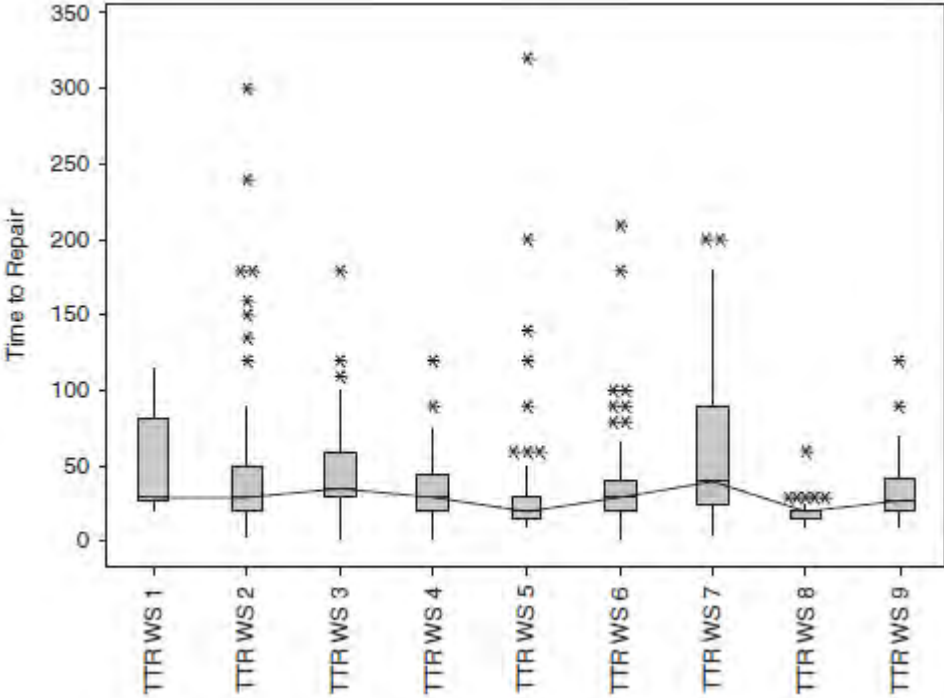
- **Problema:**

En una línea de producción de croissant se busca evidenciar la situación actual del mantenimiento a través del indicador OEE para la eficiencia de los sistemas industriales de la línea. Se identificó 29,002 minutos perdidos por interrupciones en el periodo de estudio de 15 meses.



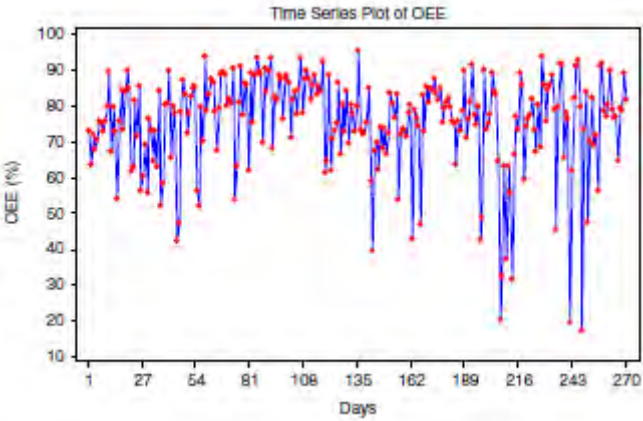
- **Metodología:**

La investigación avanza a partir de la identificación del flujo en la línea de estudio, para luego recolectar los datos de cada estación de trabajo y procesar la información estadísticamente. A partir de esto, se realiza un diagrama de caja para los tiempos de buen funcionamiento y los tiempos de reparación.



• **Resultados:**

Al finalizar el estudio de la data de los 15 meses y procesarla estadísticamente, se obtienen los OEE de línea. Obteniendo primero la disponibilidad, eficiencia y calidad por días de estudio. Se obtuvo que actualmente la empresa tiene un OEE promedio de 75.02% y, por ende, 8.98% de diferencia con un OEE de clase mundial de 84%.



## Anexo 14

### “Maintainability analysis in shaving blades industry: a case study” (2017)

- **Autor:** Panagiotis Tsarouhas, George Besseris
- **Revista:** International Journal of Quality & Reliability Management



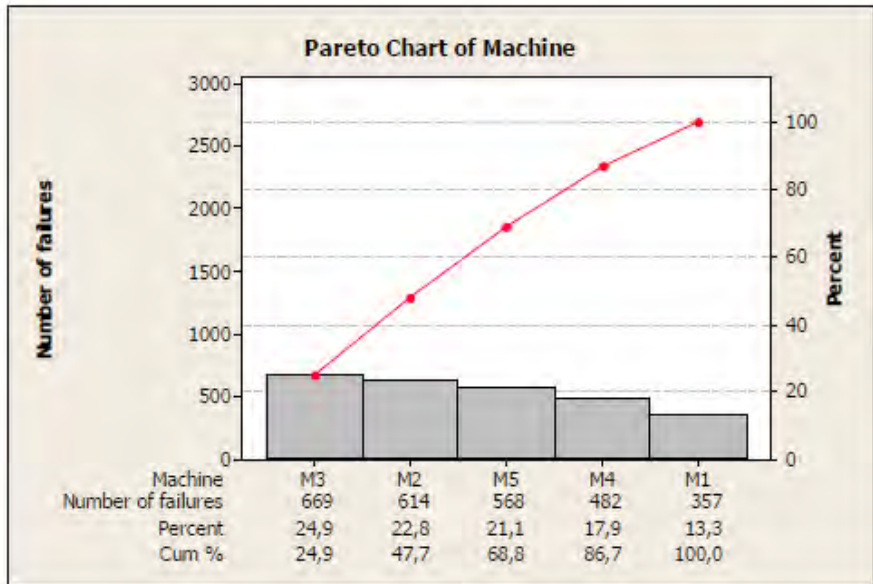
- **Problema:**

En una empresa productora de hojas de afeitar, se busca realizar un análisis de la situación actual del mantenimiento de su línea de producción. Esta dado que las 5 máquinas pertenecientes a la línea presentan tiempos de parada.

	M1	M2	M3	M4	M5
<b>Uptime</b>	292443	285494	279358	288615	287782
<b>Downtime</b>	8517	15466	21602	12345	13178
<b>Availability</b>	0.97170	0.94861	0.92822	0.95898	0.95621

- **Metodología:**

Se recolecta la data durante el periodo de estudio, luego describen estadísticamente la información de los tiempos de reparación y son validados antes de ser utilizados. Luego se ajusta la data a su distribución más cercana para poder inferir resultados a partir de esto.



• **Resultados:**

Gracias al estudio se encontró que las máquinas con código M3 y M2 acumulan el 47,7% de todas las reparaciones, el tiempo medio de reparación es de 25 minutos aproximadamente y todas las máquinas siguen una distribución logarítmica respecto a sus tiempos de reparación.

**Anexo 15**

**“Overall equipment effectiveness of tyre curing press: a case study” (2017)**

- **Autor:** Faizan Saleem Salman Nisar Muhammad Ali Khan Sohaib Zia Khan Mohammad Aslam Sheikh
- **Revista:** Journal of Quality in Maintenance Engineering

**Journal of Quality in Maintenance Engineering**

Q2

Industrial and Manufacturing Engineering

best quartile

SJR 2020

0.32

powered by scimagojr.com

← Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

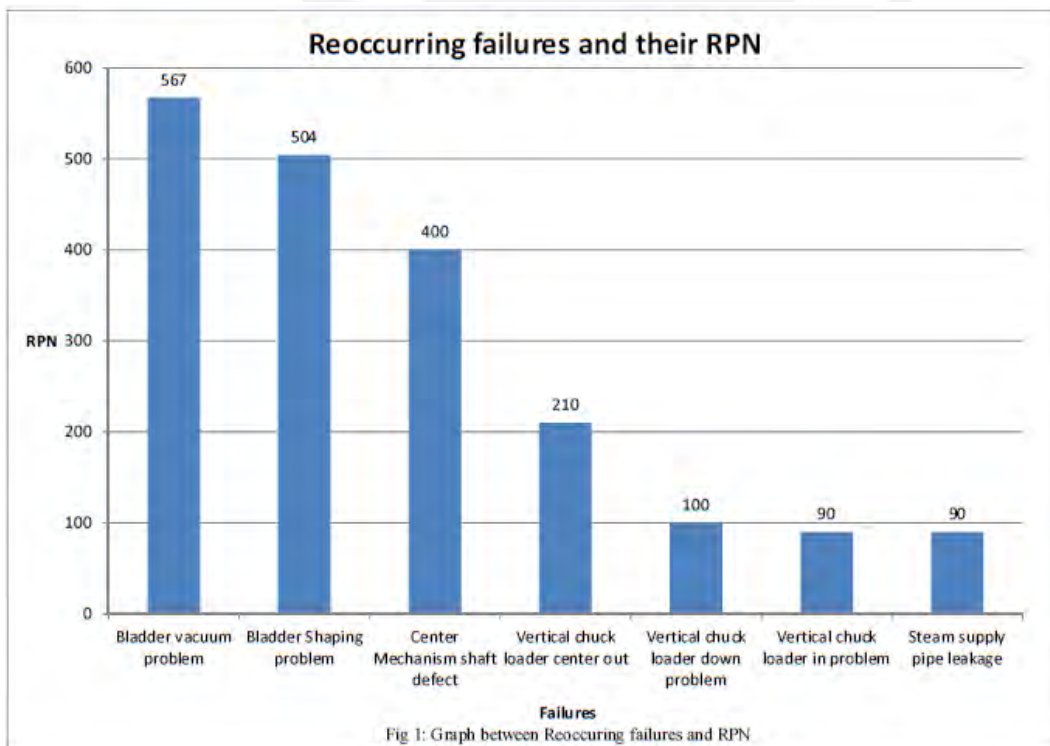
```
<a href="https://www.scimaç
```

- **Problema:**

En una empresa productora de neumáticos se tiene un alto índice de tiempos de paradas y calidad perdida. Esto no le permite a la empresa lograr sus metas de producción, llegando solo a 1025 und/día en lugar de 1144 und/día.

- **Metodología:**

Durante el periodo de 1 año se calcula el OEE de la empresa, esta se analiza utilizando la técnica FMEA para generar RPN de fallas que ocurrieron durante ese período de tiempo de 30 días con el fin de rectificar fallas repetitivas que conducen a una mejora en el valor de OEE. Se analiza cada falla identificada y se proponen soluciones puntuales. Luego se implementan las mejoras y se capacita al personal por 2 meses.



- **Resultados:**

Al finalizar el periodo de entrenamiento se vuelve a calcular el OEE, logrando incrementarlo de 45.36% a 60.38%. Asimismo, la producción de neumáticos incremento de 2600 a 3800, logrando alcanzar la demanda de 3000. Respecto a los tiempos de parada, se los redujo de 17,340 minutos a 12,060 minutos, es decir, en 30%.

## Anexo 16

### “Set-up reduction in an interconnection axle manufacturing cell using *SMED*” (2016)

- **Autor:** Jonathan David Morales Méndez & Ramón Silva Rodríguez
- **Revista:** International Journal of Advanced Manufacturing Technology



- **Problema:**

En una empresa dedicada a la producción d ejes interconectados se tiene un cuello de botella crítico, en su línea de producción compuesta por 12 máquinas, en las 2 máquinas de templado. Estas producen hasta 30,800 unidades al mes, cuando la capacidad de la línea es de 40,000 unidades al mes. Profundizando en el análisis se encuentra que esto se debe a la baja disponibilidad de estas máquinas ocasionado por los largos tiempos de *SETUP* debido a la complejidad del mismo.

- **Metodología:**

El primer paso que realizaron los autores es observar y recoger información, luego la evaluaron y continuaron con la implementación de la mejora. Es en esta tercera etapa donde utilizan la herramienta *SMED*, primero seleccionan los procesos a los que lo aplicaran, luego, realizan el análisis inicial del actual *SETUP* para continuar clasificando las actividades entre externas e internas. A partir de esta primera fase, continúan con la estandarización, validación y el entrenamiento de los operarios.

- **Resultados:**

Utilizando la herramienta *SMED*, los autores consiguieron incrementar el OEE de 77% a 85%. Además, la productividad de los operarios incrementó de 8 piezas/hora-hombre a 8.8 piezas/hora-hombre.

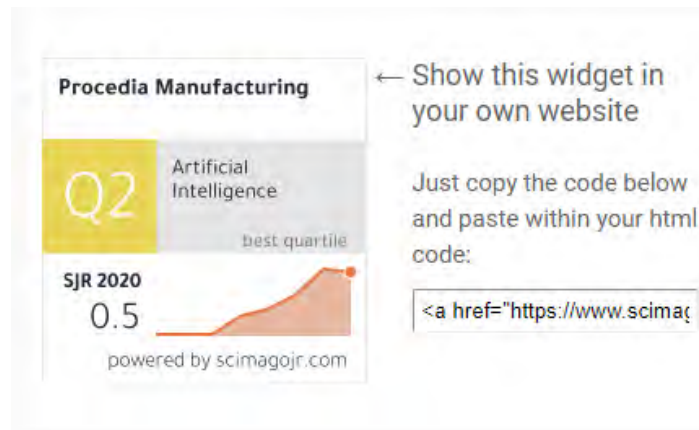
FLOW CHART	TIME (Minutes)				Improvement		Contribution to other zones in the plant	
	BEFORE SMED		AFTER SMED		Time saving (Min)	Percentage	Time saved for 25 programs (Min)	Observations
START	Internal	External	Internal	External				
Call up and load the program: This requires a screen where the list of all the part numbers is registered making it impossible to carry out this activity on the equipment.	20	5	13		12	48.0%		
Dismounting of previous devices and mounting and aligning all the fixtures required to process the first piece of the next model: Here the operator needs to use the entire chamber of the machine to manipulate and adjust the fixtures.	45		20		25	55.6%	625	Operator time available to other areas
Print the control plan: The work team leader does this while the operator continues with the set-up.		15		10	5	33.3%	125	Document printing zone
Getting tools and fixtures ready: The work team leader must know the number of the part that is going to be programmed as well as get the corresponding tools and coil ready so that the operator can continue with their activities and not lose time.	15	25		30	10	25.0%		
Cutting the test piece: the operator moves to the cutting area, meanwhile no piece should be produced given that the result of the set-up is still unknown, however, it is possible to make necessary adjustments to the fixtures while programming the set-up.	40			25	15	37.5%	375	Cutting and polishing zone
Metallographic analysis of the test piece: The operator takes the polished test pieces to the laboratory to carry out the relevant analysis. Once this is done and the results are known the machine is ready for production.	30			20	10	33.3%	250	Laboratory and metallographic testing zone
Validating the set-up: Lastly, the operator notes the results obtained as well as the measurements and the machine parameters on the set-up log while the machine has already begun to produce the pieces.	10	5		10	5	33.3%		
END								

## **Anexo 17**

### **“Optimization of the cold profiling process through *SMED*” (2019)**

- **Autor:** T. Vieira, J. C. Sá, M. P. Lopes, G. Santos, M. J. Félix, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, M. T. Pereira
- **Revista:** Procedia Manufacturing





- **Problema:**

En una empresa de la industria de metalmecánica de Portugal, se busca reducir los desperdicios generados por los tiempos de *SETUP* del proceso de perfilado en frío. Las 5 máquinas de esta línea presentan una baja disponibilidad que repercute en un bajo OEE individual y por ende promedio.

- **Metodología:**

Para implementar la herramienta *SMED*, los autores separaron las actividades entre externas e internas. Luego, las convirtieron en externas en la práctica utilizando 5S para luego buscar racionalizar el resto de las actividades y eliminar la mayor cantidad de actividades posibles. Además, se le agregan mejoras al proceso que disminuyen los tiempos de *SETUP*.

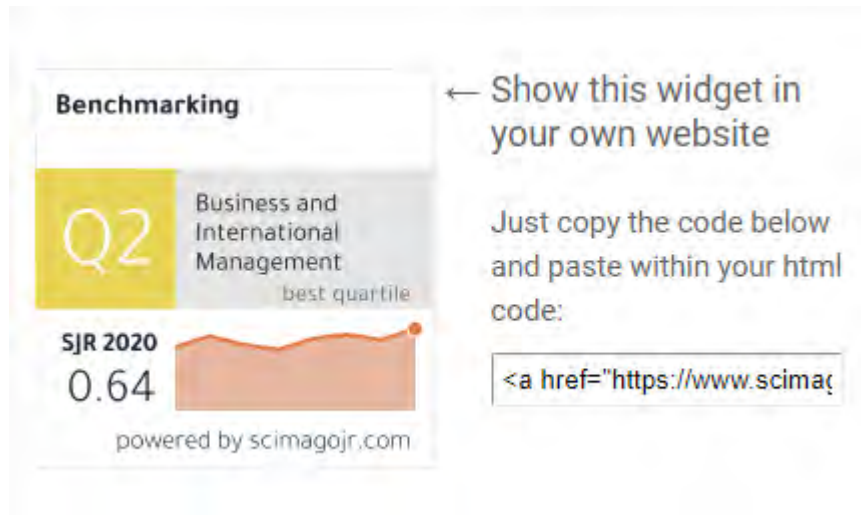


Stage	Internal Activities	External Activities	Improvement
Preliminary	06:41	05:28	-
1	06:41	-	05:28
2	06:11	-	00:30
3	04:57	-	02:46
4	04:22	-	00:35
			<b>08'44"</b>

## Anexo 18

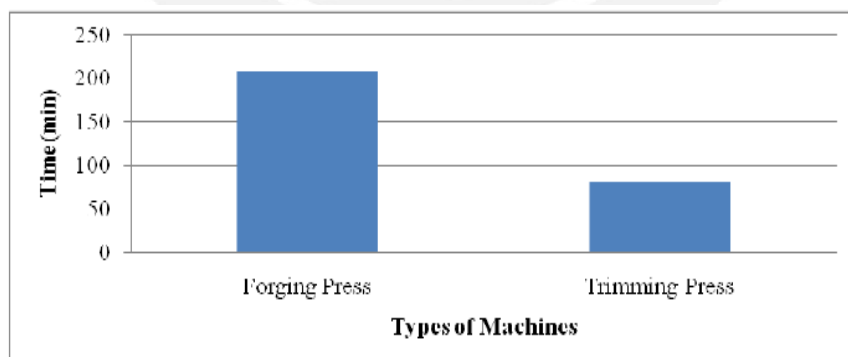
### “SMED for quick change over in Manufacturing Industry – A case study” (2018)

- **Autor:** Jagdeep Singh, Harwinder Singh, Inderdeep Singh Dee
- **Revista:** Benchmarking



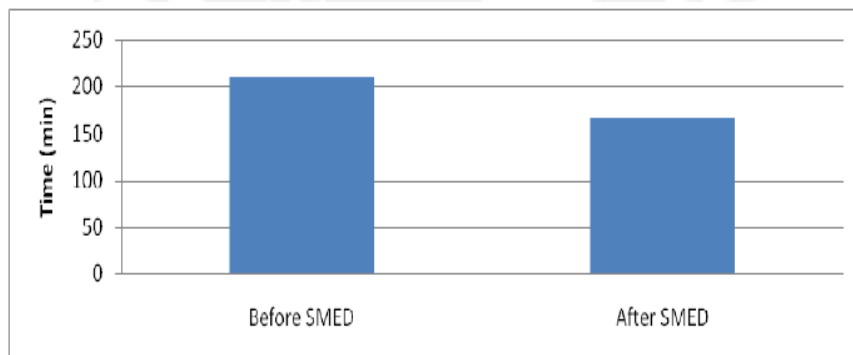
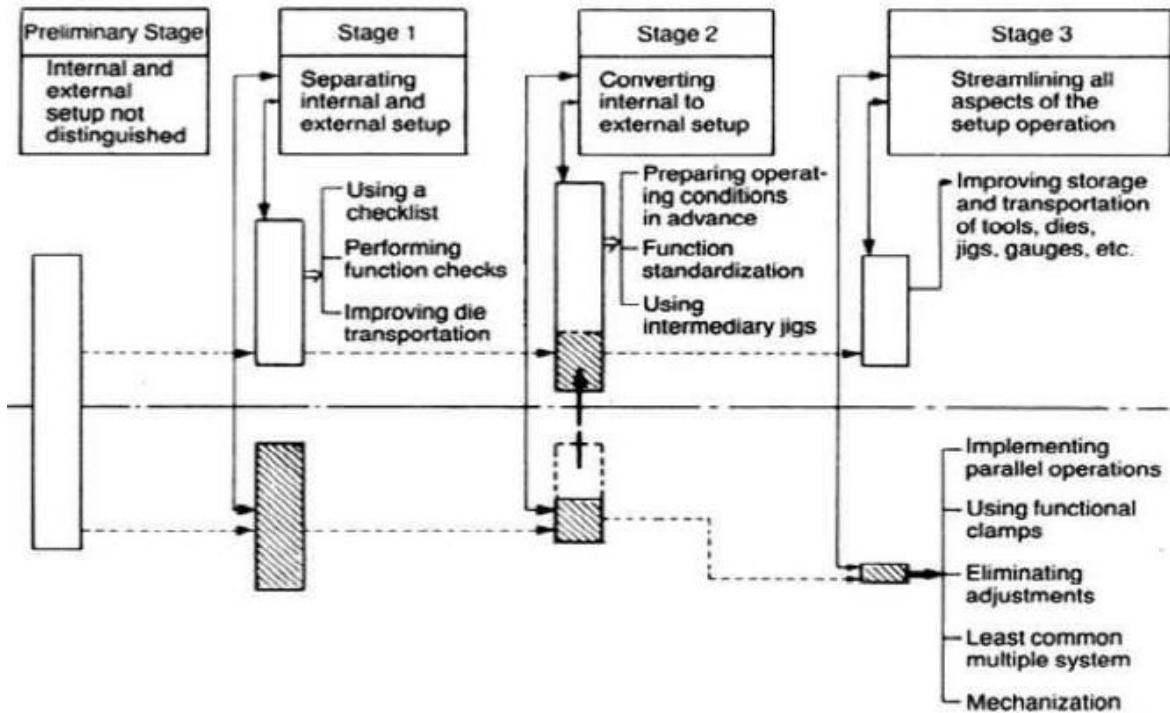
- **Problema:**

En una empresa manufacturera de pequeña escala del norte de India, se busca implementar *SMED* para reducir los tiempos de *SETUP* de los tiempos de la línea de forjado que acumulan 298.78 minutos. En esta línea se tienen 2 máquinas, la de prensa de forjado y la fragua de corte.



- **Metodología:**

El primer paso es la identificación de las áreas críticas asociadas al *SETUP*, luego se calcula los tiempos actuales asociados a este para calcular los costos asociados. Se inicia el uso de la herramienta *SMED* identificando las actividades que llevarán a reducir estos tiempos de *SETUP*. Por último, se vuelve a recolectar data y se discuten los resultados.



### Anexo 19

#### “Inducing Brazilian manufacturing SMEs productivity with Lean tools” (2018)

- **Autor:** Aline Dresch, Douglas Rafael Veit, Pedro Nascimento de Lima, Daniel Pacheco Lacerda, Dalila Cisco Collatto
- **Revista:** International Journal of Productivity and Performance Management

International Journal of Productivity and...

Q2 Business, Management and Accounting... best quartile

SJR 2020 0.42

powered by scimagojr.com

← Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

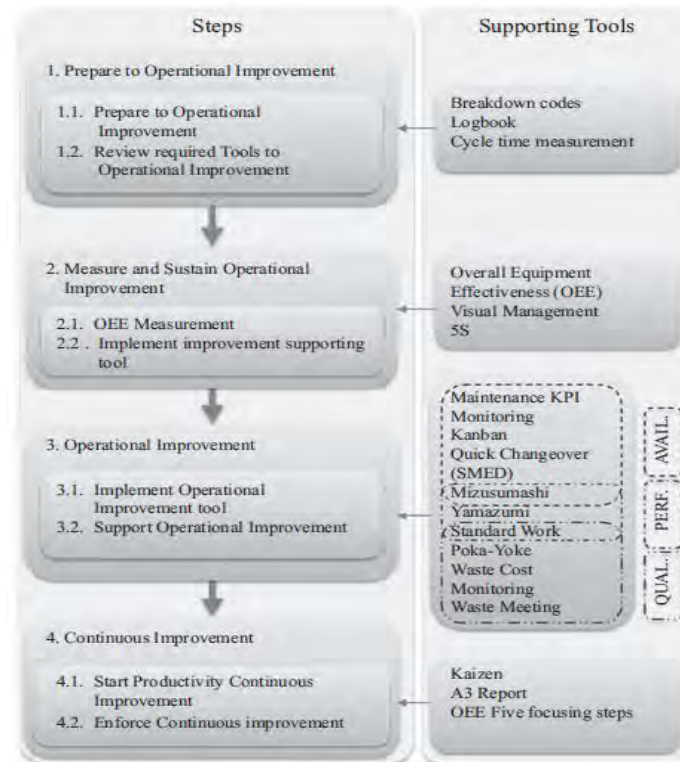
```
<a href="https://www.scimaç
```

- **Problema:**

Los autores buscan implementar herramientas de Lean Manufacturing en 2 empresas del sector industrial brasileño a través de 4 visitas. Ambos casos coinciden en tener un bajo OEE y amplias oportunidades de mejora. Las mejoras adoptan un enfoque operacional y utilizan el OEE como la base priorización de mejoras.

- **Metodología:**

Para ambos casos primero diagnostican la situación de la empresa, le presentan las herramientas propuestas y las aplican; todo esto en la primera visita. Luego, en la segunda visita verifican la aplicación y monitorean la recolección de data. Para la tercera visita recopila las críticas y/o observaciones de la empresa y en la cuarta visita analiza el OEE y sugiere herramientas de mejora.



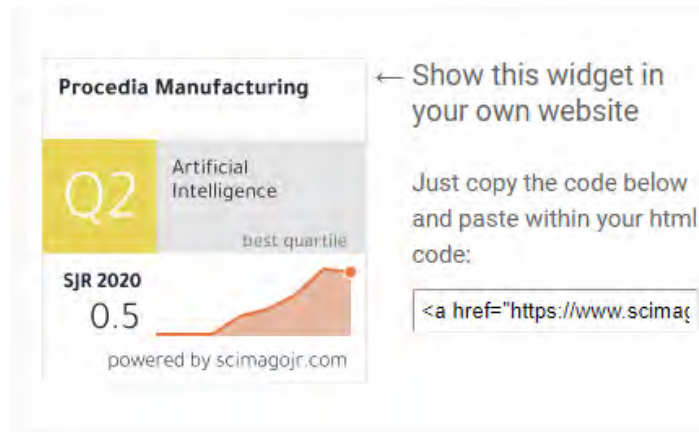
• **Resultados:**

La empresa A, mejoró su OEE en 10.6%. Luego, se le recomendó implementar *SMED* para continuar su mejora pues se observó que mantenía problemas relacionados a la disponibilidad. En el caso de la compañía B, se incrementó a 66% el OEE. Sin embargo, se mantuvieron problemas relacionados a la disponibilidad y eficiencia, por lo que se le recomendó implementar la herramienta *SMED* y Standard Work.

**Anexo 20**

“Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer” (2017)

- **Autor:** P. Guariente, I. Antonioli, L. Pinto Ferreira, T. Pereira, F. J. G. Silva
- **Revista:** Procedia Manufacturing



- **Problema:**

En una empresa de la industria automotriz se observa que los mantenimientos correctivos son significativamente mayores a los preventivos. Analizando el OEE de la empresa, se obtuvo un 74% de eficiencia.

Problem	Description
High incidence of breakdowns	High incidence of breakdowns caused by lack of preventive maintenance measures.
Low incidence of preventive maintenance	Maintenance technicians are unavailable for preventive actions.
Machines and equipment availability	Low machine availability rates due to frequent breakdown events.
1st level maintenance	Timely preventive action not undertaken or incorrectly undertaken by the operators.
Repair time	Long periods of time spent by maintenance technicians to repair machines and equipment.

- **Metodología:**

Para solucionar los problemas encontrados, se propusieron acciones orientadas al mantenimiento autónomo y los pilares de *TPM*.

Stage	Description	Action undertaken
1	Initial cleaning	
2	Elimination of dirt sources, and areas of difficult access	Cleaning Instructions implementation (drawing up of a page for each machine of the line, providing support to the operator clean the machine).
3	Standardisation of cleaning and inspection	Use of 5S philosophy (helps to eliminate dirt, keeping the surroundings clean and the tools close to the area where they are needed).
4	General inspection of equipment	Use of 1st level maintenance to identify machine problems (improvement of the previously used model).
5	Overall Inspection of the process	Use of visual management techniques with the objective of facilitating the detection by operators and maintenance technicians regarding machine problems.
6	Systemic autonomous maintenance	Cards implementation to report abnormalities or safety, maintenance and production improvements. The purpose is to develop a sense of autonomy in workers so that, when necessary, they feel free to express their ideas. Check-sheets drafting of for 1st level maintenance, as well as for cleaning actions, to serve as a control method in the application of these activities.
7	Autonomous management	Training of operators and staff responsible for the AA3 line carried out, as well as preparation of the team and maintenance technicians, aiming to demonstrate the importance and results of this implementation.

- **Resultados:**

Se incrementó la disponibilidad en 10% que repercutió en 8% en el OEE. Respecto a los tiempos medios de buen funcionamiento, se lo incrementó hasta 300.05 horas en el último mes de estudio. Por último, se redujo el tiempo medio de reparación a 0.63 horas para el mismo periodo.

	Before Improvements		After Improvements	
	January	February	March	April
Year 2017				
Availability (A)	75%	74%	80%	85%
Quality (Q)	99%	97%	99%	98%
Performance (P)	99%	98%	98%	98%
OEE = A x Q x P	74%	70%	78%	82%



## Anexo 21

Proceso	Toma de tiempos																													
	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	27	28	29	30
Corte	120	147	101	129	114	96	108	146	137	119	125	118	99	126	156	122	110	110	138	133	131	135	96	98	140	143	138	96	114	139
Cilindrado	900	958	729	1170	869	1122	1062	824	1155	1168	991	1024	984	1133	981	846	729	777	1062	1074	858	1143	900	1015	1004	789	811	794	996	726
Refrentado	120	148	125	122	101	125	141	102	150	156	149	118	133	117	123	133	115	148	126	135	137	154	126	98	121	152	125	134	154	148
Taladrado	300	307	263	281	271	363	243	381	248	286	334	362	305	376	346	316	289	250	365	267	352	287	387	310	301	354	268	306	318	342
Cilindrado 2	300	334	347	359	290	258	366	378	305	263	306	381	290	372	381	261	372	244	301	390	324	357	290	300	331	314	273	285	294	301
Ranurado Axial	360	410	423	399	452	299	359	337	380	368	437	389	381	295	447	379	322	297	297	301	402	453	398	433	436	329	314	332	339	335
Centrado	300	307	328	279	341	354	255	357	316	240	382	374	296	278	389	303	347	256	253	273	287	267	297	313	355	368	365	287	390	337
Refrentado 2	240	212	303	249	254	260	216	307	202	309	213	218	200	296	274	227	241	192	247	220	255	261	302	290	203	235	245	212	197	195
Cilindrado 3	300	323	264	280	243	378	345	369	324	388	337	253	307	357	366	299	254	362	301	385	244	334	352	356	310	247	343	277	246	375
Rebaje	120	118	149	107	137	141	140	138	149	130	96	149	105	139	104	142	113	127	149	144	115	113	128	143	141	118	118	109	100	154
Fresado	300	280	282	353	350	296	277	329	256	363	260	340	368	276	367	286	274	260	283	374	343	331	302	256	370	317	381	275	307	335
Prensar	900	968	845	1007	924	874	1038	789	1090	811	726	864	827	821	764	797	1119	1135	1102	857	815	1046	876	816	1100	965	867	973	931	1130
Centrado 2	600	720	498	750	727	591	567	511	568	553	622	514	641	686	542	649	682	679	595	610	586	583	620	523	664	499	588	588	658	570
Taladrar	900	874	901	1081	1139	1096	748	1079	782	934	1126	1133	1137	1151	1157	1104	997	773	1132	788	798	793	1122	1032	862	896	990	1084	1024	995
Rebajar	900	1127	928	806	1136	760	928	830	1108	920	766	1040	834	873	964	786	809	755	1141	738	893	956	1040	859	987	1009	841	1163	986	1042