



# **UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Modelo de mejora de la eficiencia general de los equipos en la gestión del mantenimiento de instalaciones usando los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento de la calidad y mejoras enfocadas del TPM en el sector retail

#### **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

#### **AUTOR(ES)**

Ponce Muñoz, Deciderio Martin	0000-0002-0676-8024
Nieto Mocarro, Jorginho Tomassinio	0009-0006-7204-6587

#### **ASESOR(ES)**

REYES ROCHA, HUMBERTO ENRIQUE	0000-0002-6702-0546
-------------------------------	---------------------

**Lima, 16 de noviembre de 2023**

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis principalmente a mi hijo Gael quien es la persona que siempre me impulsa a seguir creciendo y desarrollarme profesionalmente, también a mi padre que siempre está brindándome su apoyo incondicionalmente y a mi madre querida que desde el cielo nos cuida y protege siempre.

A mis hijos, que me enseñan que cada día puede ser un mejor ejemplo para ellos. A mi madre, que me enseñó que la perseverancia es el camino al éxito, a mi hermano que me enseñó a que el significado de la resiliencia.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad por habernos permitido convertirnos en profesionales de gran nivel, a los profesores que durante los años de estudio pudieron plasmar su experiencia y dedicación en los alumnos. Agradecer también de gran manera a nuestro asesor quien fue el guía para poder plasmar este proyecto.

A los profesores, que nos orientaron a ser mejor profesionales a través de la educación. A nuestra asesora, por orientarnos a mejorar nuestro proyecto.

## **Resumen**

El tema de desarrollado para el proyecto de suficiencia profesional se centra en la implementación y beneficios de la metodología Total Productive Maintenance (TPM) en el sector retail. Dicho sistema tiene como objetivo generar eficiencias en la operación, reducir la indisponibilidad de los equipos y mejorar la calidad de los servicios que se dan a los visitantes. Para realizar ello, el trabajo se centra en la implementación de 3 pilares fundamentales: mantenimiento autónomo, mantenimiento de calidad y mejoras enfocadas.

El mantenimiento autónomo aborda las acciones propias de los mismos operarios y proveedores que dan servicio al Centro Comercial para cuidado propio de las maquinas, con el objetivo de reducir los tiempos de inoperatividad de los equipos. El mantenimiento de calidad identifica y elimina los defectos en tiempo real, mejorando la experiencia al cliente interno y externo. Asi mismo, las mejoras enfocadas incluyen la búsqueda permanente de eficientizar los procesos y la productividad.

En conclusión, el trabajo de suficiencia profesional demuestra la importancia de la implementación de los 3 pilares del TPM como marco integral para lograr una mejora en los procesos internos que nos permitan optimizar el funcionamiento de los procesos y equipos, sino también hacer resaltar a la compañía frente a la competencia.

Palabras clave: TPM, retail, eficiencia, mejoras, mantenimiento y equipos.

## **Abstracts**

The developed topic for the professional proficiency project focuses on the implementation and benefits of the Total Productive Maintenance (TPM) methodology in the retail sector. This system aims to generate efficiencies in the operation, reduce the unavailability of useful equipment and improve the quality of services and experience provided to clients and users. To achieve this, the work focuses on apply the 3 most important pillars: autonomous maintenance, quality maintenance, and focused improvements.

Autonomous maintenance approaches the actions of the operators and suppliers who provide a proper care service of the machines to the Shopping Center, with the aim of decrease equipment downtime. Quality maintenance identifies and deletes defects in live time, enhancing internal and external customer experience. Also, the focused improvements allow the permanent search to make processes as well as more efficient productivity.

In conclusion, the professional proficiency project shows the value of implementing the 3 pillars of TPM as an integral framework to achieve an improvement in the internal processes that allow us to optimize the performance of processes and equipment, and additionally to make the company stand out against the competition.

Keywords: TPM, retail, efficiency, improvements, maintenance and equipment.

u201121790\_Ponce Muñoz, Deciderio Martin\_Modelo de mejora de la eficiencia general de los equipos en la gestión del mantenimiento de instalaciones usando los pilares de mantenimiento autónomo, manteni

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	2%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	2%
2	repositorio.ecci.edu.co Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

## Tabla de contenido

Capítulo I – ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	11
1.1.1 Facility management.....	14
1.1.2 OEE.....	14
1.1.3 TPM .....	15
1.1.4 LEAN.....	16
Capítulo II – PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN.....	17
2.1 Descripción de la organización: .....	17
2.1 Análisis de las causas: .....	20
2.1.2 Baja calidad del Mantenimiento: .....	21
2.2 Planteamiento de objetivos: .....	23
2.2.1. Objetivo general:.....	23
2.2.2. Objetivos específicos: .....	23
Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA .....	24
3.1 Vinculación de causa con la solución: .....	24
3.2 Diseño detallado de la solución:.....	25
3.2.1 FASE 1: Implementación del Mantenimiento autónomo .....	25
3.2.2 FASE 2: Implementación del Mantenimiento de calidad .....	27
3.2.3 FASE 3: Implementación de mejoras enfocadas .....	30
3.3 Diseño de indicadores: .....	31
3.4 Consideraciones para la implementación:.....	33
3.4.1 Presupuesto de la solución: Gestión de recursos. ....	33
3.4.2 Cronograma de desarrollo: Gestión del tiempo. ....	34
Capítulo IV – RESULTADOS DEL PROYECTO.....	35

4.1	Validación funcional .....	35
4.2	Evaluación del impacto económico: .....	38
4.3	Evaluación de impactos no económicos.....	40
CONCLUSIONES .....		42
RECOMENDACIONES.....		43
Anexo(s).....		47

## Lista de Tablas

Tabla 1: <i>Nivel de ventas de la empresa, 2022</i> .....	17
Tabla 2: <i>Impacto económico de la baja eficiencia del proceso de mantenimiento</i> .....	19
Tabla 3: <i>Pasos de implementación del mantenimiento autónomo</i> .....	26
Tabla 4: <i>Formato de identificación de defectos</i> .....	27
Tabla 5: <i>Tablero de indicadores de control del modelo</i> .....	31
Tabla 6: <i>Tablero de indicadores de eficiencia del modelo</i> .....	33
Tabla 7: <i>Recursos de implementación del modelo</i> .....	33
Tabla 8: <i>Presupuesto del modelo</i> .....	34
Tabla 9: <i>Cronograma para la implementación del modelo</i> .....	34
Tabla 10: <i>Resultados de la validación del modelo</i> .....	37
Tabla 11: <i>Toma de datos antes del piloto</i> .....	37
Tabla 12: <i>Toma de datos después del piloto</i> .....	38
Tabla 13: <i>Resultados del piloto</i> .....	38
Tabla 14: <i>Flujo económico del escenario esperado</i> .....	40
Tabla 15: <i>Flujo económico del escenario moderado</i> .....	40
Tabla 16: <i>Análisis de resultados</i> .....	40
Tabla 17: <i>Resultados del análisis no económico</i> .....	41

## Lista de Figuras

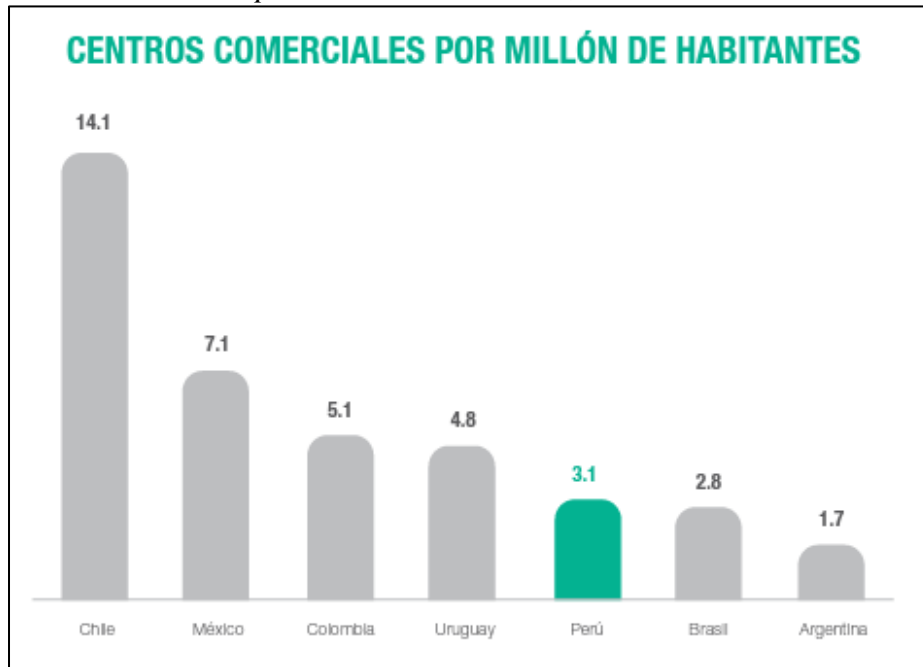
Figura 1: <i>Centros comerciales por millón de habitantes, 2022</i> .....	11
Figura 2: <i>Cumplimiento del plan de mantenimiento de centros comerciales</i> .....	18
Figura 3: <i>Disponibilidad de los equipos (Mensual)</i> .....	18
Figura 4: <i>Brecha técnica de OEE</i> .....	19
Figura 5: <i>Árbol de problemas.</i> .....	19
Figura 6 <i>Pareto de motivos de baja eficiencia</i> .....	20
Figura 7: <i>Baja disponibilidad de los equipos durante el 2022</i> .....	21
Figura 8: <i>Gráfico de baja calidad</i> .....	22
Figura 9: <i>Grafica de Demoras del proveedor</i> .....	22
Figura 10: <i>Árbol de objetivos</i> .....	23
Figura 11: <i>Modelo general propuesto</i> .....	25
Figura 12: <i>Lineamiento del contrato del subcontratista de servicios</i> .....	28
Figura 13: <i>Flujo de control del proceso de compras y proveedor</i> .....	29
Figura 14: <i>MTTR de instalaciones y equipos de mantenimiento</i> .....	30
Figura 15: <i>Resultados de las Auditorias Autónomas</i> .....	36
Figura 16: <i>Implementación Mejoras Enfocadas</i> .....	37

## Capítulo I – ANTECEDENTES DEL PROYECTO

### 1.1 Antecedentes:

A nivel mundial, en el 2022 las ventas minoristas en centros comerciales llegaron a 33 millones de soles obteniendo, un incremento del 15% con respecto al año anterior, superando los 29 millones del 2019 previo a la pandemia. En referencia al nivel de penetración de centros comerciales, el Perú presenta un bajo nivel en comparación con sus pares de la región, como se puede mostrar en la siguiente Figura que indica el número de centros comerciales por millón de habitantes en cada país de la región.

**Figura 1:** Centros comerciales por millón de habitantes, 2022



*Nota:* De “Los centros comerciales en el Perú: oportunidades de inversión”, ACCEP, 2022

La figura muestra que en el país hay aproximadamente tres centros comerciales por cada millón de habitantes, una cantidad baja si se tiene en cuenta que existen países con menor cantidad de habitantes, como Chile y Uruguay, que presentan una mayor concentración de centros comerciales por habitante. Ello mantiene al Perú como un lugar atractivo para la

inversión y crecimiento en el sector retail, es por ello vital garantizar la continuidad operativa del sector en alineamiento con la competitividad que existe entre compañías del mismo rubro. Uno de los indicadores de esta continuidad se relaciona a la disponibilidad de la infraestructura para el comercio, en donde la falta de esta impacta al impedir las visitas de los consumidores y generar ventas para los locatarios de los centros comerciales. Para evitarlo, las empresas desarrollan una estrategia de plan de mantenimiento anual donde se definen el alcance y la frecuencia que tendrá cada actividad, todo equipo que brinde un servicio debe contar con un plan asociado que permita dar la confiabilidad necesaria.

La reactivación económica ha visto un protagonismo significativo por parte del sector retail. El comercio minorista ha mantenido un crecimiento firme y continuo, capitalizando el incremento del poder adquisitivo de la población y las mejoras en las condiciones económicas (Mercado Omnia, 2023), la baja disponibilidad de las instalaciones para el comercio en los centros comerciales interfiere con la cadena de abastecimiento para funcionamiento de los servicios. Para evitarlo las técnicas de mantenimiento orientadas al aumento de indicadores como la disponibilidad, la confiabilidad, y la eficiencia, han sido estudiadas para aportar a la gestión de las instalaciones o el “facility management” Penaloza et al. (2020). Uno de los indicadores para lograrlo es el OEE que permite obtener apreciaciones cuantitativas relacionados al proceso de producción, y con ello evidenciar las áreas de mayor impacto en la organización, con ello dirigir efectivamente las tareas de mejora (Canahua Apaza, 2021). Investigaciones previas han determinado que implementar el TPM - Lean Manufacturing logra incrementar el factor calidad de los servicios de 49.44% a 94.64%, así como el desempeño de los equipos 76.68% a 93.34% y aumentar la confiabilidad de 86.70% a 96.88%. Todo ello incrementa el OEE de 32.86% a

85.58%. Es importante mencionar que a nivel mundial la disponibilidad es de 85% (Canahua Apaza, 2021).

## **1.2 Marco teórico:**

### **1.1.1 Facility management**

El facility management o gestión de las instalaciones dentro de la empresa es definido como “la gestión de servicios que sirven de soporte al negocio principal de la empresa, organizado por la empresa o un subcontratado, con los objetivos de aportar mejoras, optimizar espacios, adoptar tecnologías y promover innovaciones para el negocio” (Chang et al., 2019, p. 234). Así mismo, Carbonari et al. (2020) determina que la gestión de instalaciones puede abarcar una amplia gama de servicios en donde existe un dominio de aplicación que requiere métodos y técnicas especializados para la gestión de activos industriales. Como el Facility Management nace en un contexto industrial tiene, por lo tanto, un enfoque integrado para operar, mantener, mejorar y adaptar los edificios y la infraestructura de una organización para crear un entorno que apoye firmemente los objetivos principales de esa organización. Eskandari y Noorzai (2021) establecen que en el escenario de la Industria 4.0, la gestión de instalaciones está evolucionando como consecuencia de la introducción de nuevas tecnologías que pueden mejorar las capacidades de los roles dedicados a la gestión de estructuras.

### **1.1.2 OEE**

De acuerdo con la definición de Bispo et al. (2022), la gestión de la eficiencia del mantenimiento usa al OEE como principal indicador, ya que se ha probado su éxito en medir la efectividad general del equipo (OEE), que considera los niveles de disponibilidad, rendimiento, eficiencia y tasa de calidad de los activos. También el OEE se vuelve la principal medida de desempeño del TPM, considerando que un sistema de mantenimiento se considere de clase mundial, el valor de la disponibilidad general del equipo (OEE) debe ser al menos del 85% (Bonci et al., 2019, p. 98). Para Guillen et al. (2020), el OEE considera La tasa de calidad se mide en función de la cantidad total de productos producidos y del número total de productos

defectuosos en un momento determinado, por lo tanto, la cantidad de productos producidos está influenciada por el tiempo de funcionamiento y el número de averías durante un período determinado.

Las investigaciones de Musa et al. (2021) relacionan los valores de MTBF y OEE se pueden seleccionar según el criterio de cuanto mayor sea mejor, mientras que MTTR y MTTF se pueden elegir según el criterio de menor, mejor. La calidad del trabajo del técnico de mantenimiento es uno de los factores clave que afectan el MTBF de las máquinas. Refleja el número de averías esperadas en un período. Para mejorar la calidad de los técnicos, normalmente se les imparte formación sobre cómo realizar el mantenimiento de las máquinas de forma eficaz. Además, la antigüedad de las máquinas y el período de producción son otros factores que afectan el valor del MTBF de la máquina. Según Di (2021), el MTBF es función de varios períodos de funcionamiento y del número de averías, por lo tanto, el nivel de entrenamiento de los técnicos de mantenimiento determina en gran medida el MTTR de una máquina averiada.

### ***1.1.3 TPM***

Para Rosli (2020), en inglés Total Productive Maintenance, el mantenimiento productivo total (TPM); es un modelo más utilizado por un gerente de instalaciones, junto con el RCM y CMMS. La investigación de Kim et al. (2023) indica que los orígenes del TPM indican que se originó en Japón, donde demostró ser muy eficaz y rentable en las empresas japonesas, y ahora se adopta en varias empresas de todo el mundo. Para Slama (2023) su principal beneficio se encuentra en que las personas que utilizan los equipos son quienes tienen mayor conocimiento sobre ellos, por lo tanto, estas personas son las más indicadas para contribuir en las reparaciones y modificaciones, con el objetivo de mejorar la calidad y la productividad. Como la filosofía TPM se basa en ocho pilares. Prabhakar Deepak y Raj Jagathy (2019) propusieron una metodología de doce pasos para la integración de la filosofía TPM en una estrategia de

mantenimiento. La primera fase consiste en las iniciativas necesarias para ayudar a abordar las inquietudes de los empleados con respecto a la implementación de TPM, alinear el programa con los objetivos organizacionales y garantizar el desarrollo de una hoja de ruta efectiva, creando un ambiente organizacional favorable. La segunda fase consiste en desarrollar la madurez del programa, adoptar mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, aumentar la calidad del mantenimiento, adoptar oficinas enfocadas exclusivamente a la implementación y mantenimiento de TPM, enfocarse en seguridad, salud y medio ambiente, desarrollar gerentes con la adopción de herramientas de asistencia a la gestión y la aplicación de benchmarking en busca de nuevos instrumentos y formas de mejorar los procesos de mantenimiento. La tercera y última fase consiste en la sostenibilidad de las prácticas de TPM en la organización, aplicación de prácticas Lean y uso de indicadores clave de desempeño (Prabhakar Deepak & Raj Jagathy, 2019).

#### ***1.1.4 LEAN***

Según la definición proporcionada por Bauer et al. (2018), el concepto de Lean Manufacturing ha sido ampliamente aceptado a nivel mundial debido a los numerosos beneficios que proporciona en términos de mejora constante. Además, según Abdullah et al. (2023), presenta la ventaja de ser adaptable en cualquier tipo de empresa u organización, con la seguridad de alcanzar el éxito en su implementación siguiendo sus principios y prácticas. Para lograr esto, se emplean una serie de herramientas, métodos y técnicas con el fin de identificar procesos, actividades y tareas que carecen de valor y no cumplen con las expectativas del cliente. }

## Capítulo II – PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN

### 2.1 Descripción de la organización:

La empresa se describe como un desarrollador y operador inmobiliario de la región andina, inició sus operaciones en los años ochenta en el Perú, Actualmente, cuenta con 1,344,560 m<sup>2</sup> de ABL (área rentable) y tiene presencia regional en varios países de Latinoamérica. Los activos de la compañía incluyen 8 Centros Comerciales Regionales, 9 Centros Comerciales Vecinales, 2 Outlets y 3 Strip Center en el Perú, así como algunos terrenos para contribuir a los planes de crecimiento futuros como plan de expansión. La empresa ha pasado por varios procesos de adquisiciones como su plan de crecimiento a lo largo de los años, así como el desarrollo propio de varios malls en varias regiones del país. A continuación, se muestra el estado de resultado del 2022 expresado en M\$.

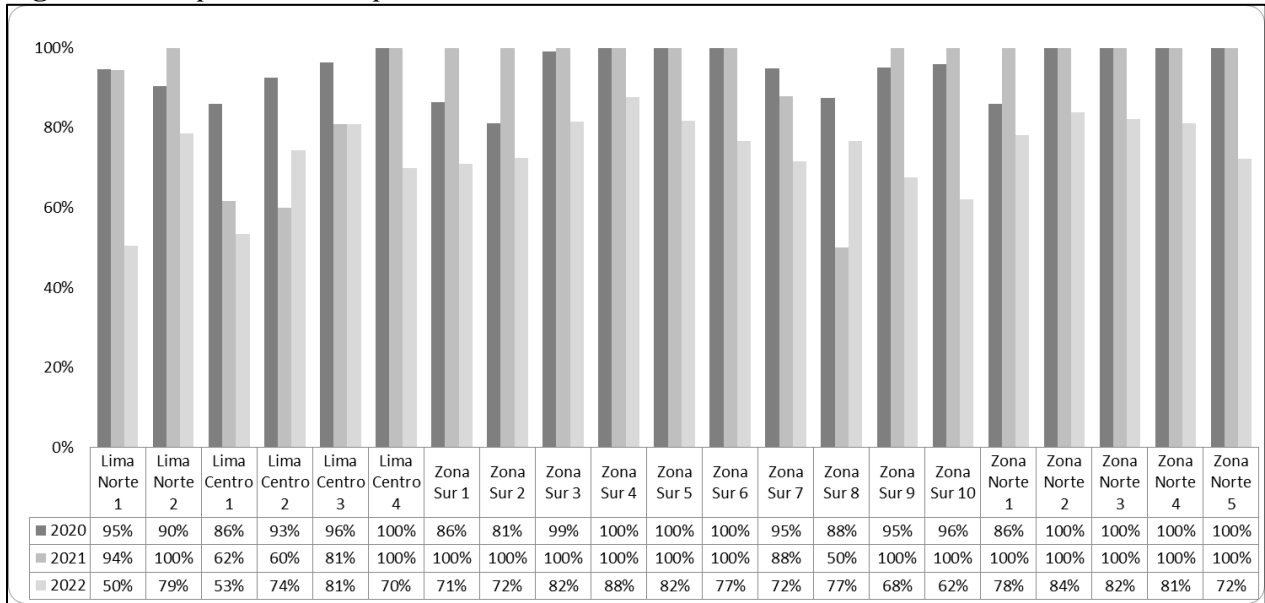
**Tabla 1:** Nivel de ventas de la empresa, 2022

Valor económico directo	
Ventas netas 2022	S/1,284
Ventas netas 2021	S/653
Capitalización total	
Deudas	S/141
Patrimonio	S/230

Nota. Elaborado a partir de la información brindada por la empresa

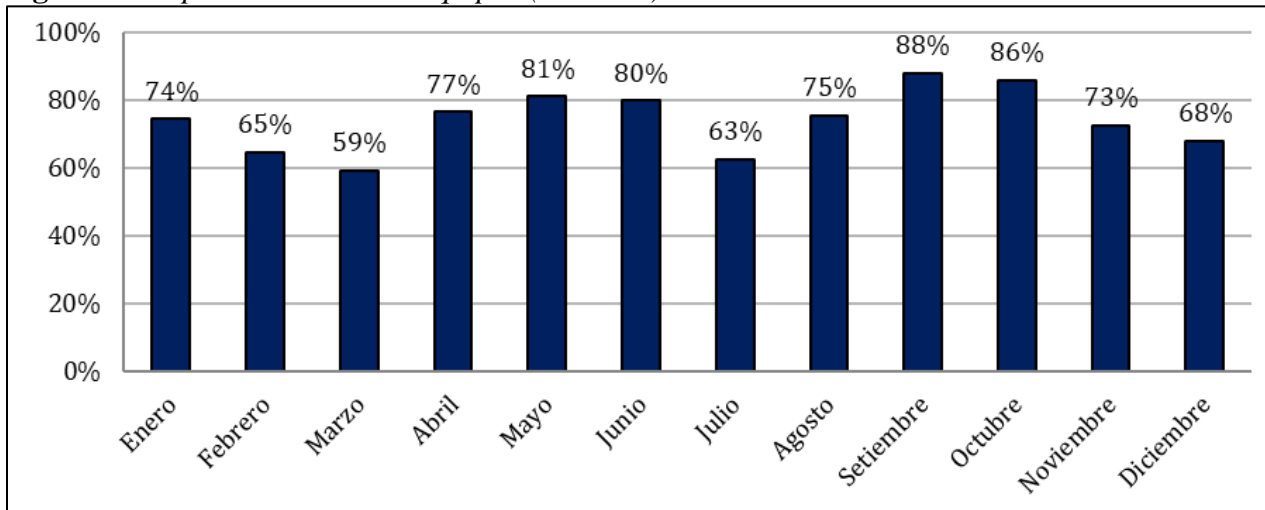
El principal proceso de la empresa se relaciona con el servicio de mantenimiento de las instalaciones de los 22 centros comerciales de la empresa, para garantizar un servicio de calidad para sus clientes, formados por los locatarios de los centros comerciales. La siguiente Figura se muestra el nivel desempeño del plan de mantenimiento de estas instalaciones durante los 2020, 2021 y 2022.

**Figura 2: Cumplimiento del plan de mantenimiento de centros comerciales**



En la Figura 2 se refleja que en el 2022 ha disminuido el nivel de cumplimiento del plan a un 77%, cuando en el 2021 fue de 96% y en el 2020 de un 98%. La siguiente Figura se informa el nivel de desempeño del año 2022 por mes, en donde se visualiza que el mismo ha fluctuado de 59% a 88% en los meses del año.

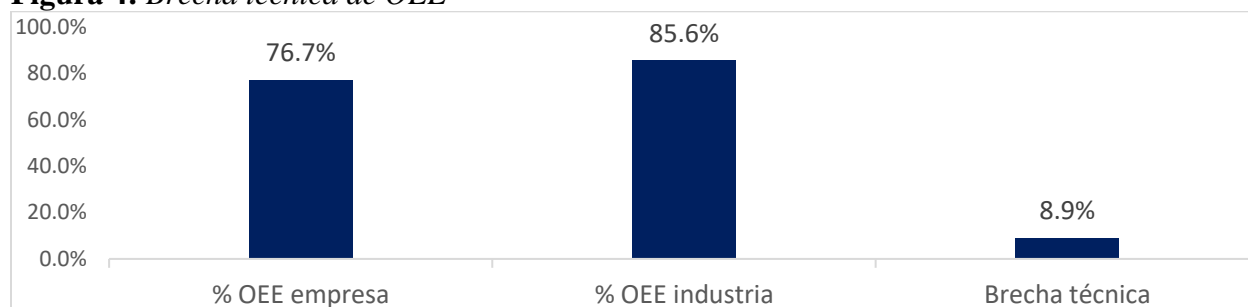
**Figura 3: Disponibilidad de los equipos (Mensual)**



### Identificación del problema:

- Brecha técnica: El incumplimiento del proceso de mantenimiento refleja una baja eficiencia del proceso que se mide con el OEE de mantenimiento en la gestión de las instalaciones del centro comercial de la empresa. De acuerdo con una investigación previa de (Canahua Apaza, 2021) se pueden llegar a niveles de OEE 85.6%, cuando la empresa presenta un nivel de 76.7%, lo cual indica una brecha técnica de 8.9% como se muestra.

**Figura 4:** Brecha técnica de OEE



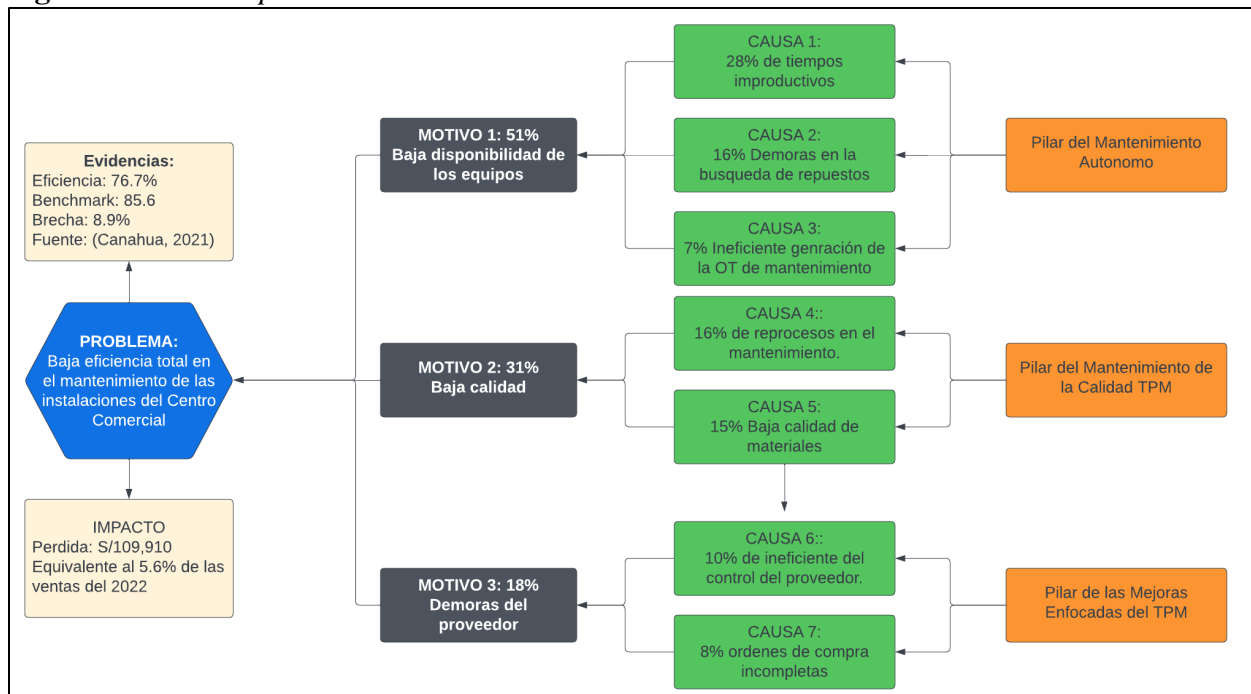
- Impacto económico: En la siguiente tabla se aprecia el detalle por la baja eficiencia del proceso de mantenimiento que conlleva a una pérdida de S/109,910 equivale al 5.6% de las ventas del año 2022. Esto se mide por el número de horas perdidas por el incumplimiento de las órdenes de trabajo de mantenimiento.

**Tabla 2:** Impacto económico de la baja eficiencia del proceso de mantenimiento

Producto	Horas de OT de mantenimiento no cumplidas	Costo unitario (PEN)	Costo total (PEN)
Instalaciones	2,528		
Falta de disponibilidad de los equipos	1,157	45	52,065
Fallas de calidad del mantenimiento	878	35	30,730
Demoras del proveedor	493	55	27,115
<b>Impacto total</b>			<b>109,910</b>
<b>Facturación de la empresa</b>			<b>1,972,726</b>
<b>% pérdida / facturación</b>			<b>5.60%</b>

Como resumen, se aprecia la problemática de la empresa que la ha llevado a tener un bajo nivel de eficiencia total de los equipos en el proceso de gestión de las instalaciones del centro comercial bajo estudio. Es por ello por lo que se elabora el siguiente árbol de problemas.

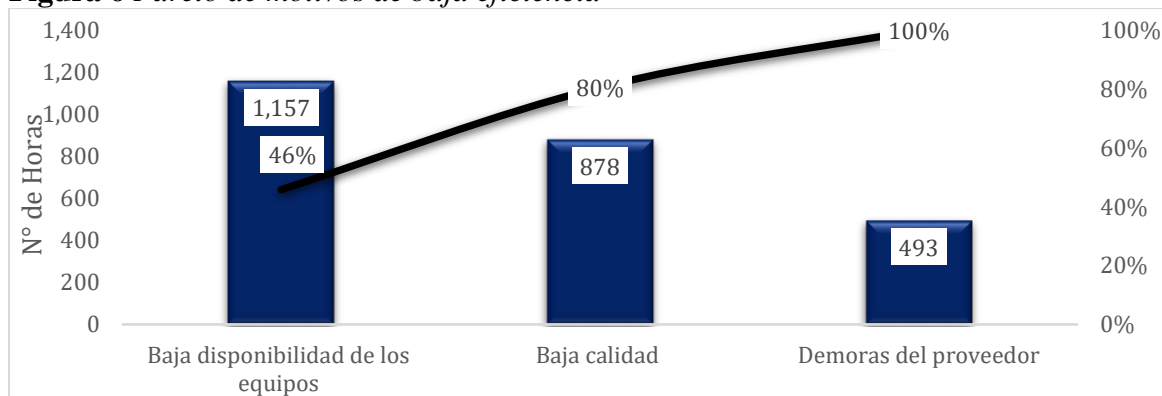
**Figura 5: Árbol de problemas.**



### 2.1 Análisis de las causas:

En la siguiente Figura se determinan los motivos de baja eficiencia total de los equipos en el proceso de gestión de las instalaciones del centro comercial que se relaciona con las horas no eficientes producidas por la baja disponibilidad de los equipos, la baja calidad y las demoras del proveedor.

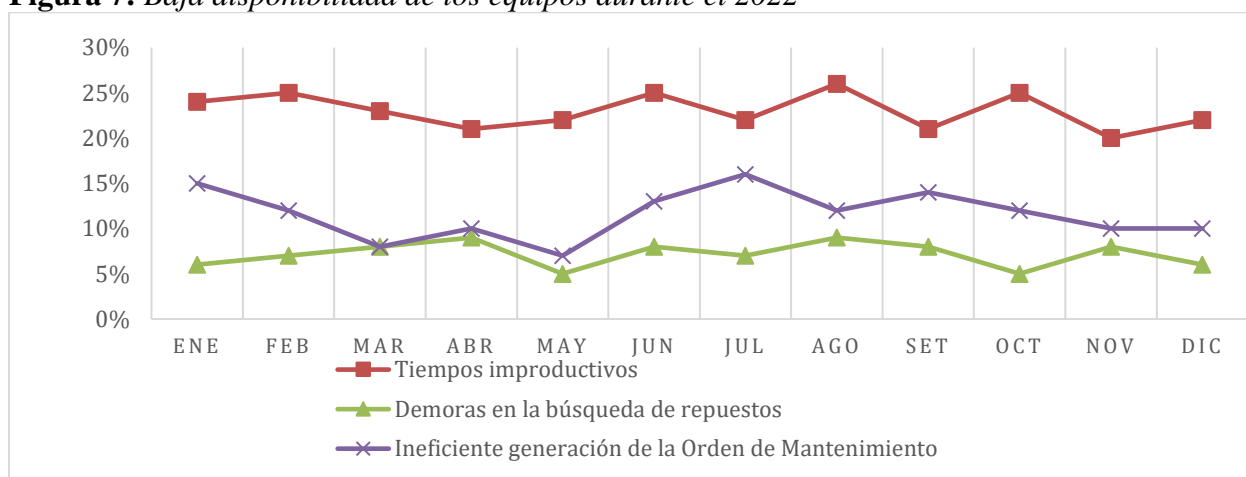
**Figura 6 Pareto de motivos de baja eficiencia**



### 2.1.1 Baja disponibilidad de los equipos:

Para determinar las causas raíz de la baja disponibilidad de los equipos se contabilizan las horas perdidas de órdenes de trabajo de mantenimiento que han delimitado la baja eficiencia del proceso en términos de disponibilidad, rendimiento o calidad.

**Figura 7:** Baja disponibilidad de los equipos durante el 2022

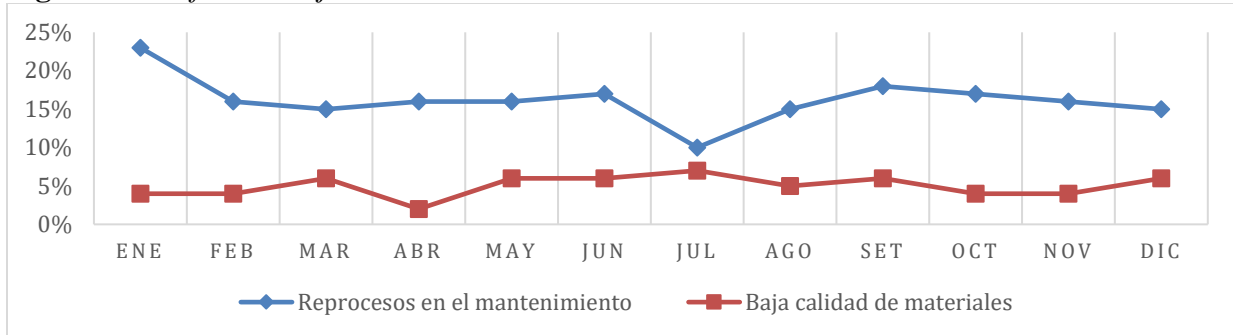


Como se muestra en la figura 7 los resultados de la medición de tiempos improductivos en el proceso de mantenimiento, en donde el 24% del tiempo del proceso de mantenimiento ha sido usado en actividades que no generan valor al proceso. Así mismo se muestra los resultados del tiempo total tomado por las actividades de búsqueda de repuestos, materiales y equipos en el proceso de mantenimiento que equivale al 7.2% del tiempo total de ciclo. Y por último los resultados de la medición de la ineficiencia en la generación de ordenes de trabajo de mantenimiento, lo cual dio un 11.6 % de ineficiencia en el proceso de mantenimiento.

### 2.1.2 Baja calidad del Mantenimiento:

La siguiente tabla se muestra las causas de baja calidad en el mantenimiento de las instalaciones a raíz de los reprocesos de los trabajos y la mala calidad de los materiales.

**Figura 8:** Gráfico de baja calidad

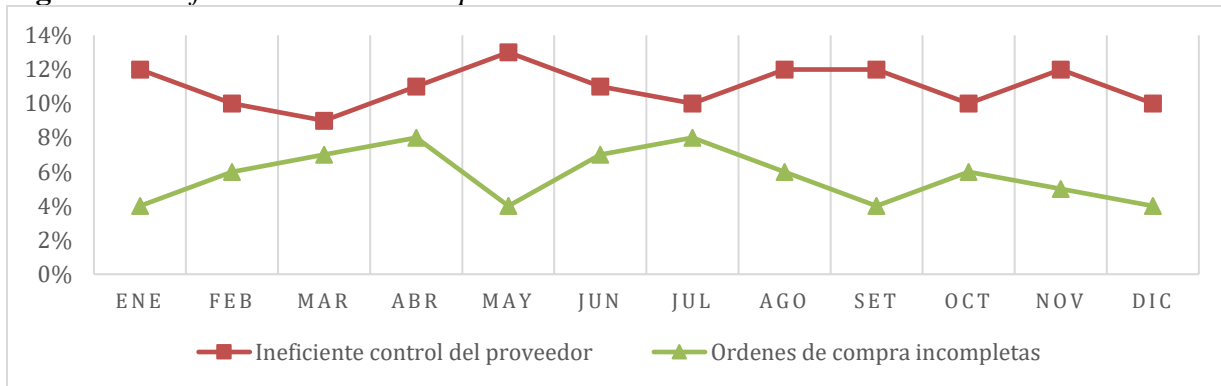


La figura 8 se muestran los resultados de la medición del proceso de mantenimiento, en donde se tiene un promedio de 16.2% de reprocesos en los mantenimientos realizados. También se muestra los resultados de la medición del proceso de mantenimiento, donde se obtuvo un promedio de 5.0 % en procesos por baja calidad de los servicios realizados.

### 2.1.3 Demoras del proveedor:

En la siguiente figura se muestra el Pareto de causas de las demoras del proveedor en el mantenimiento de las instalaciones.

**Figura 9:** Grafica de Demoras del proveedor



La figura 9 muestra los resultados de la medición de las entregas de órdenes de trabajo que no fueron cumplidas por el proveedor, que se encuentran en 11% en promedio. Así mismo se muestran los resultados de las órdenes de compras que han sido entregadas por los proveedores

de materiales de manera incompleta impidiendo que se complete el proceso de mantenimiento que ascienden a 5.8% de las OC.

## 2.2 Planteamiento de objetivos:

### 2.2.1. Objetivo general:

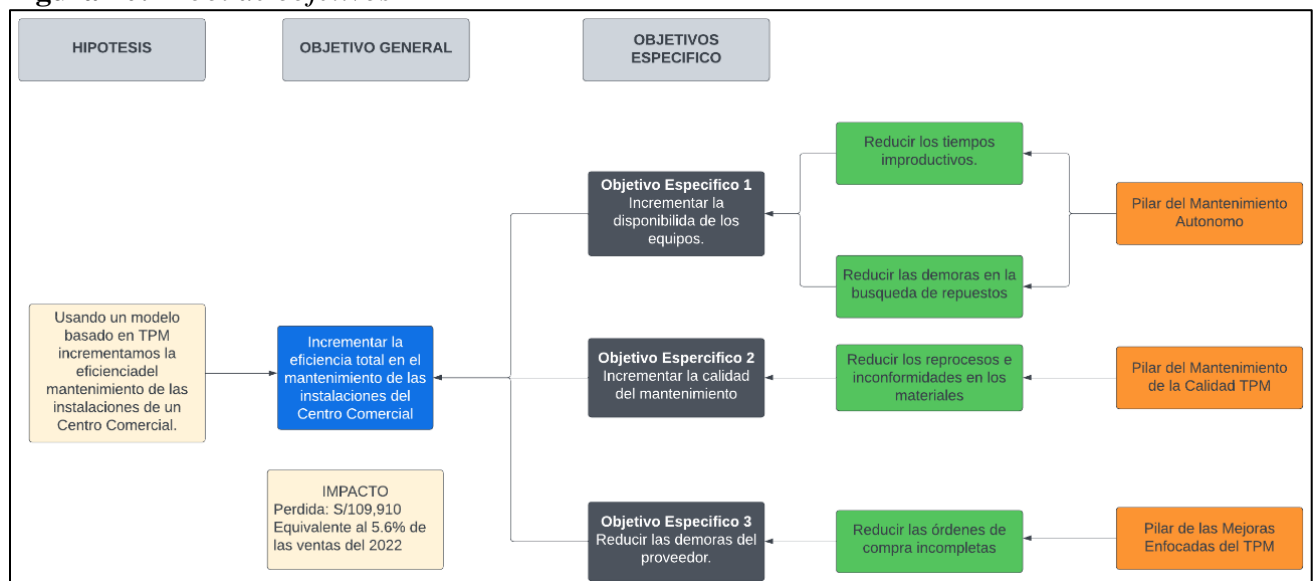
Elaborar un modelo de mejora de la eficiencia general de los equipos en la gestión del mantenimiento de instalaciones usando los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento de la calidad y mejoras enfocadas del TPM en el sector retail.

### 2.2.2. Objetivos específicos:

Objetivo específico 1	Incrementar la disponibilidad de los equipos con el pilar de mantenimiento autónomo del TPM.
Objetivo específico 2	Incrementar la calidad del mantenimiento con el pilar del mantenimiento de la calidad del TPM.
Objetivo específico 3	Reducir las demoras del proveedor con el pilar de mejoras enfocadas del TPM.

En la siguiente figura se muestra el resumen de objetivos e hipótesis del modelo propuesto.

**Figura 10: Árbol de objetivos**



## Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA

### 3.1 Vinculación de causa con la solución:

Para la elaboración de la solución que permita el objetivo principal del modelo que es incrementar la eficiencia total en el mantenimiento de las instalaciones se deben mejorar las causas relacionadas con los tiempos improductivos como las demoras en la búsqueda de repuestos y la ineficiente generación de la orden de mantenimiento, para lo cual el artículo de Guritno y Cahyana (2021) muestra que el accionamiento del mantenimiento autónomo permite reducir los tiempos con el uso sistemático de rutinas de limpieza diarias y de cortos minutos realizadas por los propios operadores que establecen reducción de paradas mayores.

Para la reducción de los reprocesos en el mantenimiento a través de la mejora de la calidad de materiales Xiang y Chin (2021) mencionan que la implementación del pilar de mantenimiento de calidad establece el estudio de las principales fuentes de paradas en los equipos y la creación de equipos kaizen que generen planes correctivos para reducir las paradas desde la fuente.

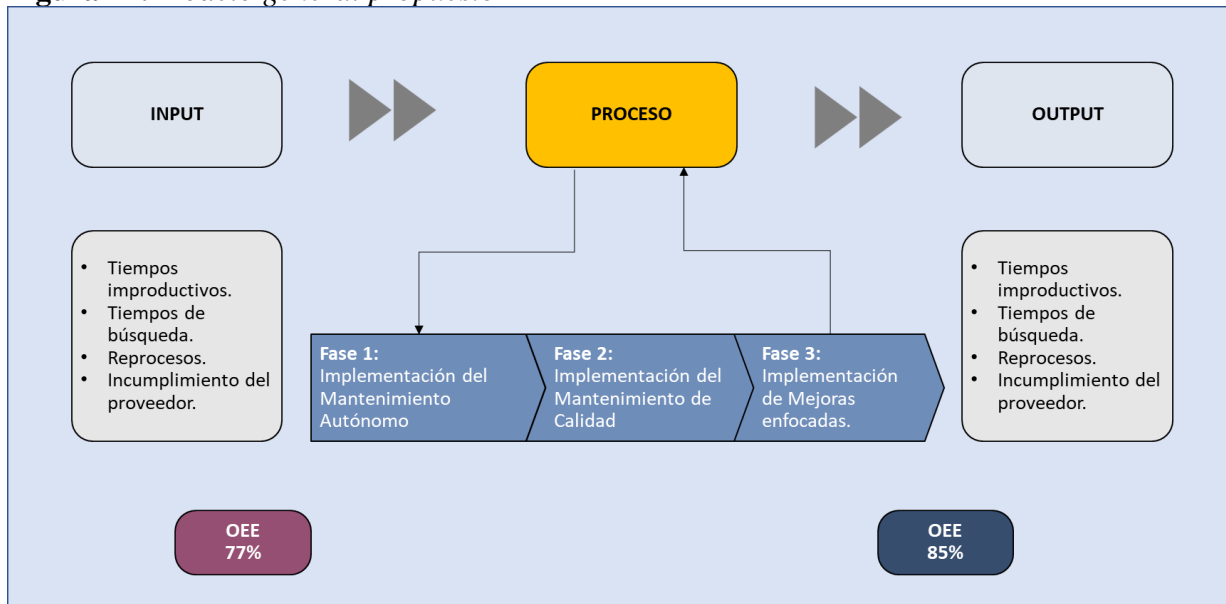
Por otro lado, para la implementación del control del proveedor el modelo creado por King et al (2020) establece que el uso de mejoras en la calidad del mantenimiento ayudó a mejorar el factor calidad (de 49.44% a 94.64%) en su meta para llegar al índice mundial de 85%. Para la reducción de las órdenes de compra incompletas Chaurey et al. (2023) establecen que el uso de las herramientas de mejoras enfocadas del TPM, permitiendo crear estrategias de mantenimiento aplicados pasando del estudio de indicadores cuantitativos como costos producto de reparaciones, al paso al estudio de análisis cualitativos. Meca Vital y Camello Lima (2020)

establecen que el uso del TPM en el mantenimiento que asegura la continuidad operativa, evitando paradas y tiempos muertos de las máquinas.

### 3.2 Diseño detallado de la solución:

Para la mejora de la eficiencia del proceso de mantenimiento de instalaciones se establece un nuevo modelo basado en 3 herramientas del TPM con el objetivo de reducir los tiempos improductivos, los reprocesos y los incumplimientos del proveedor como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 11:** Modelo general propuesto



En la siguiente fase se identifican los pasos a seguir para la implementación del modelo:

#### 3.2.1 FASE 1: Implementación del Mantenimiento autónomo

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo con la activa participación de los trabajadores en el proceso. Involucra la realización sistemática de tareas no especializadas, como inspecciones, limpieza, lubricación, ajustes menores, análisis de mejoras, examen de fallas y otras actividades afines. Es imperativo que los trabajadores reciban capacitación y sean flexibles para asumir estas responsabilidades, demostrando un conocimiento profundo tanto del equipo que utilizan como de las instalaciones circundantes. Los objetivos del mantenimiento autónomo

son concretos y contribuyen directamente a la preservación de los equipos mediante medidas preventivas.

**Tabla 3:** *Pasos de implementación del mantenimiento autónomo*

Etapa	Nombre	Descripción
1	Limpieza Inicial (limpieza inicial)	Eliminación de suciedad, escapes, polvo, identificación de fugas, ajustes menores
2	Acciones correctivas en la fuente	Evitar que el equipo se ensucie nuevamente, facilitar su acceso, inspección y limpieza inicial; reducir el tiempo empleado en la limpieza profunda
3	Preparación de estándares de inspección	Se diseñan y aplican estándares provisionales para mantener los procesos de limpieza, lubricación y ajuste. Una vez validos se establecerán en forma definitiva
4	Inspección general	Entrenamiento para la inspección haciendo uso de materiales, eliminación de pequeñas averías y mayor conocimiento del equipo a través de la verificación
5	inspección autónoma	Formulación e implementación de procedimientos de control autónomo

*Nota.* Adaptado de “Implementation of Autonomous Maintenance in Total Productive Maintenance”, por Guritno y Cahyana, 2021, p. 89.

#### 3.2.1.1 Paso 1: Limpieza inicial,

En este paso se establece el proceso para realizar una limpieza que elimine la grasa, polvo y suciedad de los equipos críticos o que pongan en riesgo la operatividad del Centro Comercial. También se establece el procedimiento de ajuste, calibración y frecuencia de las partes de la máquina de mantenimiento para la instalación.

#### 3.2.1.2 Paso 2: Acciones correctivas:

Junto con el equipo de operaciones se establecen las fuentes de necesidad de mantenimiento de las instalaciones de acuerdo con su criticidad, se hace un diagnóstico del estado de las máquinas de mantenimiento para que sean corregidos.

#### 3.2.1.3 Paso 3: Preparación de estándares de inspección,

Durante este paso, se generan las programaciones de limpieza de las instalaciones y la lubricación de los equipos de mantenimiento, lo cual implica definir los cronogramas y criterios de limpieza, lubricación y ajustes de la maquinaria

#### 3.2.1.4 Paso 4: Inspección general

Esta fase se concentra en la identificación de los modos de fallo de la maquinaria de mantenimiento y en la elaboración de formularios para comprobar el estado de los componentes de la máquina mediante un procedimiento de inspección rutinaria.

#### 3.2.1.5 Paso 5: Inspección autónoma,

Se establecen también procedimientos para la inspección rutinaria de las instalaciones, porque es el personal de las operaciones el que establece rutinas diarias. Para ellos se capacita al personal de operación sobre la implementación de una lista de chequeo para una inspección autónoma.

### 3.2.2 FASE 2: Implementación del Mantenimiento de calidad

El pilar de mantenimiento de la calidad se aplica para mejorar las condiciones con el objetivo de lograr eliminar el total de reprocesos y defectos. Para esto, este pilar incorpora principios sistemáticos que incluyen la utilización de herramientas y tecnología apropiada, como técnicas de control de calidad, herramientas de medición y pronóstico precisas. Los pasos para su puesta en práctica son los siguientes:

#### 3.2.2.1 Paso 1: Clasificación de defectos

En esta etapa se establece el uso del formato de identificación de defectos mostrado en la siguiente tabla, el cuadro completo se encuentra en la lista de anexos.

Tabla 4: *Formato de identificación de defectos*

Nombre de la falla	Identificación del contexto	Frecuencia	Causas	Efectos	Relaciones con las condiciones de los equipos

#### 3.2.2.2 Paso 2: Análisis de mantenimiento preventivo,

En este caso se enfatiza la necesidad de identificar los factores del equipo que pueden resultar en reproceso de calidad, para lo cual se conforma un equipo de 25 personas destinado al

análisis. Este grupo abarca personal técnico, jefes de operaciones, expertos en seguridad y proveedores. Se recurre a herramientas de calidad con el fin de lograr una integración efectiva de un sistema de supervisión para el mantenimiento de las instalaciones. Además, se plantea la urgencia de desarrollar un proceso de subcontratación específico destinado al interior del centro comercial, asegurando así una estructura de mantenimiento óptima. Dentro de este marco, se establecerán criterios mínimos para la adquisición de bienes o servicios, y se asignarán roles y responsabilidades a las partes involucradas en todo el proceso.

#### 3.2.2.3 Paso 3: Establecer rangos estándar,

En este paso se identifican los elementos del equipo que podrían ocasionar defectos en la calidad y se definen los métodos de medición correspondientes. Se puso en práctica la política corporativa de supervisión de contratistas, lo que posibilitó que el centro comercial mejorara su eficiencia al ejecutar procesos más definidos y estandarizados. Dentro de este marco, se siguieron los siguientes principios:

- Para toda compra se requiere una orden de compra (exista o no contrato).
- Cada compra mayor a USD 1,000 debe estar sustentada por tres cotizaciones.
- Establece parámetros de justificación de la selección del proveedor.

Todo ello se detalla en la Figura 12.

#### 3.2.2.4 Paso 4: Establecer un programa de inspección periódico de los factores críticos,

Se establece un proveedor único de mantenimiento de instalaciones, y se plantea como mínimo de cotizaciones y sus garantías a considerar cuando se requiere elaborar un contrato son los lineamientos expresados en la Figura 12.

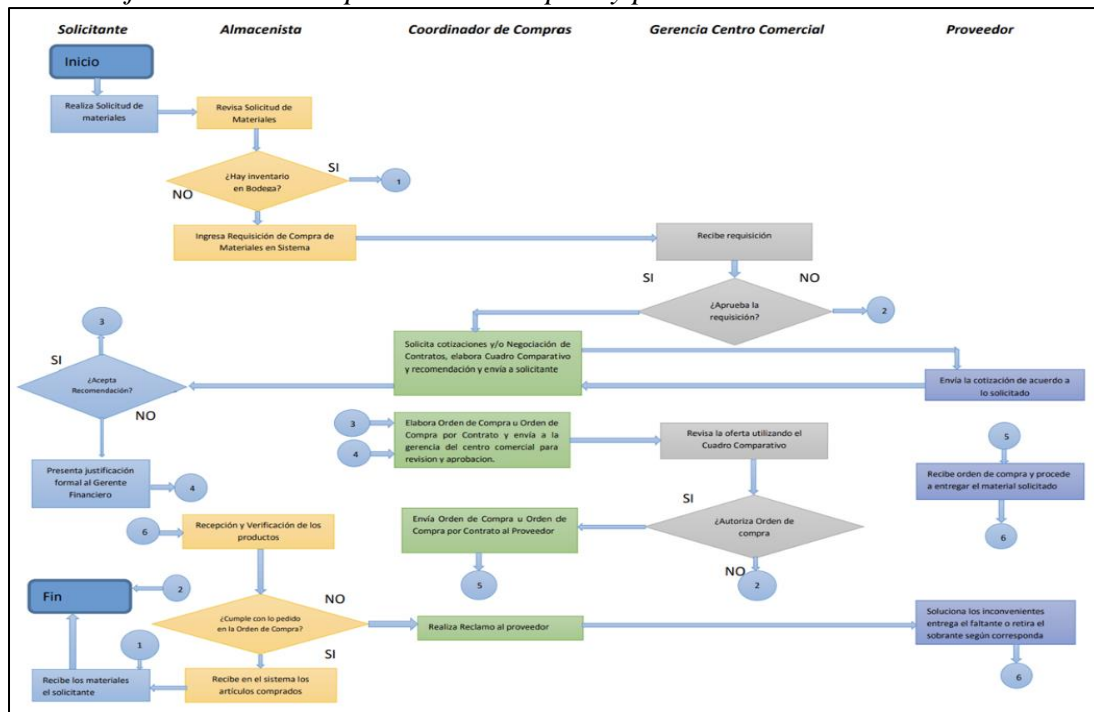
**Figura 12:** *Lineamiento del contrato del subcontratista de servicios*

Cantidad en USD	Documentación Mínima Requerida
Monto menor a USD \$ 1,000.00	Mínimo una (1) cotización No requiere contrato
Monto mayor a USD \$ 1,000.00	Mínimo tres (3) cotizaciones
Monto mayor a USD \$ 5,000.00	Mínimo tres (3) cotizaciones Se requiere contrato firmado por la gerencia general
Monto mayor a USD \$ 25,000.00	Mínimo tres (3) cotizaciones Se solicitan polizas de cumplimiento, cualquier excepción debe estar aprobada por la gerencia general
Monto mayor a USD \$ 100,000.00	Mínimo tres (3) cotizaciones Se requiere un contrato especial elaborado y supervisado por el departamento legal y firmado por la gerencia general.

### 3.2.2.5 Paso 5: Preparar matrices de mantenimiento y mejora.

En esta tabla se establecen las oportunidades de mejora encontradas en el método de compras y contratación: se crea un responsable del área de compras y se establece el flujo de control del proveedor en la siguiente figura.

**Figura 13:** Flujo de control del proceso de compras y proveedor



### 3.2.3 FASE 3: Implementación de mejoras enfocadas

Este pilar tiene como objetivo mejorar la eficiencia global de los equipos buscando mejorar el proceso de mantenimiento de las instalaciones y la eliminación de las limitantes de los equipos con los siguientes pasos:

#### 3.2.3.1 Paso 1: Análisis del problema

En este paso, se identifica la imperante necesidad de mejorar el rendimiento del mantenimiento a través de la implementación del indicador MTTR. Este indicador evalúa el tiempo necesario para llevar a cabo mantenimientos, ya sea de manera individual o colectiva, considerando la complejidad y criticidad de cada caso.

#### 3.2.3.2 Paso 2: Identificación de causas

El MTTR, que significa Tiempo Medio para la Reparación, refleja la eficiencia del equipo de mantenimiento. Su cálculo implica la relación entre el tiempo total empleado en el mantenimiento correctivo durante un periodo específico y el número de intervenciones de mantenimiento realizadas. Los valores para el mantenimiento de las instalaciones se presentan en las siguientes Figuras:

**Figura 14:** *MTTR de instalaciones y equipos de mantenimiento*

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento correctivo}}{\text{Número de intervenciones}}$$

#### 3.2.3.3 Paso 3: Plan de acciones correctivas

En esta etapa se plantean las acciones de diseño basado en un formato XLMS con un generador de macros en Visual Basic para monitorear el mantenimiento de los activos e infraestructura del centro comercial.

Como segundo aporte se establece la creación de un sistema con paquetes de software de desarrollo interno para el control del inventario de activos e infraestructura, la planificación del mantenimiento preventivo a través de OTs, la ubicación de ellos, realizar una programación

anual de los mantenimientos preventivos a los equipos a realizar, registrar los tiempos de paradas, designara al personal para cada tarea y controlar el tiempo en que se lleva a cabo.

Se establece el control a tiempo real del estatus de las órdenes de trabajo (OT) de mantenimiento para realizar una programación de los equipos y garantizar su disponibilidad considerando las maquinarias y mobiliarios.

Para la disminución del tiempo de ejecución de las órdenes, se establece un generador de OTs el cual debe ser respondido por el responsable del mantenimiento, quien registrara las horas de inicio y finalización real.

#### 3.2.3.4 Paso 4: Plan de estandarización

Para la disminución del tiempo de ejecución de las órdenes, se establece un generador de OTs el cual debe ser respondido por el responsable del mantenimiento, quien registrara las horas de inicio y finalización real.

### 3.3 Diseño de indicadores:

En la siguiente tabla se muestran los indicadores de control del proceso de mantenimiento que se establecen para la validación de las mejoras propuestas.

**Tabla 5:** *Tablero de indicadores de control del modelo*

Indicador	Fórmula	Resultado AS IS	Resultado TO BE
% Tiempos improductivos	Minutos de tiempos improductivos / Tiempo de ciclo*100	24%	95%
% Reprocesos	N° OT reprocesadas / N° OT *100	16%	67%
% Incumplimiento del proveedor	N° OC cumplidas / N° OC *100	26%	5%
% OC incompletas	N° OC incompletas / N° OC *100	15%	5%

Para la validación del modelo propuesto se establece la medición de indicadores de resultado relacionados al objetivo final del modelo que es el incremento de la eficiencia total del

proceso, para lo cual se miden los indicadores de calidad, disponibilidad y rendimiento que establecen en OEE, todo ello se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 6:** *Tablero de indicadores de eficiencia del modelo*

Indicador	Estándar	Resultado AS IS	Resultado TO BE
% OEE	85%	77%	85%
% Calidad	91%	89%	91%
% Disponibilidad	94%	87%	94%
% Rendimiento	99%	98%	99%

### 3.4 Consideraciones para la implementación:

Para garantizar la implementación del modelo y sus resultados un factor crítico es el compromiso del plan de mantenimiento para implementar los sistemas de control del mantenimiento tanto de los equipos como de las instalaciones de los locatarios en el centro comercial.

#### 3.4.1 Presupuesto de la solución: Gestión de recursos.

En la siguiente tabla se muestra el total de recursos humanos designados para el modelo propuesto que se identifica para la gerencia de mantenimiento.

**Tabla 7:** *Recursos de implementación del modelo*

TAREA	N° Personas involucradas
<b>FASE 1: Implementación del Mantenimiento autónomo</b>	
3.2.1.1 Paso 1: Limpieza inicial	15
3.2.1.2 Paso 2: Acciones correctivas	20
3.2.1.3 Paso 3: Preparación de estándares de inspección	4
3.2.1.4 Paso 4: Inspección general	5
3.2.1.5 Paso 5: Inspección autónoma	13
<b>FASE 2: Implementación del Manteneiminto de calidad</b>	
3.2.2.1 Paso 1 Clasificación de defectos	15
3.2.2.2 Paso 2 Análisis de mantenimiento preventivo	20
3.2.2.3 Paso 3 Establecer rangos estándar	15
3.2.2.4 Paso 4 Establecer un programa de inspección	15
3.2.2.5 Paso 5: Preparar matrices de mantenimiento y mejora	15
<b>FASE 3: Implementación de mejoras enfocadas</b>	
3.2.3.1 Paso 1: Análisis del problema	20
3.2.3.2 Paso 2: Identificación de causas	25
3.2.3.3 Paso 3: Plan de acciones correctivas	15
3.2.3.4 Paso 4: Plan de estandarización	15

Por último, se establece en la siguiente tabla el presupuesto del modelo propuesto a través del impacto en gasto de mantenimiento de los recursos usados para cada implementación.

**Tabla 8: Presupuesto del modelo**

TAREA	DÍAS	Nº Personas involucradas	Horas / persona	Costo unitario	Costo Total
<b>FASE 1: Implementación del Mantenimiento autónomo</b>	<b>120</b>				S/ 42,750.00
3.2.1.1 Paso 1: Limpieza inicial	17	15	25	30	S/ 11,250.00
3.2.1.2 Paso 2: Acciones correctivas	28	20	25	30	S/ 15,000.00
3.2.1.3 Paso 3: Preparación de estándares de inspección	45	4	25	30	S/ 3,000.00
3.2.1.4 Paso 4: Inspección general	15	5	25	30	S/ 3,750.00
3.2.1.5 Paso 5: Inspección autónoma	15	13	25	30	S/ 9,750.00
<b>FASE 2: Implementación del Mantenimiento de calidad</b>	<b>110</b>				S/ 72,000.00
3.2.2.1 Paso 1 Clasificación de defectos	20	15	30	30	S/ 13,500.00
3.2.2.2 Paso 2 Análisis de mantenimiento preventivo	15	20	30	30	S/ 18,000.00
3.2.2.3 Paso 3 Establecer rangos estándar	15	15	30	30	S/ 13,500.00
3.2.2.4 Paso 4 Establecer un programa de inspección	30	15	30	30	S/ 13,500.00
3.2.2.5 Paso 5: Preparar matrices de mantenimiento y mejora	30	15	30	30	S/ 13,500.00
<b>FASE 3: Implementación de mejoras enfocadas</b>	<b>165</b>				S/ 33,750.00
3.2.3.1 Paso 1: Análisis del problema	45	20	15	30	S/ 9,000.00
3.2.3.2 Paso 2: Identificación de causas	40	25	15	30	S/ 11,250.00
3.2.3.3 Paso 3: Plan de acciones correctivas	40	15	15	30	S/ 6,750.00
3.2.3.4 Paso 4: Plan de estandarización	40	15	15	30	S/ 6,750.00
<b>Costo total de implementación</b>					<b>S/ 148,500.00</b>

### 3.4.2 Cronograma de desarrollo: Gestión del tiempo.

En la siguiente tabla se muestra el cronograma de implementación del proyecto que establece los pasos y el tiempo de desarrollo de cada pilar del modelo.

**Tabla 9: Cronograma para la implementación del modelo**

TAREA	INICIO	FIN	DÍAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
<b>FASE 1: Implementación del Mantenimiento autónomo</b>			<b>120</b>							
3.2.1.1 Paso 1: Limpieza inicial	1-1-23	17-1-23	17	■						
3.2.1.2 Paso 2: Acciones correctivas	18-1-23	14-2-23	28		■	■				
3.2.1.3 Paso 3: Preparación de estándares de inspección	15-2-23	31-3-23	45			■	■			
3.2.1.4 Paso 4: Inspección general	1-4-23	15-4-23	15			■				
3.2.1.5 Paso 5: Inspección autónoma	16-4-23	30-4-23	15			■				
<b>FASE 2: Implementación del Mantenimiento de calidad</b>			<b>110</b>							
3.2.2.1 Paso 1 Clasificación de defectos	1-4-23	20-4-23	20				■			
3.2.2.2 Paso 2 Análisis de mantenimiento preventivo	21-4-23	5-5-23	15				■			
3.2.2.3 Paso 3 Establecer rangos estándar	6-5-23	20-5-23	15					■		
3.2.2.4 Paso 4 Establecer un programa de inspección	20-5-23	18-6-23	30					■	■	
3.2.2.5 Paso 5: Preparar matrices de mantenimiento y mejora	3-6-23	2-7-23	30						■	■
<b>FASE 3: Implementación de mejoras enfocadas</b>			<b>165</b>							
3.2.3.1 Paso 1: Análisis del problema	4-6-23	18-7-23	45					■	■	■
3.2.3.2 Paso 2: Identificación de causas	18-6-23	27-7-23	40					■	■	■
3.2.3.3 Paso 3: Plan de acciones correctivas	2-7-23	10-8-23	40						■	■
3.2.3.4 Paso 4: Plan de estandarización	16-7-23	24-8-23	40							■

## Capítulo IV – RESULTADOS DEL PROYECTO

### 4.1 Validación funcional

La validación del proyecto se hará en base a una implementación piloto del modelo propuesto, para lo cual se estableció el siguiente cronograma de validación de las actividades de cada fase, el objetivo de ello es tener claro los momentos en los cuales se procede con la inauguración, puesta en marcha, capacitaciones y el paso de las siguientes etapas.

**Figura 15:** Cronograma de validación

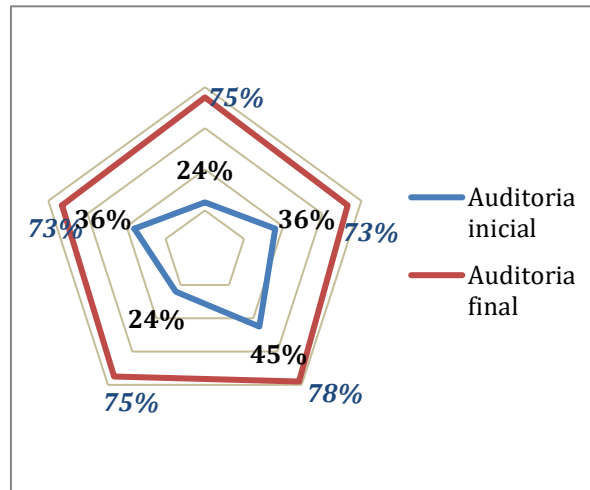
ACTIVIDADES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
<b>KICK OFF DEL PILOTO</b>							
<b>FASE 1: Implementación del Mantenimiento autónomo</b>							
Paso 1: Presentación del piloto y explicación de los beneficios	✓						
Paso 2: Toma de datos antes del inicio del proyecto (indicadores)	✓						
Paso 3: Implementación de las capacitaciones	✓						
Paso 4: Verificación de los pasos implementados		✓					
Paso 5: Toma de datos despues del termino del proyecto (indicadores)			✓				
<b>FASE 2: Implementación del Mantenimiento de calidad</b>							
Paso 1: Presentación del piloto y explicación de los beneficios				✓			
Paso 2: Toma de datos antes del inicio del proyecto (indicadores)				✓			
Paso 3: Capacitaciones de llenado del check list					✓		
Paso 4: Revisión de la ejecución del mantenimiento preventivo (informes técnicos)					✓		
Paso 5: Implementación de standares de calidad (flujo de compras)					✓	✓	
Paso 6: Verificación de los pasos implementados						✓	
Paso 7: Toma de datos despues del termino del proyecto (indicadores)						✓	
<b>FASE 3: Implementación de mejoras enfocadas</b>							
Paso 1: Presentación del piloto y explicación de los beneficios					✓		
Paso 2: Toma de datos antes del inicio del proyecto (indicadores)					✓		
Paso 3: Capacitaciones de llenado del check list					✓		
Paso 4: Revisión de los tiempos de respuesta y reparación del proveedor (MTTR)						✓	
Paso 5: Analisis de causas de fallas recurrentes						✓	
Paso 6: Plan de acción de mejoras enfocadas							✓
Paso 7: Toma de datos de plan de mejoras enfocadas							✓
Paso 8: Diseño de indicadores							✓
<b>PRESENTACIÓN DE LAS CONCLUSIONES DEL PROYECTO</b>							

Para el desarrollo de la implementación de las fases del piloto, tenemos el siguiente detalle:

Fase 1: Implementación del Pilar Mantenimiento Autónomo,

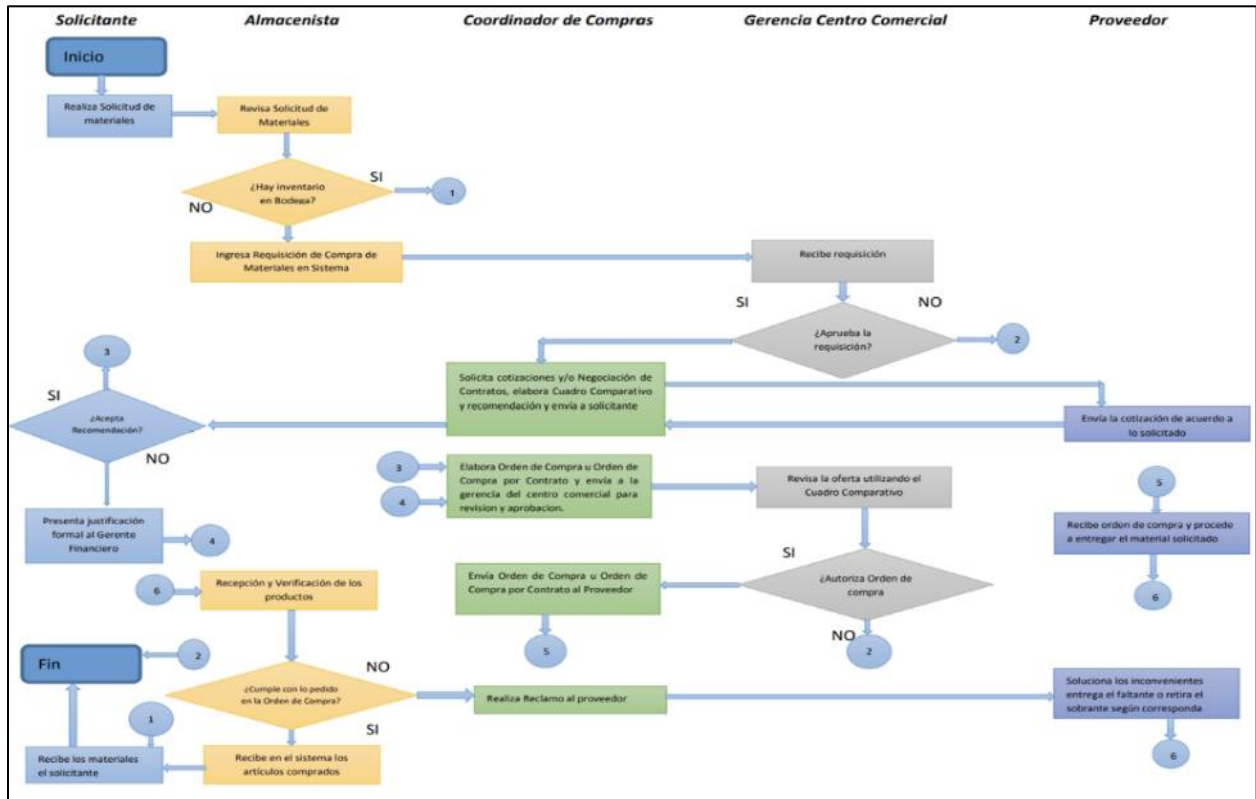
**Figura 16** Resultados de las Auditorias Autónomas

Etapa	Auditoria inicial	Auditoria final
Limpieza	27%	75%
Acciones correctivas	37%	73%
Preparación de estándares	43%	77%
Inspección general	23%	76%
Inspección Autónoma	35%	79%



Fase 2: Implementación del Pilar Mantenimiento de Calidad, se propone nuevo flujo de atención para que sea un flujo lineal sin demoras.

**Figura 17: Implementación Mejoras Enfocadas**



**Tabla 10: Resultados de la validación del modelo**

Nombre del indicador	Fórmula	Frecuencia de medición	Resultado actual	Resultado esperado	Herramienta	Fuente:
Tiempos improductivos	$\text{Minutos de tiempos improductivos} / \text{Tiempo de ciclo} * 100$	Semanal	24%	6%	Mantenimiento Autónomo	Guritno et al. (2021)
Reprocesos	$N^{\circ} \text{OT reprocesadas} / N^{\circ} \text{OT} * 100$	Mensual	16%	4%	Mantenimiento Calidad	Slama et al. (2023)
Incumplimiento del proveedor	$N^{\circ} \text{OC cumplidas} / N^{\circ} \text{OC} * 100$	Mensual	10%	3%	Mejoras enfocadas	Prabhakar y Raj et al. (2019)
OC incompletas	$N^{\circ} \text{OC incompletas} / N^{\circ} \text{OC} * 100$	Mensual	8%	2%		
Eficiencia del proceso	$\text{Eficiencia real} / \text{Eficiencia proyectada} * 100$	Mensual	76.70%	85.60%	Lean	

Los tiempos, reprocesos, incumplimientos y OC incompletas bajaron de acuerdo al piloto realizado.

En la última fase se establece el análisis de los datos tomados del modelo que indican la toma de datos para la medición de los efectos sobre la eficiencia, calidad y demoras en el proceso de mantenimiento como se aprecia en la tabla 11.

**Tabla 11: Toma de datos antes del piloto**

Concepto	Horas totales	Horas ejecutadas	Resultado
----------	---------------	------------------	-----------

Eficiencia del mantenimiento	2,528	1,157	45.8%
Calidad del mantenimiento	2,528	878	34.7%
Demoras del proveedor	2,528	493	19.5%
MTBF	2,528	78	32.4
MTTR	467	78	5.9

Luego se realiza el análisis de los datos después de la aplicación del piloto en donde se evidencia la mejora como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12:** *Toma de datos después del piloto*

Concepto	Horas totales	Horas ejecutadas	Resultado
Eficiencia del mantenimiento	2,528	2,057	81.4%
Calidad del mantenimiento	2,528	1689	66.8%
Demoras del proveedor	2,528	109	4.3%
MTBF	2,528	48	52.7
MTTR	467	48	9.7

En la tabla se presentan los resultados del piloto antes y después de la implementación del piloto de mejora en donde se compara el proceso de mantenimiento en un mall mas gran que cuenta la compañía con más de 120,000m2.

**Tabla 13:** *Resultados del piloto*

Indicador	AS IS	TO BE
Eficiencia %	45.8%	81.4%
Calidad %	34.7%	66.8%
Demoras del proveedor	19.5%	4.3%
MTBF	32.4	52.7
MTTR	5.9	9.7

#### 4.2 Evaluación del impacto económico:

Para establecer la factibilidad del proyecto de acuerdo con su impacto en la eficiencia del proceso de mantenimiento de instalaciones se realiza un análisis de viabilidad de la solución a nivel económico se establece como costo de oportunidad un WACC. La compañía para este tipo de proyectos de mantención utiliza un valor del 13.3%.

El siguiente paso es el establecimiento de los flujos de caja, que se establecen con la comparación de la inversión inicial en el proyecto de S/ 161,000 (S/148,500 inversión del proyecto y S/12,500 de capacitaciones en 6 años) con la generación de los flujos positivos generados por los beneficios de este. En la tabla 14 se muestra el flujo de dinero del escenario moderado, en los anexos 1 y anexo 2 se muestran los escenarios optimistas y pesimistas respectivamente.

**Tabla 14:** *Flujo económico del escenario esperado*

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I Inversión	-161,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II Ingresos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III Gastos	-	-10,842	-11,818	-12,881	-14,041	-15,304	-16,682	-18,183	-19,820	-21,603	-23,548
IV Ahorros	-	55,310	58,076	60,979	64,028	67,230	70,591	74,121	77,827	81,718	85,804
<b>Flujo de Caja</b>	<b>-161,000</b>	<b>44,468</b>	<b>46,258</b>	<b>48,098</b>	<b>49,988</b>	<b>51,925</b>	<b>53,909</b>	<b>55,938</b>	<b>58,007</b>	<b>60,115</b>	<b>62,256</b>

El desarrollo de estos flujos financieros permite determinar los indicadores de evaluación económica de la siguiente manera.

**Tabla 15:** *Flujo económico del escenario moderado*

<b>VAN (S/.)</b>	S/113,086
<b>TIR (%)</b>	28%
<b>Payback Nominal (años)</b>	3.44
<b>Payback Descontado (años)</b>	4.80

De la misma manera se procedió a realizar los ejercicios optimistas y pesimistas con una variabilidad del +-5%

**Tabla 16:** *Análisis de resultados*

ESCENARIOS	RESULTADOS FINANCIEROS		
	VAN	TIR	PB
Optimista	S/ <b>130,835</b>	<b>30.23%</b>	<b>3.25</b>
Moderado	S/ <b>113,086</b>	<b>28.14%</b>	<b>3.44</b>
Pesimista	S/ <b>77,588</b>	<b>23.81%</b>	<b>3.91</b>

#### 4.3 Evaluación de impactos no económicos

A partir de los aspectos identificados en las consideraciones técnicas del proyecto, se presentan las consecuencias no económicas tomando como referencia el análisis de grupos de interés del proyecto y su cambio con el escenario As is y Tobe.

**Tabla 17:** *Resultados del análisis no económico*

<b>Impacto</b>	<b>As Is</b>	<b>To Be</b>	<b>Criticidad</b>
Económico	Perdidas por baja eficiencia	Ingresos por eficiencia	Red
Social	Trabajadores poco eficientes	Trabajadores eficientes (menos horas extras)	
Ambiental	Desperdicios en el proceso	Reducción de desperdicios	Green
Tecnológico	Bajo	Medio	
Seguridad	Bajo	Medio	
Riesgo operacional	Alto riesgo de incumplimiento del contrato con el locatario	Bajo riesgo de penalidad	Red

## CONCLUSIONES

La elaboración del piloto para la implementación permite concluir que es eficiente en el incremento en la gestión del mantenimiento de instalaciones usando los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento de la calidad y mejoras enfocadas del TPM en los centros comerciales.

Se concluye que se logra reducir los tiempos improductivos aplicando el pilar autónomo de la metodología del TPM en base a los datos obtenidos, esto se obtiene del antes y después con las auditorías realizadas.

Se concluye que se logra reducir las demoras en la búsqueda de repuestos aplicando el pilar de mantenimiento autónomo del TPM, las capacitaciones y el seguimiento que se hizo a ello aumentaron los porcentajes propuestos.

Se concluye que se logra reducir las demoras del proveedor, de acuerdo al pilar de mejoras enfocadas del TPM implementando controles de calidad por su impacto en el ineficiente control del proveedor.

La evaluación financiera de la propuesta determina su viabilidad ya que los resultados demuestran que los tres escenarios evaluados son positivos. En el escenario moderado se tiene un VAN de S/113,086 positivo y mayor a cero, el TIR de 28.14%, mayor al 13.3% de WACC solicitado por la empresa. De la misma forma en los escenarios, optimistas y pesimistas se obtienen valores superiores esperados por la empresa.

La validación de la propuesta se realiza usando piloto en un solo centro comercial, ya que la implementación ya se ejecutó a inicios del 2023, en el cual se demuestra la reducción del tiempo, mejorando la disponibilidad de los equipos y aumentando la confiabilidad de los equipos.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de los indicadores sugeridos en el presente proyecto en las demás líneas de mantenimiento para identificar otras líneas que requieran mejoras en sus procesos.

Se recomienda estandarizar todos los procesos de mantenimiento en los centros comerciales a nivel nacional, y que con ayuda de los indicadores propuestos se puedan mantener el nivel de eficiencia óptimo.

Se recomienda que para futuras licitaciones dentro de un Facility Management se solicite como requisitos fundamentales que las empresas cumplan con estándares desarrollados en este proyecto, como certificaciones Lean, Certificaciones en TPM, ISO 55001.

Se recomienda realizar un programa de capacitación de acuerdo a cada centro comercial, ya que todos son diferentes. Dando premios por el conocimiento adquirido al personal para incentivar la participación y conocimiento del personal.

Es importante realizar un Kick Off con las áreas involucradas para dar detalle de las futuras actividades y explicar la metodología de trabajo. De la misma realizar un cierre con las conclusiones y lecciones aprendidas.

Es importante mantener informado a la gerencia de los avances y demoras, dado que son ellos quienes son nuestros Sponsors del proyecto y si hubiera algún percance pueden ayudar a resolverlo.

Es recomendable involucrar a la Gerencia de Safety para mitigar los impactos de seguridad que se puedan dar.

Es importante considerar todos los gastos a incurrir durante el proyecto, estos deben de tener un Bussines Case positivo y atractivo a la compañía.

## Referencias

- Abdullah, A., Saraswat, S., & Talib, F. (2023). Impact of smart, green, resilient, and lean manufacturing system on SMEs' performance: A Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Sustainability*, 15(2), 1379. <https://doi.org/10.3390/su15021379>
- Asociación de Centros Comerciales y de Entretenimiento del Perú. (2022). Los centros comerciales en el Perú: oportunidades de inversión. [http://accep.org.pe/wp-content/uploads/2023/07/brochure\\_2023.pdf](http://accep.org.pe/wp-content/uploads/2023/07/brochure_2023.pdf)
- Banco Central de Reserva del Perú (2022). <https://www.bcrp.gob.pe/>
- Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of Industrie 4.0 in lean manufacturing learning factories. *Procedia manufacturing*, 23, 147-152. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918304803>
- Bispo, D., Simões, E. y Ribeiro, R. (2022). Inovação e processos de gestão de facilidades na área de manutenção. *Revista foco*, 15(6), e571-e571. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v15n6-004>
- Bonci, A., Carbonari, A., Cucchiarelli, A., Messi, L., Pirani, M. y Vaccarini, M. (2019). A cyber-physical system approach for building efficiency monitoring. *Automation in construction*, 102, 68-85. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.010>
- Chaurey, S., Kalpande, S. D., Gupta, R. y Toke, L. (2023). A review on the identification of total productive maintenance critical success factors for effective implementation in the manufacturing sector. *Journal of quality in maintenance engineering*, 29(1), 114-135. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0118>
- Carbonari, A., Messi, L., Naticchia, B., Vaccarini, M y Pirani, M. (2020). Development of a BIM-based holonic system for real-time monitoring of building operational efficiency. *Frontiers of Engineering Management*, 7, 89-103. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0037-0>
- Canahua Apaza, N. (2021) Implementación de la metodología TPM-LEAN Manufacturing para mejorar la eficiencia OEE de la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/16972>
- Chang, T. W., Cho, E., Jun, J. y Ahn, H. (2019). Implementation of smart factory for sme: Focusing on data acquisition and monitoring. *ICIC Express Lett. Part B Appl*, 10, 551-558. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjjwOnP2JyDaxV1rJUCHZnnD8UQFnoECBQQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.icice>

lb.org%2Fellb%2Fcontents%2F2019%2F6%2Felb-10-06-

13.pdf&usg=AOvVaw0UyK3bB9a\_k1SWThq4SJ9i&opi=89978449

- Di Luozzo, S., Pop, G. y Schiraldi, M. (2021). The human performance impact on oee in the adoption of new production technologies. *Applied Sciences*, 11(18), 8620. <https://doi.org/10.3390/app11188620>
- Eskandari, N., y Noorzai, E. (2021). Offering a preventive solution to defects in commercial building facility system using BIM. *Facilities*, 39(13/14), 859-887. <https://doi.org/10.1108/F-04-2020-0037>
- Guillen, D., Gomez, D., Hernandez, I., Charris, D., Gonzalez, J., Leon, D. y Sanjuan, M. (2020). Integrated methodology for industrial facilities management and design based on FCA and lean manufacturing principles. *Facilities*, 38(7/8), 523-538. <https://doi.org/10.1108/F-03-2019-0040>
- Guritno, J., & Cahyana, A. S. (2021). Implementation of Autonomous Maintenance in Total Productive Maintenance. *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(2), 1-8. <https://pels.umsida.ac.id/index.php/PELS/article/download/914/673>
- Kim, G., Kim, D., Park, J. y Hwang, J. H. (2023). Deep Learning/Machine Learning Techniques for Vibration Condition Monitoring of Major Facilities in Automobile Assembly/Painting Plants. *PHM Society Asia-Pacific Conference*, 4(1). <https://doi.org/10.36001/phmap.2023.v4i1.3639>
- King, D., Shoup, J. A., Raebel, M. A., Anderson, C. B., Wagner, N., Ritzwoller, D. y Bender, B. G. (2020). Planning for implementation success using RE-AIM and CFIR frameworks: a qualitative study. *Frontiers in public health*, 8, 59. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00059>
- Meca Vital, J y Camello Lima, C. R. (2020). Total Productive Maintenance and the Impact of Each Implemented Pillar in the Overall Equipment Effectiveness. *International Journal of Engineering and Management Research*, 10. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3590948](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3590948)
- Mercado Omnia. (2023, 25 de julio). El impulso del Retail: Perspectivas de crecimiento en una economía en recuperación. OmniaSolution. Recuperado el 19 de diciembre de 2023, de <https://omniasolution.com/2023/07/25/el-impulso-del-retail-perspectivas-de-crecimiento-en-una-economia-en-recuperacion/>

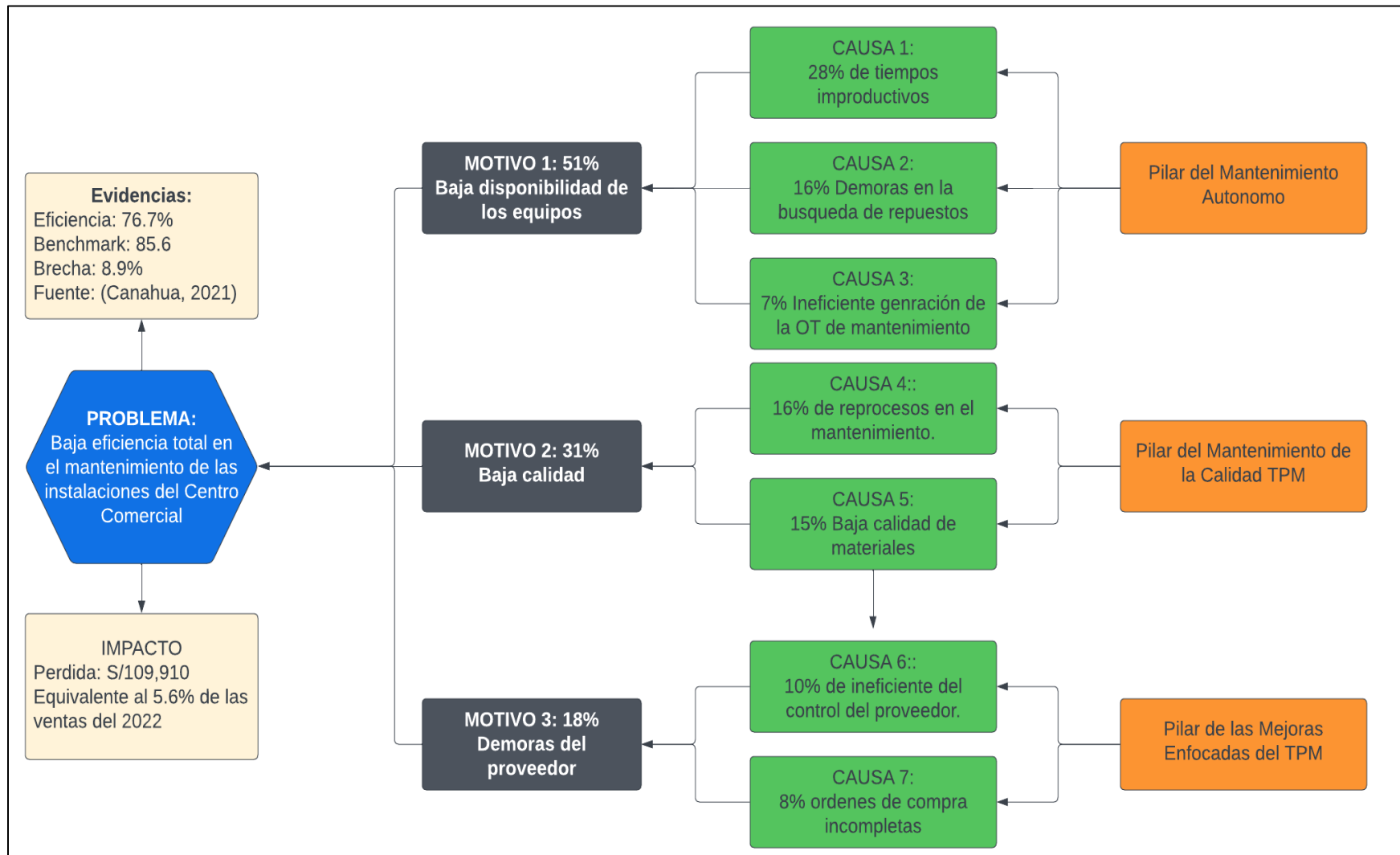
- Musa, S., Nisham Musa, Z., y Chua, S. J. L. (2021). A model for managing the performance of CMMS deployment in high-rise office buildings: A view from Lagos, Nigeria. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1-21. <https://doi.org/10.1155/2021/3720231>
- Penaloza, G. A., Saurin, T. A., Formoso, C. T., & Herrera, I. A. (2020). A resilience engineering perspective of safety performance measurement systems: A systematic literature review. *Safety Science*, 130, 104864. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104864>
- Prabhakar Deepak P. and Raj Jagathy V. P. (2019) A New Model for Reliability Centered Maintenance in Petroleum Refineries *Int J Sci Technol Res* 2 (5). [https://www.researchgate.net/figure/Condition-Based-Maintenance-Model-21\\_fig1\\_330498150](https://www.researchgate.net/figure/Condition-Based-Maintenance-Model-21_fig1_330498150)
- Rosli, M. (2020). *Total Productive Maintenance (TPM) approach to improve Overall Equipment Efficiency (OEE) in Robert Bosch Automotive Steering Sdn. Bhd.* [trabajo de investigación Open University Malaysia]. <http://library.oum.edu.my/repository/id/eprint/1495/contents>
- Slama, D. (2023). Digital Equipment Operator. En *The Digital Playbook: A Practitioner's Guide to Smart. Connected Products and Solutions with AIoT*, 83-90. Cham: Springer International Publishing. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-88221-1>
- Talamo, C., Paganin, G., y Rota, F. (2019). Industry 4.0 for failure information management within proactive maintenance. *Earth and Environmental Science*, 296(1), 12-55. DOI 10.1088/1755-1315/296/1/012055
- Xiang, Z. y Chin, J. (2021). Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 14(2), 152-175. <https://doi.org/10.3926/jiem.3286>

## Anexo(s)

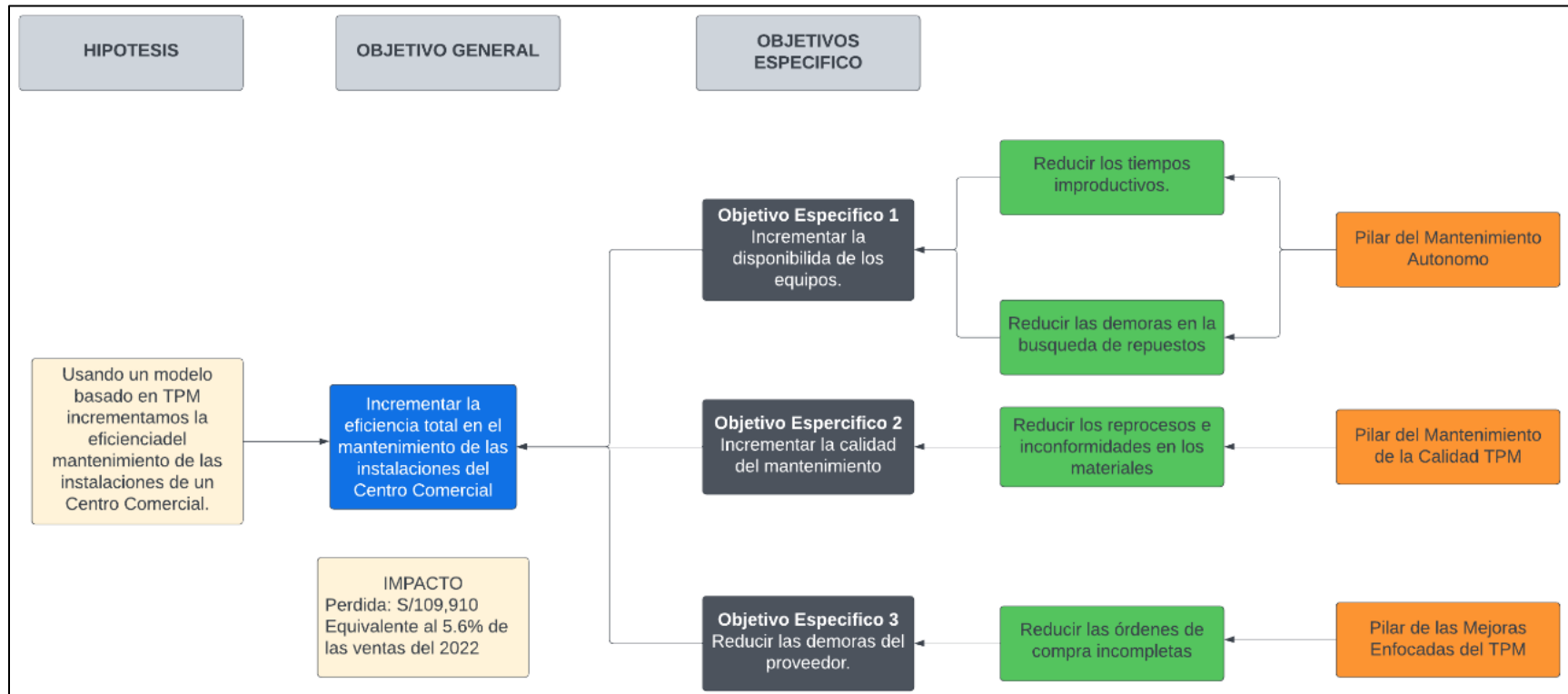
### Anexo 1: Evaluación financiera

Evaluación Financiera - Proyectos CAPEX											
<b>I. Datos Generales</b>											
Nombre de Proyecto	Implementación del TPM										
Centro Comercial	Lima Norte										
Tipo de Proyecto	Mejora de experiencia al cliente										
WACC	13.30%										
<b>II. Inversión del proyecto</b>											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A Gasto activo fijo (Suministro)	- 111,375										
B Gasto activo fijo (Instalación)	- 37,125										
C Gastos asociados a preparar la inversión											
D Gastos administrativos	- 12,500										
E Contingencias											
F Otros (detallar)											
<b>Total Inversión</b>	<b>- 161,000</b>										
<b>III. Ingresos asociados a la inversión</b>											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A Ingresos											
<b>Total Ingresos futuros</b>											
<b>IV. Gastos/ Costos futuros asociados a la inversión</b>											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A Gasto de mantenimiento preventivo		- 10,842	- 11,818	- 12,881	- 14,041	- 15,304	- 16,682	- 18,183	- 19,820	- 21,603	- 23,548
B Otros gastos sustentados											
<b>Total Gastos/Costos futuros</b>		<b>- 10,842</b>	<b>- 11,818</b>	<b>- 12,881</b>	<b>- 14,041</b>	<b>- 15,304</b>	<b>- 16,682</b>	<b>- 18,183</b>	<b>- 19,820</b>	<b>- 21,603</b>	<b>- 23,548</b>
<b>V. Ahorros futuros derivados de la inversión</b>											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A Ahorro Energético											
B Ahorro Hídrico											
C Ahorro por menor costo de personal/terceros											
D Ahorros Opex		55,310	58,076	60,979	64,028	67,230	70,591	74,121	77,827	81,718	85,804
E Otros ahorros sustentados											
<b>Total Ahorro</b>		<b>55,310</b>	<b>58,076</b>	<b>60,979</b>	<b>64,028</b>	<b>67,230</b>	<b>70,591</b>	<b>74,121</b>	<b>77,827</b>	<b>81,718</b>	<b>85,804</b>
<b>VI. Detalle Flujo de Caja</b>											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I Inversión	- 161,000										
II Ingresos											
III Gastos		- 10,842	- 11,818	- 12,881	- 14,041	- 15,304	- 16,682	- 18,183	- 19,820	- 21,603	- 23,548
IV Ahorros		55,310	58,076	60,979	64,028	67,230	70,591	74,121	77,827	81,718	85,804
<b>Flujo de Caja</b>	<b>- 161,000</b>	<b>44,468</b>	<b>46,258</b>	<b>48,098</b>	<b>49,988</b>	<b>51,925</b>	<b>53,909</b>	<b>55,938</b>	<b>58,007</b>	<b>60,115</b>	<b>62,256</b>
<b>VI. Métricas Financieras</b>											
VAN (S/.)	S/113,086										
TIR (%)	28%										
Payback Nominal (años)	3.44										
Payback Descontado (años)	4.80										

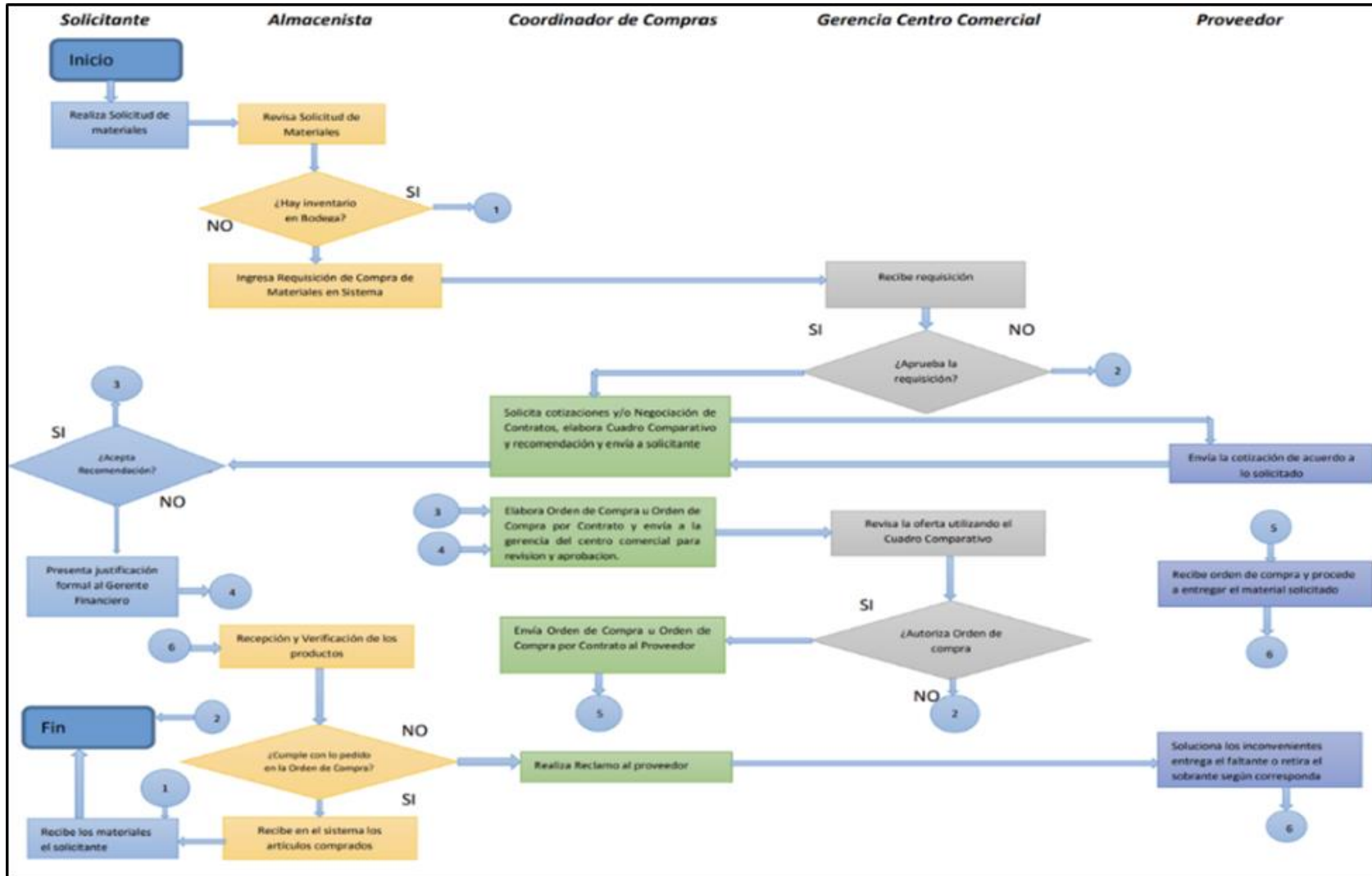
## Anexo 2: Árbol de Problemas



### Anexo 3: Árbol de Objetivos



Anexo 4: Flujo de control del proceso de compras y proveedor



## Anexo 5: Identificación de Defectos

IMPLEMENTACIÓN DEL TPM - IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS						
	Mall: Lima Norte 1			Fecha:	5/03/2023	Versión N°1
N°	Nombre de la falla	Identificación del contexto	Frecuencia (S)	Causas	Efectos	Relaciones con las condiciones de los equipos
1	Ascensor se detiene constantemente	El equipo presenta paradas constantes	2	Mal mantenimiento	Paradas	Equipos con mas de 10 años de antigüedad e instalado en la interperie
2	Corte de energia en pasillo principal de centro comercial	Fallas en el diferencial del circuito	1	Falsos contactos	Falta de iluminación	Falta de supervisión del equipo de mantenimiento
3	SSHH no cuentan con agua	Bomba de agua se queda sin energia por falla en llave termomagetica	1	Sin inspección	No hay agua	Los equipos no cuentan con revisión periódica por parte del equipo de mantenimiento.
4	Sistema de D&A activado	Hay multiples alarmas en el panel haciendo perder la confiabilidad del equipo	1	Mal uso	Falsas alarmas	Los equipos se encuentran con falta de mantenimiento
5	Sistema pluvial obstruido	El canal de regadio se encuentra atorado	1	Falta de mantenimiento	Desborde	Ausencia de mantenimiento preventivo
6	Falta de iluminación en pasillos	Se aprecia falta de iluminación en los pasillos	1	No hay repuestos	Falta de iluminación	No hay programación de compra de repuestos
7	El GGEE no enciende	Al momento de realizar el check list el equipo no enciende	1	Equipos en mal estado	No hay confiabilidad	Equipo en buen estado, el informe no detalla problemas
8	La escalera electrica presenta ruidos insuales	El personal de seguridad indica que hay un ruido extraño al momento de operar la escalera	2	Falta de supervisión	Paradas de equipo	Equipo mayor a 10 años de antigüedad, presenta multiples paradas
9	Falla del Chiller	El chiller no enciende	1	No hay programación	Falta de frio	Falta de monitoreo de personal especializado
10	Falla de bombas de agua fria	El equipo presenta ruidos anormales	1	Rodamiento en mal estado	Equipo sin funcionar	No hay stock de cambio de rodamientos
11	No encienden la BCI	El equipo no enciende al momento de realizar la prueba semanal	1	Baterias en mal estado	Equipo sin funcionar	Equipo en buen estado, el informe no detalla problemas
12	Filtración en la tubería de agua helada	Se evidencia filtración de agua por el forro de las tuberías de agua heladas	1	Mal aislamiento	Filtración / paradas de equipo	No hay una programación de cambio de aislante
13	Cobertura de techo con filtración	Durante el mantenimiento no observaron las rajaduras de las planchas	1	Falta de supervisión	Filtración en los pisos inferiores	No hay una programación de sellado de grietas
14	Pisos en mal estado	Se observa que existen mayolicas en mal estado (rotas)	1	No hay repuestos	Mala imagen / Inseguridad	No hay stock de piezas de piso
15	Escalera electrica no cumple con las medidas de seguridad	El equipo no brinda las garantias para un buen uso de clientes	2	No hay repuestos	Mala imagen / Inseguridad	Equipo mayor a 6 años de antigüedad, presenta multiples paradas. No da confiabilidad
16	Las puertas de emergencia en mal estado	Las puertas presentan una dificultad al momento de aperturarse	1	Demoras del proveedor	Mala imagen / Inseguridad	Las puertas no cuentan con una programación respectiva
17	Paredes en mal estado	la infraestructura del mall esta dañada, la imagen del mall esta desgastada.	1	Demoras del proveedor	Mala imagen	No hay planificación de pintura, solo entra como esporadico
18	Goteo de tubería de aguas grises	Se presenta goteo en las tuberías de aguas grises causando mal olor	1	No hay repuestos	Filtración / paradas de equipo	No hay revisión periódica de las instalaciones de los locatarios.
19	Falla en la bomba de pileta	La infraestructura del mall esta dañada, la imagen del mall esta desgastada.	1	Demoras del proveedor	Mala imagen	Los alcances no cubren la totalidad de los cambios a realizar, mantenimiento insuficiente.
20	Desatoro de buzón principal	Desborde de afluentes de aguas negras	1	Demoras del proveedor	Mala imagen / Inseguridad	No hay revisión periódica de las instalaciones de los locatarios.

## Anexo 6: Cronograma de Implementación

TAREA	INICIO	FIN	DÍAS	ENERO	FEBERERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
<b>FASE 1: Implementación del Mantenimiento autónomo</b>			<b>120</b>							
3.2.1.1 Paso 1: Limpieza inicial	1-1-23	17-1-23	17	■						
3.2.1.2 Paso 2: Acciones correctivas	18-1-23	14-2-23	28		■	■				
3.2.1.3 Paso 3: Preparación de estándares de inspección	15-2-23	31-3-23	45			■	■	■		
3.2.1.4 Paso 4: Inspección general	1-4-23	15-4-23	15			■				
3.2.1.5 Paso 5: Inspección autónoma	16-4-23	30-4-23	15			■				
<b>FASE 2: Implementación del Mantenimiento de calidad</b>			<b>110</b>							
3.2.2.1 Paso 1 Clasificación de defectos	1-4-23	20-4-23	20				■			
3.2.2.2 Paso 2 Análisis de mantenimiento preventivo	21-4-23	5-5-23	15				■			
3.2.2.3 Paso 3 Establecer rangos estándar	6-5-23	20-5-23	15					■		
3.2.2.4 Paso 4 Establecer un programa de inspección	20-5-23	18-6-23	30					■	■	
3.2.2.5 Paso 5: Preparar matrices de mantenimiento y mejora	3-6-23	2-7-23	30						■	■
<b>FASE 3: Implementación de mejoras enfocadas</b>			<b>165</b>							
3.2.3.1 Paso 1: Análisis del problema	4-6-23	18-7-23	45					■	■	■
3.2.3.2 Paso 2: Identificación de causas	18-6-23	27-7-23	40					■	■	■
3.2.3.3 Paso 3: Plan de acciones correctivas	2-7-23	10-8-23	40						■	■
3.2.3.4 Paso 4: Plan de estandarización	16-7-23	24-8-23	40						■	■