



# POSGRADOS

## Maestría en **PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

RPC-SO-41-NO.689-2018

Opción de Titulación:

Proyectos de Desarrollo

Tema:

Mejora de la tasa de disponibilidad en una planta de fabricación de tuberías plásticas de PVC mediante mantenimiento autónomo

Autor

Eduardo José Valera Bracho

Director:

Adriana Guamán Buestán

GUAYAQUIL – Ecuador  
2025



**Autor:**



**Eduardo José Valera Bracho**

Ingeniero Químico

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.

evalera@est.ups.com.

**Dirigido por:**



Adriana del Pilar Guamán Buestán

Ingeniera Mecánica

Magister en Administración de Negocios

Doctora en Ingeniería Industrial

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL– ECUADOR – SUDAMÉRICA

**Eduardo José Valera Bracho**

**Mejora de la Tasa de Disponibilidad en una Planta de Fabricación de Tuberías Plásticas de PVC Mediante Mantenimiento Autónomo**

---

## **DEDICATORIA**

A Jesucristo, quien vino a enseñarnos como debemos actuar en nuestro caminar por el mundo.

A mi madre, que desde el cielo sigue guiando mis pasos.

Mi padre por su apoyo incondicional ante cada decisión que he tomado a lo largo de mi vida.

A mi tía Omaira por enseñarme que la planificación es esencial para el éxito.

A mi esposa e hijas, por su comprensión y paciencia durante esas largas horas que estuve frente al computador y los días que no estuve en casa.

A mí mismo, por no rendirme incluso cuando todo parecía imposible de alcanzar.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la oportunidad de poder realizar esta maestría y por colocar a las personas y circunstancias correctas durante este viaje.

A todos los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, por los conocimientos impartidos durante el trayecto de esta maestría.

Al gerente de planta de tuberías, por confiar en mí, y aprobar los recursos necesarios para la implementación de este proyecto.

Al inspector de planta de mejora continua, Hugo Cedeño, que me ayudó a lo largo de la implementación de este proyecto; por toda su contribución, ideas y brazo de ejecución en medio de los retos que se presentaron por el cambio de cultura realizado en la planta de tuberías.

Al superintendente de Extrusión, Carlos Sarango, quien siempre estuvo dispuesto a fomentar e impulsar estas actividades en la planta, convencido de los beneficios que la implementación de la metodología Lean aporta a la operación.

A todos los operadores y personal de mantenimiento que brindaron su conocimiento, ayuda y buena disposición para la implementación de la metodología en la planta.

# Tabla de Contenido

Resumen .....	8
Abstract.....	9
1 Introducción.....	10
2 Determinación del Problema.....	12
2.1 Formulación del Problema .....	13
2.2 Problemas específicos .....	13
2.3 Objetivo General.....	13
2.4 Objetivos específicos .....	13
2.5 Hipótesis General .....	14
2.6 Hipótesis Específicas.....	14
3 Marco teórico referencial.....	15
3.1 Introducción del marco teórico .....	15
3.2 Antecedentes de la Investigación.....	15
3.3 Bases Teóricas.....	18
3.3.1 Extrusión de Tuberías Plásticas de PVC.....	18
3.3.2 Equipos de la Línea de Producción de Tuberías de PVC.....	19
3.3.3 Descripción del Proceso de Extrusión de Tuberías.....	22
3.3.4 OEE (Eficiencia General de los Equipos): Definición y Componentes ....	23
3.3.5 Tasa de Disponibilidad: Definición e Importancia .....	24
3.3.6 Mantenimiento Productivo Total (TPM) .....	25
3.3.7 Pilares del TPM. ....	27
3.3.8 Mantenimiento Autónomo: definición, beneficios y rol del operario ...	28
3.3.9 Pasos del Mantenimiento Autónomo .....	29
4 Materiales y metodología.....	32
4.1 Diagnóstico de Situación Inicial y Plan de Trabajo .....	32
4.1.1 Situación Inicial .....	32
4.1.2 Fase de Planificación.....	33
4.2 Identificación de la Línea de Producción Crítica.....	37
4.2.1 Medición del OEE y Tasa de Disponibilidad.....	37
4.2.2 Selección de la Línea de Producción.....	38
4.2.3 Causas de Paro de las Líneas de Producción .....	42
4.3 Establecimiento de Estándares de Línea .....	42
4.3.1 Sistema de Tarjetado.....	45

4.3.2	Elaboración de Estándar de Limpieza, Inspección y Lubricación .....	47
4.4	Reducción de Fuentes de Contaminación .....	50
5	Resultados y discusión .....	53
5.1	Situación Inicial y Fase de Planificación .....	53
5.1.1	Planificación y Organización del Mantenimiento Autónomo .....	53
5.2	Identificación de la Línea Crítica .....	58
5.2.1	Análisis de OEE de la Planta de Extrusión .....	58
5.2.2	Tasa de Disponibilidad .....	60
5.2.3	Selección de Línea Crítica .....	61
5.2.4	Análisis de Correlación .....	67
5.2.5	Causas de Paro de la Línea Crítica .....	68
5.3	Estándares de línea .....	72
5.3.1	Capacitación del personal y ejercicio de limpieza .....	72
5.3.2	Levantamiento de tarjetas y seguimiento .....	73
5.3.3	Listado de fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso .....	80
5.3.4	Listado de zonas y áreas de lubricación .....	82
5.3.5	Administración visual de variables de proceso en línea crítica .....	83
5.3.6	Estándares de limpieza, inspección y lubricación .....	85
5.4	Reducción de Fuentes de Contaminación .....	91
5.4.1	Listado de contramedidas .....	91
5.4.2	Tiempos de inspección y limpieza .....	93
5.5	Indicadores de Mantenimiento Autónomo .....	95
5.6	Tasa de Disponibilidad .....	97
5.6.1	Tasa de Disponibilidad de la línea crítica .....	97
5.6.2	Tasa de Disponibilidad de la Planta de Tuberías .....	100
6	Conclusiones .....	103
7	Recomendaciones .....	105
	Referencias .....	106
	Anexos .....	110

# Mejora de la Tasa de Disponibilidad en una Planta de Fabricación de Tuberías Plásticas de PVC mediante Mantenimiento Autónomo

Autor:

Eduardo José valera bracho

## Resumen

---

Este proyecto tiene como objetivo principal mejorar la tasa de disponibilidad en una planta de fabricación de tuberías plásticas de PVC mediante la implementación mantenimiento autónomo, parte fundamental del TPM (mantenimiento productivo total). Para ello, se realiza una medición detallada de los tiempos de parada de las máquinas con el fin de identificar las principales causas de indisponibilidad.

A partir de estos datos, se selecciona una línea crítica considerando criterios como: rendimiento de las líneas de producción, kilos de scrap generados, la capacidad de producción, los tiempos actuales de mantenimiento y la importancia estratégica de la línea para la compañía. En la línea prioritaria, se implementó una estrategia de mantenimiento autónomo que incluyó la capacitación del personal operativo, la estandarización de tareas de limpieza e inspección, la implementación de rutinas de lubricación y el uso de tarjetas visuales para diferenciar los tipos de mantenimiento (autónomo, planificado o correctivo).

Con esta iniciativa se busca no solo reducir las paradas no programadas y aumentar la disponibilidad operativa de los equipos, sino también fomentar una cultura de mejora continua y mayor involucramiento del personal de planta en el cuidado de los activos productivos.

### **Palabras clave:**

PVC, TPM, OEE, MA, tasa de disponibilidad, mantenimiento autónomo, scrap, línea crítica, mejora continua.

## Abstract

---

This thesis aims to improve the availability rate in a PVC plastic pipe manufacturing plant through the implementation of autonomous maintenance, a fundamental pillar of total productive maintenance (TPM). The research begins with a detailed measurement of machine downtime to identify the main causes of unplanned stoppages. Based on these findings, a critical production line is selected using criteria such as production performance, scrap generation, capacity, current maintenance times, and strategic importance. The Autonomous Maintenance strategy implemented includes operator training, standardization of cleaning and inspection tasks, lubrication routines, and the use of visual cards to distinguish maintenance types. The initiative seeks not only to reduce unplanned downtime and increase operational availability but also to foster a culture of continuous improvement and greater operator involvement in asset care. Results demonstrate a significant reduction in downtime, improved maintenance indicators, and a measurable increase in the availability rate of the critical line, validating the effectiveness of the proposed methodology for suitable operational excellence.

### **Keywords:**

TPM, Availability Rate, PVC, AM, Critical Production Line, Autonomous Maintenance, Downtime, OEE.

# 1 Introducción

---

El sector de la construcción en Ecuador ha experimentado importantes desafíos en los últimos años, motivados en gran parte por una contracción económica prolongada y un entorno de mercado cada vez más competitivo. Esta situación ha obligado a las empresas proveedoras de materiales y productos utilizados en edificaciones, viviendas e infraestructuras a replantear sus estrategias operativas para mantenerse competitivas, sin comprometer la calidad ni el cumplimiento de las normativas técnicas vigentes.

Entre estas empresas, las que se dedican a la fabricación de sistemas de conducción y almacenamiento de fluidos, enfrentan una doble exigencia: producir con eficiencia, y al mismo tiempo, asegurar la confiabilidad de sus procesos productivos. Muchas de estas organizaciones cuentan con una base de maquinaria antigua que, si bien cumple con los requisitos técnicos del producto, presenta limitaciones en cuanto a desempeño, disponibilidad y frecuencia de fallos, impactando directamente la productividad de la planta.

En este contexto, la mejora de la disponibilidad operativa de los equipos se convierte en un factor crítico para lograr una ventaja competitiva sostenible. Aumentar la disponibilidad implica no solo reducir los tiempos de inactividad no planificada, sino también fortalecer la participación del personal operativo en el cuidado y conservación de los equipos.

Este trabajo propone la implementación de una metodología basada en los tres primeros pasos del pilar de mantenimiento autónomo del sistema TPM (mantenimiento productivo total), con el objetivo de aumentar la tasa de disponibilidad de los equipos en una planta de fabricación de tuberías plásticas de PVC ubicada en la ciudad de Durán. A través del desarrollo de actividades estructuradas como la limpieza inicial, la eliminación de fuentes de contaminación y la creación de estándares visuales, se busca fomentar una cultura de trabajo que

promueva la responsabilidad compartida sobre el estado de la maquinaria, incrementando así su confiabilidad y vida útil.

La metodología propuesta será aplicada en una planta con 22 líneas de producción, caracterizadas por procesos de extrusión continua, donde cada línea representa una combinación única de maquinaria, operarios y condiciones de operación. Adicionalmente, se utilizarán herramientas estadísticas para evaluar el impacto de la intervención en los principales indicadores de mantenimiento, y se establecerán mecanismos de seguimiento que aseguren la sostenibilidad de los resultados alcanzados.

Con ello, este proyecto no solo busca mejorar indicadores técnicos específicos, sino también sentar las bases para una transformación cultural dentro de la organización, donde el mantenimiento sea entendido como una responsabilidad compartida entre todos los niveles de la empresa.

## 2 Determinación del Problema

---

La empresa estudiada es uno de los principales fabricantes de tuberías plásticas, conexiones y accesorios para la conducción y almacenamiento de fluidos en Ecuador, y tiene una destacada participación en el mercado nacional. Con más de 65 años de experiencia en el sector, la empresa ha consolidado una sólida trayectoria y ha sido parte de diversos holdings de gran relevancia y prestigio a nivel mundial, lo que refuerza su posición de liderazgo en el mercado ecuatoriano.

Como líder en su sector la empresa tiene el firme compromiso de satisfacer las necesidades de sus clientes, ofreciendo productos de alta calidad a costos competitivos y con tiempos de entrega optimizados. Para lograr este objetivo, es fundamental asegurar un funcionamiento continuo y eficiente de la planta, lo cual depende directamente de la tasa de disponibilidad de los equipos. La confiabilidad operativa y la mejora del OEE (overall equipment effectiveness) son claves para mantener los estándares de calidad y los plazos de entrega, minimizando paradas no programadas y maximizando la productividad. En este sentido, la empresa se enfoca en implementar estrategias de mantenimiento efectivas que garanticen la disponibilidad y fiabilidad de sus equipos, contribuyendo al éxito general del negocio.

Para cumplir con su misión, la empresa cuenta con equipos y maquinaria de alto nivel que son esenciales para los procesos clave de la organización. Sin embargo, debido a su extensa trayectoria, también dispone de equipos de considerable antigüedad, los cuales, a pesar de su robustez, enfrentan problemas derivados del desgaste y la obsolescencia, lo que afecta su confiabilidad operativa. Además, la contracción del mercado actual dificulta la adquisición o sustitución de estos equipos, lo que obliga a la empresa a implementar estrategias de mantenimiento que no solo prolonguen su vida útil, sino que también garanticen su disponibilidad continua y fiable. Estas estrategias deben asegurar que los equipos cumplan con los

estándares de rendimiento y los requisitos normativos, contribuyendo a mantener la tasa de disponibilidad requerida para el óptimo funcionamiento de la Planta.

## 2.1 Formulación del Problema

¿La implementación de los primeros tres pasos de mantenimiento autónomo (pilar de TPM), puede mejorar la tasa de disponibilidad de una planta de fabricación de tuberías plásticas de PVC?

## 2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las principales causas de los paros no planificados en las diferentes líneas de producción de la planta de fabricación de tuberías de PVC, y cómo puede la implementación de los primeros tres pasos del mantenimiento autónomo ayudar a mitigarlas para aumentar la tasa de disponibilidad de la planta?
- ¿Cómo contribuye el establecimiento de estándares de línea en el aumento de la tasa de una línea de producción?
- ¿Cómo influye la reducción de fuentes de contaminación operativa en el aumento de la tasa de disponibilidad de una línea de producción?

## 2.3 Objetivo General

Implementar los tres primeros pasos de mantenimiento autónomo (pilar de TPM) para la mejora de la tasa de disponibilidad de una planta de fabricación de tuberías plásticas de PVC.

## 2.4 Objetivos específicos

- Analizar las principales causas de paros no planificados en la planta de producción de tuberías de PVC e identificar la línea de producción crítica donde se aplicarán los tres primeros pasos de mantenimiento autónomo.

- Establecer los estándares de línea para mejorar la tasa de disponibilidad de la línea de producción crítica.
- Reducir las fuentes de contaminación operativa para mejorar la tasa de disponibilidad de la línea de producción crítica.

## 2.5 Hipótesis General

La implementación de los tres primeros pasos de mantenimiento autónomo mejora la tasa de disponibilidad de la planta de fabricación de tuberías plásticas de PVC.

## 2.6 Hipótesis Específicas

- El análisis de las principales causas de paros no planificados en la planta de producción de tuberías de PVC permite identificar la línea de producción crítica donde se aplicarán los tres primeros pasos de mantenimiento autónomo.
- Los estándares de línea mejoran la tasa de disponibilidad de la línea de producción crítica.
- La reducción de las fuentes de contaminación operativa mejora la tasa de disponibilidad de la línea de producción crítica.

## 3 Marco teórico referencial

---

### 3.1 Introducción del marco teórico

En este capítulo se presentan antecedentes relacionados con la implementación del mantenimiento autónomo como parte del TPM, así como estudios orientados a la mejora de la disponibilidad en las líneas de producción industriales. Estos trabajos previos permiten identificar enfoques metodológicos aplicados, beneficios obtenidos y lecciones aprendidas que sirven como base para la propuesta desarrollada en este trabajo de fin de máster.

Además, se abordan los conceptos fundamentales que sustentan la presente investigación, entre ellos el mantenimiento productivo total (TPM), el pilar de mantenimiento autónomo, la tasa de disponibilidad, y los elementos claves del proceso de extrusión de tuberías plásticas. Estos elementos permiten entender el contexto y sustento teórico del presente proyecto de desarrollo.

### 3.2 Antecedentes de la Investigación

La implementación de los pasos iniciales del pilar de mantenimiento autónomo ha sido ampliamente estudiada en distintas industrias, mostrando mejoras significativas en la eficiencia y confiabilidad de los equipos. En la línea de mezcla de paprika de la Industria Comercial Holguín, se propuso mejorar la eficiencia global de los equipos empleados. Mediante la utilización de la herramienta Ishikawa, se pudo identificar el elemento central del inconveniente, el cual provenía de la falta de formación adecuada en actividades de mantenimiento, siendo esta la causa primordial del problema. Para abordar esta problemática, se aplicó una metodología de diseño experimental, con seguimiento de datos cualitativos y cuantitativos durante períodos prolongados, lo que permitió evaluar los resultados antes y después de la introducción de mantenimiento autónomo, alcanzando una mejora del 23% en la eficiencia global de los equipos (Churo & Mestanza, 2022).

De manera complementaria, otros estudios en empresas de fabricación como Jolipla, han demostrado que la identificación de los elementos críticos de los equipos y las causas de las interrupciones, permite desarrollar planes de mantenimiento preventivo más efectivos, contribuyendo a mejorar la confiabilidad de las máquinas inyectoras, optimizando su tasa de disponibilidad. Estos hallazgos evidencian que la planificación basada en datos y el análisis sistemático de fallas constituyen un fundamento sólido para la mejora continua en las plantas de producción (Hernandez et al., 2018).

Adicionalmente, estudios demuestran que las fallas crónicas, frecuentemente percibidas como inherentes al proceso, pueden ser reducidas o eliminadas mediante un seguimiento riguroso y un análisis meticuloso de sus causas. Para ello, es fundamental establecer criterios de medición del desgaste y condiciones de operación óptimas, creando un entorno propicio para la detección temprana de anomalías (Cuatrecasas & Torrel, 2010).

Investigaciones sobre la implementación de TPM en líneas piloto de la industria automotriz en Alemania, han resaltado la importancia de examinar los tiempos de ciclo individuales para identificar las pérdidas y establecer estándares uniformes de OEE. Esto permite comparaciones precisas entre distintos procesos y contribuye a la correcta medición de pérdidas, sentando las bases para un seguimiento efectivo de la eficiencia global de los equipos (OEE) (Ottosson, 2009).

Por su parte, trabajos de grado y maestría han demostrado que la aplicación del mantenimiento autónomo se alinea estrechamente con la filosofía Kaizen, evidenciando un aumento de la disponibilidad hasta el 99% en determinados casos y una reducción en las horas de paro debido a fallas en las herramientas (Gallego et al., 2017).

Asimismo, la elaboración de estándares de limpieza, lubricación y ajustes en industrias de alimentos, ha demostrado una influencia positiva en la consolidación del liderazgo de los equipos y la eficacia de la implementación de TPM (Tascón, 2023).

La extensión de estas prácticas a otras industrias, como alimentaria y manufacturera, confirma que la integración de mantenimiento autónomo con metodologías estandarizadas de trabajo incrementa la eficiencia, la calidad y la disponibilidad de los equipos. Estudios han evidenciado aumentos de la eficiencia global de los equipos (OEE) de hasta 12.48%, destacando la importancia de mantener en forma consistente las actividades de limpieza, inspección y lubricación de las máquinas para garantizar su funcionamiento adecuado y abordar los problemas recurrentes a través de un análisis de causa raíz (Cámara & Ramos, 2020).

Mendoza, (2018), desarrolló la implementación del sistema TPM, y pudo validar la factibilidad de adherirse a la norma ISO 9001, dejando como lección, la importancia de acatar y mantener los estándares de calidad. Estableció que es esencial contar con una comunicación tanto verbal como escrita para salvaguardar y afrontar eventuales interrogantes. Cualquier modificación, incluso si es mínima, repercute en todos los departamentos de la organización y también determinó que resulta crucial involucrar al departamento de mantenimiento con el área de lanzamiento de nuevos productos y las líneas de producción, facilita la planificación de intervenciones y asegura que las acciones de mantenimiento autónomo se ejecuten de manera efectiva (Mendoza, 2018).

De manera complementaria, estudios han evidenciado que la adopción del sistema de manufactura esbelta (lean manufacturing), permite optimizar la calidad de los productos y servicios, reducir costos operativos y aumentar la productividad mediante la estandarización del trabajo (Reyes, 2013). La implementación de procesos de ajuste estandarizados, que supervisan cada componente del trabajo y establecen la secuencia óptima para cada etapa de ensamblaje de producción, resulta directamente aplicable al mantenimiento autónomo. Este enfoque asegura que las tareas de limpieza, inspección y lubricación se ejecuten de manera sistemática, maximizando la eficiencia de los equipos y contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de la disponibilidad y confiabilidad en la línea de producción.

Finalmente, la literatura resalta que el éxito de la implementación del TPM requiere del respaldo y compromiso de la alta dirección, así como de una comunicación efectiva con todo el personal (Collins et al., 2021).

### 3.3 Bases Teóricas

En esta sección se presentan las bases conceptuales que sustentan la implementación del proyecto, organizadas de manera secuencial para facilitar la comprensión del marco metodológico propuesto. En primer lugar, se exponen los fundamentos técnicos del proceso de extrusión de tuberías plásticas de PVC; describiendo sus principales etapas, así como los equipos que conforman la línea de producción. Esta información permite contextualizar el entorno físico donde se aplicará la propuesta y comprender los factores técnicos que inciden en su desempeño operativo. Posteriormente, se introduce el indicador OEE (eficiencia general de los equipos), utilizado por la planta como referencia para medir el rendimiento de sus líneas de producción. A partir de este indicador, se analiza de forma específica la tasa de disponibilidad, componente directamente relacionado con las pérdidas por paradas no planificadas.

A continuación, se presenta el enfoque de mantenimiento productivo total (TPM), como metodología integral orientada a maximizar la eficacia de los sistemas productivos. Finalmente, se profundiza en el pilar de mantenimiento autónomo, haciendo énfasis en sus principios y en los tres primeros pasos, los cuales constituyen el eje central de esta investigación, al estar directamente vinculados con la mejora de la disponibilidad de la línea de producción seleccionada.

#### 3.3.1 Extrusión de Tuberías Plásticas de PVC

*Generalidades.* La extrusión es un proceso de carácter continuo en el cual la resina plástica, al ser alimentada, se somete a un calentamiento que proviene tanto de resistencias eléctricas como de la fricción generada por el movimiento de un husillo o tornillo. Este mecanismo provoca la fusión del material, que posteriormente es impulsado a través de un dado encargado de otorgarle una forma específica con

sección transversal uniforme. Finalmente, la pieza obtenida se somete a un proceso de enfriamiento con el fin de conservar su geometría y evitar deformaciones (Nastaj & Wilczyński, 2021).

Cuando se han definido las condiciones de operación, la extrusión se desarrolla de manera continua y estable, lo que permite alcanzar elevados niveles de productividad. Una de sus particularidades esenciales es que los productos fabricados mediante este proceso presentan una sección transversal uniforme a lo largo de toda su extensión. Posteriormente, tras la etapa de enfriamiento, es necesario incorporar operaciones adicionales que aseguren que la tubería cumpla con los requisitos técnicos y de calidad exigidos antes de ser entregada al usuario final (Nastaj & Wilczyński, 2021).

Las tuberías de PVC se emplean de forma extensa en los sectores de la construcción, saneamiento y distribución de agua, gracias a su resistencia química, baja densidad, durabilidad y facilidad de instalación. Además, el material permite incorporar contenido reciclado, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental del proceso sin comprometer el desempeño técnico del producto final (Wu et al., 2024).

### 3.3.2 Equipos de la Línea de Producción de Tuberías de PVC

Una línea de extrusión de tuberías plásticas es un sistema de proceso complejo que consta de varios componentes clave, cada uno de los cuales desempeña un papel importante en el proceso de producción.

A continuación, se presentan los principales componentes de una línea de extrusión de tuberías plásticas:

*Extrusora.* Es el equipo central de toda la línea y se encarga de calentar y fundir la materia prima plástica para luego extruirla a través de la cabeza de la matriz en la forma deseada de tubería. La extrusora generalmente consta de un tornillo, una zona de calentamiento, una zona de enfriamiento, un motor y un sistema de control. El tornillo es responsable de calentar y empujar los gránulos de plástico para fundirlos y formar un material fundido uniforme (Krstić et al., 2021).

*Cabezal / Molde.* El molde de extrusión de tubos tiene la función de sostener y distribuir de manera uniforme el polímero fundido alrededor de un molde sólido, conformando una sección anular que dará origen a la tubería. La producción de tubos consiste en hacer pasar el material fundido a través de un molde con el perfil adecuado para obtener la geometría requerida (Plastics Pipe Institute, 2022).

La cabeza del molde se acopla directamente a la salida del extrusor, salvo en configuraciones donde el flujo se divide para alimentar dos moldes independientes. Una vez que las corrientes de material se reúnen nuevamente, el polímero avanza hacia la sección final del molde denominada canal. Esta parte posee un área de sección transversal constante y cumple con la función de estabilizar el flujo, otorgar la forma definitiva al fundido y permitir un tiempo de relajación del polímero antes del enfriamiento. La longitud del canal es un parámetro importante: si es demasiado corta, puede afectar negativamente el acabado superficial de la tubería. Por lo general, su longitud equivale a entre 15 y 20 veces el espacio anular. En algunos diseños, el polímero fundido se hace pasar previamente a través de una placa perforada o breaker plate, compuesta por numerosos orificios pequeños que ayudan a homogeneizar el flujo antes de que el material se reúna nuevamente bajo presión para su conformado final (Plastics Pipe Institute, 2022).

*Sistema de Enfriamiento.* En los procesos de dimensionamiento por vacío o por presión, es esencial que la tubería adquiera suficiente rigidez antes de abandonar el tanque de enfriamiento, garantizando así la conservación de su circularidad. Para eliminar el calor residual del material, se emplean distintos métodos de enfriamiento, cuya selección depende del diámetro y tipo de tubería (Plastics Pipe Institute, 2022). En líneas de producción de tuberías de gran diámetro, se utiliza comúnmente el enfriamiento por pulverización, ya que la inmersión completa resultaría poco práctica debido a las dimensiones del producto. Por el contrario, las tuberías de menor diámetro suelen someterse a un baño de enfriamiento por inmersión total.

La temperatura del agua utilizada en estos sistemas se mantiene generalmente dentro de un rango óptimo de 4 °C a 10 °C, lo que asegura un enfriamiento

progresivo y controlado. La longitud total de los tanques debe ser suficiente para reducir la temperatura del tubo por debajo de 71 °C, permitiendo su manipulación en las etapas posteriores del proceso sin riesgo de deformación. Durante el enfriamiento, pueden generarse esfuerzos residuales dentro de la pared del tubo debido a gradientes térmicos. Para reducirlos, se incorporan zonas de recocido entre los tanques de enfriamiento. Estas secciones permiten que el calor almacenado en la pared interna del tubo se disipe gradualmente hacia el exterior, promoviendo una relajación térmica uniforme a lo largo de toda la pared (Plastics Pipe Institute, 2022).

*Jaladora.* El sistema de tracción, también conocido como tirador, jaladora o haul-off, tiene la función de ejercer la fuerza necesaria para desplazar la tubería a lo largo de toda la línea de enfriamiento. Este equipo garantiza una velocidad de tracción constante, condición fundamental para mantener un control preciso sobre el espesor de la pared del tubo. La velocidad de arrastre del tirador, en conjunto con la velocidad de rotación del tornillo del extrusor, determina el espesor final del producto. Un incremento en la velocidad del tirador, manteniendo constante la velocidad del tornillo, provoca una reducción del espesor de la pared; por el contrario, una disminución de la velocidad del tirador con el tornillo a igual régimen de giro produce un aumento del espesor (Plastics Pipe Institute, 2022).

*Equipo de Corte / Sierra.* Las tuberías con diámetros iguales o superiores a cuatro pulgadas suelen ser cortadas en longitudes específicas para facilitar su almacenamiento y transporte. Las dimensiones más comunes oscilan entre 6 y 15 metros, ya que este rango permite su traslado eficiente mediante camiones. Una vez cortadas, las tuberías se agrupan o amarran en conjuntos antes de su carga, lo que simplifica las operaciones de manipulación y contribuye a mantener la seguridad y estabilidad durante el transporte. Este procedimiento también optimiza el espacio disponible y reduce el riesgo de daños por movimiento o fricción entre los tubos (Plastics Pipe Institute, 2022).

*Acampanadora.* Se utilizan en las líneas de producción de tuberías de PVC para formar la campana o ensanchamiento en uno de los extremos de la tubería. Este

proceso permite que una tubería se conecte fácilmente con otra sin necesidad de piezas adicionales, creando una unión hermética y segura. El proceso de acampanado generalmente involucra el calentamiento del extremo de la tubería para que el PVC se ablande y pueda expandirse. Luego, el extremo se moldea en la forma deseada utilizando un mandril o molde, y finalmente se enfría para fijar la forma. Esta campana facilita la instalación de las tuberías en campo y asegura que las conexiones sean fuertes y duraderas, permitiendo un flujo continuo sin fuga (Plastics Pipe Institute, 2022).

### 3.3.3 Descripción del Proceso de Extrusión de Tuberías

El proceso productivo de estudio de la presente tesis consiste en el proceso de extrusión de tuberías plásticas de PVC, donde se fabrican tuberías de distintas familias para distintas aplicaciones. La planta de extrusión se encuentra dividida en diferentes secciones: la sección de compuestos, sección de extrusión y sección de molinos. A continuación, se describen brevemente los elementos básicos que intervienen en cada sección para llevar a cabo el proceso de fabricación de tuberías.

*Materia Prima.* La materia prima es almacenada en la sección de compuestos, la cual posee dos torres de mezclas donde se lleva cabo la elaboración del compuesto que se va luego a utilizar en las líneas de producción para fabricar las tuberías. La torre de mezcla consiste en diversas etapas donde se lleva a cabo la fabricación del compuesto. El proceso comienza cuando se llenan las tolvas de abastecimiento de los aditivos. Luego se carga el material en las tolvas secadoras con los materiales necesarios según la fórmula: PVC, carbonato de calcio, líquidos, aditivos, modificador de impacto y pulverizado. El mezclado automático inicia una vez que las variables de proceso han sido configuradas y pasan de la etapa de abastecimiento de aditivos a la etapa de olla en frío. El proceso da inicio cuando se alimenta el material compuesto a la tolva de la extrusora, donde pasa a la cavidad interna de la misma. El barril de la extrusora posee a su alrededor resistencias eléctricas que calientan el material y en su interior un husillo o tornillo, viene siendo el eje central de la extrusora, que posee alabes helicoidales que van girando para

plastificar al material, comprimirlo y forzarlo a transportarse a lo largo del barril (Cámara & Ramos, 2020).

El material que se ingresa a la tolva es previamente elaborado en la sección de compuestos de la planta, la cual consta de diversas etapas donde se mezclan las materias primas necesarias para elaborar el compuesto de acuerdo con el tipo de producto que se vaya a fabricar. Por otra parte, los residuos con una composición definida, generados principalmente durante los procesos en planta, pueden reprocesarse directamente mediante molienda. Diversos estudios han demostrado que el PVC rígido (no plastificado) puede ser sometido a varios ciclos de procesamiento sin evidenciar signos notables de degradación. Además, la reincorporación del material reciclado al PVC virgen, en proporciones superiores al 30%, permite aumentar significativamente el número de veces que el material puede procesarse sin afectar sus propiedades fundamentales (Lewandowski, 2022).

Una vez elaborado el compuesto para una familia específica de productos, se almacena en los silos de compuesto, en los cuales debe reposar por un período de 48 horas previo a ser trasladado a la tolva de la línea de producción para su uso.

Luego que el material compuesto ha finalizado su tiempo de reposo, el material se transfiere hacia las tolvas de mezanine ubicadas en la parte superior de cada extrusora en su respectiva línea de producción. De allí alimenta a la extrusora donde se empieza a llevar a cabo el proceso de extrusión de tubería en cada equipo que compone a la línea de producción.

### 3.3.4 OEE (Eficiencia General de los Equipos): Definición y Componentes

El OEE (overall equipment effectiveness, por sus siglas en inglés) es un indicador ampliamente utilizado en entornos industriales para evaluar el desempeño global de los equipos productivos. Este índice permite identificar pérdidas en el proceso de fabricación y establecer prioridades de mejora. Su valor se obtiene como se muestra en la Ecuación 1, multiplicando tres componentes fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad (Hernan et al., 2025).

$$OEE = \% \text{ Disponibilidad} \times \% \text{ Rendimiento} \times \% \text{ Calidad} \quad (1)$$

- Disponibilidad: mide el tiempo real en que el equipo está operativo frente al tiempo total planificado, considerando pérdidas por paradas no planificadas o averías.
- Rendimiento: compara la velocidad real de producción con la velocidad teórica o ideal del equipo.
- Calidad: refleja la proporción de productos buenos frente al total producido.

El indicador OEE surgió como una herramienta destinada a identificar y medir las ineficiencias presentes en los equipos industriales, clasificando dichas pérdidas en tres categorías principales: pérdidas por tiempo, por velocidad y por calidad (Shannon et al., 2023). De esta manera el OEE proporciona una visión integral del funcionamiento de un equipo o línea de producción, facilitando la detección de pérdidas en cada una de sus dimensiones. En el caso específico de esta investigación, se toma como punto de partida la tasa de disponibilidad, con el objetivo de analizar los factores que generan paros no planificados y aplicar estrategias del mantenimiento autónomo que permitan aumentar este componente, y por consiguiente, mejorar el valor del OEE de la línea crítica de producción (Akbar & Aviasti, 2023).

### 3.3.5 Tasa de Disponibilidad: Definición e Importancia

La tasa de disponibilidad de los equipos es un indicador clave de rendimiento que refleja la proporción de tiempo en que un equipo está en funcionamiento o listo para operar, en relación con el tiempo total planificado para su uso (Talaba et al., 2023). Este indicador es fundamental para evaluar la eficiencia operativa y la efectividad de la gestión del mantenimiento en una planta industrial, ya que permite identificar pérdidas asociadas a paradas no planificadas y contribuye a la toma de decisiones orientadas a mejorar la continuidad y confiabilidad de los procesos productivos (Hernan et al., 2025).

En este contexto, la tasa de disponibilidad representa la proporción del tiempo en que el equipo está efectivamente operativo respecto al tiempo total planificado

para la producción. Se calcula a partir de la diferencia entre el tiempo total disponible y los periodos de parada, tanto planificados como imprevistos, lo que refleja la capacidad del sistema para mantener un funcionamiento continuo sin interrupciones significativas (Akbar & Aviasti, 2023). La tasa de disponibilidad se ve afectada por los tiempos de paro por fallas y por los tiempos de cambios de matriz o cambios de medida, en los cuales la línea está siendo preparada para fabricar otro tipo de producto (Farfan et al., 2025).

### 3.3.6 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El mantenimiento productivo total, conocido como TPM por sus siglas en inglés (total productive maintenance), es una metodología que busca optimizar la eficiencia de los equipos mediante la participación de todos los niveles de la organización, desde operarios hasta gerentes. Esta estrategia se basa en varios pilares fundamentales, los cuales estructuran el trabajo y orientan la mejora continua dentro de las plantas industriales (Lucano et al., 2025).

*Origen.* El TPM fue desarrollado en Japón entre las décadas de 1950 y 1970 por Seiichi Nakajima, con el objetivo de mejorar la disponibilidad de las máquinas y la eficiencia en los procesos productivos a través del uso más eficaz de los recursos de mantenimiento y operación (Nakajima, 1984).

En sus primeras etapas, el enfoque se centró en el mantenimiento preventivo, buscando mantener los equipos en condiciones operativas óptimas y evitar su deterioro prematuro. Durante la década de 1960, la empresa Nippondenso, proveedora de Toyota, implementó un programa de mantenimiento preventivo a nivel de planta, orientado a procesos automatizados. Este esfuerzo fue reconocido por el Instituto Japonés de Ingenieros de Planta (JIPE), otorgando a Nippondenso un premio por su destacada labor en el desarrollo e implementación del TPM (Agustiady & Cudney, 2016).

El aumento de la automatización en las organizaciones manufactureras trajo consigo la necesidad de una nueva estrategia de mantenimiento. Según Nakajima (Nakajima, 1984), en lugar de incrementar el número de técnicos especializados, la

dirección de Nippondenso optó por una solución más eficiente: involucrar directamente a los operarios de las máquinas en tareas básicas de mantenimiento. Esta decisión no solo redujo costos laborales, sino que también promovió un mayor conocimiento técnico por parte de los operadores sobre los equipos que utilizaban diariamente. Gracias a esta cercanía operativa, los trabajadores fueron capaces de detectar con mayor rapidez anomalías en el funcionamiento de los equipos o desviaciones en la calidad del producto. Esta transformación permitió que el personal de mantenimiento se enfocara en problemas complejos, mejoras a largo plazo y acciones para incrementar la confiabilidad de los equipos. La comunicación entre operarios y personal de mantenimiento facilitó la detección temprana de fallos y la implementación continua de mejoras técnicas, lo que a su vez se tradujo en una mayor calidad del producto final y una reducción significativa de desperdicios y defectos (Nakajima, 1984).

Como resultado de estas iniciativas surgió el concepto de mantenimiento autónomo, en el cual los operadores asumen responsabilidades en tareas básicas de inspección, limpieza y lubricación. Paralelamente, el personal de mantenimiento contribuyó modificando los equipos para hacerlos más confiables y fáciles de mantener, dando origen al enfoque de prevención del mantenimiento. La combinación de mantenimiento preventivo, prevención del mantenimiento y mejoras en la mantenibilidad de los equipos dio lugar al concepto de mantenimiento productivo (Agustiady & Cudney, 2016).

Es así como el TPM evolucionó como una estrategia integral que busca maximizar la efectividad de los equipos a lo largo de su ciclo de vida útil, involucrando activamente a todo el personal de la organización en un esfuerzo colaborativo. La sinergia entre mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo constituye el núcleo de lo que hoy se conoce como mantenimiento productivo total (Farfan et al., 2025).

La industria 4.0 ha permitido mejorar la aplicación de las prácticas del TPM, ayudando a llevar un seguimiento con detección más temprana de posibles fallas, lo que ha traído grandes beneficios en la reducción de pérdidas (Mouhib et al.,

2025). Las organizaciones han adoptado metodologías innovadoras que fortalecen la gestión del mantenimiento ante los desafíos que plantean la filosofía lean y la industria 4.0. La filosofía lean promueve la eliminación sistemática de desperdicios y la optimización continua de los procesos, con el propósito de generar un mayor valor utilizando la menor cantidad posible de recursos, esfuerzo y tiempo. En paralelo, la industria 4.0 impulsa la transformación hacia fábricas inteligentes, en las cuales los procesos productivos integran de forma dinámica a las personas, los equipos y los sistemas digitales, favoreciendo una gestión operativa basada en datos en tiempo real (Mendes et al., 2022).

*Objetivo.* El objetivo de TPM es construir una empresa robusta maximizando la eficiencia del sistema de producción (eficacia general). TPM aborda el ciclo de vida completo del sistema de producción y establece un sistema concreto, basado en el área de producción, para prevenir todas las pérdidas. Sus objetivos incluyen la eliminación de todos los accidentes, defectos y averías. TPM involucra a todos los departamentos, desde producción hasta desarrollo, ventas y administración. Todos participan en TPM, desde los altos ejecutivos hasta los empleados en el área de producción. El TPM logra cero pérdidas mediante actividades de equipo superpuestas. (Akbar & Aviasti, 2023).

No obstante, cuando la implementación del TPM se realiza de forma inadecuada o carece de un seguimiento adecuado, puede generar efectos contraproducentes. Entre ellos se incluyen la ineficiencia en los procedimientos de mantenimiento, una disminución en la motivación del personal operativo, una reducción en la confiabilidad de los equipos de producción y, en consecuencia, un aumento en la carga de trabajo (Slavina & Štefanić, 2024).

### 3.3.7 Pilares del TPM.

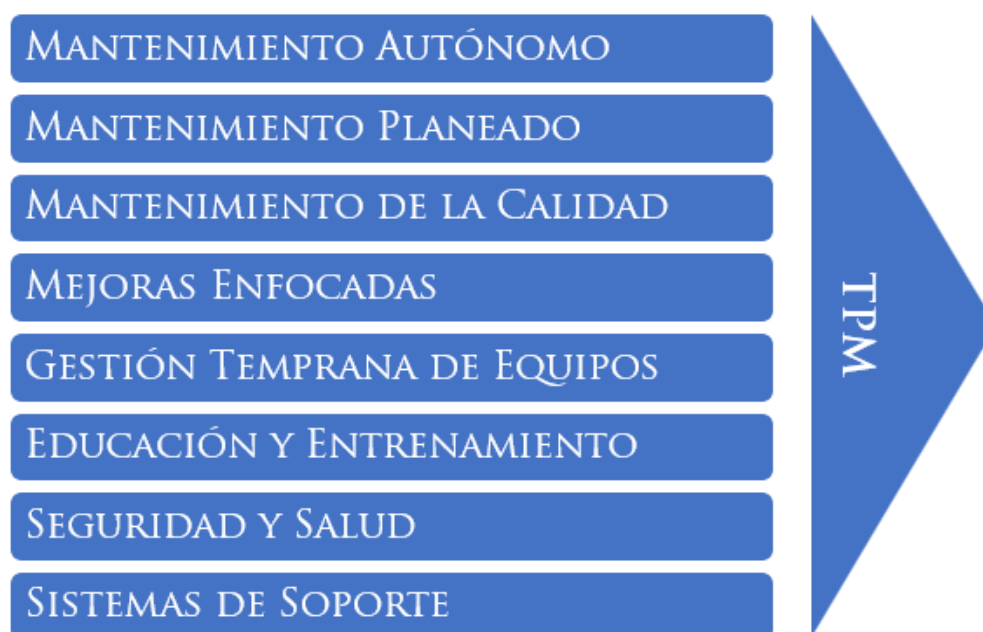
En la actualidad, el enfoque del TPM se apoya en ocho pilares fundamentales que abarcan distintas áreas dentro de la gestión industrial. Cada pilar tiene objetivos y responsabilidades propias, aunque existen zonas de intersección donde sus acciones se complementan (Lucano et al., 2025).

Si bien en la literatura especializada se desarrollan todos estos pilares, este trabajo no profundiza en su totalidad. En lugar de ello, se centra en aquellos elementos que guardan una relación directa con las actividades de mantenimiento y productividad, con especial énfasis en el pilar de mantenimiento autónomo (Córdova, 2023).

La Figura 1, muestra los 8 pilares descritos por Solís y Torres (Solís-Meza & Torres-Rodríguez, 2021):

### Figura 1

#### *Pilares del TPM*



*Nota.* Adaptado de fuente: (Solís-Meza & Torres-Rodríguez, 2021)

#### 3.3.8 Mantenimiento Autónomo: definición, beneficios y rol del operario

El mantenimiento autónomo es uno de los pilares fundamentales del TPM y tiene como objetivo involucrar a los operarios de producción en la conservación y mantenimiento de los equipos, creando una cultura de prevención en la que los operarios se convierten en los “dueños” de los equipos, siendo responsables de monitorizar sus condiciones operativas y garantizar el correcto funcionamiento (Arroyo Huayta & Cruces Raimundis, 2021).

Aunque la filosofía TPM ha sido difundida ampliamente y aplicada durante décadas, su implementación completa continúa siendo un desafío para muchas organizaciones. Las principales dificultades surgen por la transformación del rol del área de mantenimiento, el incremento de las expectativas hacia los operarios y los cambios en las relaciones entre departamentos (Wolska et al., 2023).

### 3.3.9 Pasos del Mantenimiento Autónomo

El mantenimiento autónomo se base en siete pasos o etapas que promueven la participación directa del personal operario en el cuidado de los equipos (Tajiri & Gotoh, 2020).

*Paso 1: Limpieza e Inspección.* El primer paso del mantenimiento autónomo tiene como propósito restablecer las condiciones básicas del equipo mediante una limpieza exhaustiva y sistemática. Esta fase no se limita únicamente a eliminar la suciedad o los residuos superficiales, sino que constituye una herramienta de diagnóstico fundamental para detectar posibles fallas, fugas, vibraciones o desgastes anormales en componentes. El proceso incluye la identificación de fuentes de contaminación recurrentes (como fugas de aceite, polvo o residuos del producto procesado) y la eliminación de su causa raíz. Además, se promueve una participación del personal de operaciones, quien asume la responsabilidad directa de inspeccionar visualmente los equipos y mantenerlos en condiciones óptimas (Tajiri & Gotoh, 2020).

*Paso 2: Eliminación de fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso.* Esta fase se centra en disminuir las fuentes que originan contaminación, especialmente aquellas relacionadas con la acumulación de material particulado en los equipos, lo cual prolonga los tiempos necesarios para las tareas de limpieza. Su propósito principal es rediseñar o adaptar las áreas que presentan dificultades de acceso, facilitando así las labores de inspección, mantenimiento y limpieza, y mejorando la eficiencia de dichas actividades (Revelo & Contreras, 2022). El objetivo de esta etapa es incrementar la disponibilidad operativa de los equipos mediante la

simplificación de los procedimientos de limpieza, minimizando al mismo tiempo la dependencia del trabajo manual requerido en la fase inicial del proceso.

*Paso 3: Estándares de Limpieza, Inspección y Lubricación.* El tercer paso se enfoca en la creación de estándares de limpieza, inspección y lubricación, con el fin de asegurar que las tareas se realicen de manera uniforme, consistente y documentada a lo largo del tiempo. En esta fase se desarrollan procedimientos visuales, listas de verificación y guías operativas, que detallan qué partes deben limpiarse, con qué frecuencia y utilizando qué herramientas o productos. También se definen responsabilidades claras para cada operario o equipo de trabajo, de modo que la ejecución de las tareas no dependa del conocimiento individual sino de un sistema común y reproducible. En este punto, la empresa empieza a consolidar una rutina sistemática de mantenimiento autónomo, en la que los operarios integran estas tareas dentro de su jornada diaria, contribuyendo a mantener una alta disponibilidad operativa y una mejora sostenida del desempeño general de los equipos (OEE) (Tajiri & Gotoh, 2020).

*Paso 4: Inspección General.* El objetivo de la inspección general es establecer mecanismos de control sobre los componentes esenciales del equipo, garantizando que operen en condiciones óptimas y seguras. Esta actividad busca asegurar el correcto desempeño del sistema, la calidad del producto y la protección del proceso. Una vez que los operarios han recibido la formación adecuada y adquirido la experiencia necesaria para ejecutar estas inspecciones, pueden elaborar sus propias listas de verificación adaptadas a las necesidades específicas de sus equipos y condiciones de trabajo (Cuatrecasas & Torrel, 2010).

*Paso 5: Inspección Autónoma.* El objetivo principal de la inspección autónoma es preservar las condiciones óptimas del equipo alcanzadas en las etapas anteriores del mantenimiento autónomo. En esta fase se busca optimizar los procedimientos de revisión, disminuyendo la cantidad de verificaciones establecidas en los estándares de limpieza, lubricación e inspección, y eliminando tareas duplicadas. Asimismo, se promueve la reducción del tiempo destinado a las inspecciones mediante la aplicación de herramientas de gestión visual y dispositivos a prueba de

errores (poka-yoke). El operario, con base en estos recursos, realiza controles periódicos para detectar fallas mecánicas como grietas, desgaste o deterioro en los componentes de la máquina, además de verificar el correcto funcionamiento de sensores y elementos de control (Revelo & Contreras, 2022).

*Paso 6: Estandarización.* En esta fase se establecen los mecanismos de gestión del mantenimiento autónomo y se amplía la responsabilidad del operario sobre su equipo y entorno. Se implementan actividades kaizen para optimizar tareas y eliminar pérdidas, y se definen estándares de trabajo, flujo operativo y registro de datos, asegurando un desempeño uniforme entre los operadores y la consolidación de una gestión autónoma sostenible (Niemen, 2016).

*Paso 7: Autogestión.* En esta fase se implementan metodologías estadísticas aplicadas al mantenimiento, con el objetivo de analizar la información relacionada con la disponibilidad de los equipos. Esto se realiza mediante la aplicación coordinada de los estándares establecidos y la participación de personal capacitado específicamente para estas tareas. De este modo, se posibilita la toma de decisiones tanto estratégicas como tácticas, basadas en los hallazgos obtenidos del funcionamiento del mantenimiento autónomo y su impacto en el proceso productivo (Revelo & Contreras, 2022).

## 4 Materiales y metodología

---

En esta sección se describen los recursos, herramientas y métodos utilizados para llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo. Se presenta en primer lugar el entorno de estudio, seguido de los criterios de selección de las líneas de producción analizadas. A continuación, se describe el proceso de implementación de la metodología TPM y las herramientas estadísticas empleadas para evaluar los resultados.

### 4.1 Diagnóstico de Situación Inicial y Plan de Trabajo

#### 4.1.1 Situación Inicial

Previo a desarrollar el plan de trabajo para la implementación de mantenimiento autónomo en la planta de extrusión, se evaluó el estado de implementación de otras metodologías, que son fundamentales antes de llevar a cabo la gestión de mantenimiento autónomo, con el fin de las posibles brechas que pudiesen existir, fueran consideradas dentro de dicho plan.

Se consideró que la planta se encontraba preparada para implementar la metodología de mantenimiento autónomo teniendo en cuenta que:

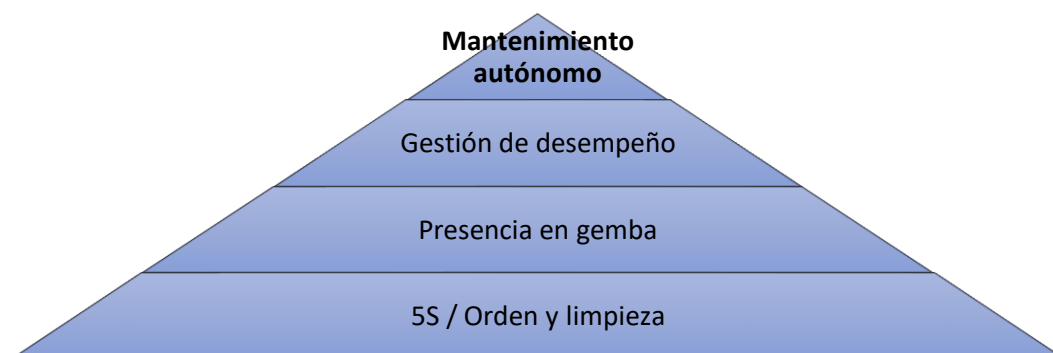
- Cuenta con un sistema integrado de gestión de calidad bajo las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2015, certificado por el ente Bureau Veritas, mediante el cual se lleva a cabo la gestión de desempeño.
- La organización lleva a cabo 2 auditorías internas al año donde se evalúa el cumplimiento de los procedimientos internos de la empresa, los requisitos de las normas ISO antes mencionadas, y los requisitos legales aplicables.
- Dentro de la planta de tuberías, también se cuenta con evaluaciones de productos realizadas por el INEN (servicio de acreditación ecuatoriano), y actualmente cuenta con 18 productos que cuentan con sello de calidad INEN.

- La planta de tuberías cuenta con un programa de implementación de la metodología 5S desde el año 2017; se evidenció que se llevan a cabo auditorías trimestrales donde se evalúa el cumplimiento de estándares de 5S en las áreas de trabajo, por lo cual se considera un sistema sólido.
- Se evidenció que la planta cuenta con la implementación de recorridos “gemba”, los cuales son realizados por la alta dirección (gerente de planta) en conjunto con los superintendentes de los distintos procesos. Estos recorridos tienen por objetivo hacer presencia en la planta para poder identificar oportunidades de mejora, detectar problemas y abordarlos de forma inmediata para su solución. También se busca tener contacto inmediato con los operarios de las líneas de producción para obtener de ellos mismos información relacionada a que puede estar generando pérdidas en la línea de producción, y que ideas pueden ser implementadas para superar las pérdidas.

En la Figura 2, se muestra el modelo que ha instaurado la empresa como las bases previas a la implementación de mantenimiento autónomo:

## Figura 2

*Bases para la implementación de mantenimiento autónomo*



*Nota.* Fuente: Política de mantenimiento autónomo (2021). Documento interno de la planta de tuberías.

### 4.1.2 Fase de Planificación

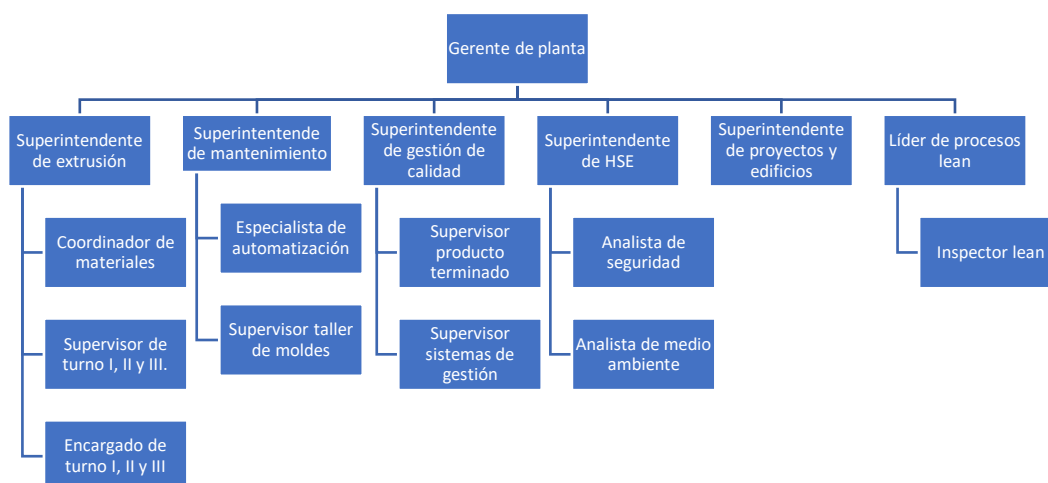
Luego de verificar que la empresa cuenta con otros sistemas implementados, que son necesarios para formar una base sólida previo a la implementación de

mantenimiento autónomo, se contabilizó todo el personal de planta que es clave para la implementación del proyecto con el fin de realizar un proceso de capacitación, donde se brindarían los conocimientos relacionados a mantenimiento autónomo.

La planta de extrusión cuenta con el siguiente organigrama:

**Figura 3**

*Organigrama de la planta de extrusión, 2022*



En el organigrama principal de la empresa se refleja el total del personal de administrativo de la planta de extrusión, el cual está conformado por 17 (diecisiete personas), y se considera personal de primera línea y segunda línea.

En la Tabla 1 se puede observar el número total de trabajadores nómina obrera, que forman parte de los distintos departamentos:

**Tabla 1***Número total de trabajadores nómina obrera*

Departamento	Número de trabajadores
Extrusión	81
Mantenimiento	27
Gestión de calidad	15
HSE	2
<b>Total personal de planta</b>	<b>125</b>
<b>Total personal administrativo</b>	<b>17</b>
<b>Total trabajadores</b>	<b>142</b>

Como estrategia de implementación de este proyecto, la alta dirección decidió llevar a cabo la formación del personal de primera línea, mediante capacitaciones presenciales, las cuales iban a ser dictadas por parte del personal del corporativo con sede en México, quienes cuentan con las competencias necesarias en este tema.

Una vez capacitado el personal administrativo y del personal clave, se procedió con la creación del comité general de mantenimiento autónomo (ver Figura 8, sección 5); esta fase fue importante, ya que se identificó el personal responsable para implementar la metodología y se definieron funciones para asegurar una distribución clara de responsabilidades y una colaboración eficiente durante la implementación de la metodología.

El proceso para definir las funciones se desarrolló de forma participativa, a partir de reuniones de trabajo entre los jefes de área, gerente de planta, supervisores de producción y de mantenimiento. En primer lugar, se describieron en un listado las actividades necesarias para la implementación de los pasos de mantenimiento autónomo, identificando aquellas que requerían seguimiento para asegurar su implementación. Posteriormente se revisaron las competencias de los integrantes seleccionados, con el propósito de asignar las funciones de acuerdo con su perfil y su relación con las distintas áreas de la planta. El líder del comité fue designado para planificar las reuniones, consolidar los reportes de los indicadores y evaluar el avance global de la metodología. El coordinador general asumió tareas relacionadas

con la gestión de las tarjetas y su registro en el sistema SAP y Sharepoint, para su seguimiento, asegurando el cumplimiento oportuno de las mismas. El coordinador de sistemas inteligentes fue asignado a la identificación y ejecución de proyectos de automatización orientados a proponer mejoras y eliminar actividades de inspección hechas por el operario. El coordinador de formación quedó responsable de la capacitación continua de los miembros del comité y de la auditoría de las actividades programadas. Finalmente, los líderes de sección fueron designados como responsables de convocar reuniones de su sección, coordinar los eventos de limpieza de mantenimiento autónomo y dar seguimiento a las actividades de acuerdo con los estándares durante los distintos turnos de trabajo.

Estas funciones se documentaron y se presentan en la Tabla 7 (sección 5), la cual resume las responsabilidades asignadas a cada rol dentro del comité general de mantenimiento autónomo.

Posteriormente, se diseñó un tablero informativo, el cual fue instalado en el acceso principal de la planta como herramienta visual de gestión para facilitar el seguimiento del proyecto, indicadores, resultados, actividades y la participación de todos los miembros del comité. En la Figura 4, se muestra cómo se compone el tablero informativo.

**Figura 4**

*Tablero informativo del comité de mantenimiento autónomo*

Misión	Roles y responsabilidades	Ruta del comité	Matriz de habilidades	Hojas de evaluación
Calendario de reuniones	Objetivos y KPI del comité	Ámbitos prioritarios	Despliegues de pérdidas	Auditorías de equipo
Actas y acciones de las reuniones	Rendimiento de miembros de comité	Plan maestro	Planificación anual	Actividades de equipo

## 4.2 Identificación de la Línea de Producción Crítica

### 4.2.1 Medición del OEE y Tasa de Disponibilidad

*Fuentes y validez de los datos:* los datos de OEE y tasa de disponibilidad utilizados en este estudio fueron proporcionados por el departamento de programación de la producción, el cual consolida los registros primarios de operación reportados por los supervisores y operadores de cada línea. Dichos registros incluyen información de tiempos de operación, paradas planificadas y no planificadas, y producción efectiva. Esta base de datos se utiliza internamente como fuente oficial para el seguimiento del desempeño de planta.

Del reporte mensual emitido por el estimador de costos de producción, que contiene los datos consolidados de tasa de rendimiento, tasa de calidad, tasa de disponibilidad y resultado de OEE, se tomó la información para analizar el estatus actual de la planta, y entender cómo se ve afectada por todas las líneas de producción que forman parte de ella.

Esta información proviene de un sistema formal y auditado dentro de la empresa, por lo que se considera una fuente válida y confiable para los fines del presente estudio.

*Proceso de tabulación de datos:* La información de tasa de disponibilidad y horas de paro se obtiene a partir de los registros de producción diarios elaborados por el supervisor de turno. Al finalizar cada jornada, el supervisor debe registrar en un formato, las líneas de producción en servicio, el número de horas operativas dedicadas a la fabricación de producto y las horas de paro, indicando en cada caso su causa correspondiente. Posteriormente, este registro es remitido al departamento de programación de la producción, el cual consolida los datos en una base de datos desarrollada en Excel.

Dicha información es compartida diariamente con las jefaturas de los distintos departamentos de la planta vía correo electrónico, permitiendo visualizar el cumplimiento de los indicadores de producción y facilitar el seguimiento del

desempeño operativo. Para garantizar que los datos abarquen un período suficiente y representativo, se consideró un período de registro de doce meses, por lo que se consideró analizar la tasa de disponibilidad de cada línea de producción durante los años 2022 y 2023, utilizando los resultados mensuales y acumulado.

#### 4.2.2 Selección de la Línea de Producción

*Fuentes y validez de los datos:* Con el fin de seleccionar la línea de producción (línea crítica) donde se aplicarían los pasos de mantenimiento autónomo, se extrajo del sistema de producción de la empresa los valores de kilos producidos, rendimiento por línea, kilos y causas de scrap generados de cada línea de producción de la planta de extrusión.

El sistema de producción “ATLAS” recopila información de manera automática a partir del peso registrado en la balanza principal de la planta. Cada operador traslada las tuberías fabricadas hasta la balanza una vez completado un rack de producción, donde el sistema registra el peso total de manera digital y lo asocia a la línea y producto fabricado correspondiente. En caso de que la línea haya estado detenida, no se genera ningún registro de producción, garantizando así la consistencia de los datos con las horas de paro registradas por el Supervisor de Producción.

Cuando se produce desperdicio por una causa específica, el operador ingresa el evento en el sistema ATLAS como scrap, asignando la causa correspondiente (por ejemplo: falla de corrugador, falla de acampanadora, material húmedo). Este registro permite cuantificar las pérdidas de material y analizar las causas más frecuentes. Adicionalmente, el sistema ATLAS contiene los pesos teóricos de referencia para cada tipo y diámetro de tubería, lo que permite identificar automáticamente sobrepeso o desviaciones en el producto final. Esto otorga una medida complementaria del desempeño de las máquinas y de la eficiencia en el control del proceso de extrusión.

Dado que los datos del sistema ATLAS provienen de una fuente automatizada y de un equipo de medición calibrado, se consideran fiables y trazables para el análisis

técnico del desempeño productivo y la determinación del OEE en las líneas de extrusión evaluadas.

*Metodología para la selección de la línea crítica:* La selección de la línea de producción crítica se basó en un enfoque multicriterio de tipo ponderado, sustentado en metodologías reconocidas para la priorización de equipos dentro del marco del TPM (Nakajima, 1984).

En particular, se emplearon los lineamientos propuestos por Nakajima (Nakajima, 1984), que establecen la evaluación de los equipos y líneas de producción en función de los indicadores asociados a la productividad, calidad y disponibilidad. Para operacionalizar esta metodología, se aplicó una matriz de priorización ponderada, en la cual cada criterio fue valorado según su grado de influencia en la disponibilidad de global de la planta. En la Tabla 2, se muestran los criterios cuantitativos que fueron evaluados para la selección de la línea crítica. La asignación de los pesos se realizó considerando la experiencia operativa y el impacto histórico de cada variable sobre la tasa de disponibilidad.

**Tabla 2**

*Criterios para la selección de la línea crítica*

Criterio	Unidad	Representa:	Peso
Rendimiento	kg/h	Capacidad productiva	30%
Producción total	kg	Cantidad de producto generado	20%
Horas de paro por fallas	Horas	Tiempo no disponible por fallas / paros	30%
% de scrap	%	Calidad / eficiencia del proceso	20%

*Nota.* Los criterios fueron establecidos en consenso entre el gerente de planta y el equipo de trabajo. Dichos criterios se alinean con los tres componentes del OEE (disponibilidad, rendimiento, calidad) ampliamente usados como referencia para evaluar la criticidad y desempeño de líneas de producción.

Para permitir la comparación objetiva entre las distintas líneas de producción, se realizó un proceso de estandarización de los datos correspondientes a los indicadores seleccionados: producción total, rendimiento, horas de paro por fallas y porcentaje de scrap. Debido a que estos indicadores se expresan en unidades diferentes (kg, kg/h, horas, y %), fue necesario transformarlos a una escala común

mediante el método de normalización lineal tipo mínimo y máximo, ajustado según el efecto de cada variable sobre el desempeño de la línea.

La normalización tipo *Max – Min*, es una de las técnicas más utilizadas en los procesos de toma de decisiones multicriterio, debido a su simplicidad y capacidad de mantener la proporcionalidad entre los valores originales. Este método convierte los datos de diferentes escala en un rango común de 0 a 1, facilitando su ponderación e integración en un índice compuesto (Vafaei, 2021).

Dado que el objetivo del índice es priorizar la línea crítica que requiere intervención para mejorar la tasa de disponibilidad y eficiencia de esta, se aplicó una normalización directa para todos los criterios, de manera que un valor más alto refleje mayor criticidad. La expresión utilizada, basada en el método de normalización tipo *Max – Min* descrito por Vafaei (2021), se muestra en la Ecuación 2:

$$V_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j,min}}{X_{j,max} - X_{j,min}} \quad (2)$$

Donde:

$X_{ij}$ : Valor real del criterio  $j$  para la línea  $i$

$X_{j,max}$ : Valor máximo del criterio  $j$  entre todas las líneas evaluadas

$X_{j,min}$ : Valor mínimo del criterio  $j$  entre todas las líneas evaluadas

De esta forma se obtiene lo siguiente:

- Las líneas con mayor rendimiento o producción obtienen mayor puntaje, ya que su impacto en la planta es mayor si presentan fallas.
- Las líneas con mayores horas de paro por fallas y mayor porcentaje de scrap también obtienen mayor puntaje, porque representan los casos de mayor criticidad y prioridad de intervención.

Posteriormente, los valores normalizados se ponderaron según la importancia asignada a cada criterio ( $P_j$ ), y se sumaron para calcular el índice compuesto de criticidad (IC) de cada línea. El índice compuesto de criticidad se calculó de acuerdo con la siguiente expresión:

$$IC_i = \sum_{j=1}^n (P_j \times V_{ij}) \quad (4)$$

Donde:

$IC_i$ : Índice compuesto de la línea  $i$

$P_j$ : Peso asignado al criterio  $j$ , como fracción decimal

$V_{ij}$ : Valor normalizado del criterio  $j$  para la línea  $i$

$n$ : Número total de criterios considerados

La línea con el mayor valor de  $IC$ , se seleccionó como línea crítica, ya que combina el mayor impacto productivo, mayor riesgo de pérdida de disponibilidad y menor eficiencia del proceso.

*Análisis estadístico complementario:* Se realizaron análisis complementarios con herramientas como: diagramas de Pareto y análisis de correlación, para verificar que la línea de producción crítica identificada era la más apropiada para la implementación de la metodología.

Primero, se elaboraron diagramas de Pareto tabulando las horas de paro de todas las líneas de producción de la planta, con el objetivo de identificar si la línea crítica se encontraba dentro del foco de mayor incidencia de paros. De manera similar, se realizó un Pareto del porcentaje de scrap de todas las líneas, con el fin de determinar si la línea con mayor índice compuesto se encontraba también dentro del foco crítico de calidad.

Luego, con el fin de explorar relaciones entre variables, se realizó un análisis de correlación mediante gráficos de dispersión y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, con el fin de verificar si hay patrones ocultos o correlaciones significativas que estén relacionadas a la tasa de disponibilidad de la línea seleccionada y justificar acciones. El análisis se realizó entre las horas de paro por falla y la tasa de disponibilidad de las líneas. Esto permitió explorar si existían patrones significativos que mostraran que, a medida que aumentaban las horas de paro, la tasa de disponibilidad disminuía, justificando así la selección de la línea crítica para la implementación de la metodología.

### 4.2.3 Causas de Paro de las Líneas de Producción

Una vez identificada la línea de producción crítica, se procedió a realizar un análisis detallado de las causas de paro registradas en el reporte mensual emitido por el departamento de programación de la producción durante el periodo base. Este análisis tuvo como finalidad identificar los principales factores que afectan la disponibilidad operativa de la línea y constituyen una limitación para alcanzar un desempeño estable y sostenido.

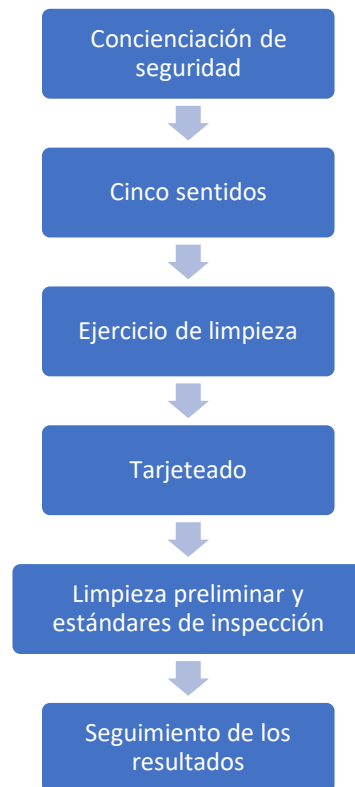
El análisis de causas de paro representa una etapa esencial para comprender los modos de fallo y las condiciones anómalas que deben ser abordadas antes de establecer los estándares de operación. Para ello, se extrajeron y clasificaron las distintas causas de paro asociadas a la línea crítica, priorizando aquellas que mostraron mayor frecuencia y duración acumulada. Los resultados de este análisis constituyen la base para el desarrollo de la siguiente fase del proyecto: la elaboración de los estándares de limpieza, inspección y lubricación (LIL).

## 4.3 Establecimiento de Estándares de Línea

Para establecer los estándares de línea, fue necesario implementar los pasos 1, 2 y 3 de la metodología de mantenimiento autónomo. En esta sección se presenta la implementación de los pasos 1 y 3, mientras que en la sección 4.4 se detalla la del paso 2. Este orden de exposición se debe a que el paso 2 permite evidenciar el cumplimiento del objetivo 3 de este proyecto de investigación. Los pasos de mantenimiento autónomo implementados fueron los siguientes:

- Paso 1: limpieza inicial e inspección.
- Paso 2: eliminación de fuentes de suciedad y zonas de difícil acceso.
- Paso 3: elaboración del estándar de limpieza, inspección y lubricación (LIL).

Para iniciar esta fase, se comenzó con la implementación del paso 1 de la metodología, siguiendo las actividades descritas en la Figura 5.

**Figura 5***Secuencia de actividades paso 1*

*Nota.* Adaptado de documento interno de la empresa, Política de mantenimiento autónomo. (Mexichem Ecuador, 2021)

En la tabla 3, se muestra la finalidad de cada actividad del paso 1 y los resultados esperados por cada una:

**Tabla 3**

*Finalidad de cada actividad del paso 1*

Actividades	Finalidad	Resultados esperados
1.1 Formación en seguridad	Concienciación de la seguridad de los operadores Ofrecer un medio de advertencia	Mapa de seguridad de equipos LOTO
1.2 Formación de los cinco sentidos	Uso del conocimiento en las actividades de comprobación diarias	Comprensión del significado de comprobar
1.3 Ejercicio de limpieza: Retirada de la suciedad acumulada. Realizar fotografías antes y después	Capacidad de detectar anomalías	Limpieza del equipo y lugar de trabajo Ejemplos del primer estándar de limpieza
1.4 Etiquetado: Formación en tarjeteado. Inicio del tarjeteado.	Identificar todas las anomalías visibles en el lugar de trabajo	Lista de fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso
1.5 Registro de limpieza: Creación del estándar preliminar de limpieza e inspección	Bases para el LIL futuro estándar.	Limpieza preliminar y Estándares de inspección
1.6 Seguimiento de los resultados: Lista de fuentes de contaminación. Retirada de la suciedad. Realizar fotografías antes y después.	Registrar el tiempo necesario para volver a restaurar la máquina en funcionamiento	Tiempo de establecimiento de paradas debido a principales fuentes de contaminación

*Nota.* Adaptado de documento interno de la empresa, Política de mantenimiento autónomo (Mexichem Ecuador, 2021).

Como se observa en la Tabla 3, el estándar preliminar se crea en la actividad 1.5, posterior al ejercicio de limpieza inicial de la línea de producción, ya que luego de este ejercicio, se miden los tiempos de cada actividad realizada.

Para la elaboración del estándar preliminar de línea, también se consideró las recomendaciones del fabricante de cada equipo que compone la línea de producción crítica.

Se realizaron reuniones con el personal de producción, operadores de línea, personal de mantenimiento eléctrico y mantenimiento mecánico, con el propósito

de definir en un formato los distintos puntos de la línea de producción que deben ser considerados en el estándar, y la actividad a realizar en cada punto.

Dichas actividades fueron enlistadas, para analizar cuales podían ser realizadas por el operador de la línea de producción durante su rutina de trabajo y cuales, por temas de capacidad, no podían realizar. A su vez, también se identificó si la actividad requería de alguna competencia técnica por parte del operador, recibiera el adiestramiento necesario para realizar dicha tarea.

Luego de ejecutadas todas las actividades del paso 1, se decidió como estrategia mantener la línea de producción en dicho paso por un período de 3 meses para monitorear los resultados, verificar el cumplimiento de cada actividad, enfocándonos principalmente:

- Registro de limpiezas: se elaboró un formato donde el operador registraba la limpieza de la línea de producción en los puntos específicos de acuerdo con el estándar.
- Seguimiento del tarjeteado: se llevó a cabo un sistema de seguimiento del cumplimiento de tarjetas, el cual permitiría identificar de forma temprano cualquier anomalía y resolverla de acuerdo con su naturaleza, y que serviría como fuente de información para la implementación del paso 2 de la metodología.

#### 4.3.1 Sistema de Tarjeteado

Como parte de la metodología de implementación del mantenimiento autónomo, se estableció el sistema de Tarjeteado como herramienta fundamental para la detección, registro y seguimiento de anomalías, así como para la identificación de oportunidades de mejora en los equipos de la línea de producción. Este sistema permite mantener una comunicación constante entre el personal operativo y el área de mantenimiento, promoviendo la participación de todos los colaboradores en el cuidado de los equipos.

El sistema se aplicó de forma continua durante la implementación de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento autónomo. Su objetivo fue fomentar la observación detallada de las condiciones del área de trabajo, detectar desviaciones o problemas en los equipos, y registrar de manera ordenada las acciones correctivas y preventivas necesarias.

Para su funcionamiento, se definieron tres tipos de tarjetas, diferenciadas por color y propósito (ver tarjetas en Anexo 4):

- Tarjeta de limpieza (blanca): utilizada para reportar deficiencias de limpieza o condiciones inadecuadas en el entorno del equipo, tales como fugas, residuos, suciedad acumulada o presencia de materiales fuera de lugar.
- Tarjeta de restauración (roja): empleada para identificar anomalías técnicas o desviaciones en el funcionamiento del equipo, como daños, vibraciones, fugas, señales deterioradas o inconsistencias con las condiciones operativas normales.
- Tarjeta de mejora (verde): destinada a registrar propuestas de optimización o actualizaciones que contribuyan a la eficiencia del proceso, la seguridad o la facilidad de operación.

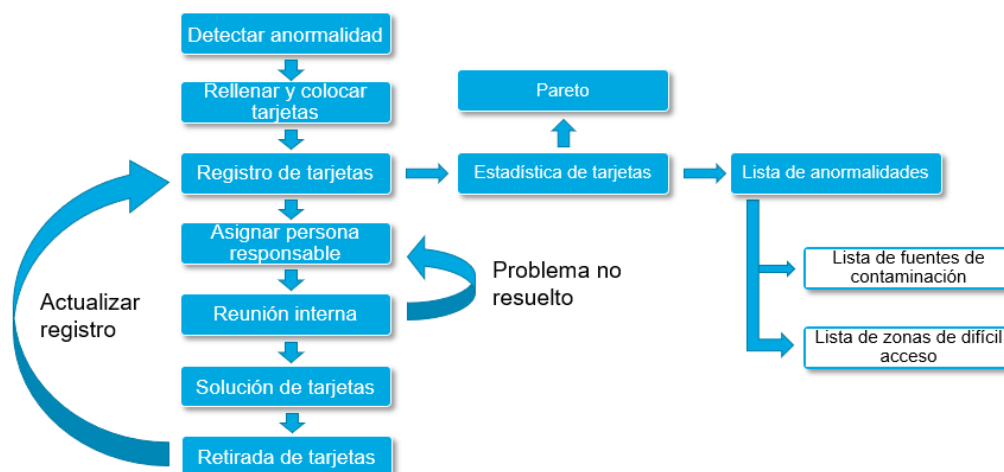
El uso de las tarjetas fue abierto a todo el personal de la planta, incluyendo operadores, supervisores, encargados de línea, personal de mantenimiento y miembros del comité de implementación. Cada tarjeta debía contener información específica, como la fecha, nombre del reportante, prioridad, causa, descripción del hallazgo, área involucrada y responsable de la solución.

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de este sistema se presentan en el Capítulo 5, donde se analizan las principales causas reportadas, su frecuencia y el impacto del sistema en la mejora de las condiciones operativas de la línea crítica. En el Anexo 4, se muestran los tipos de tarjetas y el instructivo de uso de tarjetas de mantenimiento autónomo, difundido a todo el personal y utilizado como referencia durante las capacitaciones.

En la Figura 6, se observa la secuencia establecida para el proceso de tarjeteadado:

**Figura 6**

*Proceso de tarjeteadado*

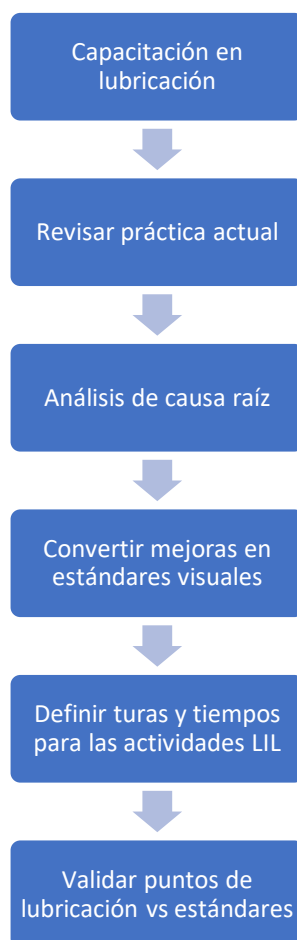


*Nota.* Adaptado de documento interno de la empresa, Política de mantenimiento autónomo (Mexichem Ecuador, 2021).

#### 4.3.2 Elaboración de Estándar de Limpieza, Inspección y Lubricación

Para finalizar la elaboración del estándar de limpieza, inspección y lubricación, se aplicó el paso número 3 de la metodología de mantenimiento autónomo. Las actividades implementadas, se muestran en la Figura 7.

Esta fase inició con la capacitación del personal operario de las líneas de producción en lubricación, partiendo desde los conceptos básicos, hasta los beneficios esperados. El entrenamiento de lubricación se planificó en base al personal operario de la línea de producción crítica, para luego en base a los resultados, proveer el entrenamiento al resto del personal de la planta. Para esta fase se contó con el soporte del personal de mantenimiento, el cual se encontraba previamente capacitado para realizar esta actividad. También se consideró los requerimientos específicos de las máquinas que componen la línea crítica para llevar a cabo el entrenamiento.

**Figura 7***Secuencia de actividades paso 3*

*Nota.* Adaptado de documento interno de la empresa, Política de mantenimiento autónomo (Mexichem Ecuador, 2021).

En la Tabla 4, se muestra la finalidad de cada actividad del paso 3 y los resultados esperados por cada una.

**Tabla 4**

*Finalidad y resultados esperados actividades paso 3*

Actividades	Finalidad	Resultados esperados
3.1 Capacitación en lubricación	Entendimiento de los principios y conceptos de lubricación.	Conocimiento general de Lubricación y sistemas de lubricación.
3.2 Revisar práctica actual	Estudiar la práctica actual de lubricación	Lista de zonas y áreas de lubricación
3.3 Análisis de causa raíz	Mejorar el tiempo de lubricación	Plan de acción y calendarización de actividades de mejora
3.4 Convertir mejoras en estándares visuales	Permitir una fácil identificación durante el proceso de lubricación	Administración visual efectiva para el sistema de lubricación
3.5 Definir rutas y tiempos para las actividades LIL	Crear compendio de estándares y fijar elementos de control	Lista completa de estándares LIL
3.6 Validar puntos de lubricación vs estándares	Revisar transferencia de actividades de MP a MA	Responsabilidades de lubricación transferidas a la operación

*Nota.* Adaptado de documento interno de la empresa, Política de mantenimiento autónomo (Mexichem Ecuador, 2021).

El siguiente paso fue establecer el listado de zonas y áreas de lubricación, el cual se extrajo del sistema SAP, sistemáticas de mantenimiento preventivo. Esto con el fin de registrar el tipo de lubricante utilizado, el método de lubricación, herramientas usadas y la frecuencia. Dado a que estos recursos estaban bajo custodia y uso del personal de mantenimiento, se establecieron pautas para que el personal operario contara con estas herramientas en el sitio de uso, con el fin de evitar desperdicios de movimiento. Con este listado se establecieron responsabilidades, en cuales actividades iban a ser transferidas a los operadores, en base a la frecuencia, esfuerzo necesario y complejidad de la lubricación. En el Capítulo 5, se muestra el resultado de las actividades de lubricación que fueron transferidas a los operadores.

Para mejorar el tiempo de lubricación, se realizaron análisis de causa, con el fin de simplificar el sistema de lubricación; para ello se analizaron los lubricantes utilizados, los puntos de lubricación actuales y se implementaron ayudas visuales en el proceso de lubricación. Luego se midió el tiempo total de lubricación y se comparó con el plan inicial antes de las mejoras.

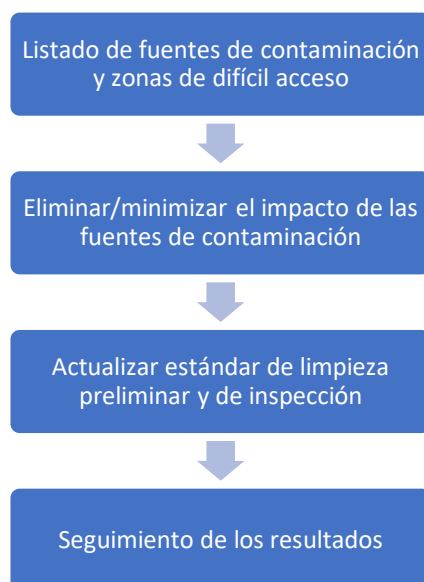
Con el fin de permitir una fácil identificación durante el proceso de lubricación, se implementó un sistema de lubricación visual que consistía en hacer visible los indicadores de condición de lubricación, las secciones de operación óptima en los instrumentos de medición y se etiquetaron los lubricantes de acuerdo con el código visual asignado. Posteriormente las actividades de lubricación se incorporaron a las rutinas de mantenimiento autónomo, mapeando los puntos de lubricación y anotando los detalles de los puntos de fabricación como: punto de lubricación, frecuencia de lubricación y método de lubricación.

#### 4.4 Reducción de Fuentes de Contaminación

Para llevar a cabo la reducción de las fuentes de contaminación, se aplicó el paso número 2 de la metodología de mantenimiento autónomo. Las actividades implementadas se muestran en la Figura 8:

**Figura 8**

*Secuencia de actividades paso 2*



*Nota.* Adaptado de documento interno de la empresa, Política de mantenimiento autónomo (Mexichem Ecuador, 2021).

En la Tabla 5, se muestra la finalidad de cada actividad del paso 2 y los resultados esperados por cada una:

**Tabla 5**

*Finalidad de cada actividad del paso 2*

Actividades	Finalidad	Resultados esperados
2.1 Lista de zonas de difícil limpieza y acceso identificadas en el paso 1: Detallar lista para identificar la causa raíz de la fuente de contaminación.	Tener un plan para reducir tiempos de inspección y limpieza	Mapa detallado de zonas de difícil acceso y limpieza.
2.2 Mapa detallado de zonas de difícil acceso y limpieza: aplicación de diagramas de Ishikawa y 5 porqué	Reducir tiempos de limpieza	Lista de contramedidas identificada
2.3 Actualizar estándar preliminar: lista de contramedidas y modificar estándares elaborados en paso 1	Mantener mejoras identificadas	Estándares actualizados para las actividades de limpieza de los equipos
2.4 Medir tiempos de limpieza e inspección. Seguimiento de resultados	Mejorar las condiciones de trabajo Optimizar actividades de limpieza e inspección	Reducir tiempos de inspección y limpieza

*Nota.* Adaptado de documento interno de la empresa, Política de mantenimiento autónomo (Mexichem Ecuador, 2021).

Para realizar la primera actividad del paso 2, se utilizaron los listados que se documentaron durante la implementación del paso 1. Al momento de llevar a cabo las actividades de limpieza inicial, se documentaron las fuentes de contaminación que originaban suciedad en los distintos equipos y zonas de la línea de producción. Adicionalmente a través del tarjeteado y su seguimiento, se pudo cuantificar la frecuencia de etiquetas por limpieza en determinadas zonas de la línea de producción, lo que permitió realizar el mapeo de las fuentes de contaminación y mapeo de las zonas de difícil acceso (ver sección 5.4).

Se realizaron análisis de causas por cada fuente de contaminación identificada con el fin de establecer los planes de acción enfocados a eliminar las fuentes de contaminación y reducir las zonas de difícil acceso. Con el fin de priorizar los planes de acción, se consideraron aspectos de como seguridad, tiempos de limpieza y frecuencia de limpieza.

Una vez implementadas las acciones para eliminar las fuentes de contaminación, la siguiente actividad consistió en establecer contramedidas para las zonas de difícil acceso, el cual permitiría eliminar barreras físicas para mantener las condiciones básicas del equipo y facilitar las tareas de limpieza e inspección, y como consecuencia reducir los tiempos que el operador utiliza para realizar estas actividades, haciendo de ellas tareas más sencillas.

Luego de implementadas las acciones, se procedió a la actualización de los estándares preliminares de limpieza e inspección. Para esta actividad se midieron los nuevos tiempos que necesitaba el operador para hacer la limpieza y la inspección, y pasó a ser el nuevo estándar de línea.

En la sección 5.4, se muestra una tabla resumen con las mejoras y la reducción de tiempos para realizar la limpieza e inspección por parte del personal operativo. Se realizó un seguimiento de los resultados mediante el permanente tarjetado, para identificar si el número de tarjetas por limpieza había disminuido. Mediante el proceso de levantamiento y cierre de tarjetas, también se identificó en algunos casos nuevas actividades que fueron añadidas al estándar.

Los indicadores que se utilizaron para monitorear si la implementación de mantenimiento autónomo fue satisfactoria durante el paso 1 y 2, fueron los siguientes:

- Tasa de solución de tarjetas mayor al 75%.
- Reducción de las fuentes de contaminación en un 75%.
- Reducción en el número de zonas de difícil acceso en un 50%.
- Reducción del tiempo total de limpieza e inspección del 40%.

Se estableció el etiquetado como un proceso continuo a lo largo del tiempo para asegurar la mejora continua, promoviendo constantemente mediante charlas y difusión la construcción del sistema de etiquetado, promoviendo su uso como un medio para mejorar las condiciones de trabajo.

## 5 Resultados y discusión

### 5.1 Situación Inicial y Fase de Planificación

La presente sección expone los resultados obtenidos tras la implementación del mantenimiento autónomo en la planta de tuberías de extrusión. Los hallazgos se han estructurado en función de los diferentes componentes del proceso, incluyendo la capacitación del personal, la organización y funciones del comité de mantenimiento autónomo, así como los mecanismos de seguimiento y comunicación, representados por el tablero informativo.

#### 5.1.1 Planificación y Organización del Mantenimiento Autónomo

En correspondencia con la estrategia de implementación descrita en la sección 4.1.2, la alta dirección impulsó un proceso de capacitación estructurado en dos niveles, con el apoyo del personal corporativo con sede en México, quienes cuentan con amplia experiencia en la aplicación de la metodología de mantenimiento autónomo dentro del pilar de TPM.

La primera fase de capacitación estuvo dirigida a las jefaturas y personal administrativo de planta, con un enfoque general orientado a brindar los conocimientos conceptuales necesarios para liderar la implementación de la metodología. En esta etapa se abordaron temas como liderazgo en TPM, importancia del mantenimiento autónomo, principios de mejora continua, y roles y responsabilidades del personal operativo y de apoyo.

En la Tabla 6 se presentan los principales resultados obtenidos durante el proceso de capacitación del personal de primera línea, que sirvió como punto de partida para la formación operativa y la posterior implementación de las actividades prácticas en la línea de producción crítica XT-27.

**Tabla 6**

*Resultados de la capacitación - personal de primera línea*

Categoría	Descripción / resultado
Tipo de capacitación	Formación general teórica – presencial
Objetivo	Brindar al personal de primera línea los conocimientos conceptuales y de liderazgo necesarios para la implementación del mantenimiento autónomo bajo el marco del TPM.
Población capacitada	25 personas
Participación alcanzada %	100%
Duración total de la capacitación	16 horas (2 jornadas de 8 horas cada una).
Metodología de enseñanza	Sesiones presenciales con exposición teórica, discusión guiada y análisis de casos prácticos.
Facilitadores / Responsables	Director regional de lean manufacturing (Corporativo – México)
Contenido principal de la capacitación	Liderazgo y trabajo en equipo, seguridad industrial, metodología 5S, mejora continua, enfoque Kaizen, observación gemba, fundamentos del TPM y pilar de mantenimiento autónomo.
Evaluación de aprendizaje	Prueba escrita aplicada al finalizar la capacitación.
Criterio de aprobación	70 / 100
Resultados de evaluación	Puntaje promedio: 95/100. Todos los participantes alcanzaron o superaron el puntaje mínimo establecido.
Eficacia de la capacitación	100 % de aprobación, demostrando alto nivel de asimilación de contenidos y cumplimiento del objetivo formativo.

Los resultados obtenidos evidencian un alto grado de participación y aprovechamiento por parte del personal de primera línea. La eficacia de la capacitación, reflejada en la totalidad de aprobados con un promedio de 95/100, garantizó que los líderes de área y jefaturas comprendieran los principios del TPM y del mantenimiento autónomo, fortaleciendo así las bases organizativas para la fase operativa de implementación en planta.

Una vez completada la capacitación, se estableció el comité general de mantenimiento autónomo, el cual estuvo conformado por representantes claves de

las áreas de producción, mantenimiento, seguridad, salud y medio ambiente. El organigrama se muestra en la Figura 9.

**Figura 9**

*Organigrama - comité general mantenimiento autónomo*



Con el fin de asegurar una implementación estructurada y efectiva de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento autónomo, se definieron las funciones de cada miembro del comité responsable de la supervisión y seguimiento del proceso. La asignación de responsabilidades se realizó considerando la experiencia de cada integrante, su rol dentro de la planta y la necesidad de garantizar que las actividades críticas para la mejora de la disponibilidad de la línea de producción fueran gestionadas de manera eficiente.

La Tabla 7 presenta un resumen detallado de las funciones asignadas a cada miembro del comité, reflejando cómo se distribuyen las responsabilidades y se asegura la alineación con los objetivos del proyecto.

**Tabla 7**

*Funciones de miembros del comité*

Nombre del cargo	Funciones
Líder general	Planificar las reuniones del comité con los líderes de sección para reportar los avances. Consolidar el reporte mensual de indicadores de cada sección. Evaluar el nivel de avance de mantenimiento autónomo en las secciones
Coordinador general	Encargado de incluir los reportes de tarjetas blancas y rojas en el módulo SAP de mantenimiento. Crear OT por cada tarjeta y enviar estatus de cumplimiento. Fijar tiempos de cumplimientos de tarjetas en función a prioridades. Informar tarjetas que estén próximas a vencer para fomentar el cierre oportuno de las mismas.
Coordinador de sistemas Inteligentes	Identificar y ejecutar proyectos de automatización que ayuden a eliminar condiciones subestándar recurrentes. Hacer propuestas para identificación y solución de tarjetas verdes (tarjetas de mejora).
Coordinador de formación	Formación en las herramientas de mantenimiento autónomo a todos los miembros del comité. Auditar la ejecución de actividades
Líderes de sección	Encargado de Convocar reuniones del comité de la sección. Encargado de hacer llamado a ejecución de evento de mantenimiento autónomo en líneas específicas. Elaborar y realizar seguimiento al plan de estatus de nivel líneas mantenimiento autónomo

Del mismo modo, la Tabla 8 presenta la descripción de las responsabilidades asignadas al personal operario y de mantenimiento involucrado en las actividades de mantenimiento autónomo, asegurando la implementación efectiva de la metodología, la implementación de las limpiezas iniciales, levantamiento de tarjetas, solución de tarjetas y cumplimiento de los estándares establecidos.

**Tabla 8**

*Funciones del personal de planta - mantenimiento autónomo*

Cargo	Responsabilidades
Líder de sección	Convocar reuniones del comité de la sección. Hacer llamado a ejecución de evento de mantenimiento autónomo en líneas específicas. Elaborar y realizar seguimiento al plan de estatus de nivel líneas mantenimiento autónomo
Encargado de mantenimiento electromecánico	Ordenar y supervisar la solución de tarjetas rojas y verdes que han sido reportadas. Elaborar estándares de lubricación y estándares de inspección.
Supervisor de producción / Encargado de producción	Ordenar y supervisar la solución de tarjetas blancas y verdes que han sido reportadas. Encargado de la elaboración de estándares de limpieza. Suplente del líder de sección.
Técnico eléctrico	Dar solución a las tarjetas rojas y verdes reportadas en cada equipo. Efectuar inspecciones de los equipos y levantar tarjetas blancas, rojas y verdes en los equipos.
Técnico mecánico	Dar solución a las tarjetas rojas y verdes reportadas en cada equipo. Efectuar inspecciones de los equipos y levantar tarjetas blancas, rojas y verdes en los equipos.
Operador de línea I	Dar solución a las tarjetas blancas y verdes reportadas en cada equipo. Efectuar inspecciones de los equipos y levantar tarjetas blancas, rojas y verdes en los equipos.
Operador de línea II	Seguimiento y ejecución del estándar de lubricación de los equipos y maquinarias. (llenar reporte del cumplimiento del estándar).
Operador de línea III	Seguimiento y ejecución del estándar de limpieza y estándar de inspección de los equipos y maquinarias. (llenar reporte del cumplimiento del estándar).
Inspector de M.A.	Supervisar la actualización del tablero de mantenimiento autónomo y asesorar a los encargados de las secciones en la entrega de reporte. Dar solución a las tarjetas blancas y verdes reportadas en los equipos de la sección de extrusión

En esta etapa se consolidó la estructura organizativa del comité de mantenimiento autónomo, integrando representantes de cada área operativa de la planta. Posteriormente, se diseñó un tablero informativo que permitió centralizar y comunicar de forma visual toda la información relacionada con la gestión del pilar, los avances y los indicadores de desempeño.

**Figura 10**

*Tablero informativo de mantenimiento autónomo*



Este tablero sirvió como herramienta de comunicación visual, y también como medio de seguimiento y control de la implementación, facilitando la coordinación entre los miembros del comité y fomentando la participación de los operarios.

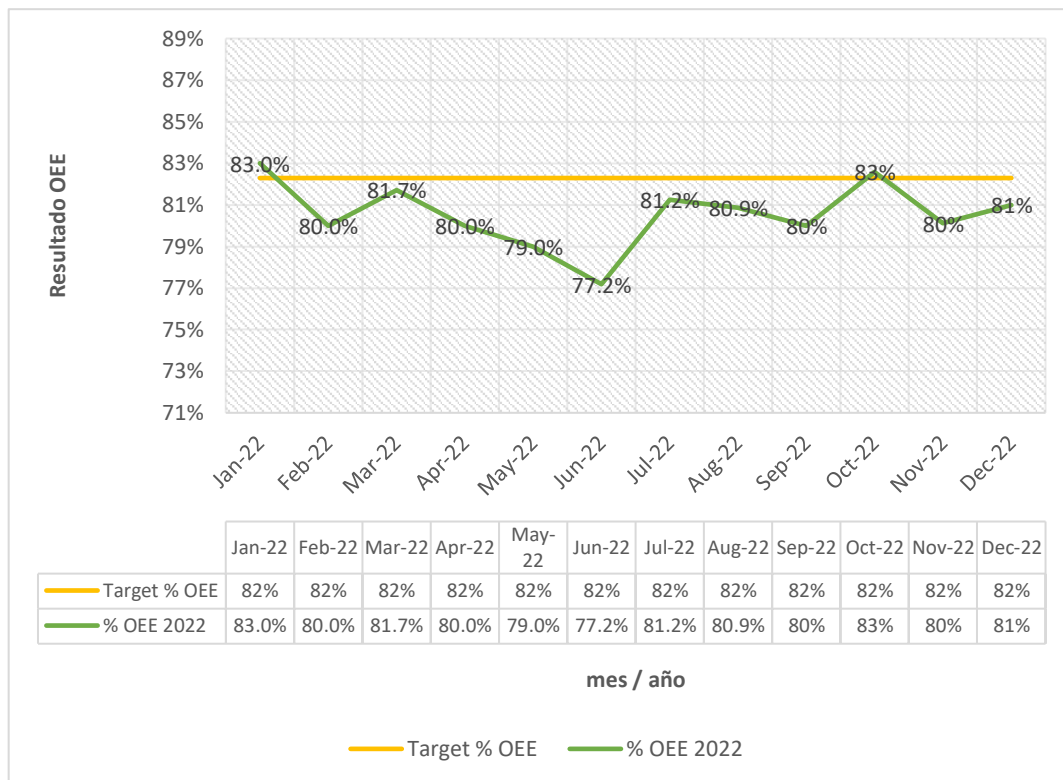
## 5.2 Identificación de la Línea Crítica

### 5.2.1 Análisis de OEE de la Planta de Extrusión

Dado que la implementación de este proyecto inició en el primer trimestre del año 2023, los datos empleados para establecer la línea base de estudio corresponden a los resultados obtenidos durante el año 2022. El siguiente gráfico muestra el resultado del OEE de la planta de extrusión registrados en dicho período:

**Figura 11**

*Resultado de OEE de la planta de extrusión*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte de OEE por máquina, departamento de programación de la producción (2022).

En la Figura 11 se observa que, durante el transcurso del año 2022, la planta de extrusión obtuvo un resultado acumulado del 80% del OEE, el cual no cumplió con el objetivo establecido de 82%. También se puede observar que la planta de extrusión solo pudo cumplir con el objetivo establecido, solamente los meses de enero, marzo y octubre.

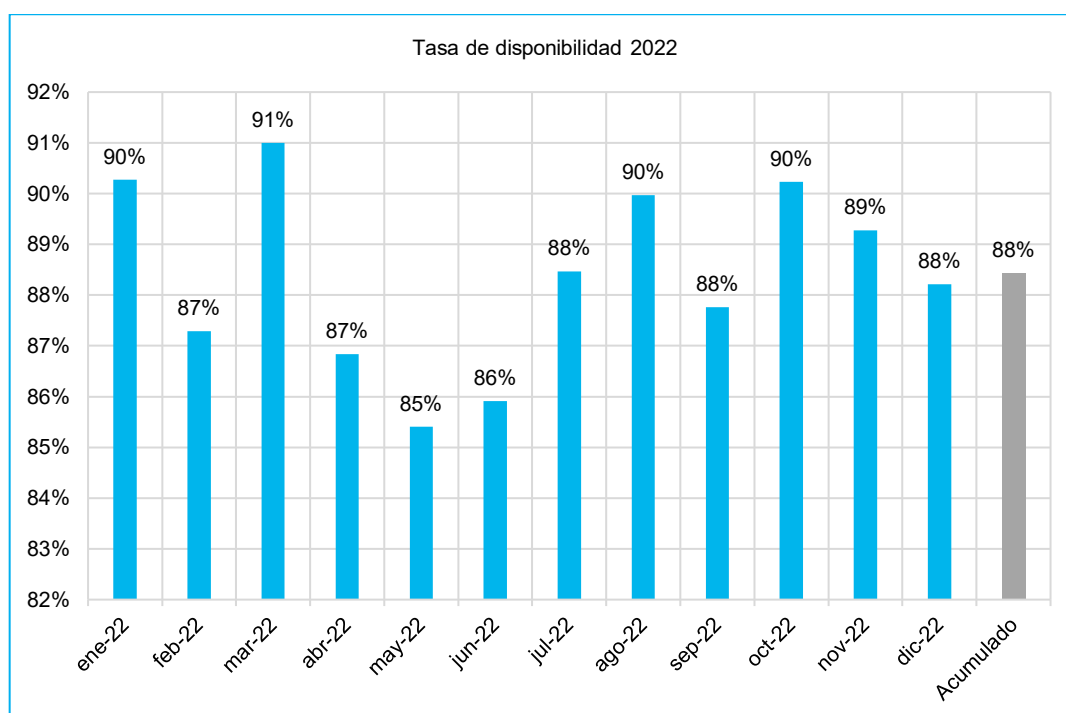
El OEE de la planta, es el producto de las tasas de rendimiento, calidad y disponibilidad, donde se obtuvo una tasa de rendimiento del 97%, una tasa de calidad del 93% y una tasa de disponibilidad del 88%. Con ello se puede evidenciar que la tasa que mayormente afecta al resultado de OEE de la planta, es la tasa de disponibilidad.

## 5.2.2 Tasa de Disponibilidad

En la Figura 12, se muestra el resultado mensual de la tasa de disponibilidad de la planta de extrusión durante el año 2022. En este gráfico se puede observar que existe una variabilidad a lo largo del año donde la mayor tasa de disponibilidad se obtuvo en el mes de marzo, con un valor de 91% y la menor tasa de disponibilidad fue en el mes de mayo con un 85%; la tasa de disponibilidad total de la planta de extrusión para el año 2022 fue de 88%, siendo este el punto inicial de referencia para medir si la implementación de mantenimiento autónomo es satisfactoria.

**Figura 12**

*Tasa de disponibilidad de la planta de extrusión*

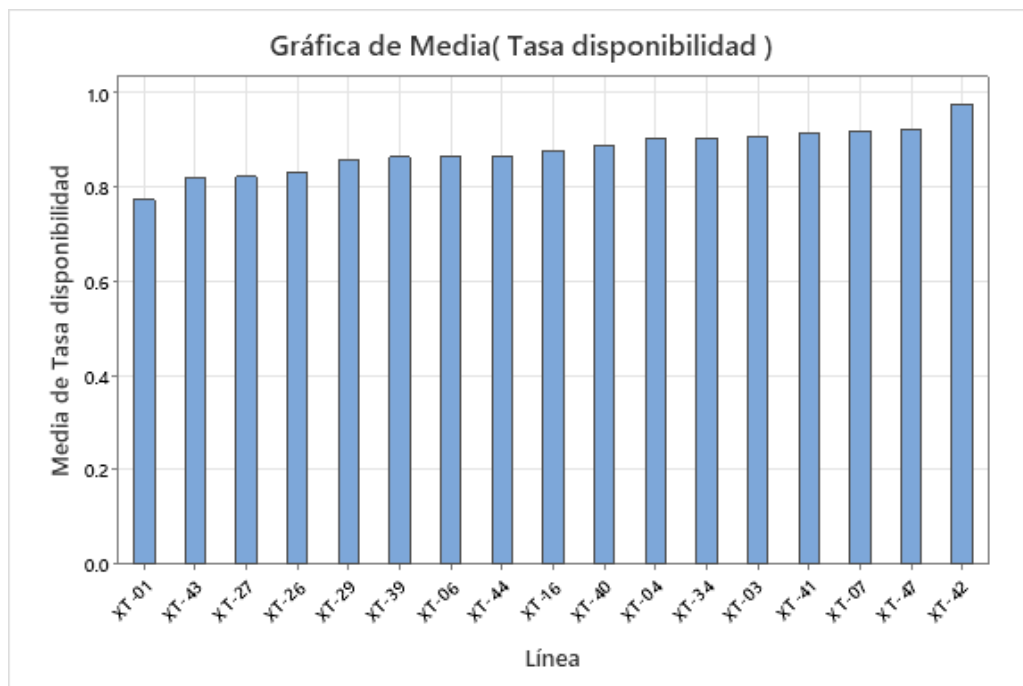


*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte de OEE por máquina, departamento de programación de la producción (2022).

La Figura 13 muestra que las líneas de extrusión con menor tasa de disponibilidad fueron las líneas XT 01 (77%), XT-43 (82%), XT-27 (82%), XT-26 (83%), XT-29 (86%) y XT-39 (86%), siendo estas relevantes para el caso de estudio ya que se encuentran por debajo de la media (87%).

**Figura 13**

*Tasa de disponibilidad de cada línea de producción*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte de OEE por máquina, departamento de programación de la producción (2022).

### 5.2.3 Selección de Línea Crítica

La Tabla 9 muestra los resultados acumulados de los indicadores utilizados para la selección de la línea de producción donde se aplicó la metodología:

**Tabla 9**

*Datos acumulados de las líneas de producción de la planta*

Línea	Prod. Total (kg)	Rendimiento (kg/h)	Horas de paro por fallas (h)	% Scrap
XT-01	680,990	439.7	178	9.9
XT-03	1,581,644	366.5	183	4.1
XT-04	1,676,592	575.4	133	2.3
XT-06	1,274,905	259.1	474	4.5
XT-07	995,381	203.1	369	3.9
XT-26	818,017	188.9	599	4.4
XT-34	1,805,925	353.4	540	2.1
XT-41	1,799,712	374.8	266	2.4
XT-42	4,494,349	860.1	100	1.6
XT-47	1,524,078	350.3	276	2.8
XT-29	688,634	355.5	138	5.9
XT-39	343,138	495.6	10	9.2
XT-16	736,867	154.7	374	5.7
XT-40	1,817,939	383.9	192	5.1
XT-43	903,665	264.3	364	7.5
XT-44	1,368,213	398.7	228	6.3
XT-27	3,045,934	843.5	333	6.9

*Nota.* Fuente: Departamento de programación de la producción, reporte acumulado de producción (2022)

Luego de aplicar el proceso de estandarización de datos para cada una de las líneas de extrusión, se calculó un índice compuesto de criticidad, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Estandarización de datos e índice compuesto de criticidad*

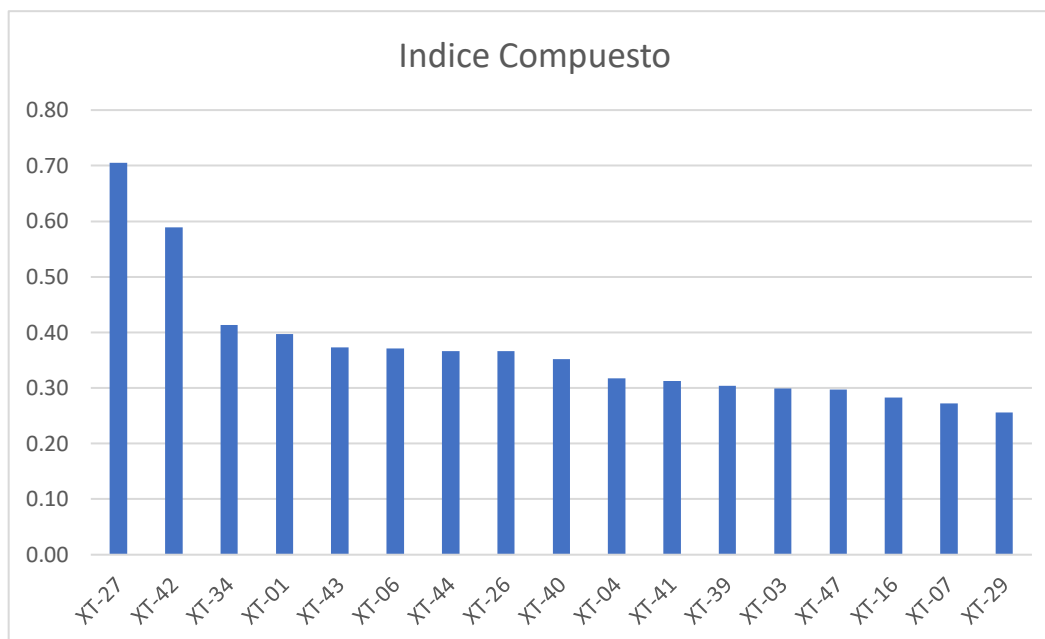
Línea	Prod. Total (kg)	Rendimiento (kg/h)	Horas de paro por fallas (h)	% Scrap	Índice Compuesto
XT-27	0.65	0.98	0.55	0.64	0.71
XT-42	1.00	1.00	0.15	0.00	0.59
XT-34	0.35	0.28	0.90	0.06	0.41
XT-01	0.08	0.40	0.29	1.00	0.40
XT-43	0.14	0.16	0.60	0.72	0.37
XT-06	0.22	0.15	0.79	0.35	0.37
XT-44	0.25	0.35	0.37	0.57	0.37
XT-26	0.11	0.05	1.00	0.35	0.37
XT-40	0.36	0.32	0.31	0.43	0.35
XT-04	0.32	0.60	0.21	0.10	0.32
XT-41	0.35	0.31	0.44	0.10	0.31
XT-39	0.00	0.48	0.00	0.92	0.30
XT-03	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
XT-47	0.28	0.28	0.45	0.15	0.30
XT-16	0.09	0.00	0.62	0.50	0.28
XT-07	0.16	0.07	0.61	0.28	0.27
XT-29	0.08	0.28	0.22	0.53	0.26

*Nota.* Adaptado del reporte acumulado de producción (2022), emitido por el departamento de programación de la producción. los datos fueron estandarizados para elaborar el índice compuesto.

Los resultados de la Tabla 10 se muestran mediante el gráfico en la Figura 14, donde se puede observar el índice compuesto de cada línea de producción:

**Figura 14**

Índice compuesto por cada línea de producción



*Nota.* Adaptado del reporte acumulado de producción (2022), emitido por el departamento de programación de la producción. Los datos fueron estandarizados para elaborar el índice compuesto.

Como resultado, la línea XT-27 obtuvo el valor más alto del índice compuesto (0.71), lo que indica una mayor prioridad para ser seleccionada como línea crítica en este proyecto de implementación, con respecto a las demás líneas evaluadas.

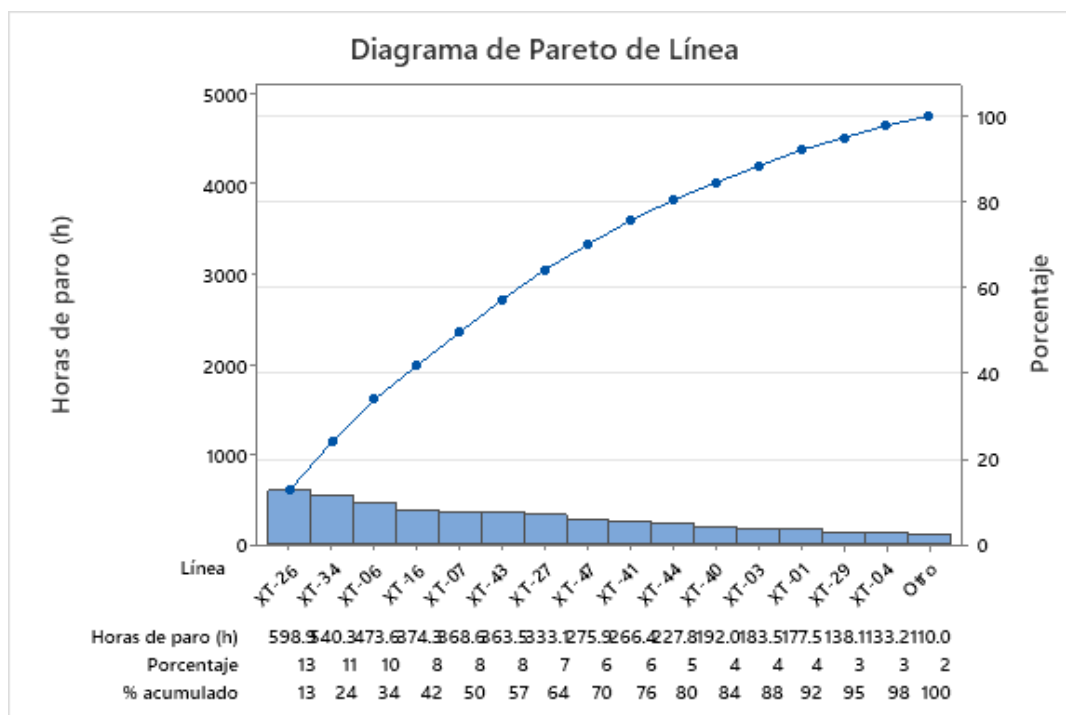
Considerando el enfoque de esta tesis orientado a identificar la línea crítica con mayor potencial de mejora, se seleccionó la línea XT-27, que con un índice compuesto de 0.71, combina una producción y rendimiento relativamente buenos, pero presenta una baja calificación en los indicadores de disponibilidad y calidad (horas de paro y scrap). Esto la posiciona como una línea clave para aplicar acciones correctivas dentro de la estrategia de mejora basada en el pilar de mantenimiento autónomo.

Para verificar que la línea XT-27, es la más apropiada para la implementación de la metodología, se realizaron los siguientes análisis complementarios:

- Análisis de Pareto
- Análisis de correlación

**Figura 15**

*Gráfico de Pareto: horas de paro por línea de producción*

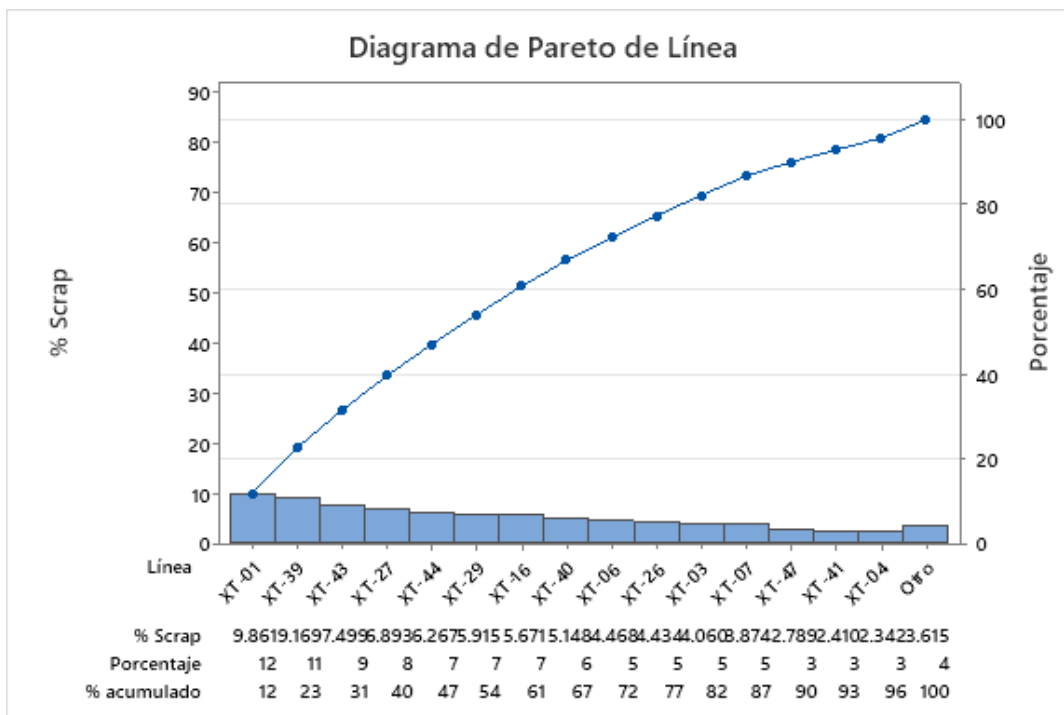


*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte acumulado de producción, departamento de programación de la producción (2022).

En la Figura 15, se observa que la línea de extrusión con mayor cantidad de horas de paro acumuladas es la línea XT-26, y se confirma que la línea XT-27 se encuentra dentro del 80% del total de horas de paro de la planta de extrusión.

**Figura 16**

*Diagrama de Pareto: porcentaje de scrap de las líneas de producción*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte acumulado de producción, departamento de programación de la producción (2022).

En la Figura 16, el diagrama de Pareto permite identificar las líneas de producción que generan un mayor porcentaje de scrap dentro de la planta de extrusión de tuberías de PVC. Tal como se observa en la gráfica, la línea XT-27 ocupa la cuarta posición en el ranking, con una contribución aproximada del 7% del scrap total. Cabe destacar que al considerar de manera acumulada las primeras cuatro líneas (XT-01, XT-39, XT-43 y XT-27), se alcanza aproximadamente el 40% del scrap total, lo que significa que la línea XT-27 forma parte del grupo reducido de líneas que, al mejorarse, tendrían un impacto significativo en la reducción de scrap.

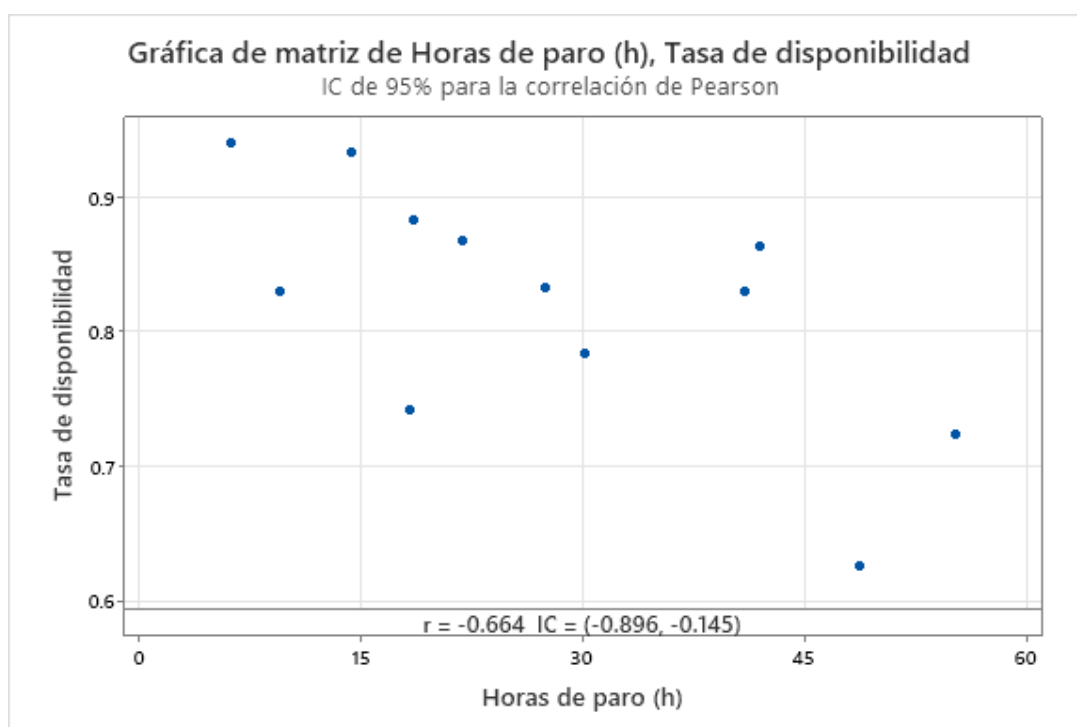
La selección de esta línea para la implementación del pilar de mantenimiento autónomo se justifica plenamente, dado que una reducción significativa en su nivel de scrap tendría un impacto positivo en la mejora del OEE de la planta de extrusión.

## 5.2.4 Análisis de Correlación

En la Figura 17, se observa una correlación negativa significativa (coeficiente de Pearson,  $r = -0.664$ ) entre las horas de paro y la tasa de disponibilidad. A medida que aumentan las horas de paro, la tasa de disponibilidad disminuye de manera consistente.

**Figura 17**

*Correlación: horas de paro por fallas, tasa de disponibilidad*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte acumulado de producción y reporte de OEE por máquina (2022).

Esta relación sugiere que una estrategia efectiva para mejorar la disponibilidad operativa es reducir las horas de paro, ya que ambas variables están fuertemente relacionadas.

Con los análisis de correlación, se afianza la hipótesis que establece que la reducción de las horas de paro, pueden contribuir al aumento de la tasa de disponibilidad, y los análisis de Pareto permiten visualizar que la línea XT-27, se encuentra del 20% de las principales líneas que generan el 80% de los problemas evaluados (horas de paro y kilos de scrap).

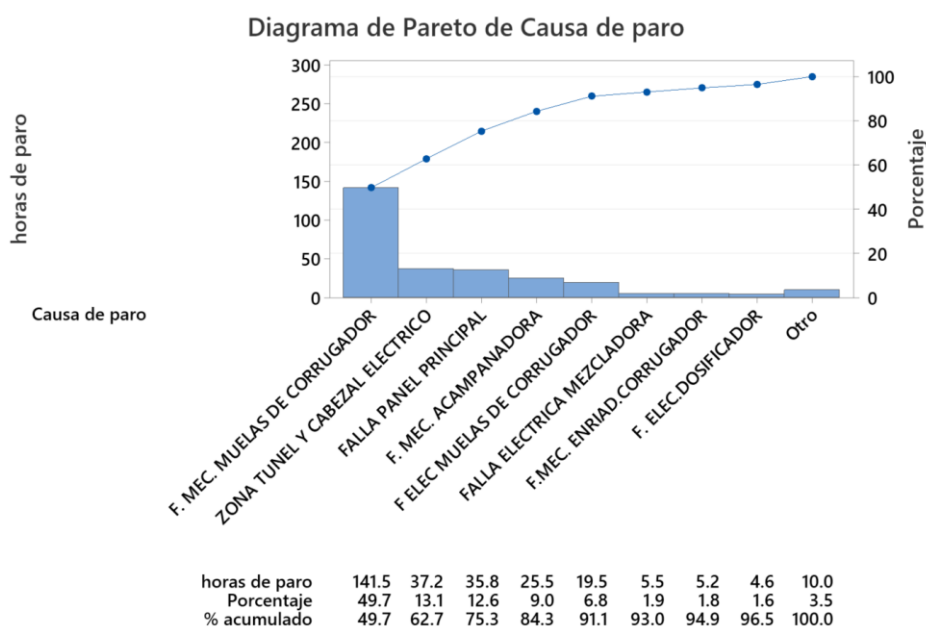
## 5.2.5 Causas de Paro de la Línea Crítica

En la Tabla 11 se muestran las distintas causas de paro atribuidas a fallas mecánicas y eléctricas que afectaron el funcionamiento de la línea durante el año 2022. A partir de la información recopilada, se determinó que los paros más significativos estuvieron asociados a fallas en el sistema de corrugado, especialmente en el componente muelas de corrugador, el cual concentró el mayor número de eventos y tiempo total de parada.

En la Figura 18, se evidencia el análisis de Pareto, donde se observa que las fallas mecánicas en las muelas del corrugador representaron aproximadamente 161 horas de paro anual, lo que equivale a más del 45% del tiempo total perdido. Le siguieron las fallas eléctricas en la zona túnel y cabezal eléctrico y en el panel principal, con 37 y 36 horas respectivamente, que en conjunto representan alrededor del 20 % adicional del tiempo de paro. Otras causas relevantes fueron las fallas en la acampanadora (31 h) y en los sistemas dosificador y extractor, aunque con una incidencia menor.

**Figura 18**

*Gráfico de Pareto - horas de paro por causa*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte acumulado de producción, departamento de programación de la producción (2022).

**Tabla 11**

*Causas de paro línea XT-27 (línea crítica)*

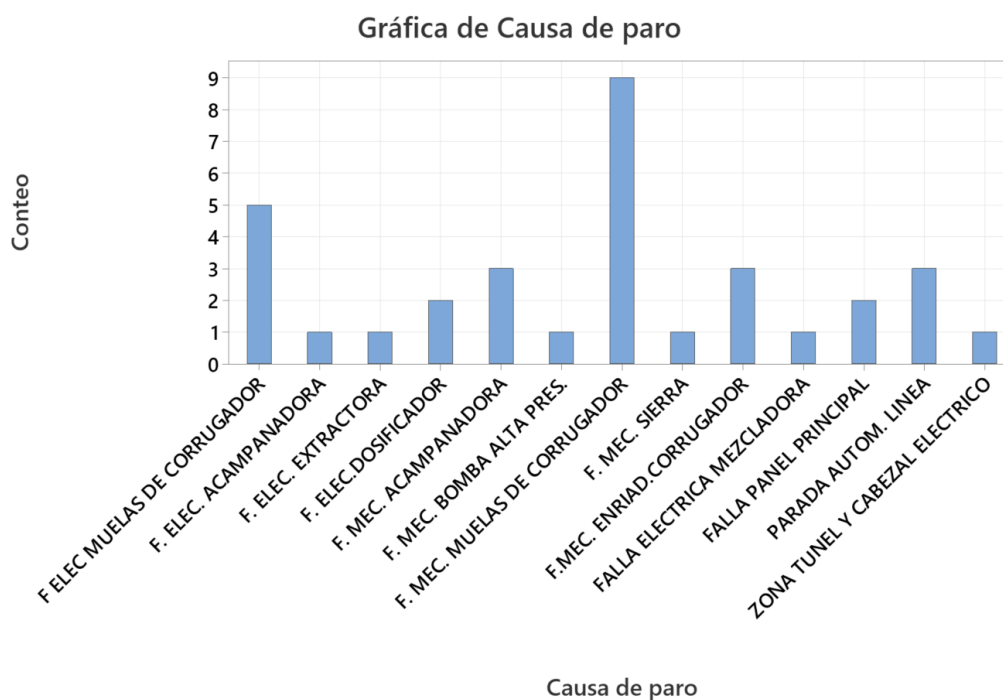
Mes	Causa de paro	horas de paro
Enero	F. Mec. Muelas de corrugador	11
Febrero	F.mec. Enriad.corrugador	2
Febrero	F. Mec. Muelas de corrugador	22
Febrero	Falla electrica mezcladora	6
Marzo	F. Mec. Muelas de corrugador	4
Marzo	Parada autom. Linea	0
Marzo	F elec muelas de corrugador	2
Abril	F. Mec. Acampanadora	7
Abril	F. Mec. Muelas de corrugador	15
Mayo	F. Mec. Muelas de corrugador	19
Mayo	F. Elec.dosificador	3
Mayo	F elec muelas de corrugador	11
Junio	F. Mec. Muelas de corrugador	13
Junio	Parada autom. Linea	1
Junio	F. Elec. Acampanadora	4
Junio	F. Elec.dosificador	2
Julio	F. Mec. Acampanadora	10
Julio	F. Mec. Bomba alta pres.	1
Julio	F. Mec. Muelas de corrugador	11
Julio	F. Elec. Extractora	1
Julio	F elec muelas de corrugador	5
Agosto	F.mec. Enriad.corrugador	2
Septiembre	F.mec. Enriad.corrugador	2
Octubre	F. Mec. Muelas de corrugador	40
Octubre	F elec muelas de corrugador	1
Noviembre	F. Mec. Muelas de corrugador	6
Noviembre	Parada autom. Linea	1
Noviembre	Falla panel principal	34
Noviembre	F elec muelas de corrugador	2
Diciembre	F. Mec. Sierra	3
Diciembre	F. Mec. Acampanadora	10
Diciembre	Zona tunel y cabezal electrico	37
Diciembre	Falla panel principal	2

En la Figura 19, se evidencia cuantas veces se repitieron las distintas causas a lo largo del año.

El análisis de conteo evidencia que la falla mecánica en las muelas del corrugador fue la causa más recurrente, con un total de nueve eventos de parada en el período evaluado. En segundo lugar, se observan con menor frecuencia las fallas eléctricas en las muelas del corrugador, seguidas por las fallas mecánicas en la acampanadora y las fallas eléctricas en la acampanadora, lo que sugiere que tanto los sistemas de accionamiento mecánico como los componentes eléctricos de control en estas áreas presentan debilidades recurrentes.

**Figura 19**

*Gráfico de conteo*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte acumulado de producción, departamento de programación de la producción (2022).

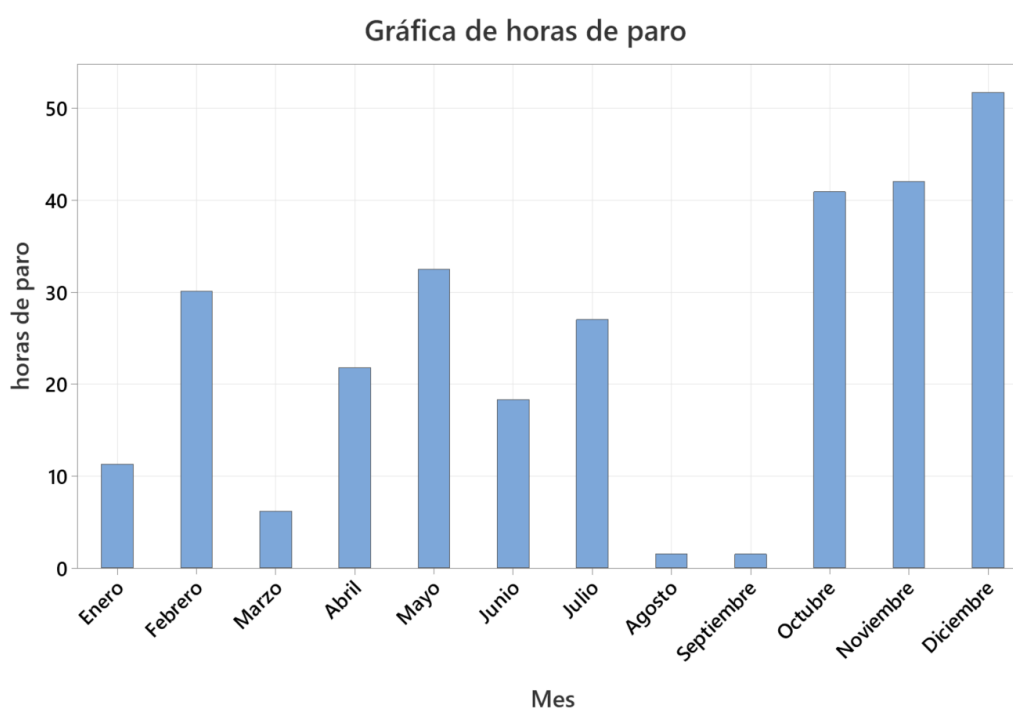
Desde el punto de vista del mantenimiento autónomo, esta distribución de frecuencias permite priorizar las acciones del pilar en función de los equipos con mayor repetitividad de fallas. Las muelas del corrugador deben ser consideradas como foco principal para la elaboración de estándares de limpieza, inspección y lubricación (LIL), así como para reforzar las competencias del operador en la

detección temprana de anomalías y condiciones anormales. Asimismo, la frecuencia de paradas asociadas a la acampanadora y a los componentes eléctricos sugiere la necesidad de implementar rutinas de verificación visual, control de conexiones y ajustes preventivos, de manera que se reduzca la recurrencia de fallas en estas áreas.

El comportamiento mensual mostró una recurrencia constante de fallas en el corrugador a lo largo del año (ver Figura 20), con picos en los meses de octubre, noviembre y diciembre, coincidiendo con los mayores tiempos acumulados de paro. Este patrón indica una tendencia sostenida que puede estar relacionada con deficiencias en las condiciones básicas del equipo (limpieza, lubricación o ajuste), las cuales son precisamente el objetivo de las fases iniciales del mantenimiento autónomo.

**Figura 20**

*Total horas de paro por mes atribuibles a fallas de equipos*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte acumulado de producción, departamento de programación de la producción (2022).

## 5.3 Estándares de línea

La implementación de los pasos 1, 2 y 3 de la metodología de mantenimiento autónomo permitió establecer los estándares de línea necesarios para garantizar la correcta operación, limpieza e inspección de los equipos.

En las siguientes subsecciones se presentan los principales resultados obtenidos en esta fase, los cuales comprenden desde la capacitación del personal hasta la elaboración de los estándares de limpieza, inspección y lubricación.

### 5.3.1 Capacitación del personal y ejercicio de limpieza

Como primer paso en la implementación de los estándares de línea, se realizó la capacitación del personal operativo involucrado (personal de la planta de extrusión). El objetivo de esta etapa fue desarrollar las competencias necesarias para la ejecución de actividades de limpieza, inspección y detección temprana de anomalías en los equipos. Ver Anexo 3 para evidencias de la capacitación.

Durante la formación, se llevaron a cabo ejercicios prácticos de limpieza en la línea de producción crítica, con el fin de sensibilizar al personal sobre la importancia de la limpieza inicial y su impacto en la confiabilidad del proceso.

Los resultados de esta capacitación y de los ejercicios realizados se presentan a continuación.

**Tabla 12**

*Resultados capacitación - workshop limpieza inicial*

Categoría	Descripción / resultado
Total de personal de planta (extrusión)	81
Total de personal capacitado	78
Distribución por turno	Turno 1: 27 personas Turno 2: 27 personas Turno 3: 27 personas
% de personal capacitado	96%
Duración total de la capacitación	4 horas teóricas + 4 horas prácticas
Contenido principal de la capacitación	Conceptos de TPM, pasos 1-3 del mantenimiento autónomo, limpieza inicial, detección de anomalías, uso de tarjetas.
Metodología de enseñanza	Sesiones teóricas, talleres prácticas y ejercicios de campo
Facilitadores / Responsables	Superintendente de Mantenimiento Líder de Procesos Lean
Eficacia de la capacitación	100% El personal fue calificado para ejecutar las actividades de limpieza, inspección y registro de anomalías. El personal adquirió los conocimientos y conceptos básicos de TPM y el pilar mantenimiento autónomo.

Con la finalización de esta etapa de capacitación mediante talleres teórico-práctico tipo “workshop”, el personal de la planta de extrusión adquirió los conocimientos necesarios para participar activamente en la ejecución de los pasos 1 y 2 del mantenimiento autónomo, garantizando la continuidad del proceso de mejora en planta.

### 5.3.2 Levantamiento de tarjetas y seguimiento

Se registró un total de 27 tarjetas de mantenimiento autónomo, de las cuales 22 correspondieron a tarjetas rojas, 1 tarjeta blanca y 4 tarjetas verdes. Todas las tarjetas fueron solucionadas al cierre del periodo de análisis, excepto 2 tarjetas rojas; estas dos tarjetas rojas no pudieron ser cerradas en el lapso normal establecido por importación de repuestos, sin embargo, sigue en proceso para su cierre.

En cuanto a la tipología de las tarjetas, se observó que la mayoría correspondieron a tarjetas rojas, destinadas a reportar anomalías técnicas en los equipos, tales como fugas de material, daños estructurales, deformaciones y fallas en componentes eléctricos o mecánicos. La tarjeta blanca registrada por limpieza estuvo asociada a una deficiencia en la lubricación del inserto de los formadores, mientras que las tarjetas verdes reflejaron acciones de mejora relacionadas con la seguridad operativa y la optimización del flujo de material.

















El análisis por zona o componente del equipo mostró que la tolva de alimentación y sus accesorios (porta imán, cuello, base y ductos) concentraron la mayor cantidad de tarjetas reportadas, principalmente por fugas de material y deterioro de componentes. También se identificaron incidencias en el corrugador, asociadas a canaletas, mordazas y sistema de movimiento lateral, así como en el sistema eléctrico, específicamente en las alarmas visuales de control de amperaje.







En conjunto, los resultados reflejan que las principales causas de intervención estuvieron vinculadas a condiciones anómalas del equipo y fallas menores recurrentes, más que a averías críticas.









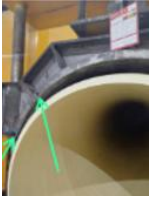



Se obtuvo una resolución del 93% de las tarjetas, lo que demuestra la efectividad del sistema de tarjetado como implementación del paso 1 de mantenimiento autónomo. En la Tabla 13 se muestran las tarjetas levantadas, tipo de tarjeta, hallazgo y estatus de cierre.




**Tabla 13**

*Tarjetas levantadas durante la implementación y período de seguimiento*

#	No. De tarjeta	Tipo de tarjeta	Descripción del hallazgo	Evidencia hallazgo	Evidencia Solución	Estatus de tarjeta
1	0079	Blanca	Deficiencia de lubricación para inserto de los formadores			Solucionada
2	1011	Roja	Derrame de aceite en foso de corma (corrugador)			Solucionada
3	1012	Roja	Fuga de aceite en bomba hidráulica de acampanadora			Solucionada
4	1064	Roja	Manguera de retorno de agua. Falta asegurar en el corrugador			Solucionada
5	1067	Roja	Falta de tapa en tolva salida de dosificador			Solucionada
6	1068	Roja	Fuga de material en porta imán de tolva de extrusora			Solucionada
7	1069	Roja	Lona de cuello de tolva en mal estado (fuga de material)			Solucionada
8	1070	Roja	Cuello de tolva deformado. Habilitar golpeador neumático en tolva superior en mezanine			Solucionada

#	No. De tarjeta	Tipo de tarjeta	Descripción del hallazgo	Evidencia hallazgo	Evidencia Solución	Estatus de tarjeta
9	1081	Roja	Base de tolva porta imán fisurada y deteriorada			Solucionada
10	1103	Roja	Pérdida de presión en plataforma piso			Solucionada
11	1212	Roja	Chapa de puerta sierra XT-27			Solucionada
12	1231	Roja	Falta de fuera y ducto muy reducido en sistema de purga			Solucionada
13	1232	Roja	Andon alarma visual de control de amperaje no funciona			Solucionada
14	1233	Roja	Canaletas porta mangueras de retorno de agua se encuentran en mal estado en el corrugador			Solucionada
15	1252	Roja	Micros de avance y retroceso del corrugador expuestos a contaminación			Solucionada
16	1300	Roja	Fuga de aceite en sistema hidráulico de acampanadora			Solucionada
17	1304	Roja	Fuga de aceite en tolva y tornillo (core)			Solucionada

#	No. De tarjeta	Tipo de tarjeta	Descripción del hallazgo	Evidencia hallazgo	Evidencia Solución	Estatus de tarjeta
18	1306	Roja	Ducto de transporte de material agrietado causa fuga de material derrame en motor principal XT-27			Solucionada
19	1387	Roja	Canaletas porta mangueras de retorno de agua de corrugador en mal estado			Solucionada
20	1388	Roja	Sistema de movimiento lateral de bancada de corrugador inhabilitado		No solucionada	Pendiente
21	1389	Roja	Ducto débil. Se encuentra con espesor reducido. Sistema de purga.		No solucionada	Pendiente
22	1390	Roja	Alarma visual control de amperaje no funciona			Solucionada
23	1401	Roja	Falla en ajuste de mordaza corrugador			Solucionada
24	2041	Verde	Barandas de seguridad flojas en el foso de corrugador			Solucionada

#	No. De tarjeta	Tipo de tarjeta	Descripción del hallazgo	Evidencia hallazgo	Evidencia Solución	Estatus de tarjeta
25	2042	Verde	Mejorar ductos en tolva superior. Fluidez deficiente de material compuesto y purga			Solucionada
26	2063	Verde	Colocar bisagras en guarda de corrugador			Solucionada
27	2071	Verde	Guardas no sujetas firmemente. Posición inadecuada origina daño recurrente.			Solucionada

*Nota.* Fuente: Reporte de cumplimiento de tarjetado (2023, 2024).

En la Figura 21 se presenta el tablero de tarjetado instalado en la línea de producción crítica. Este tablero permite al personal de planta visualizar el número de tarjetas reportadas, solucionadas y pendientes, así como el paso del mantenimiento autónomo en el que se encuentra la línea. Además, se cuenta con un buzón de tarjetas que contiene tanto las tarjetas solucionadas como tarjetas vacías, listas para ser utilizadas por cualquier persona que deba reportar una nueva condición. Las tarjetas se distinguen por colores: blancas, verdes y rojas. La implementación de este sistema constituye un soporte visual que facilita la gestión y el seguimiento de las actividades de mantenimiento autónomo en la línea de producción.

**Figura 21**

*Tablero de tarjetado*



En la Figura 22, se muestra el mapa realizado para mostrar las tarjetas pendientes por resolver en la línea de producción durante el mes de Julio 2024. Este mapa se actualizó de forma mensual, y era instalado en el tablero de información de la línea de producción, con el fin de que el operario y supervisor de área tuvieran acceso visual a todas las tarjetas, independientemente de donde estuvieran ubicadas.

**Figura 22**

*Mapa de tarjetado línea crítica (XT-27)*



### 5.3.3 Listado de fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso

Durante el ejercicio de limpieza se elaboró el listado de las principales fuentes de contaminación y las zonas de difícil acceso para realizar la limpieza. Esta información sirvió como base para la implementación del paso 2 de la metodología. También permitió priorizar acciones correctivas orientadas a reducir la reincidencia de suciedad y facilitar las labores de mantenimiento preventivo

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la identificación de las fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso:

**Tabla 14**

*Listado de fuentes de contaminación*

No. de tarjeta	Tipo de contaminación	Ubicación	Descripción	Tiempo estimado de la limpieza
1300	Aceite	Sistema hidráulico de la acampanadora	Fuga en válvula hidráulica	60 min
1011	Aceite	Foso de corrugador	Derrame de aceite en el foso debajo del corrugador, fuga por acople	180 min
1069	Material granulado PVC	Porta imán de tolva de extrusora	Fuga de material por fisura, defecto en junta	30 min
1012	Aceite	Bomba hidráulica de acampanadora	Fuga en el eje de la bomba	30 min

La Tabla 14 contiene el listado de fuentes de contaminación, donde se registra el número de las tarjetas levantadas, el tipo de contaminación, la ubicación específica, la descripción del hallazgo, la acción propuesta y el tiempo estimado de limpieza o corrección.

Del total de fuentes de contaminación detectadas, el 75% corresponde a fugas de aceite asociadas a componentes hidráulicos (válvulas, acoples, bombas), mientras que el 25% restante corresponde a fugas de material granulado (PVC) generadas por deficiencias en el sellado de la tolva de extrusora.

El análisis por ubicación muestra que los equipos más afectados son la acampanadora y el corrugador, equipos que contienen componentes hidráulicos

con conexiones sometidas a vibración y temperatura, lo que explica la recurrencia de fugas de aceite. Por otro lado, la fuga de material granulado detectada en el porta imán de la tolva de extrusora se asocia a desgaste de juntas y deficiencia en el cierre del sistema, lo que genera contaminación visual, pérdida de materia prima y riesgo de caída del personal.

En cuanto a los tiempos estimados de limpieza registrados en la tabla, estos corresponden a las actividades necesarias para eliminar la contaminación generada como consecuencia de las fugas detectadas. En cuanto a los tiempos estimados de limpieza, se observa que las actividades varían entre 30 y 180 minutos, dependiendo de la complejidad de la intervención.

Antes de la aplicación del paso 1 del pilar de mantenimiento autónomo (Limpieza e Inspección Inicial), las fugas no eran fácilmente visibles debido a la acumulación de suciedad y a la ausencia de una limpieza profunda y sistemática. Sin embargo, tras la ejecución del paso y la capacitación del personal operativo, los trabajadores adquirieron la capacidad de identificar visualmente las fugas y reconocer sus causas, lo que permitió registrar con mayor precisión los puntos críticos de contaminación.

En la Tabla 15 se presenta el listado de zonas de difícil acceso, identificándose un total de tres áreas críticas. Las actividades asociadas a estas zonas corresponden principalmente a tareas de limpieza e inspección, cuyo tiempo de ejecución varía entre 30 y 60 minutos debido a las limitaciones de accesibilidad. Se observa que el 66% de las zonas identificadas se ubican en el corrugador, evidenciando que este equipo concentra la mayor parte de las dificultades para la realización de las tareas de mantenimiento autónomo. Todas las intervenciones tienen una frecuencia semanal, lo que resulta relevante para la planificación de la disponibilidad de personal y la optimización de los tiempos operativos.

En la sección 5.4, se presentan los resultados de las contramedidas implementadas, tanto para las fuentes de contaminación como para las zonas de difícil acceso, destacando las mejoras en accesibilidad y reducción del tiempo para ejecutar la tarea.

**Tabla 15**

*Listado de zonas de difícil acceso*

No. de tarjeta	Equipo	Ubicación específica	Descripción hallazgo	Tarea relacionada	Frecuencia de la tarea	Tiempo estimado de la tarea
1070	Extrusora	Tolva de dosificador	En la parte superior de la extrusora se observa fuga de material, pero se dificulta acceder ya que está ubicada en parte alta	Limpieza	Semanal	30 min
1233	Corrugador	Canaletas porta manguera	Canaletas deterioradas con acumulación de residuo, lo que dificulta la limpieza e inspección visual	Limpieza e inspección visual	Semanal	60 min
1252	Corrugador	Zona de micros de avance y retroceso	Falta de tapa metálica protectora, lo que expone los micros a polvo y residuos, dificultando la limpieza y el control visual de su estado.	Limpieza e inspección visual	Semanal	45 min

### 5.3.4 Listado de zonas y áreas de lubricación

Como resultado de la implementación del paso 3, se elaboró el listado de zonas de lubricación (ver Tabla 16). Esta información se consolidó mediante la colaboración entre el personal de mantenimiento y el personal de operaciones, definiendo las actividades que pueden ser ejecutadas directamente por el operador. Las tareas identificadas se encuentran registradas en el sistema SAP de mantenimiento y, originalmente, estaban establecidas según las recomendaciones del fabricante de los equipos. Esta información sirvió como base para la elaboración del estándar de lubricación, asegurando la uniformidad en la ejecución de las tareas y la correcta aplicación de los lubricantes en cada componente crítico del equipo.

**Tabla 16**

*Listado de zonas de lubricación*





No.	Sección	Método	Estándar	Acción
1	Bomba hidráulica	Lubricación manual	Aceite hidráulico según fabricante; frecuencia semanal	Paro de máquina; limpieza y lubricación
2	Corrugador	Lubricación manual	Engranajes y rodamientos lubricados con grasa de alta presión; puntos múltiples; control visual y ajuste periódico	Paro de máquina; limpieza y lubricación
3	Acampanadora	Lubricación manual	Engranajes y ejes lubricados con grasa estándar para maquinaria	Paro de máquina; limpieza y lubricación
4	Sierra automática	Lubricación manual	Rodamientos y guías lubricados con grasa de alta precisión; puntos críticos identificados	Paro de máquina; limpieza y lubricación

### 5.3.5 Administración visual de variables de proceso en línea crítica

Con el objetivo de facilitar la identificación rápida por parte del operador del sistema de lubricación y de otras variables de proceso relacionadas a las actividades de mantenimiento autónomo, se implementó un código de colores en los instrumentos y reservorios de la línea crítica, relacionados con las zonas de lubricación y los componentes eléctricos de la extrusora. Los colores también permiten visualizar los niveles mínimos y máximos de los contenedores de lubricante, garantizando un control visual inmediato. Asimismo, los lubricantes fueron etiquetados de acuerdo con el código visual asignado, asegurando consistencia y fácil reconocimiento durante las intervenciones. Tras la implementación y el uso adecuado de estas medidas, se elaboró el estándar final de limpieza, inspección y lubricación, presentado en la sección 5.3.6. En la Tabla 17 se ilustra la aplicación del código de colores.

**Tabla 17**

*Código de colores aplicado a equipos de la línea de producción crítica*

No.	Sección	Instrumento	Evidencia	Propósito
1	Bomba hidráulica	Manómetro de descarga		Garantizar presión en el sistema de lubricación
2	Corrugador	Manómetro en sistema de enfriamiento		Garantizar la presión de agua de enfriamiento necesaria para el buen funcionamiento del corrugador
3	Acampanadora	Reservorio de aceite		Garantizar
4	Extrusora	Panel eléctrico para resistencias		Identificar rápidamente la conexión de la zona de la extrusora al momento de alistar

### 5.3.6 Estándares de limpieza, inspección y lubricación

*Estándar de limpieza:* En la Tabla 18 se muestra el estándar de limpieza actualizado de la línea crítica, el cual fue elaborado posterior a las contramedidas aplicadas al listado de fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso. La mejora de los tiempos de limpieza se muestra en la sección 5.4. Los estándares fueron socializados al personal, incluidos en el sistema integrado de gestión de la empresa, y disponibles al personal operario en la oficina del supervisor de extrusión y en el tablero informativo de la línea de producción crítica.

**Tabla 18**


*Estándar de limpieza línea de producción crítica*

#	Equipo
1	Extrusora


  

	<b>Estándar de limpieza</b>	Documento N°: <input type="text" value="No. PG-LEAN-E109"/>
<b>Requerimientos HSE</b>	Área de aplicación: <input type="text" value="Extrusión PVC"/> Equipo: <input type="text" value="Extrusora"/> Fecha de actualización: <input type="text" value="20/07/2023"/> Elaborado por: <input type="text" value="E. Valera"/>	
Equipo Loto	Condición ideal	Imagen de línea
	EXTRUSORA DALIAN SUNLIGHT SJSZ-95/191 	
Matriz de Peligros y Riesgos		
		
Clasificación de Desechos		
		
Controles ambientales:		
1. Usar 1 funda plástica por cada tipo de desecho y depositar en el tacho correspondiente. 		
2. Prohibido el uso de recipientes no autorizados 		
		
		<b>METODO</b> 1. Se procede a sopletear la línea, con el objetivo de mantener el area limpio y libre de polvo y objetos (1.1) 2. Se procede a recoger el material que se encuentra alrededor del equipo (1.2) 3. Con escoba y recogedor, se extraen los desechos que hayan en la superficie del piso, con la finalidad de tener un campo libre de sedimentos y humedad (1.3)
		Tiempo de limpieza : <input type="text" value="30 Min"/> Frecuencia de limpieza : <input type="text" value="Cada 8 horas"/> Responsable de limpieza : <input type="text" value="Operario de línea"/> Insumos de Limpieza: 


# Estándar de limpieza  
2 Enfriador / Corrugador




**Requerimientos HSE**  
Equipo Loto



**Matriz de Peligros y Riesgos**




**Clasificación de Desechos**



**Controles ambientales:**

1. Usar 1 funda plástica por cada tipo de desecho y depositar en el tacho correspondiente.

2. Prohibido el uso de recipientes no autorizados



### Estándar de limpieza

Documento N°: No. PG-LEAN-E109

Área de aplicación: Extrusión PVC    Equipo: Mandril    Fecha de actualización: 20/07/2023    Elaborado por: E. Valera

Condición ideal: **Enfriador/Corrugador**


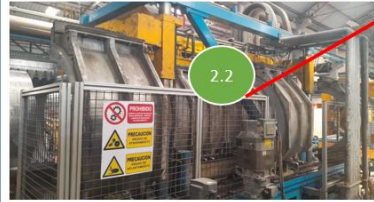






Imagen de línea






Tiempo de limpieza : 2 horas

Frecuencia de limpieza : cada 8 horas

Responsable de limpieza : Operario de línea


Insumos de Limpieza




**METODO**

- Se sopletea como primer punto, para acceder a la limpieza del equipo (2.1)
- Se procede a la limpieza del equipo internamente, con el objetivo de mantener ese sitio en optimas condiciones (2.2)
- Con escoba y recogedor, se extraen los desechos que hayan en la superficie del piso, con la finalidad de tener un campo libre de sedimentos y humedad (2.3)


3 Impresora




**Requerimientos HSE**  
Equipo Loto



**Matriz de Peligros y Riesgos**




**Clasificación de Desechos**



**Controles ambientales:**

1. Usar 1 funda plástica por cada tipo de desecho y depositar en el tacho correspondiente.

2. Prohibido el uso de recipientes no autorizados



### Estándar de limpieza

Documento N°: No. PG-LEAN-E109

Área de aplicación: Extrusión PVC    Equipo: Impresora    Fecha de actualización: 20/07/2023    Elaborado por: E. Valera

Condición ideal: **IMPRESORA**









Imagen de línea






Tiempo de limpieza : 5 Min

Frecuencia de limpieza : Cada turno

Responsable de limpieza : Operario de línea

Insumos de Limpieza:



**METODO**

- Extraer el polvo del equipo con un trapo industrial humedecido, con el fin de mantenerse libre se polvo y objetos (3.1)  
Se procede a limpiar la parte externa con los implementos debidamente necesarios (3.2)
- Con la escoba y recogedor se extraen los desechos que hayan alrededor de la línea (3.3)

# Estándar de limpieza

4 Sierra automática



### Estándar de limpieza

Documento N°: No. PG-LEAN-E109

**Requerimientos HSE**

Equipo Loto



Matriz de Peligros y Riesgos



Clasificación de Desechos



Controles ambientales:

- Usar 1 funda plástica por cada tipo de desecho y depositar en el tacho correspondiente.
- Prohibido el uso de recipientes no autorizados



**Área de aplicación:** Extrusión PVC

**Equipo:** Sierra Automatica

**Fecha de actualización:** 20/07/2023

**Elaborado por:** E. Valera

**Condición ideal:** SIERRA AUTOMÁTICA



**Imagen de línea:**



**METODO**

- Se debe soplear toda la línea y después, recoger todos los desechos (4.1)
- Se procede a pasar el trapo húmedo a todo el equipo. (4.2)
- Con la escoba y recogedor se extraen los desechos que hayan alrededor de la línea (4.3)

**Tiempo de limpieza:** 30 Min

**Frecuencia de limpieza:** Cada 8 horas

**Responsable de limpieza:** Operario de línea

**Insumos de Limpieza:**



5 Acampanadora



### Estándar de limpieza

Documento N°: No. PG-LEAN-E109

**Requerimientos HSE**

Equipo Loto



Matriz de Peligros y Riesgos



Clasificación de Desechos



Controles ambientales:

- Usar 1 funda plástica por cada tipo de desecho y depositar en el tacho correspondiente.
- Prohibido el uso de recipientes no autorizados



**Área de aplicación:** Extrusión PVC

**Equipo:** Acampanadora

**Fecha de actualización:** 20/07/2023

**Elaborado por:** E. Valera

**Condición ideal:** ACAMPANADORA



**Imagen de línea:**



**METODO**

- Se procede a identificar, donde se debe soplear al equipo y luego, recoger los desechos (5.1)
- Se debe pasar el trapo debidamente húmedo, con implementos necesarios, para la limpieza de la acampanadora en general (5.2)
- Con la escoba y recogedor se extraen los desechos que hayan alrededor de la

**Tiempo de limpieza:** 30 Min

**Frecuencia de limpieza:** Cada 8 horas

**Responsable de limpieza:** Operario de línea

**Insumos de Limpieza:**



*Estándar de inspección:* En la Tabla 19 se muestran las actividades de inspección establecidas como parte de la rutina del operador:

**Tabla 19**

*Estándar de Inspección*

No.	Sección	Método	Estándar	Acción	Tiempo
1	Sistema hidráulico acampanadora	Inspección visual	Nivel de aceite máximo; sin fugas de aceite	Inspección rutinaria. Por turno.	5
2	Alimentación de material, manguera, tolva, visor, imán.	Inspección visual	En buen estado. Sin fugas de material.	Inspección rutinaria. Por turno.	5
3	Temperaturas; caudal de agua; presión de aire.	Inspección visual	Temperatura y nivel óptimo de agua helada.	Inspección rutinaria. Por turno.	2

En el Anexo 7, se encuentra el estándar consolidado de las rutinas mensuales, semanales, diarias y por turno que debe realizar el operador como parte de las actividades de mantenimiento autónomo.

Este documento fue instalado en la línea de producción, con el propósito de que el operador tuviera acceso inmediato al mismo y pudiera verificar las rutinas de limpieza, lubricación que debe realizar durante su turno de trabajo.

Los estándares detallados de limpieza y lubricación mostrados en la Tabla 18 y Tabla 20, se mantuvieron almacenados en la oficina del supervisor de extrusión con la documentación del sistema de gestión del departamento, para su acceso a cuando se hicieran las actividades de limpieza y lubricación cuando la línea de producción estuviera parada (rutinas que se hacen con frecuencia superior a mensual).

*Estándar de Lubricación:* En la Tabla 20 se muestran las actividades establecidas en el estándar de lubricación:

Tabla 20

Estándar de lubricación

#	Equipo
1	Extrusora
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>Estándar de lubricación</b> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Documento N°: PG-LEAN-E110             </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Área de aplicación: Extrusión             </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Equipo: Extrusora             </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Fecha de actualización: 20 de Septiembre 2023             </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Elaborado por: E. Valera             </div> </div> <div style="display: flex; margin-top: 10px;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>Condición ideal</b></p>  <p style="text-align: center; border: 1px solid gray; padding: 5px;">FAJA DE TRANSMISIÓN DE MOTOR Y CAJA REDUCTORA</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p><b>Imagen de línea</b></p>  <p><b>Nombre de lubricante:</b> V-Belt Spray Wurth</p> <p><b>Frecuencia y tiempo de lubricación :</b> Bimestral / 10 minutos</p> <p><b>Responsable de lubricación:</b> Operador de línea</p> <p><b>Herramientas:</b></p>  <p><b>Método:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Rociar uniformemente el spray Wurth a toda la faja y patea de transmisión del motor y caja reductora, a 1 metro de distancia.</li> </ol> <p><i>Nota: Este punto de lubricación no requiere limpieza previa.</i></p> </div> </div> </div>	
2	Corrugador
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>Estándar de lubricación</b> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Documento N°: PG-LEAN-E110             </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Área de aplicación: Extrusión             </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Equipo: Corrugador             </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Fecha de actualización: 20 -Sep-2023             </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">                 Elaborado por: E. Valera             </div> </div> <div style="display: flex; margin-top: 10px;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>Condición ideal</b></p>  <p style="text-align: center; border: 1px solid gray; padding: 5px;">EJES DE MOVIMIENTO</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p><b>Imagen de línea</b></p>  <p><b>Nombre de lubricante:</b> HHS 2000 Wurth</p> <p><b>Frecuencia y tiempo de lubricación :</b> Trimestral / 30 minutos</p> <p><b>Responsable de lubricación:</b> Operario de línea</p> <p><b>Herramientas:</b></p>  <p><b>Método:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Conectar la manguera neumática al pulverizador de la toma de aire en la pared.</li> <li>Limpiar todos los ejes de movimiento con el pulverizador y el solvente ecosol V, y esperar que se evapore este solvente.</li> <li>Desconectar la manguera neumática y colocarlo en el estante de herramientas.</li> <li>Lubricar todos los ejes de movimiento (vertical, horizontal y traslación) con el spray lubricador.</li> </ol> </div> </div> </div>	

3 Sierra



**Estándar de lubricación**

Documento N°: PG-LEAN-E110

Área de aplicación: Extrusión      Equipo: Sierra      Fecha de actualización: 20-Sep-2023      Elaborado por: E. Valera

**Condición ideal**



CADENAS DE ARRASTRE CON TACOS

**Imagen de línea**



**Nombre de lubricante:**

MOBIL XHP 222

**Frecuencia y tiempo de lubricación :**

Trimestral / 15 minutos

**Responsable de lubricación:**

Operario de línea

**Herramientas:**



**Método:**

1. Limpiar los puntos de engrase con paño wypall.
2. Poner el equipo en modo manual y mover las 4 cadenas de arrastre.
3. Lubricar los 4 puntos de engrase con la pistola de engrasado y grasa Mobil XHP 222 (5 golpes primero y dejar en movimiento por 5 minutos y luego engrasar 5 golpes más)
4. Limpiar excesos de grasa de los puntos de engrase con el paño wypall y apagar el equipo después de 10 minutos.

4 Acampanadora

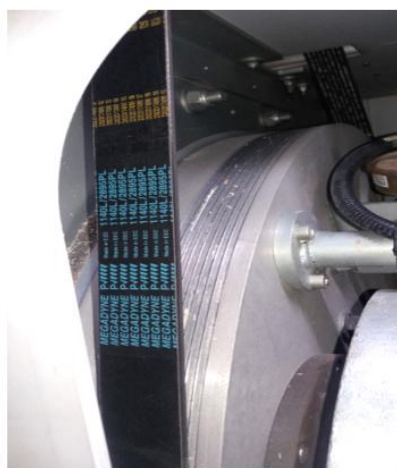


**Estándar de lubricación**

Documento N°: PG-LEAN-E110

Área de aplicación: Extrusión      Equipo: Acampanadora      Fecha de actualización: 20-Sep-2023      Elaborado por: E. Valera

**Condición ideal**



POLEAS Y FAJAS

**Imagen de línea**



**Nombre de lubricante:**

V-Belt Spray Wurth

**Frecuencia y tiempo de lubricación :**

Trimestral / 40 minutos

**Responsable de lubricación:**

Operario de línea

**Herramientas:**



**Método:**

1. Retirar todas las micas y guardas de seguridad manualmente y usar llave Allen en caso sea necesario.
2. Lubricar con Spray Wurth todas las fajas y poleas de transmisión.
3. Limpiar micas y guardas con paño wypall.
4. Colocar nuevamente las micas y guardas de seguridad.

## 5.4 Reducción de Fuentes de Contaminación

### 5.4.1 Listado de contramedidas

*Contramedidas aplicadas en las fuentes de contaminación:* a partir de las inspecciones iniciales y las tarjetas levantadas por el personal operativo, se priorizaron las fuentes de contaminación que generaban pérdidas de lubricante, fugas de material y afectaciones al entorno de trabajo. Las contramedidas aplicadas se centraron en reparar los puntos de fuga, mejorar la hermeticidad de los sistemas, y restablecer las condiciones de limpieza y control visual del área. En la Tabla 21 se muestran las contramedidas aplicadas a cada fuente de contaminación.

**Tabla 21**

*Listado de contramedidas - fuentes de contaminación*

No.	Contramedida aplicada	Tarjeta	Tipo de contaminación	Ubicación	Tipo de acción	Resultado obtenido
1	Reemplazo de acople y manguera	1011	Aceite	Foso del corrugador	Eliminación de fuente	Eliminado el derrame y limpieza del área restaurada
2	Reemplazo de sello de eje	1012	Aceite	Bomba hidráulica acampanadora	Eliminación de fuente	Sistema libre de fugas y condiciones de limpieza restablecidas
3	Ajuste de tapa y reemplazo de empaque	1069	Material granulado PVC	Porta imán de tolva extrusora	Prevención de dispersión	Recuperación de material. Eliminación de peligro en el área
4	Reemplazo de sello	1300	Aceite	Sistema hidráulico acampanadora	Eliminación de fuente	Fuga eliminada y área libre de aceite. El tiempo de limpieza se redujo significativamente

La aplicación de las contramedidas permitió eliminar las principales fuentes de contaminación identificadas durante la fase inicial del diagnóstico, reduciendo de forma visible la presencia de fugas de aceite y pérdidas de material granulado en las áreas de trabajo.

Una vez eliminadas las fugas y pérdidas identificadas, se definieron acciones preventivas orientadas a mantener las condiciones básicas de limpieza, garantizando la sostenibilidad de las mejoras obtenidas y evitando que las fuentes de contaminación reaparezcan por posibles deficiencias en la operación, mantenimiento o inspección.

Estas acciones preventivas propuestas serán aplicadas en una etapa posterior al desarrollo de la presente investigación. Ver Tabla 22 para acciones preventivas propuestas.

**Tabla 22**

*Acciones preventivas propuestas para fuentes de contaminación*

No.	Acción preventiva	Objetivo	Responsable - Frecuencia	Tipo de control
1	Instalar bandejas de contención y mallas de protección debajo de bombas o conexiones críticas.	Prevenir la dispersión de aceite en caso de microfugas.	Ingeniería / Mantenimiento – Permanente	Contención de fuente
2	Establecer un programa de sustitución preventiva de sellos y empaques según horas de operación o historial de fallas.	Evitar fallas por desgaste y fugas recurrentes.	Mantenimiento – Trimestral	Mantenimiento planificado
3	Aplicar etiquetado y acoples con código de colores	Evitar la manipulación incorrecta.	Producción – Permanente	Control visual / estandarización

*Contramedidas aplicadas en las zonas de difícil acceso:* en la Tabla 23, se presenta el listado de contramedidas aplicadas para eliminar o reducir la dificultad de acceso en las zonas críticas:

**Tabla 23**

*Listado de contramedidas - zonas de difícil acceso*

No.	Contramedida aplicada	Tarjeta	Equipo	Ubicación	Tipo de acción	Resultado obtenido
1	Instalación de plataforma fija con baranda y punto de apoyo para limpieza segura; revisión de junta de tolva	1070	Extrusora	Tolva del dosificador (parte superior)	Facilitación de acceso	Mejora en seguridad para ejecutar tarea de limpieza
2	Reemplazo de canaletas por diseño abierto desmontable que facilite el drenaje y limpieza interna	1233	Corrugador	Canaletas porta manguera	Mejora del diseño / facilidad de acceso	Reducción del tiempo de limpieza
3	Instalación de tapa metálica abatible con sistema de cierre rápido para permitir inspección sin desmontaje	1252	Corrugador	Zona de micros de avance y retroceso	Prevención de ingreso de contaminación	Reducción de polvo acumulado

#### 5.4.2 Tiempos de inspección y limpieza

La Tabla 24 muestra los resultados de los nuevos tiempos de limpieza e inspección, una vez aplicadas las contramedidas para mitigar las fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso.

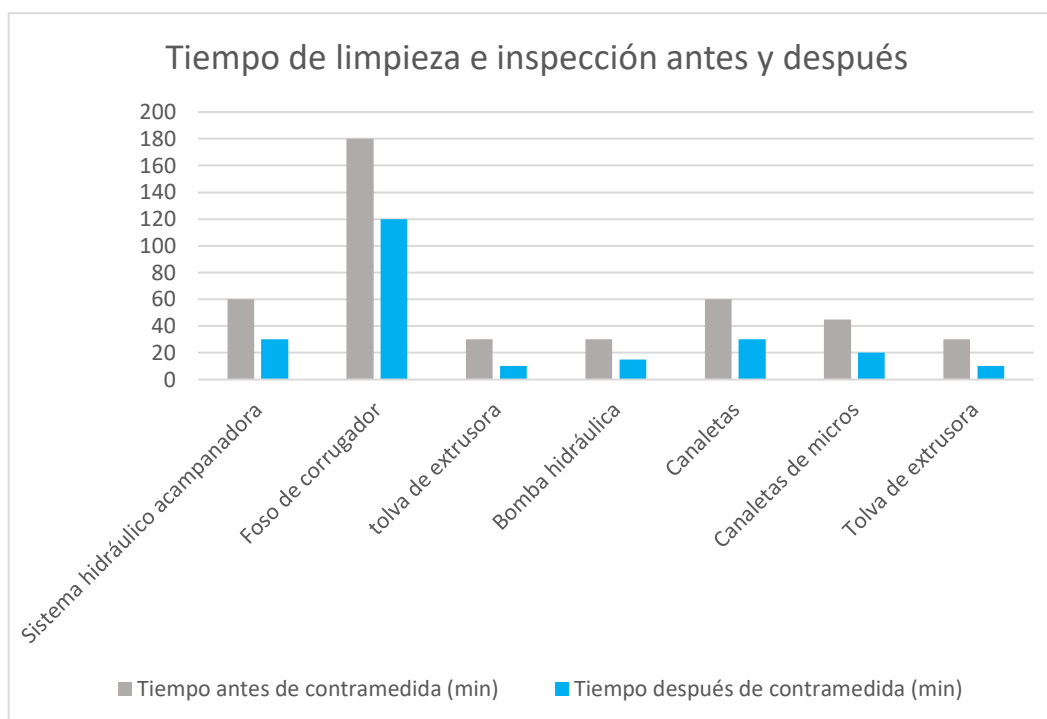
**Tabla 24**

*Porcentaje de reducción de tiempos de limpieza posterior a la aplicación de las contramedidas*

No. tarjeta	Descripción	Tiempo antes de contramedida (min)	Tiempo después de contramedida (min)	Porcentaje de reducción
1300	Limpieza acampadora – sistema hidráulico	60	30	50%
1011	Limpieza de corrugador - foso	180	120	33%
1069	Limpieza área tolva extrusora	30	10	66%
1012	Limpieza en corrugador – bomba hidráulica	30	15	50%
1223	Limpieza e inspección de canaletas corrugador	60	30	50%
1252	Limpieza e inspección de canaletas corrugador – zona de micros	45	20	55%
1070	Limpieza e inspección área tolva extrusora	30	10	66%
			Promedio	53%

La Figura 23 muestra la comparación del tiempo de limpieza requerido antes y después de la implementación de las contramedidas aplicadas en las zonas de difícil acceso. En la tabla 24 se observa una reducción significativa en todos los puntos analizados y valores que varían entre 33% y 66%, reflejando una mejora sustancial en la eficiencia de las tareas de limpieza e inspección visual.

En promedio, las acciones implementadas lograron una reducción global del 53% del tiempo de limpieza, lo que implica un mayor aprovechamiento del tiempo operativo y una menor exposición del personal a tareas inseguras o ergonómicamente exigentes.

**Figura 23***Reducción de tiempos de limpieza e inspección*

*Nota.* Datos obtenidos utilizando cronómetro para medir tiempos de limpieza.

## 5.5 Indicadores de Mantenimiento Autónomo

Los indicadores que se utilizaron para monitorear el cumplimiento de las actividades establecidas a través de la implementación de la metodología y de los objetivos del presente proyecto de investigación fueron los siguientes:

- Tasa de solución de tarjetas reportadas mayor al 75%.
- Reducción de las fuentes de contaminación en un 75%.
- Reducción en el número de zonas de difícil acceso en un 50%.
- Reducción del tiempo total de limpieza e inspección del 40%.

En la Tabla 25, se muestran los resultados de las tarjetas reportadas y solucionadas durante el período de implementación y seguimiento:

**Tabla 25**

*Tasa de solución de tarjetas reportadas*

	Tarjetas reportadas	Tarjetas solucionadas	Tarjetas pendientes	Indicador	% Solución de tarjetas	Resultado
Tarjetas blancas	1	1			<b>100%</b>	
Tarjetas rojas	22	20	2		<b>91%</b>	
Tarjetas verdes	4	4			<b>100%</b>	
				Indicador	% Solución de tarjetas	Resultado
Total de tarjetas	27	25	2	75%	<b>93%</b>	<b>Cumple</b>

La tasa promedio de solución de tarjetas fue del 93%, superando ampliamente la meta del 75%. Este resultado evidenció una mejora sostenida en la capacidad del personal para identificar, atender y cerrar hallazgos, producto de la capacitación práctica en los primeros pasos del mantenimiento autónomo.

En la Tabla 26, se muestran los resultados de la reducción de fuentes de contaminación:

**Tabla 26**

*Porcentaje de reducción de fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso*

Tipo	Número de fuentes identificadas	Número de contramedidas aplicadas	Porcentaje de reducción
Fuente de contaminación	4	4	100%
Difícil acceso	3	3	100%

Se identificaron cuatro fuentes principales de contaminación, asociadas a fugas, derrames y acumulación de material en puntos críticos. Todas contaron con contramedidas efectivas, logrando una eliminación total de las causas detectadas (100%), por encima de la meta del 75%.

Este resultado significó una disminución significativa en el ingreso de contaminantes a zonas de lubricación y componentes eléctricos, reduciendo riesgos

de sobrecalentamiento, problemas eléctricos y desgaste prematuro. Además, la estandarización de controles visuales permitió mejorar la trazabilidad de anomalías y mantener condiciones más limpias y seguras en el entorno operativo.

Se identificaron tres zonas con limitaciones de acceso para tareas rutinarias de limpieza e inspección. Tras la aplicación de mejoras y redistribución de protecciones, dichas zonas fueron totalmente accesibles, logrando un 100% de reducción respecto a la condición inicial.

En la Tabla 27, se muestran los resultados de la reducción del tiempo total de limpieza e inspección:

**Tabla 27**

*Reducción del tiempo para ejecutar limpiezas e inspecciones*

	Antes de contramedidas	Después de contramedidas	Porcentaje total de reducción
Tiempo total para ejecutar limpiezas e inspecciones (min)	435	235	53%

Antes de aplicar las contramedidas, el tiempo total requerido para ejecutar las tareas de limpieza e inspección era de 435 minutos. Tras la implementación de mejoras y estandarización de procedimientos, este tiempo se redujo a 235 minutos, lo que representa una disminución del 53%, superando la meta inicial del 40%.

## 5.6 Tasa de Disponibilidad

### 5.6.1 Tasa de Disponibilidad de la línea crítica

A partir de los datos de OEE proporcionados en el reporte de OEE por máquina emitido por el departamento de programación de la producción, se calculó la tasa promedio de disponibilidad de la línea crítica XT-27 durante doce meses, tanto antes como después de la implementación del mantenimiento autónomo. Los resultados obtenidos muestran un incremento del promedio desde 78 % hasta 86 %, lo que representa una mejora relativa del 10,3 % en la disponibilidad de la línea.

**Tabla 28**

*Tasa de disponibilidad de línea de producción crítica antes y después de la implementación de mantenimiento autónomo*

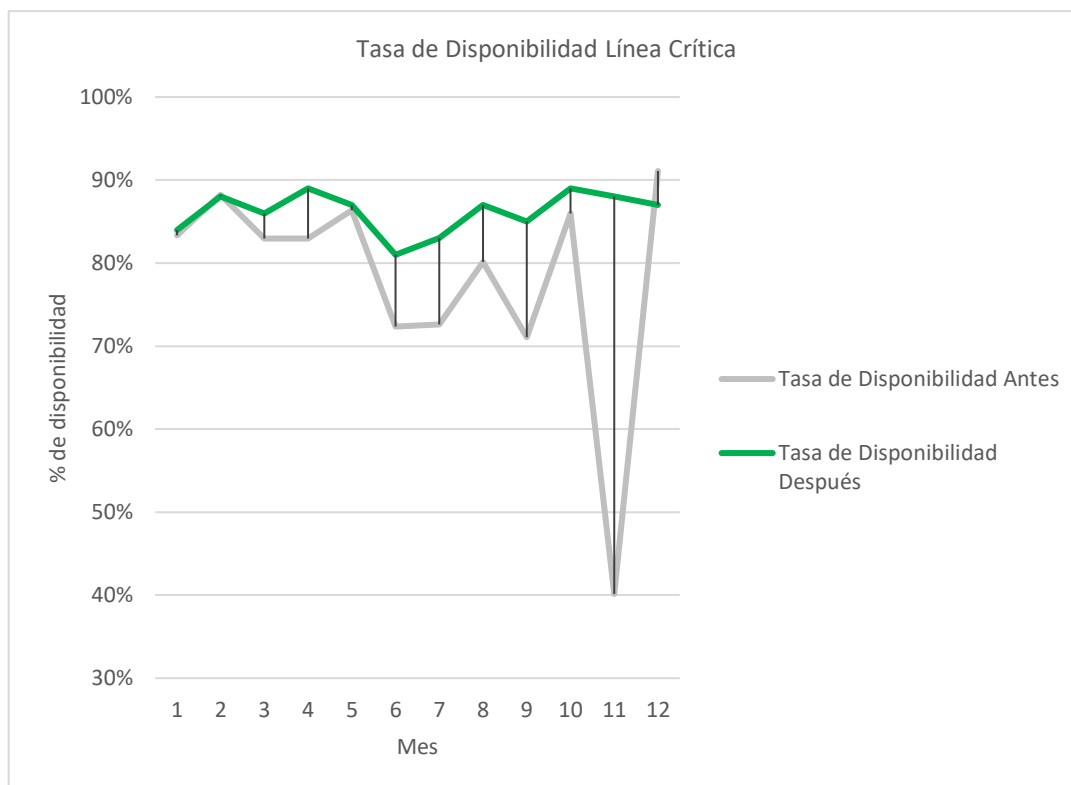
Nro.	Antes de la implementación			Antes de la implementación		
	Reporte	Mes	Tasa de Disponibilidad	Reporte	Mes	Tasa de Disponibilidad
1	2022	Julio	83 %	2023	Julio	84 %
2	2022	Agosto	88 %	2023	Agosto	88 %
3	2022	Septiembre	83 %	2023	Septiembre	86 %
4	2022	Octubre	83 %	2023	Octubre	89 %
5	2022	Noviembre	86 %	2023	Noviembre	87 %
6	2022	Diciembre	72 %	2023	Diciembre	81 %
7	2023	Enero	73 %	2024	Enero	83 %
8	2023	Febrero	80 %	2024	Febrero	87 %
9	2023	Marzo	71 %	2024	Marzo	85 %
10	2023	Abril	86 %	2024	Abril	89 %
11	2023	Mayo	40 %	2024	Mayo	88 %
12	2023	Junio	91 %	2024	Junio	87 %
Promedio			78 %	86 %		
Desviación estándar			14%	2%		

*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte de OEE (2022,2023,2024), emitido por el departamento de programación de la producción.

En la Figura 24 se comparan los valores mensuales de la tasa de disponibilidad de la línea crítica XT-27 durante un período de doce meses, antes y después de la implementación de la metodología de mantenimiento autónomo. se observa que, antes de la implementación del proyecto, la disponibilidad presentaba una tendencia irregular, con fluctuaciones marcadas entre los meses 6 y 11, alcanzando incluso valores mínimos cercanos al 40 %. Estas variaciones reflejan la incidencia de paradas no planificadas, eventos atípicos, fallas repetitivas y tiempos prolongados de intervención por parte del personal de mantenimiento.

**Figura 24**

*Tasa de disponibilidad de línea crítica antes y después de la implementación de MA*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte de OEE (2022,2023,2024), emitido por el departamento de programación de la producción.

La desviación estándar de los valores previos a la implementación fue  $\approx 14\%$ , evidenciando una alta dispersión y variaciones considerables entre los meses, con valores mínimos de hasta  $40\%$  (mayo 2023, mes 11) y máximos cercanos al  $91\%$  (junio 2023, mes 12).

En contraste, después de la aplicación del mantenimiento autónomo, la desviación estándar se redujo a aproximadamente  $2\%$ , reflejando una mayor estabilidad operacional y un control más consistente del desempeño de la línea. Además, los valores mensuales se mantienen dentro de un rango estrecho ( $81\% - 89\%$ ), sin presentarse caídas abruptas ni comportamientos irregulares.

Este comportamiento confirma que la metodología implementada permitió reducir la variabilidad y aumentar la disponibilidad promedio, fortaleciendo la confiabilidad del proceso y la continuidad operativa de la línea crítica evaluada.

Esta mejora sugiere que las actividades de limpieza, inspección y lubricación realizadas directamente por los operadores, junto con la detección temprana de anomalías, contribuyeron a reducir el número y duración de las paradas imprevistas.

en conjunto, la comparación de ambas curvas permite concluir que la aplicación del mantenimiento autónomo tuvo un impacto positivo en la disponibilidad de la línea de producción, al disminuir las pérdidas por fallas y mejorar el cuidado autónomo de la misma.

### 5.6.2 Tasa de Disponibilidad de la Planta de Tuberías

En la Tabla 29 se presentan los valores promedio de la tasa de disponibilidad global de la planta de extrusión antes y después de la implementación del mantenimiento autónomo en la línea crítica XT-27. Los resultados muestran una variación del promedio de 88 % a 89 %, equivalente a una mejora relativa del 1,1 % en la disponibilidad total de la planta.

La desviación estándar de aproximadamente 2 % en ambos períodos indica que el nivel de estabilidad operativa del conjunto de líneas de la planta de tuberías se mantuvo constante, sin fluctuaciones significativas a lo largo de los doce meses analizados. Este comportamiento era previsible, dado que la aplicación de la metodología se concentró únicamente en una (1) línea de producción de un total de veintidós (22), por lo que su contribución al indicador global de la planta resulta limitada.

No obstante, el ligero incremento en el promedio de la tasa de disponibilidad de la planta de extrusión, el aumento significativo de la tasa de disponibilidad de la línea de producción crítica XT-27, y la reducción significativa observada en la variabilidad de la línea de producción crítica (XT-27), sugiere que la implementación tuvo un efecto positivo localizado, contribuyendo indirectamente a mejorar el desempeño global mediante la disminución de paradas no planificadas en la línea crítica.

**Tabla 29**

*Tasa de disponibilidad de planta de producción antes y después de la implementación de mantenimiento autónomo*

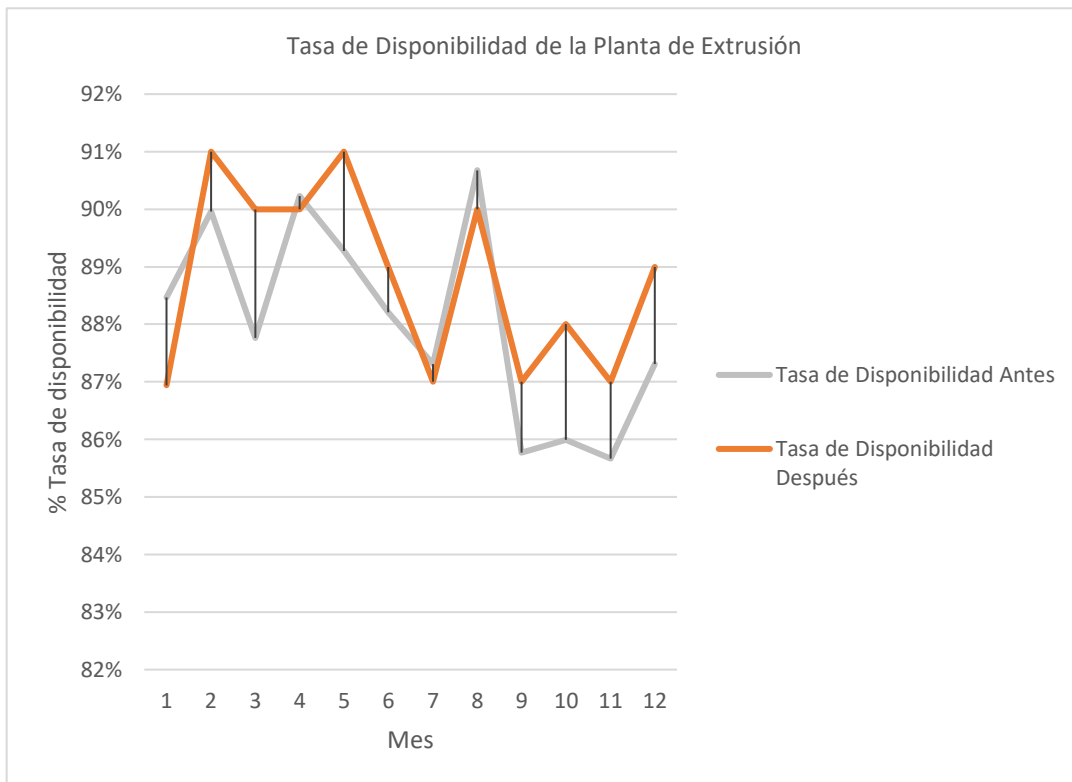
Tasa de disponibilidad de la planta de extrusión						
Nro.	Antes de la implementación			Después de la implementación		
	Reporte	Mes	Tasa de disponibilidad antes	Reporte	Mes	Tasa de disponibilidad después
1	2022	Julio	88 %	2023	Julio	87 %
2	2022	Agosto	90 %	2023	Agosto	91 %
3	2022	Septiembre	88 %	2023	Septiembre	90 %
4	2022	Octubre	90 %	2023	Octubre	90 %
5	2022	Noviembre	89 %	2023	Noviembre	91 %
6	2022	Diciembre	88 %	2023	Diciembre	89 %
7	2023	Enero	87 %	2024	Enero	87 %
8	2023	Febrero	91 %	2024	Febrero	90 %
9	2023	Marzo	86 %	2024	Marzo	87 %
10	2023	Abril	86 %	2024	Abril	88 %
11	2023	Mayo	86 %	2024	Mayo	87 %
12	2023	Junio	87 %	2024	Junio	89 %
Promedio			88 %			89 %
Desviación estándar			2 %			2 %

*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte de OEE (2022,2023,2024), emitido por el departamento de programación de la producción

En consecuencia, los resultados reflejan el potencial de replicabilidad del mantenimiento autónomo en el resto de las líneas de extrusión, donde se podrían esperar mejoras más representativas en la tasa de disponibilidad de la planta de extrusión si se amplía la aplicación de la metodología.

**Figura 25**

*Tasa de disponibilidad de planta de tuberías antes y después de la implementación de MA*



*Nota.* Elaboración propia con datos del reporte de OEE (2022,2023,2024), emitido por el departamento de programación de la producción

En la Figura 25 se presenta la evolución mensual de la tasa de disponibilidad de la planta de extrusión durante los doce meses analizados, antes y después de la implementación de la metodología de mantenimiento autónomo. En los meses posteriores a la implementación, la curva de disponibilidad presenta una tendencia levemente más uniforme, sin los descensos puntuales observados en los meses 8 y 11 antes de la implementación. Estos resultados respaldan que la tasa de disponibilidad de la planta de extrusión tuvo aumento luego de haber implementado este proyecto de investigación, por lo tanto, se considera que las acciones implementadas fueron satisfactorias.

## 6 Conclusiones

La implementación de los tres primeros pasos del pilar de mantenimiento autónomo en la línea seleccionada como línea crítica de producción de tuberías plásticas de PVC, permitió mejorar en un 10% la tasa de disponibilidad de esta y en un 1% la tasa de disponibilidad de la planta de tuberías, reducir las fuentes de contaminación y optimizar los tiempos de limpieza e inspección. Los resultados obtenidos demuestran que la metodología aplicada impactó positivamente los indicadores de la planta, y promovió una transformación cultural en la planta, fortaleciendo la participación y el compromiso del personal operativo con el autocuidado de los equipos de la línea de producción.

El análisis detallado de los registros de producción y de las causas de paro, permitió identificar que la línea XT-27 presentaba el mayor índice compuesto de criticidad combinando altos valores de producción y rendimiento, con una baja calificación en calidad y disponibilidad. La aplicación de herramientas como el diagrama de Pareto y el análisis de correlación evidenció que la línea XT-27 se encontraba dentro del foco crítico que afecta la tasa de disponibilidad de la planta de tuberías. El análisis de causas de paro permitió identificar los equipos y subsistemas con mayor impacto sobre la disponibilidad de la línea XT-27. También se pudo evidenciar mediante análisis de Pareto que las fallas mecánicas en las muelas del corrugador y las fugas en componentes hidráulicos eran las principales causas de indisponibilidad. Estas herramientas justificaron la selección de la línea XT-27 como foco de intervención para la implementación del MA.

La elaboración e implementación de estándares de limpieza, inspección y lubricación (LIL) en la línea crítica, junto con la capacitación del personal y la creación de rutinas sistemáticas, permitieron uniformar y documentar las actividades clave de mantenimiento autónomo. El uso de controles visuales y la transferencia de responsabilidades al personal operativo contribuyeron a una mayor frecuencia y efectividad en la detección temprana de anomalías, lo que se reflejó en una reducción del 53% en los tiempos de limpieza e inspección y en

una mejora del 10,3% en la tasa de disponibilidad de la línea XT-27. Las acciones implementadas contribuyeron directamente al aumento de la disponibilidad operativa de las líneas analizadas y sentaron las bases para la sostenibilidad del sistema de mantenimiento autónomo en planta.

La identificación y eliminación de las principales fuentes de contaminación y la mejora en el acceso a zonas críticas permitieron alcanzar una reducción del 100% en las fuentes de contaminación y zonas de difícil acceso. Eliminar las fuentes de fuga, permitió reducir los tiempos de limpieza no productiva, aumentan la disponibilidad del operador para enfocarse en actividades de valor agregado como la inspección, la lubricación y el control del proceso. Este enfoque contribuyó directamente al incremento de la tasa de disponibilidad del equipo. Las contramedidas aplicadas, como el rediseño de canaletas y la instalación de protecciones, optimizaron la ergonomía y seguridad de las tareas, disminuyendo los riesgos y facilitando el cumplimiento de los estándares de limpieza e inspección. Esto se tradujo en una mayor sostenibilidad de las mejoras y en la consolidación de una cultura de mejora continua en la planta.

## 7 Recomendaciones

---

Los indicadores obtenidos demuestran que la implementación de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento autónomo ha sido efectiva para mejorar la eficiencia, confiabilidad y condiciones operativas de la línea de producción crítica. Por ello, se recomienda aplicar estos pasos en las demás líneas de la planta de tuberías.

Para extender la metodología a otras líneas de producción, se sugiere adaptar su aplicación en función a las particularidades de cada línea, considerando diferencia en equipos utilizados, antigüedad y nivel de automatización.

Con el fin de fomentar la participación de todos los trabajadores y garantizar que su compromiso sea sostenible en el tiempo, se recomienda socializar los logros alcanzados y brindar reconocimientos al personal destacado, resaltando la importancia del autocuidado de los equipos y la mejora continua como valores centrales de la cultura organizacional.

Se recomienda documentar las lecciones aprendidas y los casos de éxito para facilitar la escalabilidad del modelo a otras áreas de la planta o incluso a otras plantas del grupo empresarial. Para ello, es conveniente integrar las actividades de MA en los sistemas de gestión o en la estructura documental que posea la organización.

Asimismo, se recomienda incentivar al personal a mantener una actitud proactiva de mejora continua, revisando y actualizando los procedimientos conforme se identifiquen nuevas oportunidades de optimización.

Finalmente, se sugiere la combinación de herramientas de la industria 4.0 como monitoreo en tiempo real y el análisis de datos, con las actividades de mantenimiento autónomo, lo cual podría potenciar la confiabilidad y sostenibilidad de los equipos de la línea de producción, apoyando al operador en el autocuidado de la línea.

## Referencias

---

- Agustiady, T. K., & Cudney, E. A. (2016). Total Productive Maintenance Strategies and Implementation Guide (L. © 2016 by Taylor & Francis Group (ed.).
- Akbar, F. A., & Aviasti. (2023). Peningkatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) dengan Pendekatan Total Productive Maintenance (TPM) di Line X PT Kraft Ultrajaya Indonesia. 3(1), 294–302. <https://doi.org/10.29313/bcsies.v3i1.6669>
- Arroyo Huayta, C. A., & Cruces Raimundis, E. S. (2021). Modelo para incrementar la eficiencia en el área de extrusión de una pyme manufacturera del sector plástico basada en 5s, SMED y mantenimiento autónomo. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657695>
- Cámara, J., & Ramos, J. (2020). Gestión de mantenimiento autónomo para incrementar la OEE en el área litográfica de Lata Lux S.A. Ate -Lima ,2020.
- Churo, L., & Mestanza, C. (2022). Mantenimiento Autónomo para incrementar el OEE en la línea de mezcla de Paprika en la Empresa ICH, Lima 2022.
- Collins, S. P., Storrow, A., Liu, D., Jenkins, C. A., Miller, K. F., Kampe, C., & Butler, J. (2021). TPM en Industrias de Proceso.
- Córdova A. (2023). "Improving availability by Lean Manufacturing and TPM tools in an SME in the plastics sector, V. B. A. Damiano and J. C. Quiroz-Flores, (2023) Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), Bogotá, Colombia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/CONIITI61170.2023.10324215.
- Cuatrecasas, L., & Torrel, F. (2010). TPM en un entorno Lean Management - Estrategia Competitiva. PROFIT Editorial.
- Farfan, O., Medrano, E., & Calderón, W. (2025). Enhancing Machine Availability in Plastic SMEs through Lean and TPM: Evidence from a Peruvian Case Study. International Journal of Recent Engineering Science, 12(3), 47–57. <https://doi.org/10.14445/23497157/ijres-v12i3p106>

- Gallego, S., Yeny, V., Arboleda, P., Académico, U. P., & Sanín Villa, D. (2017). Implementación del mantenimiento autónomo a las herramientas neumáticas de la línea de ensamble de la empresa AUTEKO MOBILITY SAS.
- Hernan, G., Guerrero, G., & Ivan, G. (2025). Incremento de la disponibilidad del equipo de corte y empaque de láminas de polipropileno mediante los pilares de Mantenimiento Autónomo y Preventivo del TPM en una empresa del sector plástico.
- Hernandez, D., Puentes, W., & Sanchez, J. (2018). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para la empresa JOLIPLAS.
- Krstić, A., Nikolić, Đ., & Papic, M. (2021). A hybrid multi-output approach to optimisation of PVC pipe quality characteristics. <https://doi.org/10.23967/j.rimni.2021.09.001>
- Lewandowski, K. (2022). A Brief Review of Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Recycling. <https://doi.org/10.3390/polym14153035>
- Lucano, G., Marivel, J., Aquije, R., & Paul, F. (2025). Implementación de los pilares autónomo y preventivo del Mantenimiento Productivo Total ( TPM ) para incrementar la disponibilidad del equipo de extrusión de una empresa manufactura de empaques flexibles.
- Mendes, D. S. F. T., Navas, H. V. G., Didelet, F., & Charrua-Santos, F. (2022). Improvement of maintenance management through Lean Philosophy and Industry 4.0. Maintenance, Reliability and Condition Monitoring, 2(1), 17–27. <https://doi.org/10.21595/marc.2022.22472>
- Mendoza, M. (2018). Implementación del sistema de mantenimiento productivo total.
- Mexichem Ecuador. (2021). Política de Mantenimiento Autónomo. (Edic. 1, código PG-LEAN-PL001). Documento Interno.
- Mouhib, Z., Gallab, M., Merzouk, S., Soulhi, A., & Di Nardo, M. (2025). Total Productive Maintenance and Industry 4.0: A Literature-Based Path Toward a Proposed Standardized Framework. Applied System Innovation, 8(4), 1–25.

<https://doi.org/10.3390/asi8040098>

Nakajima, S. (1984). Introduction to TPM - Total Productive Maintenance.

Nastaj, A., & Wilczyński, K. (2021). Optimization and scale-up for polymer extrusion. *Polymers*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/polym13101547>

Niemen, H. (2016). Improving maintenance in high-volume manufacturing. *m*, 81. <https://pdfs.semanticscholar.org/4b71/f26fe2a9bc75c3bff0ef441b9380f9f3be0e.pdf>

Ottosson, D. (2009). The initiation of Total Productive Maintenance to a pilot production line in the German automobile industry.

Plastics Pipe Institute. (2022). Handbook of Polyethylene Pipe (Issue Sept.).

Revelo, J., & Contreras, C. (2022). Propuesta De Implementación De Paso 2 Pilar Mantenimiento Autónomo Tpm En La Línea 20 De Rollos De La Empresa Protisa S.A. <https://repositorio.ecci.edu.co/server/api/core/bitstreams/86881be9-0f56-4b5c-bc74-d6d8d3ceb25c/content>

Reyes, J. (2013). Sistema de Implementación de Manufactura Esbelta.

Shannon, N., Trubetskaya, A., Iqbal, J., & McDermott, O. (2023). A total productive maintenance & reliability framework for an active pharmaceutical ingredient plant utilising design for Lean Six Sigma. *Heliyon*, 9(10), e20516. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>

Slavina, T., & Štefanić, N. (2024). Facing Challenges of Implementing Total Productive Management and Lean Tools in Manufacturing Enterprises. *Systems*, 12(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/systems12020052>

Solís-Meza, M., & Torres-Rodríguez, R. (2021). Contribuciones del TPM en la mejora de la gestión del mantenimiento. *Ingeniar*, 4(8), 58–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0051> CONTRIBUCIONES

- Tajiri, M., & Gotoh, F. (2020). Autonomous Maintenance in Seven Steps. In Autonomous Maintenance in Seven Steps. <https://doi.org/10.1201/9781315137971>
- Talaba, G., Pattiapon, M., & Camerling, B. (2023). ANALISIS EFEKTIVITAS MAINTENANCE MESIN VERTIMILL DENGAN PERHITUNGAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) PADA PT. NUSA HALMAHERA MINERALS (NHM). 1(2), 107–116.
- Tascón, N. (2023). Diseño un modelo simplificado de la metodología TPM hasta el establecimiento de estándares de limpieza, lubricación y ajustes aplicable a PYMES manufactureras de alimentos.
- Vafaei, N. (2021). Data Normalization in Decision Making Processes. Copyright © 2020 Nazanin Vafaei, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. <https://www.researchgate.net/publication/301338152>
- Wolska, M., Gorewoda, T., Roszak, M., & Gajda, L. (2023). Implementation and Improvement of the Total Productive Maintenance Concept in an Organization. Encyclopedia, 3(4), 1537–1564. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3040110>
- Wu, R., Liu, K., Zhang, P., Zeng, C., Xu, Y., & Mei, J. (2024). Structural Stability and Mechanical Analysis of PVC Pipe Jacking under Axial Force. Buildings, 14(6). <https://doi.org/10.3390/buildings14061884>

# Anexos

## Anexo 1.

- *Comité de mantenimiento autónomo*



Anexo 2.

- *Recorridos gemba para diagnóstico de situación inicial*



Anexo 3.

- Evidencia fotográfica de la capacitación del personal





## Anexo 4.

- *Instructivo para uso de tarjetas de MA*

# USO DE TARJETAS DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

### ¿Para que sirve el Tarjetado de mantenimiento autónomo?

- ✓ El tarjetado es un sistema a usar de forma continua para detectar anomalías y sugerir mejoras.
- ✓ El tarjetado puede hacerse en cualquier momento en el que se detecta un problema.

### Tipos de tarjetas de Mantenimiento

Existen 3 tipos diferentes de tarjetas:

1. Tarjeta de Limpieza (Mantenimiento Autónomo)
2. Tarjeta de Restauración (Mantenimiento Planeado)
3. Tarjeta de Mejora

### Uso de Tarjetas de Mantenimiento

#### 1. Tarjeta de Limpieza (Blanca)

El uso de esta tarjeta es para identificar poca limpieza en el área de un equipo en específico, Suciedad debida a fugas, Suciedad debida a residuos, Suciedad debida a una limpieza inapropiada, Artículos no usados u Otros problemas de higiene.



A ser solucionadas por el operador del equipo

#### 2. Tarjeta de Restauración (Roja)

El uso de esta tarjeta es para identificar anomalías, Daños, Fugas, Inconsistencias con las condiciones operativas normales, Vibraciones, Señales visuales dañadas y para cualquier cosa que no parezca correcta.



A ser solucionadas por el personal de mantenimiento



#### 3. Tarjeta de Mejora

El uso de esta tarjeta es para proponer posibles mejoras que se puedan implementar en el equipo y/o cualquier cosa que pueda contribuir a la eficiencia del proceso, actualizaciones, entre otras.



A ser solucionadas por el personal asignado

### ¿Quiénes pueden reportar tarjetas de mantenimiento autónomo?

Cualquier persona puede levantar una tarjeta de mantenimiento autónomo; personal de producción y mantenimiento: Superintendentes, Supervisores, Encargados, operadores, mecánicos, eléctricos y cualquiera que forme parte de la Gerencia de Producción



### Buzón de Mantenimiento Autónomo:

En este Buzón podemos encontrar los tipos de tarjetas así como a su vez colocar las tarjetas una vez que han sido solucionadas.



### Tablero de Mantenimiento Autónomo:

En este Tablero podemos encontrar el número de las tarjetas reportadas y solucionadas en cada línea de extrusión. Toda persona que levante una tarjeta, deberá reportarla en el tablero.



### ¿Qué debe contener una tarjeta reportada?

La tarjeta reportada debe contener Fecha, nombre del reportante, Prioridad de la tarjeta, causa de la tarjeta, descripción, área y el responsable de dar solución.



**NOTA IMPORTANTE:** Toda tarjeta solucionada deberá ser depositada nuevamente en el buzón que se encuentra en la línea de extrusión respectiva. A su vez, deberá registrarse el cumplimiento a través del siguiente link o código QR: <https://forms.office.com/r/mPEMPDVwcz>

Reporte aquí su tarjeta solucionada:



- Tarjeta blanca:

<b>wavin</b>		No. xxxxxx
<b>MANTENIMIENTO AUTÓNOMO</b>		
Fecha: ___/___/___	Prioridad	
Generado:	A	B
		C
1. Área difícil acceso 2. Área difícil limpieza 3. Área de difícil lubricación 4. Baja velocidad 5. Presión Alta / Baja 6. Temperatura alta/baja 7. Ruido / Vibración		9. Fuga 10. Problema eléctrico 11. Problema mecánico 12. Vibración 13. Barnizado 14. Pintura 15. Mejora / Actualización 16. Otro (especificar)
Descripción:		
Emitió:	Línea:	
Área:	ORIGINAL	

- Tarjeta roja:

<b>wavin</b>		No.
<b>MANTENIMIENTO PLANEADO</b>		
Fecha: ___/___/___	Prioridad	
Generado:	A	B
		C
1. Área difícil acceso 2. Área difícil limpieza 3. Área de difícil lubricación 4. Baja velocidad 5. Presión Alta / Baja 6. Temperatura alta/baja 7. Ruido / Vibración		7. Fuga 8. Problema eléctrico 9. Problema mecánico 10. Vibración 11. Barnizado 12. Pintura 13. Mejora / Actualización 14. Otro (especificar)
Descripción:		
Emitió:	Línea:	
Área:	ORIGINAL	

- Tarjeta verde:

<b>wavin</b>		No. xxxxxx	
Fecha: __/__/__		Prioridad	
Generado:		A	B
		C	
<b>Área de Mejora</b> 1. Funcionamiento Mecánico <input type="checkbox"/> 2. Funcionamiento eléctrico <input type="checkbox"/> 3. Flujo de producto <input type="checkbox"/>		<b>Área de impacto</b> 1. Eficiencia <input type="checkbox"/> 2. Desechos <input type="checkbox"/> 3. Proceso <input type="checkbox"/> 4. Tiempo de entrega <input type="checkbox"/> 5. Prevención <input type="checkbox"/> 6. Energía <input type="checkbox"/>	
Descripción:			
Emitió:		Línea:	
Área:		ORIGINAL	

Anexo 5.

- Evidencia fotográfica limpieza inicial



Anexo 6.

- Registro de limpieza

**wavin**

**CONTROL Y REGISTRO DE ACTIVIDADES DE LIMPIEZA**

**LIMPIEZA**

SUPERFICIE EXTERNA				SUPERFICIE INTERNA				LIMPIEZA			
Equipos	Trasero	Impresoras	Alfombras	Equipos	Trasero	Impresoras	Alfombras	Operario	Fecha	Horas	Observaciones
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Juan Carlos	23-06-19	30	Limpieza interna y externa y pisos
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Juan Carlos	23-06-20	20	Limpieza interna y externa
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Smith Jimeno	28-06-21	20	Limpieza interna y externa
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Miguel Quispe	2021/07/05	30	Limpieza interna y ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Miguel Quispe	2021/07/05	30	Limpieza interna y ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Miguel Quispe	2021/07/05	30	Limpieza interna y ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	HUGO CARRERO	2021/07/05	30	Limpieza ext y ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	J. Solarte	23-07-13	45	Limpieza int y ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	J. Solarte	23-07-14	40	Limpieza int ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A. Pizarro	2021/07/16	30	Limpieza dual de Soma
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	HUGO CARRERO	2021/07/17	30	Limpieza ext y ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sebastián	2021/07/18	20	Limpieza ext y ext
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	E. Quispe	2021/07/20	40	Limpieza interna y externa
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	HUGO CARRERO	2021/07/21	30	Limpieza externa e interna
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	HUGO CARRERO	2021/07/21	30	Limpieza interna e interna
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	HUGO CARRERO	2021/07/22	30	Limpieza interna e interna
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	HUGO CARRERO	2021/07/28	50	Limpieza externa e interna

### Anexo 7.

- Estándar de limpieza, inspección y lubricación instalado en línea de producción



- Estándar de limpieza, inspección y lubricación actualizado



TPM		ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO (LIMPIEZA - LUBRICACIÓN - INSPECCIÓN)			No. PG-CI-TPM																																																																																																																																																																																											
Área/Proceso:		Extrusión PVC	Equipo/Línea:	DALIAN SUNLIGHT SJSZ-95	XT-27	Día: 5	Mes: 07	Año: 2024																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Actividad No.</th> <th rowspan="2">Sección</th> <th rowspan="2">Método</th> <th rowspan="2">Estándar</th> <th rowspan="2">Acción</th> <th colspan="3">Objetivo: min/equipo</th> <th rowspan="2">Responsable</th> </tr> <tr> <th>Intervalo</th> <th>Temp o (min)</th> <th>Responsible</th> </tr> <tr> <th colspan="5"></th> <th>Mes</th> <th>Sem.</th> <th>Día</th> <th>Turno</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">LIMPIEZA</td> <td>1 Equipos superficie externa</td> <td>Limpieza manual</td> <td>Libre de polvo, objetos, lubricantes.</td> <td>Paro de máquina y limpieza</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td>20</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>2 Equipos superficie interna</td> <td>Limpieza manual</td> <td>Libre de polvo, objetos, lubricantes.</td> <td>Paro de máquina y limpieza</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>25</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>3 Sistema enfriamiento moldes block (muelas)</td> <td>Limpieza manual de muelas</td> <td>Libre de sedimentos y partículas.</td> <td>Limpieza con utensilios</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td>30</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>4 Bomba de gases de extrusora</td> <td>Limpieza manual de depósito y ducto</td> <td>Libre de sedimentos y partículas.</td> <td>Limpieza con utensilios</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td>10</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>5 Acrílicos</td> <td>Limpieza manual</td> <td>Libre de polvo, aceite y humedad</td> <td>Paro de máquina y limpieza</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>6 Piso de línea</td> <td>Limpieza manual</td> <td>Libre de polvo, aceite y humedad</td> <td>Limpieza con utensilios</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>15</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">LUBRICACIÓN</td> <td>1 Bomba de Hidráulica</td> <td>Lubricación manual</td> <td>Referencial (lubricante)</td> <td>Paro de máquina, limpieza y lubricación</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>2 Corrugador</td> <td>Lubricación manual</td> <td>Referencial (lubricante)</td> <td>Paro de máquina, limpieza y lubricación</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>25</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>3 Acampanadora</td> <td>Lubricación manual</td> <td>Referencial (lubricante)</td> <td>Paro de máquina, limpieza y lubricación</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>4 Sierra Automática</td> <td>Lubricación manual</td> <td>Referencial (lubricante)</td> <td>Paro de máquina, limpieza y lubricación</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>10</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">INSPECCIÓN</td> <td>1 Sistema hidráulico acampanadora</td> <td>Inspección visual</td> <td>Nivel de aceite al máximo; sin fugas de aceite</td> <td>Inspección rutinaria</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>5</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>2 Alimentación de material, manguera, tolva, visor, im</td> <td>Inspección visual</td> <td>En buen estado sin fugas de material.</td> <td>Inspección rutinaria</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>5</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>3 Temperaturas; caudal de agua y presión de aire.</td> <td>Inspección visual</td> <td>Temperatura y nivel óptimo de agua helada</td> <td>Inspección rutinaria</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td>2</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td colspan="3">TOTAL:</td> <td>182 (min)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Elaborado por:</td> <td colspan="2">Revisado por:</td> <td colspan="2">Supert. de Producción Extrusión</td> <td colspan="2">Aprobado por:</td> <td colspan="1">Gerente de Planta</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Eddy Sarango</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Supervisor de Mantenimiento Extrusión</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="1"></td> </tr> </tbody> </table>									Actividad No.	Sección	Método	Estándar	Acción	Objetivo: min/equipo			Responsable	Intervalo	Temp o (min)	Responsible						Mes	Sem.	Día	Turno		LIMPIEZA	1 Equipos superficie externa	Limpieza manual	Libre de polvo, objetos, lubricantes.	Paro de máquina y limpieza			X		20	Operador	2 Equipos superficie interna	Limpieza manual	Libre de polvo, objetos, lubricantes.	Paro de máquina y limpieza		X			25	Operador	3 Sistema enfriamiento moldes block (muelas)	Limpieza manual de muelas	Libre de sedimentos y partículas.	Limpieza con utensilios			X		30	Operador	4 Bomba de gases de extrusora	Limpieza manual de depósito y ducto	Libre de sedimentos y partículas.	Limpieza con utensilios			X		10	Operador	5 Acrílicos	Limpieza manual	Libre de polvo, aceite y humedad	Paro de máquina y limpieza		X			5	Operador	6 Piso de línea	Limpieza manual	Libre de polvo, aceite y humedad	Limpieza con utensilios				X	15	Operador	LUBRICACIÓN	1 Bomba de Hidráulica	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				15	Operador	2 Corrugador	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				25	Operador	3 Acampanadora	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				15	Operador	4 Sierra Automática	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				10	Operador	INSPECCIÓN	1 Sistema hidráulico acampanadora	Inspección visual	Nivel de aceite al máximo; sin fugas de aceite	Inspección rutinaria				X	5	Operador	2 Alimentación de material, manguera, tolva, visor, im	Inspección visual	En buen estado sin fugas de material.	Inspección rutinaria				X	5	Operador	3 Temperaturas; caudal de agua y presión de aire.	Inspección visual	Temperatura y nivel óptimo de agua helada	Inspección rutinaria				X	2	Operador						TOTAL:			182 (min)			Elaborado por:		Revisado por:		Supert. de Producción Extrusión		Aprobado por:		Gerente de Planta	Eddy Sarango				Supervisor de Mantenimiento Extrusión				
Actividad No.	Sección	Método	Estándar	Acción	Objetivo: min/equipo			Responsable																																																																																																																																																																																								
					Intervalo	Temp o (min)	Responsible																																																																																																																																																																																									
					Mes	Sem.	Día	Turno																																																																																																																																																																																								
LIMPIEZA	1 Equipos superficie externa	Limpieza manual	Libre de polvo, objetos, lubricantes.	Paro de máquina y limpieza			X		20	Operador																																																																																																																																																																																						
	2 Equipos superficie interna	Limpieza manual	Libre de polvo, objetos, lubricantes.	Paro de máquina y limpieza		X			25	Operador																																																																																																																																																																																						
	3 Sistema enfriamiento moldes block (muelas)	Limpieza manual de muelas	Libre de sedimentos y partículas.	Limpieza con utensilios			X		30	Operador																																																																																																																																																																																						
	4 Bomba de gases de extrusora	Limpieza manual de depósito y ducto	Libre de sedimentos y partículas.	Limpieza con utensilios			X		10	Operador																																																																																																																																																																																						
	5 Acrílicos	Limpieza manual	Libre de polvo, aceite y humedad	Paro de máquina y limpieza		X			5	Operador																																																																																																																																																																																						
	6 Piso de línea	Limpieza manual	Libre de polvo, aceite y humedad	Limpieza con utensilios				X	15	Operador																																																																																																																																																																																						
LUBRICACIÓN	1 Bomba de Hidráulica	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				15	Operador																																																																																																																																																																																						
	2 Corrugador	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				25	Operador																																																																																																																																																																																						
	3 Acampanadora	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				15	Operador																																																																																																																																																																																						
	4 Sierra Automática	Lubricación manual	Referencial (lubricante)	Paro de máquina, limpieza y lubricación	X				10	Operador																																																																																																																																																																																						
INSPECCIÓN	1 Sistema hidráulico acampanadora	Inspección visual	Nivel de aceite al máximo; sin fugas de aceite	Inspección rutinaria				X	5	Operador																																																																																																																																																																																						
	2 Alimentación de material, manguera, tolva, visor, im	Inspección visual	En buen estado sin fugas de material.	Inspección rutinaria				X	5	Operador																																																																																																																																																																																						
	3 Temperaturas; caudal de agua y presión de aire.	Inspección visual	Temperatura y nivel óptimo de agua helada	Inspección rutinaria				X	2	Operador																																																																																																																																																																																						
					TOTAL:			182 (min)																																																																																																																																																																																								
Elaborado por:		Revisado por:		Supert. de Producción Extrusión		Aprobado por:		Gerente de Planta																																																																																																																																																																																								
Eddy Sarango				Supervisor de Mantenimiento Extrusión																																																																																																																																																																																												

- *Tablero informativo de línea de producción XT-27*

